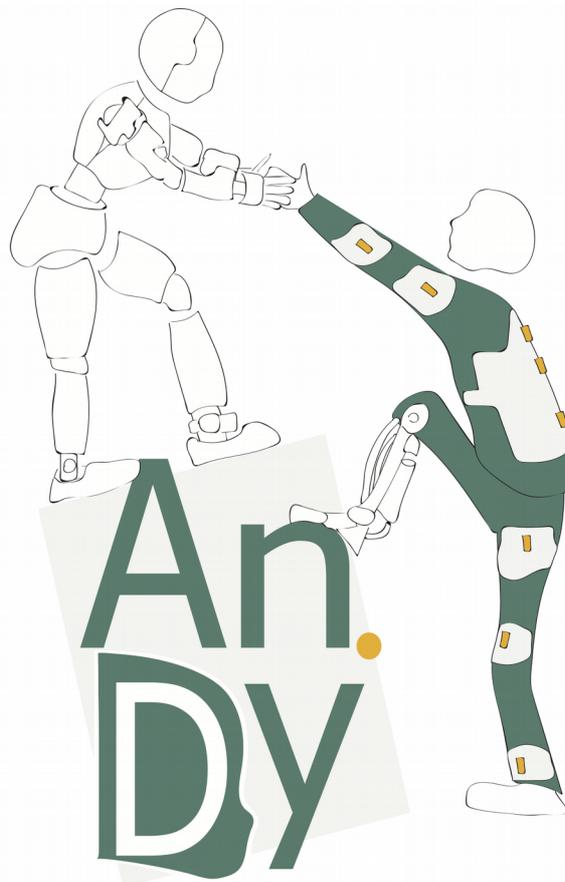


Étude d'acceptabilité des robots collaboratifs



Gauthier MAGNIN – Baptiste MOUNIER

Master Sciences de la Cognition et Applications – 1^{ère} année

Projet tutoré

Étude d'acceptabilité des robots collaboratifs

Définition d'un modèle d'acceptabilité et réalisation d'enquêtes par questionnaires

Gauthier MAGNIN et Baptiste MOUNIER

Master – 1^{ème} année – Projet tutoré

Novembre 2016 – Juin 2017

UFR Mathématiques et Informatique

Master Sciences de la Cognition et Applications

Pôle Lorrain de Gestion

13 rue Michel Ney, 54000 NANCY

Inria Nancy

615 Rue du Jardin botanique, 54600 Villers-lès-Nancy

Encadrante : M^{me} Serena IVALDI

Année universitaire 2016 – 2017

Avant-propos

Plus qu'un projet tutoré ou simplement supervisé, ce projet aura été pour nous un projet réalisé en commun avec Mme Serena Ivaldi, la promotrice de ce projet, ainsi que M. Adrien Malaisé, un doctorant à Inria Nancy.

Nous aimerions alors remercier :

- Mme Serena Ivaldi, membre de l'équipe LARSEN de Inria Nancy, promotrice de ce projet tutoré et encadrante, pour sa collaboration et son suivi hebdomadaire ;
- M. Adrien Malaisé, doctorant ayant travaillé avec nous tout au long de ce projet ;
- M. Jean-Luc Kop, maître de conférences en Méthodologies de la Psychologie, pour son expertise et son aide apportée au projet.

Nous tenons également à remercier l'UFR Mathématiques et Informatique de Nancy et ses enseignants, pour nous avoir fourni les connaissances nécessaires afin de mener à bien cette expérience.

Table des matières

Introduction.....	5
I. Présentation.....	6
1. Cadre du projet.....	6
2. Objectifs.....	8
3. Travail à réaliser.....	10
II. Démarche et mise en œuvre.....	11
1. Moyens utilisés.....	11
1.1. Conception du modèle d'acceptabilité.....	11
1.2. Élaboration des questionnaires.....	11
1.3. Analyse et évaluation.....	12
2. Étapes de réalisation.....	13
3. Difficultés et contraintes.....	15
3.1. Le temps.....	15
3.2. L'interprétabilité des résultats.....	16
3.3. L'équipe-projet.....	16
III. Résultats.....	18
1. Travail réalisé et livrables.....	18
1.1. Modèle d'acceptabilité.....	18
1.2. Questionnaires et <i>focus group</i>	19
1.3. Scripts et analyse.....	20
1.4. Livrables.....	22
2. Poursuite du projet.....	22
Conclusion.....	25
Bibliographie.....	26
Annexes.....	29

Introduction

Ce projet tutoré s’inscrit dans la formation du master Sciences de la Cognition et Applications. Il s’agit d’un projet qui se déroule sur plusieurs mois lors de la première année de la formation. Il s’est donc déroulé de novembre 2016 à juin 2017.

Le projet tutoré vise à nous faire travailler sur un sujet dont le niveau de complexité est supérieur à celui rencontré dans nos enseignements, ceci sur une longue période. Il vise également à mettre en œuvre les connaissances acquises dans les différents champs disciplinaires de la formation et mettre en avant les compétences dans la pluridisciplinarité. Il s’inscrit dans une thématique de recherche initiée par une équipe de chercheurs.

Pour notre part, il aura été réalisé au sein du laboratoire de l’équipe LARSEN du centre de recherche Inria Nancy, en collaboration avec un doctorant nommé Adrien Malaisé. Il nous a donc été demandé d’étudier l’acceptabilité de trois technologies dans le cadre français : des capteurs d’ergonomie, des exosquelettes et des robots collaboratifs.



Illustration 1 : Façade du bâtiment d'Inria situé à Villers-lès-Nancy.

I. Présentation

1. Cadre du projet

Le travail a été réalisé au sein du laboratoire de l'équipe LARSEN de Inria Nancy. Nous avons travaillé conjointement avec Mme Serena Ivaldi et M. Adrien Malaisé, avec qui nous avons des rendez-vous hebdomadaires afin de faire un point sur l'avancement du travail ainsi que de continuer cette avancée ensemble.

Inria est un institut de recherche créé en 1967 dédié aux sciences du numérique et organisé en équipes-projets qui rassemblent des chercheurs. Avec des partenaires industriels et académiques, les activités de cet établissement public sont principalement centrées sur l'informatique, les mathématiques et l'automatique. Les recherches qui y sont faites correspondent à des domaines tels que la santé, les transports, l'énergie, la communication, la sécurité et la protection de la vie privée, la ville intelligente, l'usine du futur et bien d'autres.

L'équipe LARSEN (*Lifelong Autonomy and interaction skills for Robots in a Sensing ENvironment*) y travaille dans des domaines de recherches centrés sur la robotique, l'apprentissage, la perception et l'interaction homme-robot.

Le projet d'étude d'acceptabilité s'inscrit dans le cadre d'un projet européen dédié à la robotique collaborative lancé officiellement le 18 janvier 2017, qui porte le nom de *AnDy* (*Advancing Anticipatory Behaviors in Dyadic Human-Robot Collaboration* - Avancement de Comportements Anticipés dans la Collaboration Dyadique Humain-Robot). Le projet AnDy a pour but de multiplier les technologies permettant la collaboration entre humain et robot, notamment à travers le développement de quatre éléments :

- Une combinaison mesurant les mouvements du corps, nommé *AnDySuit* ;
- Une base de données des mouvements humains, nommé *AnDyDataSet*, basé sur *AnDySuit* ;
- Un ensemble de modèles combinant des modèles ergonomiques et des modèles cognitifs de comportement dynamique de l'humain dans des tâches collaboratives, nommé *AnDyModel*, basé sur *AnDyDataSet* ;

Projet Tutoré – Master Sciences de la Cognition et Applications

- Une technologie d'assistance pour aider les humains dans leur travail, nommé *AnDyControl*, basé sur *AnDyModel*. Cette technologie correspond au contrôle d'exosquelettes et de robots, qu'il s'agisse de simples bras robots ou de robots humanoïdes.

Ce projet européen a donc pour but de fournir, à terme, un tout nouveau niveau de conscience d'ergonomie et d'intentions humaines à des robots, permettant la collaboration d'humains et de robots dans des domaines tels que la manufacture et les services de santé.

Cofinancé par l'Union Européenne dans le cadre du programme pour la recherche et l'innovation *Horizon 2020*, les organisations membres du projet AnDy sont les suivantes :

- *Istituto Italiano di Tecnologia* (IIT), l'Institut Italien de Technologie, coordinateur du projet ;
- *Inria*, l'institut française de recherche en informatique et automatique ;
- L'institut de recherche *Jožef Stefan* (IJS), situé en Slovénie ;
- *Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt* (DLR), le Centre Allemand pour l'Aéronautique et l'Astronautique ;
- *Xsens Technologies*, fournisseur de produits de capture de mouvement 3D, situé aux Pays-Bas ;
- *IMK automotive GmbH*, entreprise d'ingénierie allemande ;
- *Otto Bock HealthCare GmbH*, entreprise allemande de prothèses et orthèses orthopédiques ;
- *Istituto Nazionale Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro* (INAIL), l'Institut National pour l'Assurance contre les Accidents du Travail et les Maladies Professionnelles, situé en Italie ;
- *AnyBody Technology*, spécialisée dans la biomécanique musculo-squelettique et l'ergonomie, située au Danemark.



Illustration 2 : Logos des partenaires du projet européen AnDy.

2. Objectifs

Les principales raisons de l'existence de ce projet sont liées à des problèmes d'ergonomie et à la santé des travailleurs, notamment dans le domaine de l'industrie dans lequel les troubles musculo-squelettiques (TMS) sont très présents et sont la principale cause de maladies professionnelles. La thèse de Mme Pauline Maurice « *Virtual ergonomics for the design of collaborative robots* »¹ contient en ce sens de nombreuses statistiques décortiquant le problème des TMS dans l'industrie, un récapitulatif des indicateurs ergonomiques existants actuellement et leurs évolutions, et aboutit en proposant une solution au problème : la robotique collaborative. Le but de la robotique collaborative y est décrit comme permettant « d'associer les capacités physiques d'un robot aux capacités perceptives et cognitives de l'Homme ». Toujours selon cette thèse, les TMS affectent 50 % des travailleurs industriels et le nombre de TMS reportés a été multiplié par dix de

¹ MAURICE P., 2015, *Virtual ergonomics for the design of collaborative robots*. Thèse de Doctorat. Robotique. Paris VI : Université Pierre et Marie Curie.

