



HAL
open science

Intérêt de la situation de collaboration capacitante pour une approche ergonomique des situations de travail industrielles intégrant des technologies émergentes

Nathan Compan

► To cite this version:

Nathan Compan. Intérêt de la situation de collaboration capacitante pour une approche ergonomique des situations de travail industrielles intégrant des technologies émergentes. Anthropologie biologique. Université Clermont Auvergne, 2022. Français. NNT : 2022UCFAL019 . tel-04016720

HAL Id: tel-04016720

<https://theses.hal.science/tel-04016720>

Submitted on 6 Mar 2023

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

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

Intérêt de la situation de collaboration capacitante pour une approche ergonomique des situations de travail industrielles intégrant des technologies émergentes

Thèse de l'Université Clermont Auvergne (UCA) – École doctorale LSHS

Thèse présentée par Nathan Compan

Le 08 décembre 2022

en vue de l'obtention d'un Doctorat

Sous la direction de :

Fabien Coutarel, laboratoire ACTé, Maître de conférence HDR en ergonomie

Daniel Brissaud, laboratoire G-SCOP, Professeur des Universités en génie industriel

Géraldine Rix-Lièvre, laboratoire ACTé, Professeure des Universités en anthropologie

Jury

Flore Barcellini, Professeure, CNAM	Rapporteuse
Christian Bastien, Professeur, Université de Lorraine	Rapporteur
Pierre Falzon, Professeur émérite, CNAM	Examinateur
Sandrine Caroly, Professeure, Université Grenoble Alpes	Examinatrice
Géraldine Rix-Lièvre, Professeure, Université Clermont Auvergne	Co-directrice
Daniel Brissaud, Professeur, Université Grenoble Alpes	Co-directeur
Fabien Coutarel, Maître de conférence HDR, Université Clermont Auvergne	Co-directeur

Invité

Frédéric Noel, Professeur, Université Grenoble Alpes

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier les membres du jury d'avoir accepté de donner de leur temps précieux afin d'examiner ce travail de recherche.

Je tiens également à remercier Fabien Coutarel, Daniel Brissaud et Géraldine Rix-Lièvre pour leur encadrement et leurs conseils tout au long de ce projet. Fabien, tu as été un appui de grande valeur, à la fois pertinent, compétent, disponible, compréhensif et patient. Il aurait été difficile d'avoir un meilleur encadrement autant sur le plan professionnel qu'humain. Daniel, je te remercie pour tes réflexions adéquates, ton franc-parler (salvateur) et ta vision disciplinaire indispensable. Géraldine, je te remercie également pour tes remarques avisées et éclairées.

À nos différents partenaires sur ce projet, j'adresse mes plus chaleureux remerciements. Je vous remercie pour votre soutien et votre confiance. Il s'agit, notamment, du laboratoire ACTé, d'I-SITE, du Ministère de l'Enseignement Supérieur, du laboratoire LAPSCO, de l'entreprise Michelin, du cabinet APHOS ergonomie, du laboratoire commun Facto-Lab, du laboratoire G-SCOP, du laboratoire PACTE et enfin de nos partenaires du projet ANR (Valérie, Frédéric, David, sans votre bonne humeur et votre bonne volonté ce travail aurait été nettement plus difficile).

Un travail de thèse est également fait de discussions et d'assistances informelles, ressources pour avancer dans son projet mais également pour la santé mentale du doctorant. Je tiens, dans ce cadre, à remercier Marie, Clément, Jérémy, Amélie et tous les membres de TAC. Vous m'avez tous, d'une manière ou d'une autre, aidé à des moments difficiles, par votre expertise et vos retours.

Ma famille a également été un moteur dans mon travail, merci de m'avoir écouté et aidé, merci de m'avoir relu et surtout, merci de m'avoir supporté. Marion, mon épouse, tu es indispensable à ma vie.

Enfin, tous mes remerciements ne suffiraient pas pour toi qui te reconnaîtras et qui m'a accompagné tout au long de ce projet et plus encore. Merci pour tout...

Glossaire des acronymes et abréviations

Les acronymes et abréviations sont listés par ordre d'apparition :

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication

RA : Réalité Augmentée

G-SCOP : laboratoire des Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production de Grenoble

ACTé : laboratoire Activité, Connaissance, Transmission, éducation

I SITE : Initiative Science-Innovation-Territoires-Économie

ANR : Agence Nationale de la Recherche

CNRTL : Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales

EDT : Espaces de Débat sur le Travail

FH : Facteur Humain

ECS : Situation de Collaboration Capacitante (ECS pour Enabling Collaborative Situation)

TAM : Technology Acceptance Model

UTAUT : Unified Theory of Acceptance and Use of Technology

EEG : ÉlectroEncéphaloGramme

SUS : System Usability Scale

ITIM : Information Technology Infrastructure Model

TMS : Troubles Musculo-Squelettiques

ISO : International Organization for Standardization

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

CCU : Conception Continué dans l'Usage

MMS : Marge de Manœuvre Situationnelle

HAS : Haute Autorité de Santé

ANACT-ARACT : Agence Nationale pour l'Amélioration des Conditions de Travail –
Agence Régionale pour l'Amélioration des Conditions de Travail

I3C : Interventions Capacitantes en Conduite du Changement

UX : Expérience Utilisateur (UX pour User eXperience)

EPR : Environnement et Prévention des Risques

NASA-TLX : NASA Task Load indeX

WDQ : Work Design Questionnaire (WDQ-F pour la version française)

IHM : Interface Homme-Machine

ROI : retour sur investissement (ROI pour Return On Investment)

ONF : Office National des Forêts

INP : Institut National Polytechnique

PACTE : Pacte, laboratoire de sciences sociales de Grenoble

UE : Unité d'Enseignement

APACT : Association pour la Prévention et l'Amélioration des Conditions de Travail

PME : Petites et Moyennes Entreprises

LOTO : opération de consignation (LOTO pour Lock Out Tag Out)

Sommaire

REMERCIEMENTS	1
GLOSSAIRE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS	2
SOMMAIRE	4
LISTE DES FIGURES	12
LISTE DES TABLEAUX	16
INTRODUCTION.....	17
1. Le travail comme opportunité	20
2. L’humain au centre de la conception des nouveaux postes de travail	23
3. Enjeux pour l’ergonomie de l’activité.....	24
4. Questionnements et structure de nos travaux.....	25
PARTIE I : DE L’ETUDE DU « FACTEUR HUMAIN » A LA CONCEPTION DE SITUATIONS DE COLLABORATION CAPACITANTES	27
CHAPITRE 1 : LE « FACTEUR HUMAIN » DANS LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE EN LIEN AVEC LES TECHNOLOGIES EMERGENTES ET LES COLLABORATIONS AVEC L’HUMAIN EN SITUATION DE TRAVAIL.....	28
1. Les dimensions cognitives et sociales de l’interaction individuelle humain- technologie	28
1.1. L’acceptabilité sociale, l’utilité et l’utilisabilité	28
1.2. La transparence opérative	32
1.3. La réflexivité individuelle et la prescription de tâches	33
1.4. La charge de travail (mentale et physique).....	34
2. La sécurité et l’intégrité des personnes	35
2.1. La sécurité.....	35
2.2. Les normes réglementaires	36
2.3. Les différentes formes de variabilités.....	37
3. Les dimensions expérientielles de la relation à la technologie	37
3.1. Affects, émotions et humeurs	38
3.2. Les aspects hédoniques de l’expérience utilisateur	38
3.3. L’acceptation située de la technologie.....	39

3.4 La sensibilité du sujet	40
3.5 La conception continuée dans l'usage et les genèses instrumentales	41
3.6 La marge de manœuvre et le pouvoir d'agir.....	42
4. Les dimensions collectives du travail avec la technologie.....	44
4.1. La régulation collective et les espaces débat-travail.....	45
4.2. Les partenaires d'entraide (« supportive coworkers »).....	45
4.3. Les facilitateurs.....	46
5. Synthèse de l'analyse centrée sur les technologies émergentes et les collaborations avec l'humain en situation de travail.....	46
CHAPITRE 2 : LES FONDEMENTS THEORIQUES DE LA SITUATION DE COLLABORATION	
CAPACITANTE (ECS)	51
1. Le déploiement des capacités d'action.....	51
2. Approche instrumentale et technologies émergentes	55
CHAPITRE 3 : CONCEPT ET COMPOSITION D'UNE SITUATION DE COLLABORATION	
CAPACITANTE (ECS)	59
1. Apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante et maintien de cet apprentissage	60
2. Accroissement des possibilités et des manières de faire.....	62
3. Ajustement des attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps	63
4. Intérêts théoriques de l'ECS.....	65
CHAPITRE 4 : UNE CONDUITE DU CHANGEMENT FAVORABLE A L'ECS	65
1. L'accompagnement au changement	66
2. La co-conception de la future situation de travail	67
3. L'évaluation précoce de l'utilité de la technologie émergente	68
SYNTHESE DE L'ECS ET DE LA CONDUITE DU CHANGEMENT ASSOCIEE	70
CHAPITRE 5 : OBJECTIFS DE LA THESE ET DIFFERENTES ETUDES	74
1. Objectif 1 et étude de cas multiples	74
2. Objectif 2 et étude expérimentale auprès de concepteurs	74
3. Objectif 3 et étude expérimentale auprès d'opérateurs	75
PARTIE II : CADRE METHODOLOGIQUE GENERAL	76
CHAPITRE 6 : COMPLEMENTARITE DE NOS DIFFERENTES ETUDES.....	76
1. Stratégie de recherche	76

2. Présentation de nos études	78
2.1. Étude de cas multiples (Étude 1)	78
2.2. Étude de l'activité et accompagnement de concepteurs (ingénieurs) à l'ECS (Étude 2).....	82
2.3 Étude de l'activité de sujets simulant une tâche dans une situation respectant, à différentes intensités, les critères de l'ECS (Étude 3)	83
3. Techniques de recueil de données et traitement associé	84
3.1. L'observation.....	84
3.2. L'entretien.....	85
3.3. Le questionnaire.....	87
4. Technologies émergentes étudiées	88
SYNTHESE DE LA PARTIE II (CADRE METHODOLOGIQUE GENERAL)	93
PARTIE III : ÉTUDE 1 : ETUDE DE LA CONCEPTION ET DE L'IMPLEMENTATION DE TECHNOLOGIES EMERGENTES DANS 3 ENTREPRISES	95
CHAPITRE 7 : L'ETUDE DE CAS MULTIPLES	95
CHAPITRE 8 : LES DIFFERENTS CAS DE L'ETUDE DE CAS MULTIPLES.....	98
1. Cas A, le cas de l'implémentation d'un cobot	99
1.1. Contexte.....	99
1.2. Organisation.....	101
1.3. Activité	102
1.3.1. Description de l'activité	102
1.3.2. Écart réel et prescrit.....	107
1.3.3. Schématisation du process de l'activité	108
1.4. Processus de l'implémentation technologique (conduite du changement)	109
1.5. Résultats de l'implémentation technologique.....	111
1.5.1. Résultats généraux de l'implémentation technologique.....	111
1.5.2. Comparaison croisée des résultats selon les différents acteurs ...	114
1.6. Résultats du point de vue de l'ECS	115
2. Cas B, le cas de l'implémentation de lunettes de réalité augmentée	118
2.1. Contexte.....	118
2.2. Organisation.....	121
2.3. Activité	122

2.3.1. Description de l'activité	122
2.3.2. Écart réel et prescrit.....	124
2.4. Processus de l'implémentation technologique (conduite du changement)	125
2.5. Résultats de l'implémentation technologique.....	127
2.5.1. Résultats généraux de l'implémentation technologique.....	127
2.5.2. Résultats du focus group	132
2.5.3. Résultats de la simulation de l'activité avec le dispositif RA.....	133
2.5.4. Comparaison croisée des résultats selon les différents acteurs ...	135
2.6. Résultats du point de vue de l'ECS	137
3. Cas C, le cas de l'implémentation d'un exosquelette.	140
3.1. Contexte.....	140
3.2. Organisation.....	143
3.3. Activité	143
3.3.1. Description de l'activité	143
3.3.2. Écart réel et prescrit.....	145
3.3.3. Schématisation du process de l'activité	145
3.3.4. Caractéristiques perçues du travail.....	146
3.4. Processus de l'implémentation technologique (conduite du changement)	146
3.5. Résultats de l'implémentation technologique.....	148
3.5.1. Résultats généraux de l'implémentation technologique.....	148
3.5.2. Résultats de l'évaluation de la vision des sylviculteurs envers l'exosquelette	153
3.5.3. Résultats de l'analyse des douleurs ressenties par les sylviculteurs	154
3.5.4. Résultats de la chronique d'activité	156
3.5.5. Résultats du questionnaire de charge de travail (NASA-TLX) ..	157
3.5.6. Résultats du questionnaire d'acceptabilité (TAM)	159
3.5.7. Comparaison croisée des résultats selon les différents acteurs ...	160
3.6. Résultats du point de vue de l'ECS	162
4. Synthèse des 3 cas sous l'angle de l'ECS	163
4.1. Critère 1 : apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante et maintien de cet apprentissage	163

4.2. Critère 2 : accroître les possibilités et les manières de faire.....	165
4.3. Critère 3 : ajuster les attributs du couple humain-technologie en fonction de l'évolution des situations dans le temps.....	166
5. Synthèse des 3 cas sous l'angle de la conduite du changement.....	169
SYNTHESE DE LA PARTIE III (ÉTUDE 1 : ETUDE DE LA CONCEPTION ET DE L'IMPLEMENTATION DE TECHNOLOGIES EMERGENTES DANS 3 ENTREPRISES)	170
PARTIE IV : ÉTUDE 2 : ETUDE DE L'ACTIVITE ET ACCOMPAGNEMENT DE CONCEPTEURS (INGENIEURS) DES FUTURES SITUATIONS DE TRAVAIL	176
CHAPITRE 9 : PRESENTATION DE L'ECS DANS LE CADRE D'UN ACCOMPAGNEMENT LONGITUDINAL (2EME ETUDE)	176
1. Études exploratoires	177
2. Accompagnement longitudinal des concepteurs (étude 2).....	181
2.1. Méthodologie et procédure	182
2.2. Résultats des groupes suivis	185
2.2.1. Critère 1 : apprendre une nouvelle manière de faire plus performante et maintenir cet apprentissage.....	185
2.2.2. Critère 2 : accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations de collaboration.....	188
2.2.3. Critère 3 : ajuster les attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps (dans la situation d'usage)	190
2.3. Synthèse des résultats des groupes suivis.....	195
2.4. Résultats des groupes « externes » et contextualisation de ces résultats .	198
2.5. Limites	204
SYNTHESE DE LA PARTIE IV (ÉTUDE 2 : ETUDE DE L'ACTIVITE ET ACCOMPAGNEMENT DE CONCEPTEURS (INGENIEURS) DES FUTURES SITUATIONS DE TRAVAIL)	205
PARTIE V : ÉTUDE 3 : ETUDE DE L'ACTIVITE SIMULEE D'OPERATEUR DE MAINTENANCE SELON L'INTENSITE DE L'ECS	208
CHAPITRE 10 : MESURE, DANS UN CADRE EXPERIMENTAL, DE LA PERCEPTION DES SUJETS SELON L'INTENSITE DE L'ECS	208
1. Méthodologie et procédure	208
1.1. Salle expérimentale.....	209
1.2. Mode opératoire.....	210
1.3. Variables étudiées	211

1.4. Procédure et conditions expérimentales	213
1.5. Traitement des données	217
2. Résultats	218
2.1. Représentativité et durée de l'étude.....	218
2.2. Contribution de la technologie (G1 vs G1' et G1 vs G1'')	219
2.3. Contributions de l'ECS (G1' vs G1'')	222
3. Limites.....	226
SYNTHESE DE LA PARTIE V (ÉTUDE 3 : ETUDE DE L'ACTIVITE SIMULEE D'OPERATEUR DE MAINTENANCE SELON L'INTENSITE DE L'ECS)	227
PARTIE VI : DISCUSSION CONCERNANT L'INTERET DE L'ECS.....	230
CHAPITRE 11 : RAPPORT ENTRE L'ECS, LES TECHNOLOGIES EMERGENTES ET LES FORMES D'INTERACTION ENTRE L'HUMAIN ET LA TECHNOLOGIE	232
1. Technologies émergentes et transversalité de l'ECS.	232
2. Impact de l'ECS sur les formes d'interaction humain-technologie émergente..	233
CHAPITRE 12 : L'ECS ET LA CONDUITE DU CHANGEMENT	242
1. Concernant le premier critère de l'ECS lié à l'apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante et au maintien de cet apprentissage.....	242
2. Concernant le second critère de l'ECS lié aux possibilités et manières de faire disponibles.....	243
3. Concernant le troisième critère de l'ECS lié à l'ajustement des attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps.	245
4. Concernant la conduite du changement favorable à l'ECS.....	247
CHAPITRE 13 : LIMITES, APPORTS ET PERSPECTIVES DE L'ECS	249
1. L'ECS s'évalue aussi en fonction des aspects collectifs et organisationnels et avec une situation de référence	249
2. Difficultés d'accès au terrain et conditions minimales d'évaluation de l'ECS..	250
3. L'ECS permet une évaluation fine de la situation et du projet, au-delà de la satisfaction.....	251
4. Modalités de transmission des critères de l'ECS.	253
4.1. Du point de vue des concepteurs	253
4.2. Du point de vue des opérateurs.....	257
4.3. Du point de vue des ergonomes.....	258
SYNTHESE DE LA PARTIE VI (DISCUSSION CONCERNANT L'INTERET DE L'ECS).....	259

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	265
BIBLIOGRAPHIE	268
ANNEXE 1 : GLOSSAIRE DU CAS A	284
ANNEXE 2 : GLOSSAIRE DU CAS B	285
ANNEXE 3 : GLOSSAIRE DU CAS C	286
ANNEXE 4 : FRISE CHRONOLOGIQUE DU CAS A.....	287
ANNEXE 5 : FRISE CHRONOLOGIQUE DU CAS B.....	288
ANNEXE 6 : FRISE CHRONOLOGIQUE DU CAS C.....	289
ANNEXE 7 : RESULTATS DU QUESTIONNAIRE SOCIODEMOGRAPHIQUE DE LA SECONDE ETUDE	290
ANNEXE 8 : QUESTIONNAIRE NASA-TLX.....	298
ANNEXE 9 : QUESTIONNAIRE TAM	300
ANNEXE 10 : QUESTIONNAIRE DES CARACTERISTIQUES PERÇUES DU TRAVAIL.....	303
ANNEXE 11 : QUESTIONNAIRE D’EVALUATION DES DOULEURS MUSCULO-SQUELETTIQUES AU TRAVAIL	306
ANNEXE 12 : EXEMPLE DE TRAITEMENT DES ANALYSES THEMATIQUES	308
ANNEXE 13 : TABLEAU ILLUSTRANT LE TYPE DE TRAITEMENT INTERMEDIAIRE PAR TYPE D’ACTEUR POUR LES DIFFERENTS CAS (ICI LE CAS C).....	312
ANNEXE 14 : CRITERES DE LA SITUATION DE COLLABORATION CAPACITANTE POUR LA PREMIERE ETUDE EXPLORATOIRE.....	326
ANNEXE 15 : PRESENTATION DES CRITERES DE LA SITUATION DE COLLABORATION CAPACITANTE POUR LA SECONDE ETUDE EXPLORATOIRE.....	330
ANNEXE 16 : RESULTATS DE LA SECONDE ETUDE EXPLORATOIRE	336
ANNEXE 17 : CAHIER DES CHARGES SIMPLIFIE	342
ANNEXE 18 : CAHIER DES CHARGES INITIAL.....	343
ANNEXE 19 : RESULTATS DU CRITERE 1 DE LA SECONDE ETUDE.....	353
ANNEXE 20 : RESULTATS DU CRITERE 2 DE LA SECONDE ETUDE.....	357
ANNEXE 21 : RESULTATS DU CRITERE 3 DE LA SECONDE ETUDE.....	361
ANNEXE 22 : EXTRAIT DES FORMES D’ASSISTANCE VISUELLE DU GROUPE 1 POUR LE CRITERE 3 DE LA SECONDE ETUDE.....	369
ANNEXE 23 : EXTRAIT DES FORMES D’ASSISTANCE VISUELLE DU GROUPE 2 POUR LE CRITERE 3 DE LA SECONDE ETUDE.....	370

ANNEXE 24 : STATISTIQUES DES ENTRETIENS (G1 vs G1' ET G1 vs G1'') DE LA TROISIEME ETUDE.....	371
ANNEXE 25 : STATISTIQUES DES ENTRETIENS (G1' vs G1'') DE LA TROISIEME ETUDE.....	373
ANNEXE 26 : STATISTIQUES DU RAW NASA-TLX (G1 vs G1' ET G1 vs G1'') DE LA TROISIEME ETUDE	377
ANNEXE 27 : STATISTIQUES DU RAW NASA-TLX (G1' vs G1'') DE LA TROISIEME ETUDE	379
ANNEXE 28 : STATISTIQUES DU TAM (G1' vs G1'') DE LA TROISIEME ETUDE.....	380
ANNEXE 29 : STATISTIQUES DE LA PERFORMANCE (G1' vs G1'') DE LA TROISIEME ETUDE	382
ANNEXE 30 : VERIFICATION DE LA REPRESENTATIVITE DE LA TROISIEME ETUDE	383

Liste des Figures

Figure 1 : Traduction libre du modèle TAM de Davis (1989).

Figure 2 : Traduction du modèle de Nielsen par Tricot et al. (2003).

Figure 3 : Courbe d'apprentissage dans le temps selon l'expérience du sujet (Nielsen, 1994).

Figure 4 : Périmètre et temporalité de l'action ergonomique selon Coutarel et Petit (2013).

Figure 5 : Traduction libre de l'illustration de Trouche (2004), à propos de la genèse instrumentale comme une combinaison de 2 processus.

Figure 6 : Représentation visuelle des dimensions relevées dans la littérature. Les dimensions cerclées de noir sont celles faisant partie de l'ECS (le chiffre en indice indique le critère de l'ECS).

Figure 7 : Synthèse de la méthodologie générale et des technologies associées.

Figure 8 : Méthodologie de l'étude de cas multiples pour étudier la pertinence de l'ECS.

Figure 9 : Grille d'entretien utilisée lors de l'étude de cas multiples.

Figure 10 : Photographie du poste de travail du côté de l'opérateur.

Figure 11 : Photographie du poste de travail du côté du cobot.

Figure 12 : Organigramme du cas A.

Figure 13 : L'opérateur prend 2 pièces noires et 2 pièces blanches.

Figure 14 : L'opérateur assemble les pièces (la pièce blanche s'emboîte dans la pièce noire).

Figure 15 : L'opérateur tend au cobot (via un plateau) les deux pièces préfabriquées.

Figure 16 : L'opérateur retire les pièces fabriquées afin de les emballer dans un colis.

Figure 17 : L'opérateur prépare le colis.

Figure 18 : L'opérateur dispose le colis sur une palette de stockage.

Figure 19 : Schématisation du processus de l'activité.

Figure 20 : Capture d'écran de l'interface des lunettes de réalité augmentée durant l'activité du technicien de maintenance.

Figure 21 : Exemple d'un lieu d'activité d'un technicien de maintenance.

Figure 22 : Organigramme du cas B.

Figure 23 : Un technicien de maintenance en activité.

Figure 24 : Exemple d'installation sur laquelle intervient le technicien de maintenance.

Figure 25 : Exemple d'adaptation par un technicien de maintenance.

Figure 26 : Simulation de l'activité avec un technicien de maintenance équipé des lunettes de réalité augmentée.

Figure 27 : Interface en réalité augmentée.