1993 à 2013. En 2013, c'est alors 8 400 000 jours qui ont été perdus, correspondant à un coût de 1,5 milliard d'euros en dépenses médicales et rémunérations. Un rapport de l'IRSST (l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail) « *Lombalgies et accidents musculosquelettiques chez les pompiers* »² traite également de ces problèmes et parle notamment de « stress biomécaniques ».

Par ailleurs, le rapport de l'INRS (l'Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des maladies professionnelles et des accidents du travail) « *RAP 2030 - Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France* »³ traitant d'aspects sécurité et santé (TMS, charge mentale, risques psychosociaux) décrit les robots comme un « thème important émergeant dans les évolutions significatives de la société ». Ce rapport traite alors des exosquelettes, des robots collaboratifs (aussi appelés cobots) et des robots chirurgicaux, parmi d'autres.

Le but du projet AnDy s'applique ainsi à l'ergonomie physique, principalement à destination des ouvriers, notamment dans les usines automobiles. Le but de notre projet tutoré est, quant à lui, de faire une investigation sociale afin de comprendre quel est l'attitude générale du grand public vers les technologies associées au projet AnDy pour anticiper des problèmes de conception et d'acceptabilité. Il s'agit donc de prendre en compte l'utilisateur final pour la conception de technologies, et connaître quels sont les biais pour l'adoption de ces technologies.

Ce projet tutoré consiste donc plus précisément en la réalisation d'une étude d'acceptabilité concernant trois technologies différentes :

- Des capteurs d'ergonomie, la technologie relative à la futur combinaison AnDySuit ;
- Les exosquelettes motorisés⁴, dont le but est d'améliorer les capacités physiques d'un humain, notamment pour le port de charges ;
- Les robots collaboratifs, le but ultime du projet AnDy.

2 GIGUERE D., MARCHAND D. 2002. *Lombalgies et accidents musculosquelettiques chez les pompiers : Identification et analyse des situations à risque lors de l'accès aux véhicules et de la manutention d'outils* [rapport].

3 INRS. 2015. *RAP 2030 - Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France* [rapport].

4 Les exosquelettes motorisés font opposition aux exosquelettes entièrement mécaniques, servant au maintien du corps sans user d'aucun système électronique.

3. Travail à réaliser

L'ensemble des tâches que nous avons à réaliser lors de ce projet tutoré est le suivant :

- Recherche bibliographique sur les modèles théoriques pour estimer le niveau d'acceptabilité d'une nouvelle technologie.
- Recherche bibliographique sur les études effectuées en matière de technologies de robotique collaborative en France, en particulier pour les usines d'automobile.
- Définition d'un modèle d'acceptabilité correspondant aux trois technologies sur lesquels porte le projet.
- Élaboration d'un questionnaire divisé en trois parties, chacune correspondant à l'une des trois technologies, en adéquation avec le modèle défini pour évaluer l'acceptabilité de ces technologies.
- Validation du questionnaire conçu comme outils de mesure de l'acceptabilité des technologies étudiées.
- Réalisation d'une enquête par questionnaire, à destination des entreprises et des sujets concernés directement⁵ ou indirectement⁶ par cette technologie.
- Analyse des données issues de l'enquête.

Notre travail correspond donc à :

- Une étude de l'existant, en ce qui concerne les modèles théoriques d'acceptabilité et études effectuées en matière de technologies robotiques collaboratives ;
- Une étape de réalisation, en ce qui concerne l'élaboration d'un questionnaire et de l'enquête associée ;
- Une étape de validation, en ce qui concerne le questionnaire et le modèle établis.

⁵ Les futurs utilisateurs de la technologie sont considérés comme des sujets qui y sont concernés directement. Les ouvriers dans les usines en sont un exemple.

⁶ Les amis et membres de la famille des futurs utilisateurs de la technologie sont considérés comme des sujets concernés indirectement par la technologie.

II. Démarche et mise en œuvre

1. Moyens utilisés

1.1. Conception du modèle d'acceptabilité

Pour la conception d'un modèle d'acceptabilité, nous nous sommes appuyés sur des modèles conçus pour des technologies similaires. Il s'agit notamment de l'étude de l'adoption de la chirurgie assistée robotiquement à travers l'article « *Facilitators and Barriers to Adopting Robotic-Assisted Surgery: Contextualizing the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* »⁷ ainsi que de l'étude d'acceptabilité de robots d'assistance sociale à travers l'article « *Measuring acceptance of an assistive social robot: a suggested toolkit* »⁸. L'un des principaux documents a été une nouvelle fois le rapport de l'INRS « *RAP 2030 - Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France* »⁹ traitant également de l'aspect acceptabilité des Robots d'Assistance Physique (RAP), notamment en ce qui concerne les raisons qui motivent les fabricants à robotiser, les problèmes éthiques qui peuvent se poser mais également les événements possibles conduisant à un rejet des RAP.

1.2. Élaboration des questionnaires

Concernant l'élaboration des questionnaires, nous nous sommes servis de la publication « *A Step-by-Step Guide to Developing Effective Questionnaires and Survey Procedures for Program Evaluation & Research* »¹⁰, un guide simple pour la construction de questionnaires. Nous avons étudié des questionnaires existants relatifs aux types de technologies desquelles nous devons élaborer des questionnaires d'acceptabilité. Ces questionnaires correspondent à ceux présents dans l'article « *A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in*

7 BENMESSAOUD C., KHARRAZI H., MACDORMAN K. F. 2011. Facilitators and Barriers to Adopting Robotic-Assisted Surgery: Contextualizing the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *PLOS ONE*. Volume 6, Issue 1.

8 HEERINK M., KRÖSE B., EVERS V., WIELINGA B. 2009. Measuring acceptance of an assistive social robot: a suggested toolkit. *Robot and Human Interactive Communication*.

9 INRS. 2015. *RAP 2030 - Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France* [rapport].

10 DIEM K.G. 2004. *A Step-by-Step Guide to Developing Effective Questionnaires and Survey Procedures for Program Evaluation & Research*. *Rutgers Cooperative Research & Extension*.

repetitive efforts »¹¹ contenant un court questionnaire mesurant le ressenti de personnes qui viennent d'utiliser des capteurs de mouvements portés, ainsi que dans la thèse « *Industrial Robot Acceptance: Effects of WorkForce Demographics and Establishing a Culture of Acceptance within Manufacturing Industry* »¹² contenant un questionnaire sur l'opinion et l'attitude envers les robots industriels.

Toujours concernant l'élaboration des questionnaires, nous avons mis en place ce que l'on appelle des *focus groups*. Un *focus group* consiste en un groupe de discussion constitué de personnes spécifiques et a pour but de déterminer l'attitude que ces personnes portent à l'égard d'un concept, un produit ou un service. Cela permet donc d'aider à comprendre la représentation qu'un groupe culturel, sociétal ou idéologique a d'un concept, et de mettre en évidence certains points de vue et compréhensions ou incompréhensions à propos de celui-ci. Pour l'élaboration de ces *focus groups*, nous avons étudié un document, « *Guidelines for Conducting a Focus Group* »¹³, listant les différentes étapes pour la réalisation de *focus groups*, de sa conception à son analyse en passant par les bonnes pratiques pour mener à bien l'entretien. Au cours de ces *focus groups*, nous avons traité des trois technologies, une par une et de la façon suivante :

- Demande aux participants ce que le nom de la technologie évoque pour eux ;
- Présentation de la technologie à travers une vidéo ;
- Demande aux participants les utilisations qu'ils en imaginent, ainsi que les avantages et les inconvénients.

Les informations qui ressortent de l'analyse d'un *focus group* permettent alors d'avoir un avis préalable de différents thèmes pour un groupe restreint de personnes, permettant ainsi d'adapter un questionnaire aux connaissances générales de la population.

1.3. Analyse et évaluation

Ensuite, pour l'analyse de cohérence du questionnaire et sa validation, nous avons besoin

11 PEPPOLONI L., FILIPPESCHI A., RUFFALDI E., AVIZZANO C.A. 2015. (WMSDs issue) A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Volume 52.

12 HENDERSON M.M. 2015. *Industrial Robot Acceptance: Effects of Workforce Demographics and Establishing a Culture of Acceptance within Manufacturing Industry*. Thèse de Master. Gestion en Ingénierie. Université de Caroline du sud.

13 ELIOT & ASSOCIATES. 2005. *Guidelines for Conducting a Focus Group*.

d'un échantillon d'une centaine de réponses. Nous avons alors retranscrit le questionnaire sous la forme d'un *Google Form*¹⁴ avant de l'envoyer :

- À certaines équipes travaillant au Loria/Inria de Nancy ;
- Aux étudiants de notre promotion, en 1ère année de la formation de master Sciences de la Cognition et Applications ;
- Via la liste de diffusion *expression-libre* de l'Université de Lorraine.

Pour finir, les logiciels R et LISREL ont été utilisés pour l'analyse statistique qui a été réalisée par différents tests et calculs :

- Estimation de la fidélité du questionnaire par :
 - La méthode de la consistance interne via le calcul du *coefficient alpha de Cronbach* ;
 - La méthode *test-retest*, calculant la corrélation entre les différentes réponses d'une même personne ;
 - Le calcul de la moyenne des *corrélations inter-item* pour chaque concept du modèle.
- Estimation de la plausibilité du modèle par :
 - La création de *modèles d'équations structurales*, permettant d'estimer les relations entre des variables latentes, les concepts mesurés, et des variables manifestes, les réponses aux questions ;
 - Une *analyse factorielle exploratoire*, permettant de savoir si les facteurs expliquant réellement les réponses correspondent à ceux du modèle d'acceptabilité conçu.
- *Regroupement hiérarchique*, dans le but d'identifier des groupes-types de personnes en fonction de leurs réponses.

2. Étapes de réalisation

Le projet tutoré débuta pour nous le 25 novembre 2016 suite au premier rendez-vous que nous avons eu avec Mme Ivaldi pour nous présenter le projet, son cadre, ainsi que le travail que nous aurions à faire.

¹⁴ *Google Form* est un outils conçu par Google pour créer des questionnaires en ligne facilement partageable et dont les données sont facilement collectables.

La première étape a consisté à nous documenter sur les aspects qui concernent le projet afin de mieux le comprendre, et notamment :

- Les problèmes ergonomiques dans les industries et emplois nécessitant une activité physique (le port de charges par exemple) pouvant entraîner des troubles musculo-squelettiques ;
- La technologie que représentent les robots au sein de notre société.

La seconde étape, toujours liée à la recherche documentaire, a été d'étudier les modèles théoriques existants en matière de robotique et d'études d'acceptabilité pour concevoir notre propre modèle d'acceptabilité adapté spécifiquement aux technologies dont nous traitons.

Dans une troisième étape, nous avons dû nous documenter sur l'élaboration de questionnaires afin de créer une première version de trois questionnaires, chacun d'entre eux correspondant à l'une des technologies dont nous souhaitons étudier l'acceptabilité. Pour réaliser ces questionnaires, nous avons chacun cherché un ensemble de questions permettant d'évaluer les différents concepts du modèle d'acceptabilité, indépendamment les uns des autres. Nous avons ensuite rassemblé toutes ces questions pour en sélectionner les plus adéquates avant de s'assurer d'une formulation simple et précise.

Cette première version de chaque questionnaire était nécessaire pour une réunion de projet qui a pris place le 19 janvier 2017 en Italie, à laquelle Mme Ivaldi et M. Malaisé ont assistés. Cette réunion a eu pour but, d'une part, le lancement du projet AnDy avec la rencontre de tous les partenaires, et d'autre part, de rencontrer les entreprises qui pourraient accepter de faire partie de ce que l'on appelle l'*End User Advisory Board*. Il s'agit d'entreprises acceptant d'aider au développement du projet en fournissant des données (par le biais d'entretiens ou la fourniture de rapports par exemple), en contrepartie d'avantages sur l'utilisation des futures technologies liées au projet. Ainsi, de nombreuses entreprises automobiles telles que Audi, Volkswagen ou Renault étaient présentes, mais également d'autres entreprises d'ingénierie comme Airbus et Thyssenkrupp.

Suite à cela, une visite à l'INRS de Vandœuvre-lès-Nancy nous a permis d'en apprendre plus sur les différentes recherches en biomécanique du mouvements et au développement actuel des exosquelettes et des robots collaboratifs.

La quatrième étape a été de nous renseigner sur la mise en place et le bon déroulement d'un *focus group*, pour ensuite en réaliser un premier le 22 février 2017, au sein d'Inria, avec des personnes dites concernées indirectement par les technologies étudiées. Ce groupe de discussion était constitué de six personnes provenant de milieux professionnels différents, en plus des quatre personnes travaillant continuellement sur le projet (Mme Ivaldi, M. Malaisé et nous-mêmes). Mme Ivaldi et M. Malaisé ont eu pour but de diriger et mener l'entretien tandis que nous avons à retranscrire l'intégralité de ce qui était dit, ainsi que le ressenti a priori que l'on pouvait attribuer aux participants lorsqu'ils s'exprimaient.

Dans l'étape suivante, nous avons fusionné nos prises de notes concernant ce *focus group*, puis listé une par une chaque phrase énoncée par les participants. Nous avons associé chacun de ces éléments à une valence, à des catégories de réponses ainsi qu'aux critères du modèle d'acceptabilité conçu. Suite à cela, nous avons analysé toute la partie concernant les capteurs d'ergonomie pour en adapter le questionnaire associé via les informations que nous avons pu tirer de cet entretien.

La dernière étape a été l'évaluation du questionnaire et son analyse à travers l'écriture de scripts d'analyses statistiques, lesquels nous avons exécutés après avoir obtenu un nombre suffisant de réponses, pour enfin étudier la fiabilité de notre questionnaire vis-à-vis de notre modèle.

3. Difficultés et contraintes

Lors de ce projet, nous avons dû faire face à plusieurs difficultés et contraintes, la première étant celle du temps.

3.1. Le temps

En effet, étant donné la charge de travail et le temps nécessaires à la construction d'un questionnaire et à l'analyse d'un *focus group*, nous avons dû nous concentrer sur une unique technologie parmi les trois que nous avons à étudier. Une fois la première version de chaque questionnaire réalisée et le premier *focus group* effectué, nous nous sommes ensuite concentrés sur la technologie des capteurs d'ergonomie. Ce choix a été fait car il s'agit de la première technologie nécessaire au développement du projet AnDy (cf. « Cadre du projet » p. 6). Seul le questionnaire relatif à cette technologie a donc été revu.

De la même manière, nous n'avons pu mettre en place qu'un unique *focus group* malgré le fait que nous aurions aimé pouvoir mener ce type d'entretien à plusieurs reprises. Ainsi, les possibilités de mettre en place des *focus groups* avec des employés de l'usine PSA à Tréméry (57 300 Moselle) ou encore de Thyssenkrup à Florange (57 190 Moselle) ont été envisagées. Cependant, les démarches et l'organisation étant périlleuse, seul un *focus group* dans l'entreprise Thyssenkrup a réussi à être organisé, et se fera le 1^{er} juin, c'est-à-dire à la toute fin théorique de notre investissement dans le projet.

3.2. L'interprétabilité des résultats

La seconde difficulté concerne l'interprétabilité des résultats. En effet, pour pouvoir faire une analyse fiable de notre questionnaire, nous avons besoin d'une centaine de réponses. Il a donc fallu trouver et attendre qu'autant de personnes y répondent pour avoir des résultats significatifs.

Ensuite, parmi les scripts écrits avec le logiciel LISREL pour évaluer l'analyse de cohérence du questionnaire et son adéquation au modèle, certains n'étaient pas exécutables par la version que nous possédions du logiciel. En effet, la version étudiante permet seulement d'évaluer des modèles d'équations structurales avec un faible nombre de variables, or pour un questionnaire, chaque question correspond à une variable. L'analyse a alors dû être décomposée en plusieurs parties et le nombre de scripts a dû être multiplié.

3.3. L'équipe-projet

Pour finir, la dernière contrainte consiste en l'équipe formée pour le projet elle-même. Avoir dans l'équipe une personne spécialisée dans la psychologie voire dans les statistiques aurait été d'une grande utilité (bien que nous ayons tous des compétences dans ces domaines), les quatre membres de l'équipe ayant des compétences majoritairement axées autour du domaine de l'informatique :

- Mme Ivaldi, informaticienne et roboticienne ;
- M. Malaisé, ayant effectué un master en Informatique avant de faire une unique année en master Sciences Cognitives ;
- Nous deux, Gauthier Magnin et Baptiste Mounier, ayant effectué un DUT Informatique avant d'entrer dans la filière des Sciences Cognitives.

Projet Tutoré – Master Sciences de la Cognition et Applications

Heureusement, Mme Ivaldi et M. Malaisé avaient déjà réalisé ce type de projet auparavant, notamment lors du stage de M. Malaisé l'an passé, duquel Mme Ivaldi était l'encadrante. Celui-ci était en partie similaire, et consistait en l'étude de l'évaluation de l'acceptabilité d'un robot prenant des décisions avec et/ou pour un homme (mesures, protocole, expériences, interprétations des données).

De plus, deux personnes extérieures au projet ont su répondre à nos questions quand nous en avons eu besoin : Mme Sophie Nertomb et M. Jean-Luc Kop, psychologues.

III. Résultats

1. Travail réalisé et livrables

1.1. Modèle d'acceptabilité

Le premier travail ayant été de concevoir un modèle d'acceptabilité, voici celui auquel nous avons abouti :