Figure 28 : Sylviculteur en activité (sans exosquelette).

Figure 29 : Sylviculteur en activité (avec exosquelette).

Figure 30 : Sylviculteur en activité (situation initiale).

Figure 31 : Schématisation du process de l'activité d'un sylviculteur.

Figure 32 : Moyenne des réponses (Likert sur 7) des 4 sylviculteurs, aux questions portant sur la perception du travail.

Figure 33 : Réponses des sylviculteurs (sur 7) en fonction du temps (avant utilisation, primo utilisation et après une semaine) à la question : « Votre vision envers l'exosquelette est-elle plutôt (entourez la bonne réponse) ».

Figure 34 : Résultats des questionnaires de représentation de la douleur (annexe 11), complétés par les sylviculteurs (chaque couleur est associée à un sylviculteur et une croix marque une douleur).

Figure 35 : Illustration de la chronique d'activité, les zones rouges encadrées de noir sont celles où l'exosquelette apporte une assistance.

Figure 36 : Moyenne des réponses du premier sylviculteur au NASA-TLX (sur 20) (annexe 8) en fonction du temps (avant utilisation, primo utilisation et post 1 semaine d'utilisation).

Figure 37 : Moyenne des réponses du second sylviculteur au NASA-TLX (sur 20) (annexe 8) en fonction du temps (avant utilisation, primo utilisation et post 1 semaine d'utilisation).

Figure 38 : Moyenne des réponses du troisième sylviculteur au NASA-TLX (sur 20) (annexe 8) en fonction du temps (avant utilisation et primo utilisation)

Figure 39 : Moyenne des réponses du quatrième sylviculteur au NASA-TLX (sur 20) (annexe 8) en fonction du temps (avant utilisation).

Figure 40 : Réponses, par dimension, du premier sylviculteur au TAM (sur 7) (annexe 9) en fonction du temps (primo utilisation et après une semaine).

Figure 41 : Réponses, par dimension, du second sylviculteur au TAM (sur 7) (annexe 9) en fonction du temps (primo utilisation et après une semaine).

Figure 42 : Réponses, par dimension, du troisième sylviculteur au TAM (sur 7) (annexe 9) en fonction du temps (primo utilisation et après une semaine).

Figure 43 : Réponses, par dimension, du quatrième sylviculteur au TAM (sur 7) (annexe 9) en fonction du temps (primo utilisation et après une semaine).

Figure 44 : Poste de travail expérimental utilisé pour la première étude exploratoire.

Figure 45 : Cobot utilisé pour l'étude 2.

Figure 46 : Poste de formation simulé et dispositif de réalité augmentée (HoloLens 1).

Figure 47 : Exemple de diapositive issue de la présentation (seconde étude exploratoire).

Figure 48 : Mallette avec cloueuse et accessoires.

Figure 49 : Opérateur à son poste attendant la fin de la gravure de la cloueuse.

Figure 50 : Exemple d'une session de conception.

Figure 51 : Position horizontale et verticale de la mallette.

Figure 52 : Exemples de crochets (modulables).

Figure 53 : Exemple de « management visuel » (G2).

Figure 54 : Représentation des programmes personnalisés sur l'interface (G1).

Figure 55 : Plan de la salle expérimentale (chaque point représente un poste de travail, les couleurs servent à guider le participant sur l'emplacement du poste).

Figure 56 : Exemple de sous-ensembles du mode opératoire.

Figure 57 : Exemple de l'interface des lunettes en G1'.

Figure 58 : Exemple de l'interface des lunettes G1''.

Figure 59 : Classification des interactions humain-robot proposée par Jansen et al. (2018).

Figure 60 : Classification des niveaux de collaboration humain-cobot (Morais, 2018).

Figure 61 : Classification des niveaux d'interaction humain-robot (Bdiwi et al., 2017).

Figure 62 : Vue générale du LoA (niveaux d'autonomie) et LoC (niveaux de collaboration) (Kolbeinsson et al., 2018).

Figure 63 : Visualisation du niveau de collaboration (Kolbeinsson et al., 2018).

Figure 64 : Classification des interactions humain-humain (Barthe & Queinnec, 1999).

Figure 65 : Classification des interactions, proposée par De la Garza et Weill-Fassina (2000).

Figure 66 : Situation de travail expérimentale initiale.

Figure 67 : Visualisation de l'interface respectant davantage les critères de l'ECS (à droite se trouve le panneau de configuration permettant de personnaliser différents éléments).

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des dimensions étudiées et critères pragmatiques associés.

Tableau 2 : Critères de l'ECS, dimensions et critères pragmatiques associés.

Tableau 3 : Synthèse des différentes études.

Tableau 4 : Synthèse des cas sous l'angle du premier critère de l'ECS.

Tableau 5 : Synthèse des cas sous l'angle du second critère de l'ECS.

Tableau 6 : Synthèse des cas sous l'angle du troisième critère de l'ECS.

Tableau 7 : Synthèse des cas sous l'angle de la conduite du changement.

Tableau 8 : Synthèse des cas sous l'angle de l'ECS et de la conduite du changement.

Tableau 9 : Légende du tableau 10.

Tableau 10 : Synthèse des résultats des groupes suivis par critère de l'ECS.

Tableau 11 : Légende du tableau 12.

Tableau 12 : Synthèse des résultats des groupes « externes » par critère de l'ECS.

Tableau 13 : Synthèse des variables étudiées, de leur nature et de la mesure.

Tableau 14 : Synthèse des différents points concernant l'ECS dans les 3 conditions.

Tableau 15 : Différences significatives à propos de la contribution de la technologie (G1 vs G1' et G1 vs G1'').

Tableau 16 : Différences significatives à propos de la contribution de l'ECS (G1' vs G1'').

Tableau 17 : Classification, par auteurs, des types d'interactions entre la technologie émergente étudiée et l'humain.

Tableau 18 : Points de discussion abordés et pistes de réflexion associées.

Introduction

Les avancées technologiques ont déjà un impact profond sur notre travail et en auront certainement davantage à l'avenir. Nous pouvons, par exemple, déjà observer des traitements (sorte de tri automatisé) pour le recrutement qui sont réalisés par des intelligences artificielles. Cette assistance permet un recrutement « augmenté », « prédictif », ou de « personnalité » (*Intelligence artificielle et recrutement : l'IA au service des RH*, 2021). De manière plus globale, les progrès technologiques modifient considérablement le marché du travail. Le cabinet McKinsey, prévoit entre 400 et 800 millions d'emplois automatisés d'ici 2030 dans le monde (Famien, 2017) dont 39 millions aux États-Unis (Champion, 2021). Le cabinet McKinsey a d'ailleurs revu ce chiffre à la hausse en 2021 pour une estimation à 45 millions d'emplois perdus aux États-Unis d'ici 2030 (Champion, 2021). Frey et Osborne (en 2013) estiment que la moitié des emplois disparaîtra en France à l'horizon 2030 (Pardini, 2017). Toujours pour la France, une enquête du Conseil d'Orientation de l'Emploi estime que moins de 10% des emplois actuels seraient véritablement menacés en France (notamment en industrie) (Pardini, 2017) et que 50 % des emplois existants vont subir une mutation importante (*Numérisation et marché du travail : une évolution qui a des conséquences sur l'emploi*, 2021). Enfin, selon un rapport du cabinet Forrester (en 2020), la crise sanitaire (COVID-19) pourrait être le moteur du passage à un marché du travail européen davantage flexible et numérisé à horizon 2030 (Arène, 2020). Il semble donc déterminant de tenir compte de ces futures évolutions et de construire dès maintenant ces futures situations de travail.

Les « nouvelles technologies » ou technologies émergentes (Bobillier-Chaumon, 2021b ; Bobillier-Chaumon et al., 2019) seront un aspect incontournable de nos futures situations de travail, plus particulièrement encore en milieu industriel. Par « nouvelles technologies », nous entendons les technologies les plus récentes, numériques et souvent connectées. Il s'agit donc, principalement, de TIC (Technologies de l'Information et de la Communication), classées en cinq catégories (Bobillier-Chaumon, 2017) : les technologies de communication (internet, intranet, extranet), les technologies de collaboration (agenda, espace partagé, réseaux sociaux numériques...), les technologies de gestion (progiciel de gestion intégrée ou gestion électronique de documents), les technologies d'aide à l'action et à la décision (robot collaboratif (cobot), exosquelette, système expert, système informatique d'aide à la décision, machine/deep-learning, internet des objets...) et les technologies de formation (E-learning, réalité virtuelle ou augmentée, Serious-Game...). Ces frontières sont relativement poreuses, des lunettes de Réalité

Augmentée (RA) pourront autant être utilisées comme technologie de formation que comme technologie d'aide à l'action et à la décision. Ces différentes technologies peuvent être disruptives (Bobillier-Chaumon, 2017 ; Christensen, 1997 ; Danneels, 2004) et se caractériser par une rupture d'usage entre deux versions de l'artefact, ce qui peut donc changer radicalement l'activité de travail. Ces technologies peuvent aussi être itératives (ou incrémentales) (Bobillier-Chaumon, 2017) et donc s'inscrire dans le prolongement de systèmes préexistants.

Au sein de l'industrie contemporaine, l'implémentation des dernières technologies disponibles paraît être un enjeu décisif des industries. En référence aux sauts technologiques actuels, la littérature parle d'industrie « 4.0 ». Le concept d'industrie 4.0, ou usine du futur, correspond à la façon d'organiser les moyens de production. L'objectif est la mise en place d'usines dites « intelligentes » (smart factories) capables d'une plus grande adaptabilité dans la production et d'une allocation plus efficace des ressources. L'industrie 4.0 se caractérise notamment par la transformation numérique des systèmes de production pour atteindre un nouveau stade de flexibilité. Intégrer des robots, l'internet des objets ou un jumeau numérique, par exemple, doit permettre d'ajuster plus facilement les quantités de production en rapport avec la demande. Malheureusement, comme le souligne Barcellini (2020), les différents programmes sont souvent technocentrés (à l'image du programme « industrie du futur »). Actuellement, des propositions pour une industrie « 5.0 » émergent pour souligner l'importance de considérer davantage le « facteur humain », et donc l'interaction humain-technologie. L'opérateur et l'équipement émergent (solutions numériques connectées, robotique, etc.) doivent davantage interagir, dans cette nouvelle industrie, pour répondre aux enjeux de performance industrielle. Cette interaction est supposée enrichir le travail de l'opérateur et accroître sa responsabilité : le « facteur humain » est posé comme essentiel par les écrits.

C'est donc dans le contexte du 4.0 (2018) qu'est né le projet ANR « Collaboration 4.0 : Modélisation et Evaluation des collaborations capacitantes Homme-Machine pour l'industrie du futur ». Le projet est une recherche collaborative s'appuyant majoritairement (en ce qui concerne nos travaux) sur 2 laboratoires avec des compétences pluri-disciplinaires complémentaires : G-SCOP (génie industriel, conception et modélisation de systèmes, organisation industrielle, gestion des flux, réalité virtuelle et augmentée) qui est représenté par Daniel Brissaud, Frédéric Noel, David Basle et Sergio Camilo Medina Galvis, ainsi que ACTé (ergonomie, analyse de l'activité, situations d'apprentissage, développement professionnel, conception et évaluations d'outils et de dispositifs) représenté par Fabien Coutarel, Géraldine Rix-Lièvre et Nathan Compan. Le projet est porté par le génie industriel qui s'associe à des

compétences en ergonomie et en solutions numériques. L'objectif général affiché du projet était de concevoir les postes de travail collaboratifs du futur où le collaborateur et la machine sont un couple uni pour une même performance dans une organisation 4.0. Nous nous concentrons sur les situations de travail où la technologie contribue au développement du collaborateur et nous ne traiterons pas les situations de travail où la technologie pallie l'inaptitude des collaborateurs ou se substitue à lui lors des situations dangereuses. Du point de vue de l'Ergonomie, il s'agissait donc de concevoir des préconisations pour la conception des « environnements de travail industriels capacitants » ainsi que des préconisations pour la simulation et l'évaluation de la performance de la « collaboration Homme-Machine 4.0 » dans des conditions expérimentales. La crise sanitaire (COVID-19) a entravé les possibilités d'études de terrain. Initialement, le projet ANR 4.0 prévoyait davantage d'évaluations écologiques. Ma familiarité, en tant que doctorant, avec ce type de contexte (méthodes expérimentales, collaboration avec des ingénieurs, connaissance du milieu industriel, etc.) a permis de pallier en partie ces difficultés.

Le projet a été financé durant 9 mois supplémentaires via différents soutiens : 3 mois par le Ministère de l'Enseignement Supérieur via l'école doctorale, 3 mois par I SITE cap 2025 (appel à projet 2021) et 3 mois sur les fonds du projet ANR lui-même.

Un des points les plus importants a été ma réelle découverte de l'ergonomie de l'activité. Ces champs disciplinaires spécifiques sont, d'un point de vue épistémologique, significativement différents de l'ergonomie à laquelle j'étais habitué. Cette vision du monde a créé une rupture qui m'a fait changer, non sans crise, de rapport avec mon milieu. L'approche des études de cas permet d'approcher le vécu et l'expérience des situations réelles, la complexité des situations et donc d'être très proche des conditions écologiques de performance. Cette approche ne permet pas de produire des théories générales, validées statistiquement, mais elle permet de saisir l'importance du contexte. L'approche expérimentale, elle, permet d'étudier certains facteurs particuliers avec beaucoup plus de précision. Cela peut concerner des propriétés générales du fonctionnement humain et mettre à l'épreuve certaines hypothèses dans des étapes précoces de développement technologique. De plus, lorsque cela est possible, le traitement statistique nous permet d'avoir des résultats robustes et de pouvoir prétendre à la généralisation. Il faut tout de même noter que les dimensions singulières du contexte, comme la singularité individuelle, le collectif, l'organisation, la culture d'entreprise, etc. conditionnent la performance réelle et ne peuvent être reproduites en laboratoire. J'ai donc pu découvrir, tout au long de ce travail, la puissance de l'approche par l'étude de cas et la puissance de l'approche qualitative. Cela m'a

aussi permis de mieux apprécier les limites des études expérimentales et de leur possible généralisation. Bien que je me considère aujourd'hui largement ergonomiste de l'activité, je suis profondément convaincu de la pertinence des approches mixtes qui permettent de combiner les forces des deux approches.

Ce projet a donc été un défi dont je ressors transformé, pour le meilleur. Il m'a permis de découvrir une communauté, de construire mes orientations, de découvrir d'autres visions du monde et de me positionner par rapport à ces différents éléments.

1. Le travail comme opportunité

Le travail est une opportunité. Selon le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL), lorsque l'accent est mis sur « l'activité », le travail est une « Activité humaine exigeant un effort soutenu, qui vise à la modification des éléments naturels, à la création et/ou à la production de nouvelles choses, de nouvelles idées », ou encore une « Activité humaine laborieuse exercée en échange d'un bien, d'un service ou plus généralement en échange d'argent, dans le but de subvenir à ses besoins » (*Travail : Définition*, 2012). Le travail est donc perçu comme quelque chose de coûteux, laborieux, nécessitant un effort. Il est alors cohérent que l'humain ait souvent cherché à faciliter son travail, à améliorer ses conditions de travail. Les nouvelles technologies sont une nouvelle opportunité d'y contribuer. L'industrie est passée par plusieurs stades d'évolution (appelés révolutions industrielles). La première, aux alentours de la fin du 18^{ème} siècle, correspond à une mécanisation du travail (énergie à vapeur, énergie hydraulique, métier à tisser, etc.). La seconde, aux alentours de 1870, correspond à une production de masse (ligne d'assemblage) et à la démocratisation des énergies électriques. Enfin, la troisième correspond, aux alentours de 1970, à une automatisation (de par la démocratisation de l'informatique et de l'électronique). Nous observons donc une tendance dans le développement des techniques de production et dans le report de tâches réalisées par l'individu vers la machine, notamment à des fins productives (Naville, 1961). L'évolution technique, souvent sous la forme d'une automatisation, peut entraver l'humain dans sa relation avec son environnement et notamment avec la machine. L'objectif porté par cette évolution technique, cette automatisation, est souvent avoué comme l'affranchissement d'« insuffisances humaines » (fatigue, force, capacités cognitives, vieillissement, plaintes, etc.). Cette vision

porte l'idée que le « facteur humain » est source d'erreurs ou de problèmes. L'humain fragiliserait le système, et les machines, toujours plus performantes, doivent limiter cet impact négatif, notamment en s'affranchissant de l'humain. De nombreux auteurs ont étudié les effets sur l'humain d'une automatisation progressive des outils de production. Friedman (1964) comme Bainbridge (1983) ont notamment décrit les effets négatifs de l'automatisation sur l'activité de travail des opérateurs, particulièrement en termes d'éclatement de l'activité et des tâches. Les difficultés liées à l'automatisation sont encore aujourd'hui bien présentes (Strauch, 2017). Pour le fonctionnement quotidien des organisations, les compétences et l'engagement des opérateurs permettent de récupérer les dysfonctionnements, de palier aux incompatibilités partielles et incomplètes des systèmes techniques. L'idée de qualité gérée « repose [...] sur les capacités d'initiative des opérateurs, seuls ou en groupe, à faire face à l'imprévisible et à la variabilité naturelle du réel » (Falzon et al., 2013, p. 1). L'exemple rapporté par Falzon et al. (2013) est assez révélateur, l'opérateur précise que « je dois cacher mon travail. Par exemple, je déclenche une relance d'un non imposable (alors qu'on me demande de ne pas le faire), et ensuite j'annule la relance [NB : pour satisfaire l'indicateur]. Mais je perds du temps pour bien faire mon travail. [...] Je ne sais pas comment faire pour mal faire mon travail. » (p. 4). Cette contribution à la performance reste généralement peu visible, et donc peu valorisée, notamment de par le silence organisationnel (Rocha, 2014). Arnoud et Falzon (2013) recommandent la mise en place d'Espaces de Débat sur le Travail (EDT) afin que les acteurs puissent discuter de ces régulations de terrain et permettre une « conception [...] dans l'usage. » (p. 110). Il est donc largement souhaitable que les futures situations de travail envisagent la relation entre l'humain et la technologie afin d'en assurer la performance souhaitée. L'approche systémique (appréhension globale d'un système complexe) cherche notamment à concevoir les conditions d'une complémentarité à ces éléments dans l'allocation (dynamique, selon le besoin) des tâches ou des fonctions. L'objectif est donc de faire valoir, dans le processus de conception, la nécessité d'une considération réelle du travail futur. Dans ces projets de nouvelles technologies qui se conçoivent le plus souvent sans les protagonistes des situations d'usage futur (ils sont parfois inconnus), comment préserver une possibilité ultérieure pour l'opérateur de faire valoir ce qui compte pour lui ? Comment reconcevoir la situation d'utilisation ? Nous défendons qu'en fonction de la vision politique sur le travail d'un projet, les orientations et choix de conception vont largement varier. L'ergonomie et plus spécifiquement l'ergonomie de l'activité, porte une vision sur le travail (Guérin et al., 2021). De plus, « Par son travail, [l'Homme] transforme son milieu en même temps qu'il se forme lui-même dans l'épreuve de cette transformation » (Supiot, 2019, p. 18). Le travail est alors une question de relation, de transformation mutuelle.

La relation entre l'Homme et la Machine doit donc davantage se centrer sur cette interaction, cette dynamique entre l'Homme et la technologie en situation. C'est cette dépendance mutuelle qui est source de performance, d'apprentissage voire de développement. La symbiose en est un exemple possible (Brangier et al., 2009 ; Gerber et al., 2020 ; Hammes-Adelé, 2011 ; Pacaux-Lemoine & Trentesaux, 2019). Elle peut être définie comme une « relation durable, structurante et bénéfique entre un humain et un artefact [...] » (Brangier et al., 2009, p. 334). Il n'y a malheureusement pas de définition consensuelle de la collaboration entre l'opérateur et la technologie. Les capacités de prise de décision des machines dont nous avons pu discuter, tendent à positionner la technologie comme une entité dotée d'autonomie et donc avec laquelle il faut collaborer. Par exemple, Jansen et al, (2018) distinguent coexistence, coopération et collaboration, à partir de la simultanéité du travail, de l'espace de travail, du but commun et du contact. La collaboration est le niveau d'interaction le plus élevé, où l'ensemble de ces critères est présent. D'autres catégorisations existent, par exemple celles de Bdiwi et al. (2017), et sont globalement convergentes pour associer la collaboration à un niveau élevé d'interaction (Kolbeinsson et al., 2018), collaboration via laquelle l'opérateur trouvera des voies d'apprentissage, d'amélioration de la qualité de son travail ou encore d'amélioration de ses conditions de travail. Ainsi, la situation de collaboration entre l'opérateur et la technologie caractérise une situation¹ de travail écologique (« réelle », *in situ*) et multi-déterminée dans laquelle une technologie soutient fortement son activité au sens où cette collaboration apporte une plus-value importante à l'opérateur lui-même.

Selon Coutarel et al. (2015, p. 16) : « en tant que milieu de vie central de notre société contemporaine, le travail constitue d'abord et avant tout une formidable occasion de développement personnel. Travailler c'est se développer, résister, prendre des risques et donc vivre (Canguilhem, 1966) », « le travailleur ne subit pas simplement son environnement, il se crée son milieu, qu'il tente de mettre à sa main, de rendre plus favorable à l'atteinte de ses aspirations personnelles » (Coutarel et al., 2015, p. 16). Peut-on donc toujours considérer toutes les activités de production comme du travail, surtout si la technologie pouvait autoriser, à terme, d'extraire l'humain de cet « effort soutenu », de « cette activité humaine laborieuse » mentionnés par le CNRTL (*Travail : Définition*, 2012) ? Cette évolution souhaitable ne peut avoir lieu sans prise en compte majeure de l'humain et de sa complexité, des collectifs, des organisations et de la culture. La révolution numérique est l'occasion d'une reconception

¹ Une situation de travail est définie comme un état et des relations entre différentes composantes sujettes à variabilité (Coutarel & Beaujouan, 2021). Cet état fait l'objet d'un « vécu par les personnes placées dans un cadre de travail particulier » (St-Vincent et al., 2011, p. 343).

importante des situations de travail. L'implémentation des technologies émergentes, souvent disruptives, nous force à repenser le travail et donc la place de l'humain dans le processus de production. C'est une occasion dont peut se saisir l'ergonomie afin de jouer un rôle majeur dans l'étude et l'amélioration des collaborations humain-machine.

2. L'humain au centre de la conception des nouveaux postes de travail

Bien que le « facteur humain » soit posé comme essentiel dans la littérature et dans le discours des industriels, il n'est pas rare d'observer des situations plus nuancées. Le plus souvent, il est question de démonstrations prometteuses déportées des conditions réelles de production. Dans d'autres cas, les mises en usage opérationnelles sont faites dans des systèmes plutôt rigides. Comme nous avons pu l'aborder, l'environnement social a une place déterminante dans les situations de travail, cependant il arrive que certaines technologies soient implémentées en « techno-push ». L'envie de nouveauté et la forte concurrence poussent certaines implémentations technologiques au « techno-push ». Ce techno-push pousse les concepteurs à implémenter les technologies émergentes sans étudier avec finesse l'environnement, notamment social, ce qui pourrait expliquer les résultats mitigés de certains de ces projets. Le « techno-push » correspond à une conviction de par l'avancée technologique en elle-même, ce qui accroît son attractivité. C'est donc la technologie qui arrive à convaincre les investisseurs sans nécessairement prouver son utilité en situation. Il est assez classique que les arguments de performance des nouvelles technologies ne soient pas situés. L'investisseur, n'ayant pas toujours le temps et/ou l'envie d'effectuer une analyse précise de l'acceptabilité (sociale et pratique) (Nielsen, 1994 ; Tricot et al., 2003) mais également de l'utilité théorique et de l'utilisabilité (Nielsen, 1994 ; Tricot et al., 2003) de la technologie, cela aboutit à un techno-push. La manière dont sont conduits les projets de conception de nouvelles situations de travail industrielles à forte valence technologique est donc très importante pour en favoriser l'acceptation réelle et située (Bobillier-Chaumon, 2021a ; Bobillier-Chaumon & Clot, 2016). L'acceptation est d'ailleurs elle-même souvent en rupture avec les mesures classiques d'acceptabilité (Monéger, 2018).