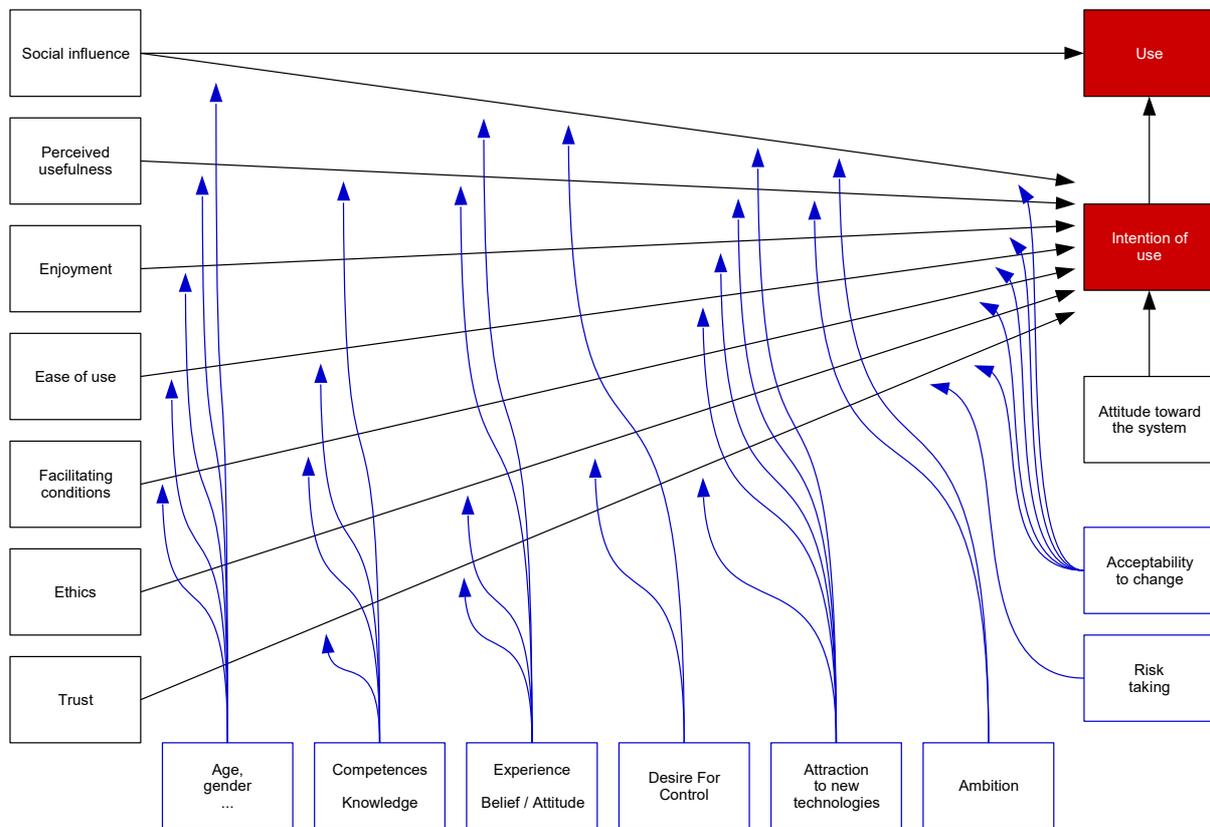


Illustration 3 : Modèle d'acceptabilité relatif aux trois technologies que sont les capteurs d'ergonomie, les exosquelettes et les robots collaboratifs.

En noir correspondent les concepts devant être étudiés par les questionnaires créés, c'est-à-dire les critères d'acceptabilité.

En bleu correspondent des poids qui influencent ces critères.

En rouge correspondent les éléments centraux qui dépendent de l'acceptabilité, à savoir, l'intention d'utilisation et l'utilisation effective d'une technologie.

Ce modèle est principalement inspiré des deux modèles UTAUT (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*) et TAM 3 (*Technology Acceptance Model*), dont les références ont été citées dans la partie « Moyens utilisés, Conception du modèle d'acceptabilité » p. 11.

1.2. Questionnaires et focus group

Une première version des trois questionnaires, que vous pouvez trouver en Annexe I p. 31 a ensuite été réalisée. Ces questionnaires sont composés chacun d'une quarantaine de questions, évaluant neuf concepts du modèle qui sont les suivants :

- L'influence sociale ;
- L'utilité perçue ;
- L'amusement, ou le plaisir ;
- La facilité d'utilisation ;
- Les conditions de facilitation, c'est-à-dire les outils mis à disposition pour aider l'apprentissage et l'utilisation ;
- L'aspect éthique qu'entraînent les technologies ;
- La confiance envers ces technologies ;
- L'attitude envers le système ;
- L'intention d'utilisation.

Pour chaque questionnaire, chacun de ces concepts est évalué par un minimum de quatre questions relatant différents aspects du concept. La réponse à chaque question correspond à une valeur dans une échelle allant de 1 (Pas du tout d'accord) à 7 (Fortement d'accord).

Le *focus group* qui a suivi l'élaboration de ces questionnaires et son analyse (cf. Annexe II p. 34) a permis de réaliser une deuxième version du questionnaire portant sur les capteurs d'ergonomie (cf. Annexe III p. 35) mais également d'avoir les informations nécessaires pour la réalisation de deuxièmes versions concernant les deux autres questionnaires. Le *Google Form* ensuite créé présente alors rapidement ce que sont des capteurs d'ergonomie via un texte d'introduction, des images et une courte vidéo, avant de proposer le questionnaire en lui-même et de terminer sur une phase de quelques questions plus générales ainsi que la possibilité d'ajouter librement commentaires et suggestions.

1.3. Scripts et analyse

Les réponses obtenues à propos de ce nouveau questionnaire ont permis de réaliser les différentes analyses statistiques de celui-ci. Les différents scripts écrits avec le logiciel R permettent les éléments suivants :

- L'application d'un nouveau format aux données, différent de celui obtenu par l'exportation des réponses du *Google Form*, pour faciliter leur analyse ;
- Le calcul de descriptions statistiques classiques (moyenne, écart-type, etc.) pour chacun des concepts étudiés par le questionnaire ;
- L'obtention des scores totaux pour chaque répondant, concernant les différents concepts ;
- L'obtention de matrices de corrélations et de covariances entre l'ensemble des questions, et d'autres entre l'ensemble des concepts ;
- Des analyses de cohérence du questionnaire via différents indicateurs :
 - Un calcul du coefficient alpha de Cronbach pour chaque concept ;
 - Un calcul des moyennes des corrélations inter-item pour chaque concept ;
 - Un calcul des corrélations test-retest.
- Une analyse exploratoire des données via une analyse factorielle et un regroupement hiérarchique.

Ces scripts fournissent des résultats en créant des tableaux enregistrés dans différents fichiers. De plus, ces scripts sont généralisés dans la mesure où ils pourront être appliqués sur les réponses des différents questionnaires de manière indépendante sans les modifier.

Les différents scripts écrits avec le logiciel LISREL permettent, via les modèles d'équations structurales :

- Une étude complémentaire de la cohérence du questionnaire ;
- Une étude de la plausibilité du modèle d'acceptabilité conçu.

Concernant les résultats de toutes ces analyses, une partie des tableaux générés par les scripts est présentée en Annexe IV p. 36. De même, une partie des indicateurs fournis par LISREL est présentée en Annexe V p. 37.

Il ressort de ces analyses que notre questionnaire n'est pas cohérent dans ce qu'il mesure, c'est-à-dire qu'il est non satisfaisant par rapport à ce qu'il est censé mesurer. Le problème est que les questions ne correspondent pas forcément uniquement aux concepts auxquels nous les avons associés mais peuvent dépendre de plusieurs facteurs à la fois, c'est-à-dire de plusieurs concepts. Il faut en effet que les items soient « purs » et ne correspondent qu'à un seul facteur pour que le modèle puisse être vérifié par ce questionnaire.

Partant de cette conclusion, deux choix pour la continuité du projet sont possibles :

- Faire une analyse conceptuelle des questions afin de rechercher pourquoi il est possible de répondre d'une façon ou d'une autre à une question. Ceci permettant de connaître les réelles influences et de comparer le modèle dont rend compte notre questionnaire à celui que l'on veut réellement représenter. Il s'agit donc là d'un travail de désambiguïsation ayant pour but de reconstruire le questionnaire qui devra ensuite être à son tour administré et les réponses obtenues, analysées à nouveau.
- Effectuer l'opération inverse et faire une analyse factorielle exploratoire à partir du questionnaire existant pour chercher à inférer un modèle.

Étant donné le temps restant pour nous de finir le projet et celui qu'il faut pour établir un questionnaire et l'administrer à un échantillon suffisamment grand pour en analyser les réponses, nous avons dû choisir la deuxième solution. Nous sommes alors passé d'une approche dite « top-down » à une approche dite « bottom-up », c'est-à-dire passer d'une approche conceptuelle dans laquelle on crée un modèle en explicitant et argumentant les choix, à une approche mathématique inférant un modèle à partir de données.

L'analyse factorielle ainsi que le regroupement hiérarchique effectués, dont certains résultats sont présentés en Annexe VI p. 39, n'ont cependant pas permis d'identifier un modèle permettant d'expliquer les réponses obtenues au questionnaire étant donné le nombre trop important de facteurs nécessaires à celles-ci.

1.4. Livrables

En résumé, les livrables que nous pouvons fournir sont :

- Une modélisation de l'acceptabilité quant aux trois technologies que nous avons étudié, c'est-à-dire, des capteurs d'ergonomie, des exosquelettes et des robots collaboratifs ;
- Un compte-rendu du *focus group* effectué et de son analyse ;
- Les trois questionnaires que nous avons construits, relativement aux trois technologies étudiées ;
- Les scripts créés avec les logiciels R et LISREL, pour l'analyse des questionnaires ;
- Un compte-rendu des résultats des analyses du questionnaire relatif aux capteurs d'ergonomie.

2. Poursuite du projet

Le projet n'est à ce jour pas terminé. En effet, seul l'un des trois questionnaires a été analysé et les résultats obtenus ne sont pas très concluants.

Il convient donc de :

- Revoir le questionnaire relatif aux capteurs d'ergonomie et/ou le modèle d'acceptabilité, cela en fonction des résultats obtenus et du résultat attendu ;
- Faire à nouveau un ou plusieurs *focus groups*, notamment avec des ouvriers, de manière à avoir le point de vue des membres de la population directement concernée par les technologies étudiées ;
- Analyser ce ou ces *focus groups* afin d'adapter les différents questionnaires aux informations ressorties ;
- Administrer ces questionnaires à un échantillon de test d'une centaine de personnes ;
- Analyser les réponses aux questionnaires pour en étudier la validité ;
- Selon les résultats de l'analyse :
 - Soit, revoir les questionnaires et le modèle ;
 - Soit, administrer les questionnaires à un plus large échantillon de la population française afin de finaliser l'étude d'acceptabilité de ces technologies.

Projet Tutoré – Master Sciences de la Cognition et Applications

Quoiqu'il en soit, nous participerons au second *focus group*, organisé au sein de l'entreprise *ThyssenKrupp* à Florange le 1^{er} juin. Cependant, puisqu'il a lieu le lendemain de la date de rendu de ce rapport, les retours que nous pouvons faire ne sont pas mentionnés dans celui-ci mais le seront dans les autres documents à rendre pour clôturer ce projet tutoré, à savoir une fiche de synthèse, un poster et une présentation soutenue.

Conclusion

Ce fut très intéressant de travailler ce projet tutoré dans la mesure où il vise le bien-être de l'humain via l'évolution de la technologie. De plus, travailler au sein d'une équipe de chercheur a permis de s'initier dans une certaine mesure au monde de la recherche.

Cette expérience a permis de mettre en œuvre des connaissances acquises principalement dans des cours de *Statistiques* et de *Psychologie* concernant l'élaboration et l'analyse de questionnaires, ainsi que l'utilisation des logiciels de statistiques R et LISREL. Les cours *Outils informatiques pour les statistiques* et *Analyse de données* enseignés par MM. Barrandon et Dozzi, ainsi que les cours *Psychophysique et psychométrie* et *Introduction aux modèles d'équations structurales* enseignés par M. Kop nous ont en ce sens été très utiles. Il n'y a par ailleurs pas eu d'élément qui nous a particulièrement manqué dans notre formation universitaire pour mener à bien ce projet, si ce n'est quelques détails que l'on apprend en pratiquant.

Nous trouvons cependant que travailler sur un projet conséquent est plus intéressant dans le cadre d'un stage que dans le cadre d'un projet tutoré. En effet, un stage permet de se concentrer sur un seul projet sans être perturbé par des cours, des examens ou d'autres projets, permettant ainsi une avancée plus rapide et une meilleure productivité. Ainsi, malgré plus d'une centaine d'heures de travail par personne apportées à la réalisation de ce projet tutoré, nous n'avons pas pu amener celui-ci à terme.

Bibliographie

ANDY. 2017. *Advancing Anticipatory Behaviors in Dyadic Human-Robot Collaboration* [en ligne]. Disponible sur : www.andy-project.eu

BENMESSAOUD C., KHARRAZI H., MACDORMAN K. F. 2011. Facilitators and Barriers to Adopting Robotic-Assisted Surgery: Contextualizing the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *PLOS ONE*. Volume 6, Issue 1.

INRS. 2015. *RAP 2030 - Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France* [rapport].

DIEM K.G. 2004. *A Step-by-Step Guide to Developing Effective Questionnaires and Survey Procedures for Program Evaluation & Research*. Rutgers Cooperative Research & Extension.

ELIOT & ASSOCIATES. 2005. *Guidelines for Conducting a Focus Group*.

GIGUERE D., MARCHAND D.. 2002. *Lombalgies et accidents musculosquelettiques chez les pompiers : Identification et analyse des situations à risque lors de l'accès aux véhicules et de la manutention d'outils* [rapport].

HEERINK M., KRÖSE B., EVERS V., WIELINGA B. 2009. Measuring acceptance of an assistive social robot: a suggested toolkit. *Robot and Human Interactive Communication*.

HENDERSON M.M. 2015. *Industrial Robot Acceptance: Effects of Workforce Demographics and Establishing a Culture of Acceptance within Manufacturing Industry*. Thèse de Master. Gestion en Ingénierie. Université de Caroline du sud.

INRIA. 2017. *ANDY, un projet dédié à la robotique collaborative pour contribuer à l'avenir de l'Industrie européenne 4.0* [en ligne]. Disponible sur : www.inria.fr/actualite/mediacenter/andy-un-projet-dedie-a-la-robotique-collaborative

Projet Tutoré – Master Sciences de la Cognition et Applications

MAURICE P., 2015, *Virtual ergonomics for the design of collaborative robots*. Thèse de Doctorat. Robotique. Paris VI : Université Pierre et Marie Curie.

PEPPOLONI L., FILIPPESCHI A., RUFFALDI E., AVIZZANO C.A. 2015. (WMSDs issue) A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Volume 52.

Annexes

Table des annexes

Annexe I – Premières versions des trois questionnaires.....	31
Annexe II – Extrait de l’analyse du premier <i>focus group</i>	34
Annexe III – Questionnaire traitant des capteurs d’ergonomie.....	35
Annexe IV – Extrait des résultats de l’analyse de cohérence.....	36
Annexe V – Extrait des sorties fournies par les scripts LISREL.....	37
Annexe VI – Extrait des résultats du regroupement hiérarchique.....	39

Annexe I – Premières versions des trois questionnaires

Original order	Random order	Construct	Reverse	Question
1	23 PU			Des capteurs d'ergonomie qui m'alertent si j'effectue des gestes dangereux pour ma santé me seraient très utiles.
2	5 PU	R	R	Des capteurs d'ergonomie portés pendant le travail pour prévenir les accidents ne vont pas diminuer les accidents de travail.
3	1 PU	R	R	Utiliser des capteurs d'ergonomie serait plus une contrainte qu'une aide.
4	35 PU			Je pense que des capteurs d'ergonomie peuvent m'aider à augmenter mon efficacité au travail.
5	8 ET	R	R	Les employeurs ont le devoir de fournir des capteurs d'ergonomie si cela aide à prévenir les accidents sur le travail.
6	6 ET	R	R	Je pense que seulement l'humain peut juger si un geste au travail est correct.
7	24 ET			Mon poste de travail n'est pas menacé par l'introduction des capteurs d'ergonomie.
8	22 ET			Je ne pense pas que les données des capteurs d'ergonomie soient utilisées pour me surveiller.
9	17 ET	R	R	Je pense que si je portais ces capteurs d'ergonomie, on me demanderait d'être plus productif.
10	27 ET	R	R	Je pense que l'utilisation de ces capteurs d'ergonomie ne changera pas les attentes vis-à-vis de mon employeur.
11	3 ET	R	R	Je pense que les capteurs d'ergonomie seront utilisés pour d'autres buts que la prévention des accidents.
12	29 ET	R	R	Des capteurs d'ergonomie sont une technologie invasive de la vie privée.
13	39 EN			J'aurais plaisir à utiliser des capteurs d'ergonomie pour suivre mes mouvements pendant le travail et avoir un suivi de ma santé.
14	15 EN	R	R	Porter des capteurs d'ergonomie durant mon travail serait désagréable.
15	4 EN			Je serais plutôt dérangé(e) par le fait de porter des capteurs d'ergonomie lorsque je travaille.
16	16 EN			Le travail serait plus amusant avec des capteurs d'ergonomie.
17	19 TR			Si les capteurs d'ergonomie me signalent un mouvement ou une posture non ergonomique, je l'écouterais.
18	21 TR			J'ai confiance dans le fait que les capteurs d'ergonomie puissent m'indiquer si j'effectue mes mouvements de manière ergonomique et sécuritaire.
19	13 TR	R	R	Je doute que des capteurs d'ergonomie me préviennent des positions et mouvements mauvais pour ma santé physique.
20	7 TR			J'ai confiance qu'un tel système avec capteurs d'ergonomie puisse être capable de préserver ma santé.
21	30 SI			J'utiliserais des capteurs d'ergonomie si la majorité de mes collègues les utiliseraient aussi.
22	25 SI			Si j'avais des capteurs d'ergonomie qui suivent mes mouvements et préviennent quand je fais un mauvais geste, mes collègues seraient jaloux d'une telle technologie.
23	41 SI			Etre capable d'améliorer les gestes de travail par l'utilisation d'une nouvelle technologie tels que les capteurs d'ergonomie serait un atout pour ma carrière.
24	9 SI	R	R	Je pense que je serais mal perçu par mon employeur si je refusais d'utiliser ces capteurs d'ergonomie.
25	32 SI	R	R	Je refuserais d'utiliser des capteurs d'ergonomie même si des collègues en ont fait l'éloge.
26	40 PEOU	R	R	Je pense que les capteurs d'ergonomie pourraient me contraindre dans mes gestes.
27	42 PEOU			Je pense que pendant mon travail, je vais vite oublier que je porte des capteurs d'ergonomie.
28	20 PEOU			Je pense qu'il est facile d'utiliser le système de capteurs d'ergonomie.
29	11 PEOU			Je pense qu'utiliser les capteurs d'ergonomie ne demande pas d'efforts particuliers.
30	14 IU			Je suis prêt(e) à utiliser des capteurs d'ergonomie si cela peut améliorer ma qualité de vie au travail.
31	28 IU	R	R	Je n'accepterais pas d'utiliser des capteurs d'ergonomie pour suivre mes gestes, même pour la prévention des risques.
32	10 IU			J'aimerais utiliser des capteurs d'ergonomie pendant mon travail.
33	31 IU	R	R	Je ne suis pas prêt(e) à utiliser des capteurs d'ergonomie s'il y a une quelconque contrainte.
34	18 IU	R	R	Je suis réticent à l'idée d'utiliser des capteurs d'ergonomie qui vont suivre mes mouvements pendant le travail.
35	36 ATTS	R	R	Je n'apprécie pas les capteurs d'ergonomie.
36	33 ATTS			Je suis plutôt attiré(e) par les capteurs d'ergonomie.
37	26 ATTS	R	R	J'ai plutôt peur des capteurs d'ergonomie.
38	2 ATTS			Les capteurs d'ergonomie me semblent être une bonne idée.
39	38 FC			Avec une formation à l'usage de ces capteurs d'ergonomie, je n'aurais aucun problème à les utiliser.
40	12 FC	R	R	Je pense qu'il faut un long apprentissage pour utiliser les capteurs d'ergonomie.
41	34 FC			Je pense que l'on peut apprendre rapidement à utiliser des capteurs d'ergonomie.
42	37 FC	R	R	Je pense prendre du temps à me faire à l'utilisation de capteurs d'ergonomie.

Tableau 1 : Première version du questionnaire portant sur les capteurs d'ergonomie.