3. Enjeux pour l'ergonomie de l'activité

L'ergonomie et notamment l'ergonomie de l'activité (Daniellou & Rabardel, 2005) place historiquement les ressorts de cette acceptation dans le déploiement des capacités d'action et de la soutenabilité dans le temps de celles-ci (Wisner, 1997). Ces critères de l'agir et de la soutenabilité de cet agir n'épuisent pas ce que la littérature internationale entend par « facteur humain » (FH). En effet, le FH (au singulier ou au pluriel) couvre un champ de production scientifique très large et très varié, souvent hétérogène et présenté comme facteur de réussite ou d'échec des implémentations technologiques. Nous défendrons ici que ces critères de l'agir sont essentiels, alors qu'ils peuvent paraître secondaires ou noyés dans la littérature scientifique internationale. Pour cela, nous développerons une proposition théorique autour de la situation de collaboration capacitante (ECS, pour Enabling Collaborative Situation) (Compan et al., 2021a ; Compan et al., 2021b ; Compan et al., sous presse). Nous analyserons ses apports potentiels à travers 3 études complémentaires. Ces études complémentaires (étude de cas multiples et études expérimentales) permettent d'apprécier l'impact de la technologie émergente sur la situation de travail. Souvent l'activité de travail est organisée autour des spécificités de la technologie émergente, l'opérateur doit donc s'adapter et subir ce bouleversement de son organisation du travail. Les questions centrales de l'action de l'opérateur deviennent alors secondaires, telles que ses possibilités de s'approprier la situation, d'instrumentaliser l'artefact (ici la technologie émergente), de pouvoir varier les tâches confiées pour autoriser le déploiement de son activité et favoriser l'apprentissage de l'opérateur voire son développement. Il reste alors la prédominance de questions autour de ce qui est classiquement appelé le FH : la perception de l'opérateur, l'utilisabilité du système considéré ou encore la sécurité... L'ergonomie de l'activité porte une vision sur les questions centrales mentionnées précédemment qui sont posées comme fondamentales à l'activité de l'humain et qui sont malheureusement souvent mises de côté dans les projets. Notre proposition autour de l'ECS replace cette vision au centre de ces situations de travail collaboratives entre l'humain et la technologie émergente. Les propriétés technologiques changent rapidement. Tout au long de ce parcours de recherche, nous avons eu l'occasion d'observer différents modèles de cobots, différentes générations de lunettes de réalité augmentée, différents types d'exosquelettes (actifs ou encore passifs)... Les questionnements autour de la perception ou encore de l'utilisabilité d'une technologie émergente sont très situés et leur évolution est rapide alors que les questionnements autour de l'agir de l'humain restent constants. L'implémentation des

technologies émergentes et les bouleversements associés sont une occasion de se saisir de ces thèmes et de leur redonner la place qu'ils méritent lors de la conception et l'étude des postes de travail. L'ECS, avec cette focale, permettrait d'analyser les situations d'usage des technologies émergentes et donc de guider la conception de la future situation de travail (conception et implémentation technologique incluses).

4. Questionnements et structure de nos travaux

Au vu des différents points exposés, le travail présenté ici cherche à répondre aux questions suivantes :

- Quelle est la composition de la littérature sur la prise en compte du « facteur humain » lors de l'implémentation de technologies émergentes ? Est-elle plutôt hétérogène ou plutôt homogène ?
- Comment pouvons-nous regrouper les éléments qui questionnent l'usage de la technologie émergente du point de vue des capacités d'action du sujet, qui ne semblent pas souvent prises en compte ?
- Comment se construisent les projets d'implémentation technologique ? Quelle prise en compte du facteur humain ? Quelle est la place des critères de l'ECS ?
- Comment est-ce que des ingénieurs, concepteurs de nouveaux postes de travail, pourraient recevoir et tenir compte des critères de l'ECS ?
- Comment est-ce que les opérateurs recevraient une situation qui respecte davantage les critères d'une ECS ?

Ce travail de thèse s'organise donc en 5 parties principales :

- La première partie propose d'analyser la littérature scientifique au regard de la question du « facteur humain » lors de l'implémentation de nouvelles technologies. Il est donc question de compiler, regrouper une partie significative de différents critères exprimés autour de cette thématique. Ce regroupement est effectué selon différents axes, à savoir : les dimensions cognitives et sociales de l'interaction individuelle humain-technologie, la santé et l'intégrité des personnes, les dimensions expérientielles de la relation à la

technologie et les dimensions collectives du travail avec la technologie. Il est ensuite question de développer les fondements théoriques de l'ECS. Pour finir, il s'agit d'explicitier le concept et la composition d'une ECS et d'une conduite du changement qui serait favorable à l'ECS.

- La seconde partie de ce travail de thèse consiste en la présentation d'une étude de cas multiples (monographies) ayant pour objectif de situer la prise en compte de l'humain dans les processus d'implémentation de dispositifs technologiques émergents. Il s'agit donc d'étudier le contexte des projets, l'organisation, l'activité des opérateurs, les résultats du projet et enfin d'analyser le ressenti et la vision des différents types d'acteurs. Le premier projet concerne l'implémentation d'un robot collaboratif (cobot) au sein d'une ligne de production. Le second projet concerne l'implémentation d'un dispositif de réalité augmentée auprès de techniciens de maintenance en environnement industriel. Le troisième projet concerne l'implémentation d'exosquelettes (assistance des membres supérieurs) auprès d'un public de sylviculteurs.
- La troisième partie de ce travail de thèse porte sur l'analyse de l'activité et l'accompagnement de concepteurs (ingénieurs) de poste de travail. Il est donc question de savoir si ceux-ci sont sensibles aux critères de l'ECS et de quelle manière. Cette partie se divise en deux études exploratoires et une étude longitudinale d'accompagnement d'étudiants ingénieurs sur la conception d'un poste de travail collaboratif (humain et cobot). Cette partie traite également du projet d'autres étudiants, que nous n'avons pas suivis.
- La quatrième partie de ce travail de thèse concerne l'analyse de l'activité d'individus simulant le travail de techniciens de maintenance assistés par un dispositif de réalité augmentée. L'objectif est d'évaluer l'impact de l'intensité de l'ECS sur le travailleur à partir de différents critères tels que l'acceptabilité de la technologie, la charge de travail, le sentiment de satisfaction, la performance, etc.
- La cinquième partie de ce travail de thèse consiste en une discussion autour des résultats des différentes études mises en place et porte sur la conception de technologies facilitant les genèses instrumentales dans le cadre d'une collaboration 4.0. Il est donc question du rapport entre l'ECS, les technologies émergentes et les formes d'interaction entre l'humain et la technologie. Il est également question de la conception et de la transmission d'ECS ainsi que de la manière dont ces nouvelles situations peuvent favoriser les capacités d'action du sujet et leur soutenabilité dans le temps.

Partie I : De l'étude du « facteur humain » à la conception de situations de collaboration capacitantes

La prise en compte du FH² est une ambition largement partagée dans la littérature. Notre revue de la littérature nous a permis de catégoriser les principales dimensions du FH pour l'analyse, l'évaluation et la conception de situations de travail. Celle-ci s'est construite, principalement, à partir d'une recherche non systématique dans les revues dominantes du champ de l'ergonomie et disciplines associées. Cette recherche était centrée sur les technologies émergentes et les collaborations avec l'humain en situation de travail. Il semble difficile de présenter une revue de la littérature scientifique qui soit exhaustive à propos du FH en lien avec les technologies émergentes, diverses disciplines couvrent le sujet qui est très vaste. En outre, bien que non systématique, notre revue de littérature couvre suffisamment largement le champ pour en démontrer l'étendue et l'hétérogénéité. Pour cela, nous proposons une catégorisation des écrits autour des préoccupations formulées qui sont : les dimensions cognitives et sociales de l'interaction individuelle humain-technologie, la sécurité et l'intégrité des personnes, les dimensions expérientielles de la relation à la technologie et enfin, les dimensions collectives du travail avec la technologie. Ce travail de recherche dans la littérature nous a permis d'extraire les fondements théoriques de l'ECS (et de la conduite du changement associée) des travaux centrés sur l'agir et le déploiement de l'activité de l'opérateur.

L'ECS correspond à une situation de travail où l'humain et la technologie émergente collaborent de sorte que l'humain soit dans la capacité d'étendre ses possibilités d'action, en fonction de la performance visée. L'ECS possède une double fonction : l'analyse (avec la focale sur les différents critères de l'ECS) et l'évaluation (pour pondérer les différentes lacunes de la situation concernant les critères de l'ECS) des situations de travail où l'opérateur fait usage de technologies émergentes. La seconde fonction est de guider la conception de ce type de situation

² Au-delà du FH, les facteurs organisationnels et humains (souvent appelés FHO) sont couramment étudiés en ergonomie. Ce terme permet de valoriser la dimension organisationnelle au sein de la performance et de la sécurité des systèmes (notamment industriels). En ce qui concerne ce travail de recherche, nous conserverons le terme FH car c'est le terme le plus couramment utilisé dans la littérature scientifique concernant les technologies émergentes. La technologie est souvent appréhendée seule, et non dans un dispositif. L'ECS est, entre autres, une réponse à cette faible considération des aspects organisationnels dans l'implémentation des technologies émergentes.

de travail. Afin de favoriser la mise en place d'une ECS, certaines conditions de la conduite du changement peuvent être appliquées.

Chapitre 1 : le « facteur humain » dans la littérature scientifique en lien avec les technologies émergentes et les collaborations avec l'humain en situation de travail

1. Les dimensions cognitives et sociales de l'interaction individuelle humain-technologie

Les dimensions cognitives et sociales de l'interaction individuelle humain-technologie concernent globalement les domaines classiques étudiés dans les interactions Humain-Machine. Ce qui concerne les points suivants :

1.1. L'acceptabilité sociale, l'utilité et l'utilisabilité

Parmi les modèles classiques de l'acceptabilité nous pouvons citer le modèle TAM (Davis, 1985), en effet, celui-ci fait parti des modèles les plus utilisés. Nous pouvons également citer le modèle UTAUT (Venkatesh et al., 2003) qui est aussi très utilisé. Enfin, il est utile de mentionner la théorie du comportement planifié (Ajzen, 2006). L'acceptabilité est donc un phénomène largement étudié et il existe de nombreuses échelles afin de la mesurer.

Cependant, la thèse de Monéger (2018) nous rappelle que ces modèles sont soumis à plusieurs limites, telles que leur nombre important et leur hétérogénéité (Hammes-Adelé, 2011). Étant donné que le degré d'acceptabilité varie en fonction des critères retenus, en fonction du modèle choisi le résultat en terme d'acceptabilité sera différent (Monéger, 2018). Les modèles de l'acceptabilité peuvent aussi avoir des difficultés à la prédiction d'usage qui reste difficilement anticipable, c'est pour cela que nous aborderons le concept d'acceptation dans la suite du document.