Original order	Random order	Construct	Reverse	Question
1	12	PU		Un exosquelette me serait utile pendant mes gestes au travail.
2	2	PU		Un exosquelette améliorerait mes conditions de travail.
3	29	PU	R	Je pense qu'utiliser un exosquelette serait contraignant et me ferait perdre du temps.
4	38	PU		Je pense que porter un exosquelette m'apporterait sécurité dans mes mouvements et actions.
5	17	ET		Les ouvriers ont le devoir d'utiliser des exosquelettes si cela aide à prévenir les accidents sur le travail.
6	31	ET		Les entreprises ont le devoir de fournir des exosquelettes si cela aide à prévenir les accidents du travail.
7	4	ET		Mon emploi n'est pas menacé par l'introduction des exosquelettes.
8	26	ET	R	Je pense que si je portais cet exosquelette, on me demanderait d'être plus productif.
9	5	ET	R	Je pense que je perdrais mon autonomie si j'utilisais un exosquelette.
10	7	EN		Le fait de pouvoir soulever des poids sans souci me ferait me sentir plus puissant.
11	36	EN	R	Je percevrais comme une obligation le fait de devoir utiliser un exosquelette au travail.
12	21	EN		J'éprouverais de la satisfaction à améliorer progressivement mes gestes grâce à l'exosquelette.
13	8	EN	R	Porter l'exosquelette durant mon travail serait désagréable.
14	11	TR		Je me sentirais en sécurité si je travaillais avec un exosquelette.
15	10	TR		Je ferais confiance à un système d'exosquelette pour corriger mes mouvements.
16	24	TR	R	Je ne pense pas qu'un exosquelette puisse m'aider à effectuer des mouvements de manière ergonomique et sécuritaire.
17	32	TR	R	Je ne me sentirais pas libre de mes mouvements si je portais l'exosquelette.
18	25	TR		J'ai confiance qu'un tel système puisse préserver ma santé.
19	14	SI		Mes proches préféreraient que j'utilise un exosquelette durant mon travail.
20	35	SI	R	Je pense que je serais mal perçu si j'utilisais un exosquelette.
21	30	SI		L'utilisation d'exosquelettes par d'autres équipes m'inciterait à les utiliser.
22	27	SI	R	Je refuse d'utiliser un exosquelette même si des collègues en font l'éloge.
23	39	SI		Utiliser un exosquelette serait un atout pour ma carrière.
24	18	PEOU	R	Je crains qu'un exosquelette puisse limiter ma liberté de mouvement.
25	23	PEOU	R	Un exosquelette me semble difficile à utiliser.
26	13	PEOU		Je pense qu'utiliser un exosquelette ne demande pas d'efforts particuliers.
27	33	PEOU		Je pense qu'il est plutôt facile de porter un exosquelette.
28	22	IU		Je suis prêt(e) à utiliser un exosquelette pour améliorer mes conditions de travail.
29	1	IU		J'aimerais travailler au quotidien avec des exosquelettes.
30	37	IU	R	Cela ne m'intéresserait pas d'utiliser des exosquelettes durant mon travail.
31	3	IU	R	Je ne suis pas prêt(e) à utiliser un exosquelette dans mon travail.
32	6	ATTS	R	Je n'apprécie pas cet exosquelette.
33	15	ATTS		L'exosquelette ne me fait pas peur.
34	19	ATTS	R	Je me sentirai mal à l'aise de devoir utiliser un exosquelette dans mon travail.
35	16	ATTS		Utiliser les exosquelettes dans mon travail serait une innovation technologique importante.
36	28	FC	R	Je pense qu'il faut un long apprentissage pour utiliser l'exosquelette.
37	34	FC		Je pense que l'on peut apprendre rapidement comment utiliser un exosquelette.
38	9	FC		Je pense qu'il est plutôt facile d'être formé(e) à utiliser un exosquelette.
39	20	FC		Avec une formation à l'usage de ces exosquelettes, je n'aurais aucun problème à les utiliser.

Tableau 2 : Première version du questionnaire portant sur les exosquelettes.

Original order	Random order	Construct	Reverse	Question
1	32	PU	R	Je ne vois pas d'utilités pour des robots collaboratifs dans mon travail.
2	22	PU		Un robot collaboratif pourrait m'aider à effectuer certaines opérations de manière plus efficace.
3	4	PU		Ce robot pourrait garantir ma sécurité.
4	15	PU	R	Je pense qu'utiliser un robot collaboratif serait contraignant et me ferait perdre du temps.
5	14	ET	R	Le robot collaboratif fait un travail qui devrait être fait par un homme et non par un robot.
6	18	ET		Mon emploi n'est pas menacé par l'introduction des robots collaboratifs.
7	28	ET	R	Je pense que je perdrais mon autonomie si j'utilisais un robot collaboratif.
8	33	ET		Je pense que l'utilisation de robots ne changera pas les attentes vis-à-vis de mon employeur.
9	37	EN		J'aurais plaisir à apprendre à utiliser un robot et devenir expert dans son utilisation.
10	5	EN	R	L'idée de devoir utiliser un robot collaboratif dans mon travail n'est pas stimulant.
11	11	EN		Travailler avec un robot collaboratif serait plus intéressant que ma façon actuelle de travailler.
12	16	EN	R	Je pense que je n'aimerais pas travailler avec un robot collaboratif.
13	26	TR	R	Le fait de devoir toucher le bras robot pour effectuer une opération me semble dangereux.
14	31	TR		J'aurais autant confiance en travaillant avec un robot collaboratif qu'avec un être humain.
15	35	TR	R	Je préfère travailler avec un être humain qu'avec un robot.
16	2	TR		Je suis prêt(e) à me fier à une technologie telle qu'un robot collaboratif dans le cadre de mon travail.
17	36	TR		J'ai confiance qu'un tel système puisse préserver ma santé.
18	27	TR	R	Un robot ne sera pas apte à me seconder dans ma tâche.
19	6	SI		Devenir opérateur spécialisé en robots collaboratifs serait un atout pour ma carrière.
20	12	SI	R	Je pense que je serais mal perçu si j'utilisais un robot collaboratif.
21	30	SI		L'utilisation de robots par d'autres équipes m'inciterait à les utiliser.
22	38	SI	R	Je refuse d'utiliser des robots collaboratifs même si des collègues en font l'éloge.
23	1	PEOU		Interagir avec un robot collaboratif serait facile pour moi.
24	7	PEOU	R	Le robot collaboratif semble difficile à utiliser.
25	10	PEOU		Je pense que travailler avec un robot collaboratif ne demande pas d'efforts particuliers.
26	24	PEOU	R	Je pense qu'il est plutôt compliqué de travailler avec un robot collaboratif.
27	9	IU		Je suis prêt(e) à utiliser un robot collaboratif pour améliorer mes conditions de travail.
28	19	IU		J'aimerais travailler au quotidien avec des robots collaboratifs.
29	21	IU	R	Cela ne m'intéresserait pas d'utiliser de tels robots durant mon travail.
30	23	IU	R	Je ne suis pas prêt(e) à utiliser un robot collaboratif dans mon travail.
31	13	ATTS		Les robots collaboratifs dans mon travail seraient une innovation technologique importante.
32	29	ATTS	R	Je n'apprécie pas ce robot collaboratif.
33	34	ATTS		Ce robot collaboratif ne me fait pas peur.
34	17	ATTS		Je suis plutôt attiré(e) par les robots collaboratifs.
35	8	FC		Avec une formation à l'usage de ces robots collaboratifs, je n'aurais aucun problème à les utiliser.
36	25	FC	R	Je pense qu'il faut un long apprentissage pour utiliser le robot.
37	3	FC		Je pense que l'on peut apprendre rapidement comment utiliser un robot collaboratif.
38	20	FC		Je pense qu'il est plutôt facile d'être formé(e) au travail en coopération avec un robot collaboratif.

Tableau 3 : Première version du questionnaire portant sur les robots collaboratifs.

Annexe II – Extrait de l’analyse du premier focus group

Groupe 1		22/02/17			
Category code	Valency	Participant ID	Responses		Details
Question 1			Quelles sont vos impressions sur la vidéo de présentation des capteurs portés ?		
Question 2			Quelles utilisations imagineriez-vous pour ces capteurs portés ? Avantages/inconvénients ?		
perceived usefulness	P	B	Travail préalable à la construction des exosquelettes (il faut connaître les mouvements pour en créer)		étude mt
			Avantage d'utiliser ces informations pour les exosquelettes		
perceived usefulness	P		Peut être décliné kinésithérapeute et tout domaine en rapport avec le soin du corps humain		médicale
perceived usefulness	P	E	Prévention des troubles musculo-squelettiques (postes plus à risque que d'autres)		ergonomie
perceived usefulness	P	D	Ergonomie : donner des conseils pour postures/positions		ergonomie
perceived usefulness	P	B	Pour les concepteurs d'amphi dans les fac (amphi actuels pas du tout confortable)		ergonomie
		C	Les ergonomes connaissent déjà tout ça / indications de la médecine du travail		
perceived usefulness	P		Voir quels points présentent un risque plus élevé sur le corps		étude mt
perceived usefulness	P		Voir les dommages des gestions/positions sur le corps		ergonomie
ease of use	P	D	Plus spécifique à la personne		
perceived usefulness	P		Apporte une expertise que n'a pas le responsable du service		ergonomie
perceived usefulness	P	A	Anticiper et prévenir des problèmes musculo-squelettiques		ergonomie
ease of use	P		Auto-correction venant de soi en retour grâce à l'information donnée par le capteur		
social influence	P		Pas de tiers ; pas de jugement d'un tiers		
perceived usefulness	P		Utile car souvent, on se fait mal parce qu'on ne sait pas quelle posture prendre		ergonomie
enjoyment	N	C	Si le capteur bip 20 fois dans la journée, je le jette		
perceived usefulness	P	E	Amélioration de performance pour certains sportifs		sport
perceived usefulness	P		Médical : information complémentaire pour faciliter une rééducation		médicale
ethics	N	F	Intrusion de la technologie dans la vie personnelle.		intrusif
ethics	N	B	Philosophique (prolongation de la vie) : dominer la santé, repousser les limites de la mort		human-augmentation
ethics	N		Pose des questions éthiques, religieuses, etc. (quand ton heure a sonné, faut y aller...)		human-augmentation
			Point de vue éthique, quels problèmes ?		
social influence	N	F	Question culturelle et sociale : on importe un modèle humain (il faut être jeune, gros/mince, etc.)		
ethics	P	D	Éviter de souffrir, continuer à vivre en nous aidant, apporter du bien-être		human-augmentation
ethics	N	A	Problème de la question du choix : si patron impose la combinaison pour ta santé, perte du libre arbitre		intrusif
ethics	N		On doit garder le contrôle quelques soient les personnes qui ont les données		data
ethics	N		Problème de surveillance : réprimander l'ouvrier qui a baissé les bras 2 secondes de trop alors qu'il avait une légère fatigue		surveillance
			Qui voit les données et qui les utilise		
ethics	N	F	Pas seulement la question du choix, question culturelle (modes, normes, etc.)		intrusif
			Autres utilisations et limites		
ethics		B	Doit rester personnelle		data
perceived usefulness	P		Si uniquement utilisé dans un but thérapeutique, pour soi, c'est bien		médicale
social influence	N		Si utilisé pour habiller des chaînes d'ouvriers ou d'élèves : dérive normative		
ethics	N		Au nom du « bien », on peut faire n'importe quoi (dictature, etc.)		abus
			Pour ou contre ?		
perceived usefulness	P	E	Pour : préventif, éduquer, expliquer		médicale
enjoyment	N		Contre : les systématiques		
ethics	N		Contre : « Remboursement non prise en charge pour votre accident car vous avez été éduqué à vos mouvements »		abus
ethics	N	F	Contre : non remboursement si mauvaise utilisation		abus
			Modalité d'usages/propriétaire/décision		
ethics		E	Médecin du travail, Personne qui est légitime : l'individu lui-même, Un responsable ergonomie, Une infirmière		data
			Des indicateurs, indices composites		
ethics			Pas en rapport direct avec la hiérarchie sinon c'est le patron		data
ethics		F	Qui garantit le secret médical		data
facilitating condition	P	D	Que le médecin puisse s'en rendre compte et dise qu'il faut aller voir un kinésithérapeute par exemple		
ethics			Données transmises à notre médecin		data
social influence		A	Médecin = tiers extérieur, aucun rapport avec la hiérarchie		
ethics	N		Si hiérarchie : patron et conflit d'intérêts		data
			Domaine de la santé = confidentialité la plus stricte (cette institution marche bien)		
			Outils que les entreprises devraient avoir à disposition		
facilitating condition		A	Sous réserve d'une prescription médicale		
perceived usefulness	P		Améliorer le poste de travail		
facilitating condition			Base de volontariat : cobayes pour ajuster le poste de travail		
		F	Il existe des infirmières d'entreprises obligatoires		
ethics	N	A	Doit être non continu sinon on traque l'employé		surveillance
facilitating condition			CHSCT : aménagement de travail ; expert mandaté		
social influence	N	B	Si l'entreprise met à disposition ce matériel, ceux qui ne vont pas utiliser ce système seront mal vus : pression induite		
social influence	N	A	Pression sociale		
social influence	N	B	Concurrence entre les différents salariés		
social influence	N		Très normatif malgré le couvert du bienfait et de la volonté		
perceived usefulness	P	A	Avoir mal, voir le médecin, se faire prescrire et analysé les résultats (comme un examen)		