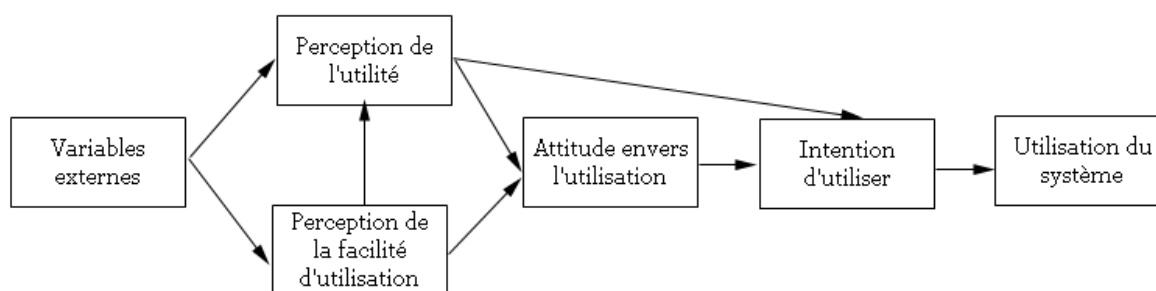


Figure 1. Traduction libre du modèle TAM de Davis (1989).

Selon Tricot et al. (2003), repris de Nielsen (1994), l'acceptabilité du système dépend de l'acceptabilité sociale et de l'acceptabilité pratique. Il est donc nécessaire d'avoir une bonne acceptabilité sociale envers la situation de travail et la technologie émergente. L'étude de l'acceptabilité sociale correspond à l'examen des conditions qui rendent ce produit ou service acceptable, ou non, par l'utilisateur avant son usage réel et effectif (Terrade et al., 2009). L'acceptabilité sociale correspond à la projection de la représentation que l'opérateur aura de son utilisation du dispositif et donc aussi du regard d'autrui lorsque celui-ci sera au contact de la technologie émergente. Elle est à différencier de l'acceptabilité pratique qui correspond plus aux critères d'utilité et d'utilisabilité du dispositif. L'organisation doit donc investiguer l'acceptabilité sociale de sa future situation de travail.

Selon Nielsen (1994), l'acceptabilité pratique est composée de l'utilité pratique (Usefulness) qui est la question de savoir si le système peut être utilisé pour atteindre un objectif souhaité ainsi que d'autres critères plus contextuels (coût, compatibilité, fiabilité, etc.). L'utilité pratique (Usefulness) est le mélange d'utilité théorique et d'utilisabilité (Utility and usability). L'utilité théorique correspond au rapport entre ce que la technologie est susceptible de réaliser et ce que l'utilisateur veut en faire (Terrade et al., 2009) et l'utilisabilité est la question de savoir à quel point l'utilisateur peut bien utiliser cette technologie. Tricot et al. (2003) traduiront Usefulness et Utility par Utilité pratique et Utilité théorique (c'est-à-dire le but que le système est censé permettre d'atteindre).

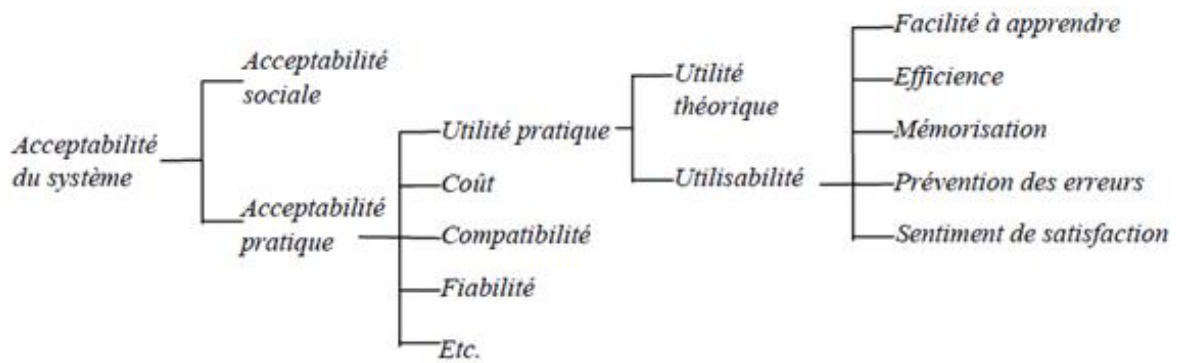


Figure 2. Traduction du modèle de Nielsen par Tricot et al. (2003).

Selon Nielsen (1994), l'utilisabilité s'applique à tous les aspects du système avec lequel un humain pourrait interagir, ce qui inclut les procédures d'installation et de maintenance. Elle possède cinq attributs. Le premier correspond à la **facilité à apprendre** : le système devrait être facile à apprendre afin que l'utilisateur puisse rapidement débiter son travail (et accomplir ses tâches) avec le système.

La facilité à apprendre est l'attribut le plus fondamental de l'utilisabilité, car la première expérience que les utilisateurs ont avec un nouveau système est d'apprendre à l'utiliser.

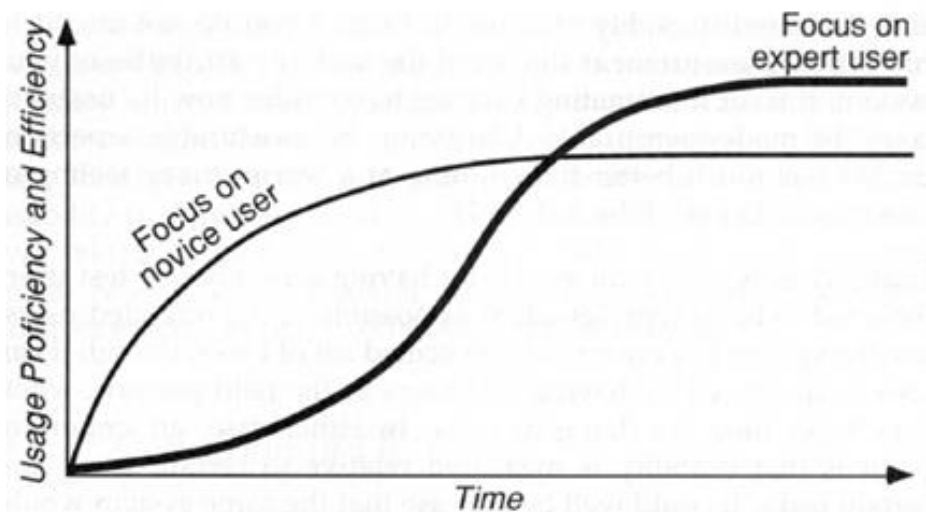


Figure 3. Courbe d'apprentissage dans le temps selon l'expérience du sujet (Nielsen, 1994).

La facilité à apprendre se réfère à l'expérience de l'utilisateur novice sur la partie initiale de la courbe d'apprentissage (voir plus haut). Un système facile à apprendre a une inclinaison raide

pour cette première partie de la courbe d'apprentissage et permet aux utilisateurs d'atteindre un niveau raisonnable de maîtrise d'usage dans un temps court.

Le second attribut concerne l'efficacité. Le système devrait être efficace à utiliser, afin qu'un haut niveau de productivité soit possible, lorsque l'utilisateur a appris le système. L'efficacité se réfère au niveau de performance, lorsque celui-ci est stable, de l'utilisateur expert, au moment où la courbe d'apprentissage s'estompe. Le troisième attribut concerne la mémorisation. Le système devrait être facile à retenir (mémoriser), afin que l'utilisateur occasionnel soit capable de revenir au système après quelques temps de non utilisation, sans avoir à tout réapprendre. La prévention des erreurs renvoie à la possibilité du système d'avoir un faible taux d'erreur lors de son utilisation par l'humain ; mais également à permettre la correction « facile » d'une éventuelle erreur effectuée. De plus, les erreurs catastrophiques ne doivent pas arriver. Enfin, le sentiment de satisfaction doit être présent chez l'opérateur. Le système doit donc être agréable à utiliser, afin que les utilisateurs soient subjectivement satisfaits lorsqu'ils l'utilisent, et apprécient l'outil.

Nielsen précise que les mesures physiologiques (prise de sang pour voir le niveau d'adrénaline, sudation, EEG...) sont trop intrusives pour mesurer l'utilisabilité et ne sont donc pas appropriées. Il existe des échelles dédiées à l'utilisabilité (comme le SUS pour System Usability Scale).

Concrètement, il s'agit avant l'implémentation de mesurer comment la technologie émergente est perçue par les différents acteurs. Est-ce que ceux-ci, lorsqu'ils se projettent, sont satisfaits de la vision qu'ils renvoient lors de l'utilisation du dispositif ? Est-ce qu'ils désirent utiliser la technologie ? Est-ce qu'ils la trouvent utile (leur permet d'atteindre leurs buts) ? Est-ce qu'elle semble utilisable et accessible ? L'entreprise doit effectuer une évaluation précoce de l'utilisabilité en simulation ou prototype. A minima, l'évaluation de l'utilisabilité doit être faite au moment de l'implémentation afin d'effectuer les modifications rapidement, si nécessaire. Cette évaluation devra également comprendre d'autres points abordés par la suite tels que la charge physique, la charge mentale de l'opérateur lors de sa collaboration avec la technologie. Falzon (2005) recommande également des buts clairs et appropriés ainsi qu'une prescription de tâches qui laisse un espace de liberté sur les buts et procédures de l'opérateur.

1.2. La transparence opérative

C'est dans le paradigme de la « boîte de verre » que s'inscrit le concept de transparence opérative, développé par Rabardel (1995). Selon Rabardel (1995), la transparence d'un artefact doit être mise en relation avec les besoins en informations de l'utilisateur, qui sont variables en fonction de ses buts, de ses compétences, des stratégies qu'il met en œuvre pour les atteindre, etc. La transparence doit être adaptée aux besoins de l'opérateur et de son activité. La transparence opérative désigne donc les « propriétés caractéristiques de l'instrument, pertinentes pour l'action de l'utilisateur, ainsi que la manière dont l'instrument les rend accessibles, compréhensibles, voire perceptibles pour l'utilisateur. » (Rabardel, 1995, p. 151). Selon l'auteur, la transparence opérative est donc bien un concept relationnel qui exprime la variabilité des besoins du sujet en « informations » en fonction de la variabilité des situations d'action, de ses états et buts.

Selon Rabardel (1995) la transparence est un concept important, en effet cela permet d'avoir des informations sur l'état et l'évolution du processus de traitement. Dans le cas contraire, l'opérateur sera en impossibilité de savoir s'il doit intervenir ou non (état du raisonnement). Il est donc nécessaire d'avoir une transparence sur les données traitées, dans le cas contraire il sera impossible pour l'opérateur d'apprécier la validité, la véracité des données traitées. Il est également nécessaire d'avoir une transparence sur le type de traitement, ce qui permet à l'opérateur de confirmer ses hypothèses en cours. Enfin, il est important d'avoir une transparence sur la compétence du système, compte tenu des buts du sujet et du type de problème à traiter, c'est-à-dire, est-ce que l'artefact peut encore être un instrument pertinent pour l'activité du sujet ?

La transparence opérative est donc relative à l'action de l'utilisateur avec et sur l'instrument (Rabardel, 1995). Rabardel (1995) distingue 3 orientations (passée, présente et future) à cette transparence opérative qui est inscrite dans le temps. Le présent correspond au fait que la transparence opérative doit permettre de se représenter la situation en temps réel ainsi que la régulation de ses actions. Le passé représente la possibilité d'interpréter les situations actuelles en fonction de leur historique (genèse, histoire...). L'orientation vers le passé permet également de comprendre et d'interpréter les situations passées, incidentelles ou non, dans une perspective de développement de l'expérience, des invariants, des schèmes et des structures opératoires. Enfin, le futur est lié à la possibilité d'interpréter les effets des actions et donc de permettre l'anticipation des comportements (actions à effectuer, structurations...).

Une bonne transparence opérative sera donc favorable aux possibilités d'instrumentalisation de la technologie par l'individu.

1.3. La réflexivité individuelle et la prescription de tâches

Selon Falzon (2005), un développement continu de connaissances passe notamment par la prescription de tâches et les pratiques réflexives (individuelles). La gestion du temps correspond au principe que l'opérateur ne doit pas être noyé sous un débordement continu de tâches. Il est nécessaire de conserver du temps pour les réflexions individuelles. Il est également nécessaire de maintenir un temps pour une régulation collective, en discutant avec d'autres opérateurs sur les problèmes et solutions rencontrés par exemple, pour que l'équipe se construise des règles ainsi que pour partager des connaissances et les progrès individuels. Enfin, les pratiques réflexives (individuelles) sont également importantes, car c'est au sein de celles-ci que l'opérateur prend ses propres activités comme objet d'analyse, de sorte à mieux les comprendre et construire de nouvelles connaissances. Il existe plusieurs manières d'implémenter ces pratiques réflexives dont l'allo-confrontation collective (Mollo & Falzon, 2004) et les approches participatives (par exemple Darses & Reuzeau, 2004). Cela signifie concrètement que l'opérateur ne doit pas être noyé sous un débordement continu de tâches. Il est nécessaire de conserver du temps (cela peut être durant l'activité, nous ne parlons pas nécessairement d'interruption de tâche) pour les réflexions individuelles.

Selon Falzon (2005), une prescription de tâche adéquate implique que l'opérateur puisse avoir des buts clairs et appropriés. En revanche, la prescription de tâches se doit de laisser un espace de liberté sur les buts et procédures de l'opérateur. C'est justement cette liberté qui confère un espace de développement de connaissances. En effet, ce dernier a lieu car l'opérateur doit analyser le problème puis chercher une solution et donc développer de nouvelles connaissances. De plus, des ressources insuffisantes rendent difficile, pour les opérateurs, la réalisation de leurs tâches et empêchent le développement de connaissances. L'organisation doit donc s'assurer que les tâches sont claires et comprises par l'opérateur (en termes de but et d'exécution). De plus, l'organisation doit s'assurer de laisser de la marge de manœuvre à l'opérateur (nous y reviendrons par la suite).

1.4. La charge de travail (mentale et physique)

Selon Sperandio (1972) la charge de travail correspond au niveau de l'activité (mentale, sensorimotrice, physiologique...) de l'opérateur, nécessaire à l'accomplissement d'un travail donné, et évalué selon certains critères. L'auteur distingue charge de travail et charge mentale. Selon Sperandio (1972), il ne faut pas confondre charge de travail et fatigue bien que ces notions soient souvent en relation. Selon lui, un état de fatigue amoindrit l'efficacité de l'opérateur (il est donc possible que la charge de travail soit alors davantage importante), alors qu'un travail mené à haut niveau de charge risque d'être une cause de fatigue plus importante. Certains facteurs de fatigue constituent aussi parfois des facteurs de charge de travail selon Sperandio (1972). Il est donc important de noter que la charge mentale ne peut être mesurée (et n'a de sens) qu'au cours de l'exécution même de la tâche, alors que les symptômes de fatigue peuvent apparaître et se poursuivre après la fin de la tâche (voire même plusieurs jours après). Toujours selon l'auteur, il peut y avoir des symptômes de fatigue alors que la charge est faible. De plus, une haute charge n'entraîne pas nécessairement des symptômes de fatigue (« fatigue » étant ici distinct de « sensation de fatigue » tout comme « sensation de charge » et « charge de travail »).

Pour Leplat (1977), la charge de travail correspond aux conséquences pour le travailleur de l'exécution d'une tâche. Cette charge de travail est donc bien à différencier de l'exigence de travail (caractéristiques de la tâche, donc des obligations et contraintes qu'elle impose au travailleur).

Selon Falzon (2005), les charges mentales et de travail doivent être gérables. L'opérateur doit avoir accès aux ressources sociales, cognitives et physiques appropriées et être soumis à un nombre approprié de tâches. Le modèle ITIM (Integrated Technology Implementation Model) (Schoville & Titler, 2015) développe également que les équipements doivent être à un emplacement convenable et adaptés à l'utilisateur afin d'éviter les TMS, la surcharge cognitive, etc.

2. La sécurité et l'intégrité des personnes

De nombreux travaux insistent sur les variables contextuelles qui sont indispensables à prendre en compte lors de la conception de la nouvelle situation de travail. L'environnement ne doit pas être incapacitant (Falzon, 2005).

Nous pouvons donc relever plusieurs points :

2.1. La sécurité

Selon De Keyser (2002), l'Homme reste le maillon fort de la sécurité des systèmes et il contribue à éviter que bon nombre d'incidents se transforment en accidents ou en catastrophes. La sécurité totale (il existe bien sûr d'autres modèles de la sécurité mais celui-ci est très prégnant en industrie) est un fantasme car finalement aucun système n'est totalement sécurisé : « La sécurité n'est pas une question scientifique ; elle apparaît surtout comme une affaire de perception sociale » (Amalberti, 2013).

La thèse de Monéger (2018) traite justement du sujet. En effet, selon lui, le seuil d'acceptabilité en matière de sécurité n'est que peu corrélé à des critères objectifs comme la gravité ou la fréquence d'apparition du risque et des paradoxes existent entre les différents systèmes sociotechniques complexes. Il rappelle notamment les différentes normes ISO telle que la norme ISO26262 (2011, Part I, 1.102) qui précisent qu'un système peut être considéré comme « sûr », lorsqu'il ne comporte pas de « unreasonable risk » (risque non raisonnable). L'auteur précise : « le fait qu'il apparaissait indispensable d'identifier le modèle de sécurité dans lequel doit s'inscrire le système [...], ainsi que le seuil de sécurité acceptable. » (Monéger, 2018, p. 62). Pour lui, le modèle d'une « sécurité totale » dans lequel s'inscrivent certains concepteurs n'est pas compatible avec l'acceptation de certains systèmes. Les conditions d'une sécurité « acceptable » doivent donc être définies également en milieu industriel bien que l'organisation se doit de respecter certaines normes. L'organisation doit prendre part à l'évaluation des risques et mettre en place les règles de sécurité adéquates.

2.2. Les normes réglementaires

La technologie doit tenir compte des réglementations en vigueur (Schoville & Titler, 2015). Par exemple, un robot trop rapide et exerçant une forte pression ne peut pas être utilisé en collaboration avec l'humain. Ce point n'est pas à sous-estimer car c'est à cause de certaines normes que des technologies émergentes ne sont pas utilisées à leur plein potentiel. Il est possible de trouver en usine des cobots qui sont encagés car lorsqu'ils partagent l'espace avec l'humain leur performance est tellement limitée qu'ils ne sont plus rentables pour l'entreprise. Bien sûr, il y a de nombreux points à prendre en compte. Il est possible de trouver des guides comme celui de l'INRS (Cam et al., 2013) qui en liste certains tels que :

- Les accès et la circulation : l'objectif est de permettre à l'opérateur d'accéder et de circuler en toute sécurité à son poste de travail, tout en minimisant la fatigue pour y parvenir.
- La communication : l'objectif principal est d'assurer un bon déroulement du travail par une bonne coordination des tâches. Un objectif secondaire est d'atténuer les effets négatifs de la monotonie des tâches en permettant aux opérateurs concernés de converser.
- Contraintes de temps : l'objectif est de prévenir les risques d'accident, le stress et les TMS.
- Nuisances physiques et chimiques : l'objectif est de diminuer les nuisances au poste de travail pour les rendre compatibles avec la santé des opérateurs, tout en permettant de réaliser le travail sans contrainte.
- Informations : l'objectif est de présenter clairement les informations visuelles et sonores utiles pour réaliser le travail avec efficacité et en sécurité.
- Manutention et efforts : l'objectif est de limiter les manutentions manuelles et les efforts à exercer pour éviter les accidents et prévenir les TMS.
- Dimensionnement et positions de travail : l'objectif est de permettre de travailler dans des positions adaptées non dangereuses pour la santé et confortables.

L'entreprise doit donc investiguer les normes réglementaires et conseillées (en tenant compte des réserves contextuelles et de la singularité des opérateurs) afin de mettre en place un poste de travail adapté.

2.3. Les différentes formes de variabilités

Les contraintes liées à l'environnement sont également nécessaires à prendre en compte. Elles peuvent être de nature très pragmatique. Il est possible qu'elles soient liées au lieu d'implantation de l'usine. Il est, par exemple, envisageable de penser à une usine encombrée (débris poussés par le vent, etc.) qui pourrait nuire au déplacement des robots, ou encore à un ensoleillement très présent qui nuit aux capteurs présents sur les lunettes de réalité augmentée, ce qui réduirait leur efficacité. L'organisation doit donc évaluer l'environnement du poste de travail et vérifier que celui-ci ne nuit pas à la technologie et à l'activité de l'opérateur.

Selon Venkatesh et Morris (2003), il est bien évidemment important de prendre en compte la singularité du sujet. Selon le modèle ITIM (Schoville & Titler, 2015), les équipements doivent être adaptés à la singularité des opérateurs. Ceux-ci doivent être à un emplacement convenable, adapté à l'utilisateur (afin d'éviter les TMS, la surcharge cognitive, etc.). Toujours dans le modèle ITIM, il est nécessaire de prendre en compte les différences interindividuelles dans l'adoption de la technologie. Les singularités individuelles peuvent dépendre de plusieurs facteurs, les caractéristiques principales étant le niveau d'étude, le contexte de l'environnement de travail, les expériences de travail, le rapport à la technologie... L'entreprise doit donc veiller à ce que le poste soit adapté à l'opérateur et le rendre accessible.

3. Les dimensions expérientielles de la relation à la technologie

L'expérience est un point très important dans la relation qu'un humain entretient avec une technologie. L'expérience concerne le rapport de sens et de signification construit par l'individu lors de l'usage de la technologie. C'est-à-dire, le rapport personnel construit par l'individu à sa situation lors de l'usage de la technologie émergente, notamment en termes de signification et d'affects. Différents points sont soulevés dans la littérature tels que :

3.1. Affects, émotions et humeurs

Selon Lallemand et Gronier (2017), il est utile de distinguer affect, émotion et humeur. En effet, l'affect est une notion générale (moins précise que les émotions). L'affect désigne « le ressenti qu'une personne a envers un objet, une situation ou une personne » (Lallemand & Gronier, 2017, p. 384). L'affect est donc plutôt une tendance et peut rendre compte des préférences ou aversions pour certaines personnes, objets ou situations (dans notre cas, le dispositif technologique et la situation de travail). Les émotions (sensation courte et intense) et les humeurs (sentiment diffus, plutôt limité dans le temps) sont donc des types particuliers d'affects. Selon Lallemand et Gronier (2017), le terme est d'ailleurs souvent utilisé comme un terme générique englobant l'aspect émotionnel/affectif. L'affect est une expérience hédonique constante, un ensemble des manifestations d'expérience de plaisir ou de peine. Cependant la quantité et la qualité des affects représentent nos préférences, nos sensibilités.

3.2. Les aspects hédoniques de l'expérience utilisateur

Hassenzahl (2003) est un des auteurs de référence lorsque l'on traite d'expérience utilisateur. Selon cet auteur, un produit est composé d'attributs pragmatiques et d'attributs hédoniques.

Les attributs pragmatiques correspondent à la manipulation que l'on fait du produit. Celui-ci doit être utile et utilisable. Un produit pragmatique sert l'accomplissement de tâches ou de buts (« do-goals ») alors que selon le « goal-mode », le plus important est l'atteinte de l'objectif. L'objectif visé est donc important et détermine les actions réalisées par l'utilisateur.

Les attributs hédoniques mettent l'accent sur le bien-être psychologique des individus. Ils correspondent à la stimulation, l'identification et l'évocation. La stimulation correspond au fait que les individus cherchent continuellement à développer leurs compétences ou connaissances, la technologie émergente doit donc fournir de nouvelles opportunités et de nouveaux potentiels. L'identification concerne le fait que les individus expriment leur identité à travers les objets qu'ils possèdent. Les individus recherchent donc une reconnaissance sociale qui peut passer à travers les objets (par exemple, un exosquelette ou un dispositif de réalité augmentée), la technologie émergente doit donc renvoyer une certaine identité. Enfin, l'évocation est liée au fait que les objets peuvent provoquer des souvenirs. En effet, ceux-ci peuvent représenter des

événements passés ou encore des relations ou pensées qui font sens et sont importantes pour l'individu. Il conviendra à l'organisation de renseigner ce qui fait sens pour les opérateurs.