Tableau 4 : Analyse de la partie relative aux capteurs d'ergonomie du premier focus group.

Annexe III – Questionnaire traitant des capteurs d’ergonomie

Original order	Random order	Construct	Reverse	Question
9	1	ET	R	Des capteurs d'ergonomie sont une technologie invasive de la vie privée.
25	2	ATTS	R	J'ai plutôt peur de ce qu'implique les capteurs d'ergonomie.
21	3	IU		Je suis prêt(e) à utiliser des capteurs d'ergonomie si cela peut améliorer ma qualité de vie au travail.
10	4	EN		Il serait plaisant d'utiliser des capteurs d'ergonomie pendant le travail.
12	5	EN		J'apprécierais un retour d'information concernant mes postures et mouvements.
26	6	ATTS		Les capteurs d'ergonomie me semblent être une bonne idée.
20	7	PEOU		Je pense qu'utiliser les capteurs d'ergonomie ne demande pas d'efforts particuliers.
24	8	IU	R	Je suis réticent à l'idée d'utiliser des capteurs d'ergonomie qui vont suivre les mouvements.
22	9	IU		J'aimerais utiliser des capteurs d'ergonomie pendant le travail.
14	10	TR	R	Je doute que des capteurs d'ergonomie puissent prévenir des positions et mouvements mauvais pour la santé physique.
5	11	ET	R	Je pense que seul l'humain peut juger si un geste au travail est correct.
1	12	PU		Des capteurs d'ergonomie qui alertent si on effectue des gestes dangereux pour la santé seraient très utiles.
27	13	FC		Je pense que l'on peut apprendre rapidement à utiliser des capteurs d'ergonomie.
13	14	TR		Si les capteurs d'ergonomie me signalaient un mouvement ou une posture non ergonomique, je le prendrais en compte.
6	15	ET		L'introduction des capteurs d'ergonomie n'est pas une menace pour les postes de travail.
23	16	IU	R	Je ne suis pas prêt(e) à utiliser des capteurs d'ergonomie s'il y a une quelconque contrainte.
15	17	SI		J'utiliserais des capteurs d'ergonomie si la majorité de mes collègues les utilisaient aussi.
4	18	PU		Des capteurs d'ergonomie permettraient d'améliorer les gestes et postures au travail.
11	19	EN	R	Porter des capteurs d'ergonomie durant le travail serait désagréable.
2	20	PU	R	Des capteurs d'ergonomie portés ne vont pas diminuer les accidents du travail.
8	21	ET		Je pense que l'utilisation de ces capteurs d'ergonomie ne changera pas les attentes vis-à-vis des employeurs.
3	22	PU		Des capteurs d'ergonomie seraient utiles pour prévenir des postures douloureuses.
18	23	PEOU	R	Je pense que les capteurs d'ergonomie pourraient contraindre les gestes.
19	24	PEOU	R	Je pense qu'il est difficile d'utiliser le système de capteurs d'ergonomie.
28	25	FC	R	Je pense qu'apprendre à utiliser les capteurs prendrait du temps.
16	26	SI	R	Je serais mal perçu par mon employeur si je n'utilisais pas les capteurs d'ergonomie à ma disposition.
17	27	SI		J'utiliserais des capteurs d'ergonomie si mon médecin me le prescrivait.
7	28	ET		Je ne pense pas que les données des capteurs d'ergonomie soient utilisées pour surveiller les employés.

Tableau 5 : Deuxième version du questionnaire portant sur les capteurs d’ergonomie.

Le version « Google Form » du questionnaire est disponible à l’adresse suivante :

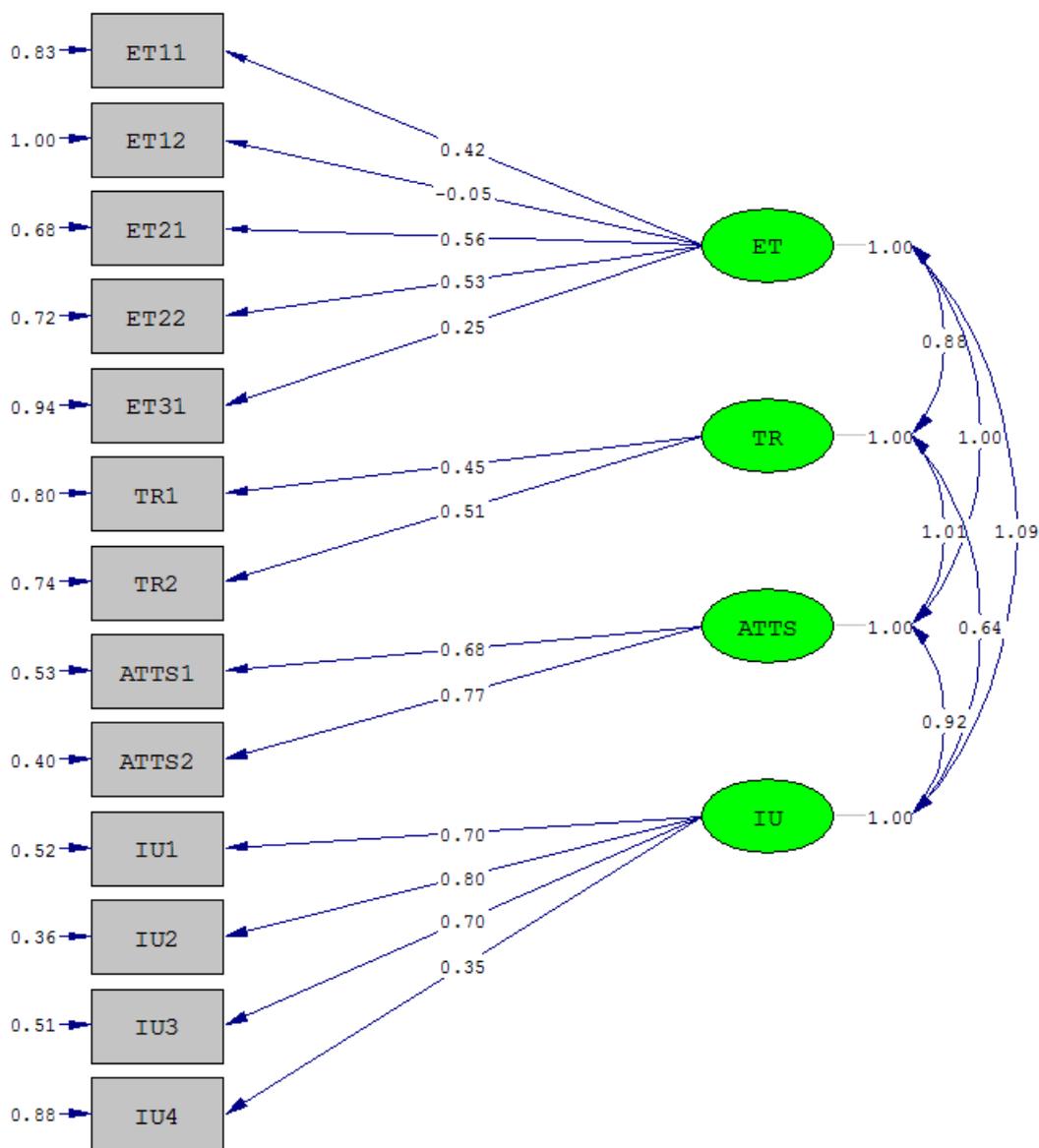
docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSceFlagyHiwJ495zVfQ7Vlc6Ty5aZ6ihdm791rqgZX2-Nbo1Q/viewform

Annexe IV – Extrait des résultats de l’analyse de cohérence

construct	alpha
ET1	0,180377
ET2	0,39493
TR	0,367645
ATTS	0,676797
IU	0,71889
EN	0,392839
PEOU	0,358926
PU	0,669267
FC	0,583522
SI	-0,16796

Tableau 6 : Liste des coefficients alpha de Cronbach calculés pour les groupes de questions relatifs aux différents concepts mesurés par celles-ci.

Annexe V – Extrait des sorties fournies par les scripts LISREL



Chi-Square=123.81, df=59, P-value=0.00000, RMSEA=0.109

Graphique 1 : Représentation graphique des relations entre les concepts « Ethique » (ET), « Confiance » (TR), « Attitude envers le système » (ATTS) et « Intention d'utilisation » (IU) et les questions qui y sont associées.

Projet Tutoré – Master Sciences de la Cognition et Applications

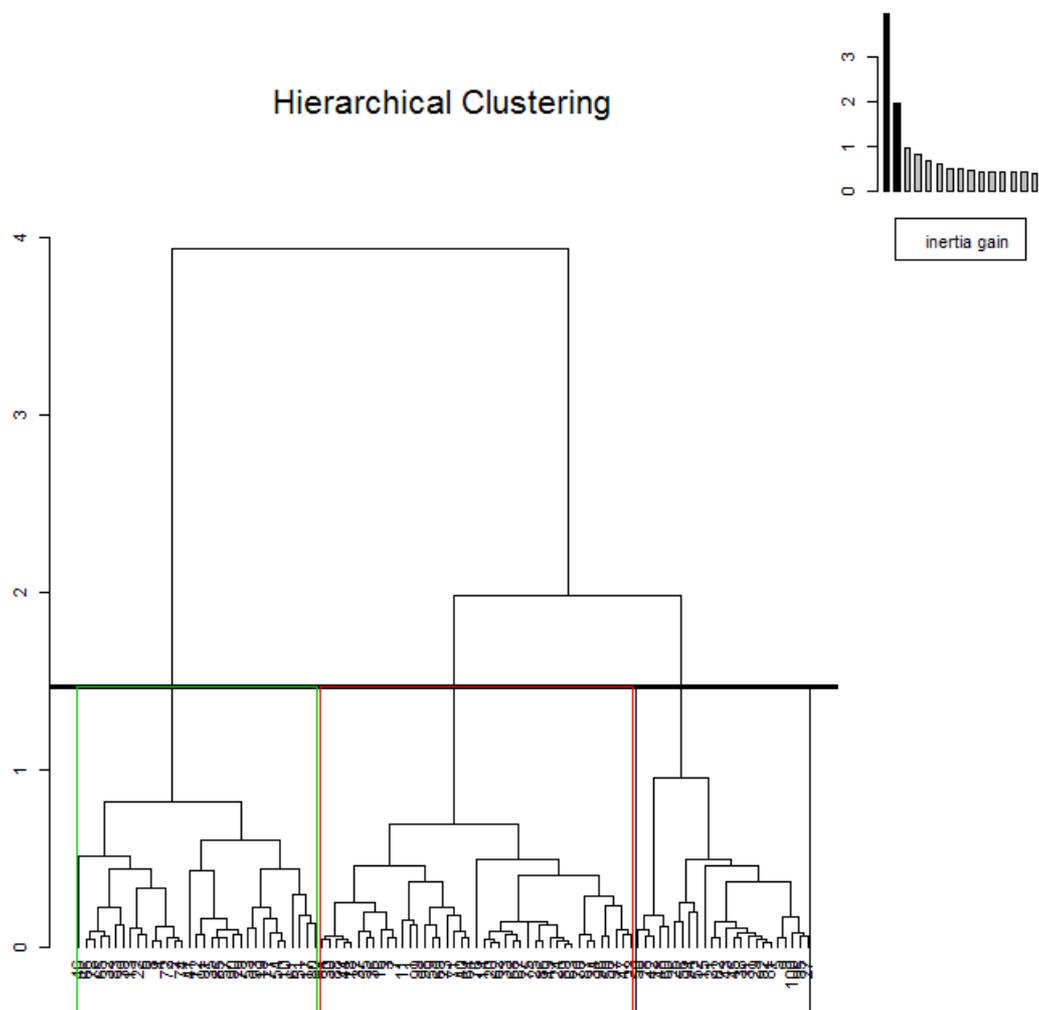
Goodness-of-Fit Statistics

Degrees of Freedom for (C1)-(C2)	59
Maximum Likelihood Ratio Chi-Square (C1)	123.812 (P = 0.0000)
Browne's (1984) ADF Chi-Square (C2_NT)	119.331 (P = 0.0000)
Estimated Non-centrality Parameter (NCP)	64.812
90 Percent Confidence Interval for NCP	(36.674 ; 100.709)
Minimum Fit Function Value	1.346
Population Discrepancy Function Value (F0)	0.704
90 Percent Confidence Interval for F0	(0.399 ; 1.095)
Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA)	0.109
90 Percent Confidence Interval for RMSEA	(0.0822 ; 0.136)
P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05)	0.000463
Expected Cross-Validation Index (ECVI)	2.041
90 Percent Confidence Interval for ECVI	(1.736 ; 2.432)
ECVI for Saturated Model	1.978
ECVI for Independence Model	4.831
Chi-Square for Independence Model (78 df)	418.472
Normed Fit Index (NFI)	0.704
Non-Normed Fit Index (NNFI)	0.748
Parsimony Normed Fit Index (PNFI)	0.533
Comparative Fit Index (CFI)	0.810
Incremental Fit Index (IFI)	0.820
Relative Fit Index (RFI)	0.609
Critical N (CN)	65.066
Root Mean Square Residual (RMR)	0.0853
Standardized RMR	0.0853
Goodness of Fit Index (GFI)	0.834
Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI)	0.743
Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI)	0.540

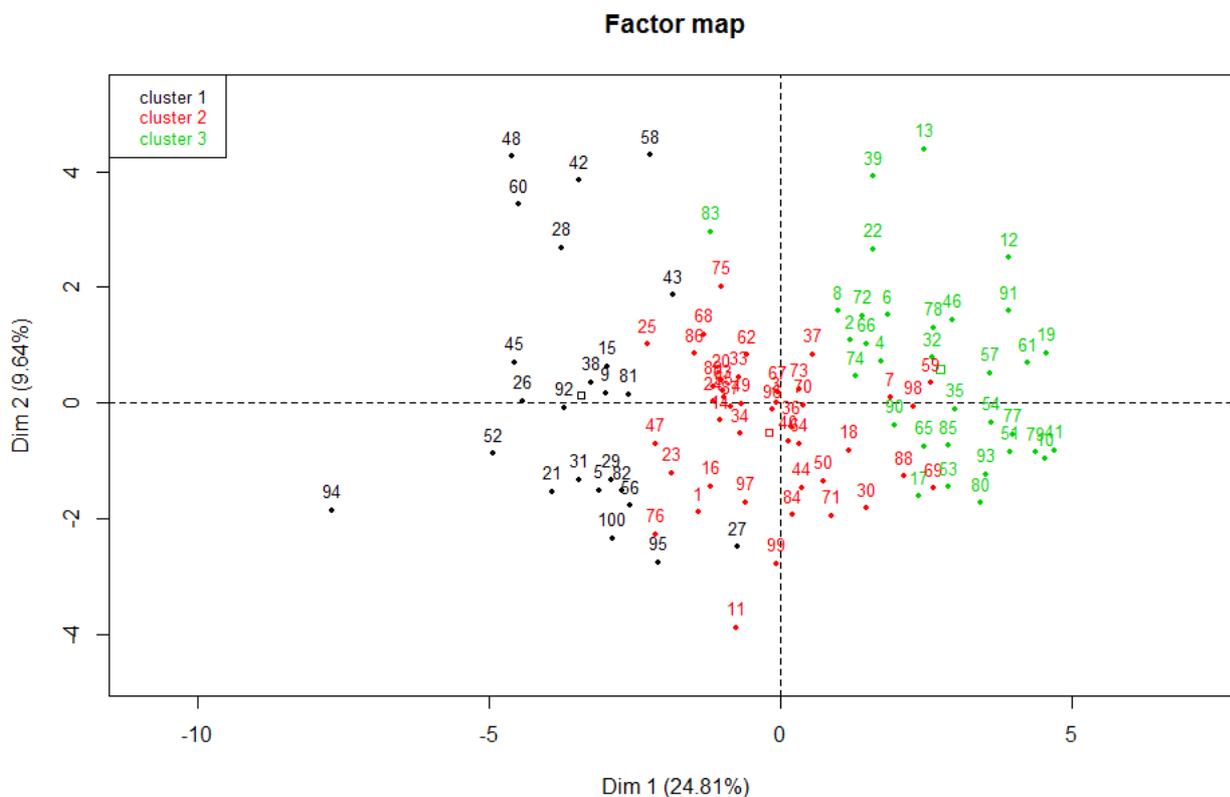
Modele d'acceptabilite - Questionnaire (Partie 1)

Texte 1 : Liste des indicateurs statistiques sur la plausibilité du modèle d'équation structurales précédent (Graphique 1).

Annexe VI – Extrait des résultats du regroupement hiérarchique



Graphique 2 : Dendrogramme représentant les répondants du questionnaire portant sur les capteurs d'ergonomie, regroupés en trois groupes ou clusters par la méthode du regroupement hiérarchique, aussi appelée « hierarchical clustering ».



Graphique 3 : Représentation des trois catégories de répondants obtenues par regroupement hiérarchique, selon deux dimensions correspondant aux facteurs les plus influents quant aux réponses.