La technologie émergente doit pouvoir procurer du plaisir à l'utilisateur. Un produit peut être, par exemple, original, créatif, captivant (stimulation) ou encore présentable, professionnel, qui rapproche des autres, de bon goût (identification).

3.3. L'acceptation située de la technologie

Selon Bobillier-Chaumon (2016), il est nécessaire de distinguer acceptabilité (pratique et sociale) et acceptation. Il est crucial que la technologie ait une bonne acceptation située car l'acceptabilité n'est qu'une anticipation, par l'utilisateur, de son futur comportement.

L'acceptation est « le déploiement d'un ensemble des conduites réelles d'adoption mises en œuvre par l'individu et/ou un collectif, dans le cadre des activités effectives au sein de l'organisation. L'acceptation se présente donc comme la façon dont un individu, mais aussi un collectif, une organisation perçoivent au gré des situations quotidiennes les enjeux liés à ces technologies (atouts, bénéfiques, risques, opportunité) et y réagissent (favorablement ou non) » (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009, p. 362).

L'acceptation située est une approche plus « écologique » de l'acceptation (Bobillier-Chaumon, 2016). Selon l'auteur, l'instrument technologique se construit dans l'action et dans l'interaction avec l'opérateur, dans le cadre des tâches à accomplir. Il est donc nécessaire que l'organisation construise, avec l'opérateur en action et en interaction avec la technologie, le dispositif de travail, une fois la technologie implantée.

L'acceptation possède 4 dimensions (Bobillier-Chaumon, 2016) qui sont les dimensions individuelle (aussi appelée dimension personnelle, il est question d'apprécier le coût cognitif et émotionnel que représente l'utilisation des technologies), organisationnelle (aussi appelée dimension impersonnelle, il s'agit d'apprécier les incidences socio-organisationnelles des technologies sur l'utilisateur et son activité), relationnelle (aussi appelée dimension interpersonnelle, il est question d'évaluer les reconfigurations en œuvre sur les collectifs et les réseaux de travail) et enfin professionnelle et identitaire (aussi appelée dimension transpersonnelle, il s'agit d'appréhender les répercussions sur la construction et la reconnaissance identitaire de l'individu).

Contrairement aux échelles d'acceptabilité, l'objectif de l'acceptation située n'est pas que le système soit perçu favorablement. L'idée est plutôt que les technologies aient un effet positif et durable sur l'individu, en soutenant le déroulement de son activité et en permettant au métier de s'exprimer et de se déployer (Bobillier-Chaumon & Clot, 2016). Il sera donc question pour l'organisation d'investiguer les quatre dimensions : individuelle, organisationnelle, relationnelle et transpersonnelle.

3.4 La sensibilité du sujet

La « sensibilité à » s'inscrit dans la continuité de l'approche énaïve (Varela et al., 1993). L'approche énaïve est « une théorie phénoménologique qui relie la vie, la cognition, l'action et l'expérience et s'intéresse à l'activité effective dans la vie quotidienne » (Récopé et al., 2019, p. 78). Selon les auteurs, qui s'inscrivent également dans les prolongements de l'approche canguilhemienne (Durrive, 2010 ; Schwartz, 2010) : « l'expérience concrète du vivant en situation est une épreuve au sens affectif du terme qui relève d'un rapport individu à ce qui est normal ou anormal pour lui. » (Récopé et al., 2019, p. 79).

La « sensibilité à » correspond au rapport d'expérience et de signification entretenu par l'individu lors de l'usage de la technologie. La « sensibilité à » est ce qui fait sens pour l'opérateur. Elle structure la cohérence globale, en tant qu'orientation qui dirige l'activité et l'expérience vécue vers un objet particulier (Récopé et al., 2019). La « sensibilité à » est l'objet central/global qui sous-tend, au moment pertinent de l'histoire de l'individu, son identité et sa rationalité sensible (Récopé, 2019). C'est bien cette sensibilité qui pousse les individus et qui détermine à agir. Elle est le sens de l'activité, sens conçu comme la direction ou l'orientation de l'activité (Récopé, 2019). Toujours selon les mêmes auteurs, la sensibilité contraint (ouvre et ferme) les possibilités d'action, de sens et d'apprentissage dans le champ de pratique considéré (Récopé, 2019). Enfin, la « sensibilité à » normalise et initie la rationalité pratique, mais ne détermine pas le cours de chaque action, qui doit être contextualisée en référence aux circonstances qui sont pertinentes, *in situ*, du point de vue de l'agent (Récopé, 2019). En résumé, la « sensibilité à » est ce qui correspond à ce qui importe le plus à l'individu dans la situation. C'est pour ce qui lui importe que l'individu se mobilisera, c'est en ce sens que la « sensibilité à » « en tant que sens structurant, oriente, organise et contraint l'activité » (Récopé et al., 2019, p. 81). Cette orientation n'est pas nécessairement consciente chez l'individu qui n'a donc pas de contrôle volontaire ou conscient dessus.

Ce critère est donc déterminant et intrinsèquement lié à la singularité individuelle. Il sera question pour l'organisation d'identifier les différents critères de valeurs, normes, préférences... chez les opérateurs pour potentiellement relever des récurrences et y répondre. Ce point est profondément situationnel et donc difficile à mesurer. La prise en compte de la sensibilité des utilisateurs finaux permettra de minimiser certains facteurs de rejet de la technologie émergente.

3.5 La conception continuée dans l'usage et les genèses instrumentales

Rabardel et Pastré (2005) abordent la notion de Conception Continuée dans l'Usage (CCU) en déclarant que la conception se poursuit dans l'usage.

Béguin (2004) rapporte un exemple dans lequel le processus de conception et d'expérimentation permet un dialogue entre les concepteurs et les opérateurs. En effet, les opérateurs disposent de connaissances expertes qui leur sont propres et les ingénieurs de toutes les compétences techniques à la conception. Selon Vergnaud (2006), cet exemple rapporté par Béguin illustre bien le concept de CCU. Dans notre cas, le concepteur pourrait voir l'opérateur en action avec la technologie émergente et donc avoir accès au travail réel afin de recueillir des informations (usage, difficultés, etc.). L'établissement de relations entre les ingénieurs et les opérateurs qui ne sont pas situés aux mêmes endroits de la chaîne « conception-production-utilisation » (Rabardel & Pastré, 2005) caractérise donc la « Conception Continuée dans l'Usage » (CCU). Nous pourrions remarquer une similarité avec les conceptions de « designer perspective » et les « intended product character » versus « user perspective » et les « apparent product character », développées par Hassenzahl (2003).

La CCU (Folcher & Rabardel, 2004) inclut notamment les possibilités d'instrumentalisation de la technologie aux fins de l'activité. L'approche instrumentale (qui n'est que brièvement décrite ici car elle fera l'objet d'un développement plus conséquent dans une section ultérieure) est théorisée par Rabardel (1995). Il définit l'instrument qui est formé de deux composantes, d'un côté l'artefact (matériel ou symbolique) et de l'autre côté les schèmes associés (propres aux individus). L'implémentation d'une technologie émergente est alors l'occasion pour l'artefact (la technologie) de devenir instrument pour l'opérateur. Pour cela, il y a genèse instrumentale. Lors de cette genèse, il y a une double action d'instrumentalisation et d'instrumentation. L'instrumentalisation (de l'individu vers l'artefact) est l'action de mettre la technologie

émergente à sa main. L'artefact devient instrument et l'opérateur peut adapter la technologie émergente à ses besoins voire en trouver d'autres usages non prévus (catachrèses). L'instrumentation (de l'artefact vers l'individu) est plutôt une adaptation de l'individu (ce que nous observons le plus classiquement en industrie). L'individu doit alors se conformer à la situation de travail et à ce que la technologie émergente lui offre comme possibilité. L'opérateur va modifier son activité pour utiliser l'instrument. L'approche instrumentale questionne le rapport de l'opérateur à la technologie émergente, ce qu'il peut en faire et ses possibilités d'appropriation. L'objectif pour l'organisation est donc d'établir une communication directe entre les concepteurs et les opérateurs, utilisateurs de la technologie, afin que ces derniers puissent suggérer des modifications à effectuer dans le but d'améliorer le dispositif. L'idéal serait donc que l'opérateur lui-même puisse directement effectuer les modifications pour améliorer localement le poste de travail et son interaction avec la technologie. Le dispositif doit donc être accessible et flexible.

3.6 La marge de manœuvre et le pouvoir d'agir

La marge de manœuvre situationnelle (MMS) (Coutarel et al., 2015) caractérise les possibilités effectives de régulation par les opérateurs des variabilités de leur situation. La marge de manoeuvre est un concept classique en ergonomie. Selon Weill-Fassina et Valot (1997, cité dans Coutarel et al., 2015), la marge de manœuvre désigne « la zone d'initiative et la tolérance, dont dispose l'opérateur pour assurer la régulation du fonctionnement d'un système ». Coutarel et Petit (2013) proposent le terme de « marge de manœuvre situationnelle » (MMS). Selon eux, il était important de faire apparaître le caractère situé de ce concept et donc d'en préciser le périmètre. Nous distinguons la marge de manœuvre (au singulier) et les marges de manœuvre (au pluriel). La marge de manœuvre correspond au champ de régulation de l'activité. Les marges de manœuvre (au pluriel) sont les conditions externes et antécédentes à l'activité, largement produites par l'organisation du travail dans le monde professionnel. Les marges de manœuvre sont les conditions, réputées favorables, en amont de l'activité, par le travail de conception des situations de travail (Coutarel et al., 2022). La marge de manœuvre (au singulier) est un synonyme de la MMS.

La MMS correspond à « la possibilité pour l'opérateur, dans une situation précise, d'élaborer un mode opératoire efficace (c'est-à-dire efficace pour la performance et compatible avec la préservation de soi, voire le développement de soi par le travail).» (Coutarel et al., 2015, p. 15).

C'est l'alternance de modes opératoires qui permet à l'opérateur de ne pas s'épuiser en sollicitant tout le temps les mêmes fonctions (cognitives, psychologiques...). Avec assez de possibilités de manières de faire, l'opérateur pourra contribuer à des formes d'innovations sociales et organisationnelles favorables au développement de la performance et donc au développement de stratégies de régulation (Major & Vézina, 2011). Selon les auteurs, si la MMS est peu élevée, l'éventail des modes opératoires possibles s'en trouve très faible. Toujours selon les mêmes auteurs, ceci pourrait avoir comme résultat de conduire à une hypersollicitation de certaines fonctions (articulaires, musculaires, cognitives), et/ou à l'activité empêchée (Clot, 1999), et/ou à la détérioration du collectif de travail, et/ou à la diminution de la performance. Il est également précisé que l'absence totale de marge de manœuvre conduit à des situations où il est impossible d'atteindre les objectifs, même au prix d'une mobilisation coûteuse. Concrètement, il s'agira de permettre à l'opérateur d'avoir plusieurs agencements des étapes du processus. Il est recommandé que l'opérateur dispose d'au moins 2 modes opératoires, distincts et satisfaisants pour effectuer ses tâches afin d'avoir une MMS suffisante (Norval et al., 2019). Norval et al. (2019) parlent de soupçon d'insuffisance (un seul mode opératoire), de suffisance (au moins deux modes opératoires satisfaisants), et d'ampleur de cette suffisance (nombre de modes opératoires satisfaisants disponibles).

Le pouvoir d'agir est intrinsèquement lié à la marge de manœuvre. En effet pour les auteurs Coutarel et al. (2015, p. 18), développer le pouvoir d'agir correspond à « influencer les processus qui configurent durablement les situations de travail et les marges de manœuvre qui y sont associées. Il s'agit de développer durablement les possibilités (collectives, institutionnelles, temporelles...) de débats, d'explicitation des valeurs qui les sous-tendent et d'arbitrages par ceux que ces débats traversent et affectent ». Nous pouvons donc noter que le développement des capacités (par exemple les savoir-faire) n'est considéré comme contributeur à la marge de manœuvre que dans le cas où ces nouvelles capacités peuvent concrètement s'exprimer en situation. Sinon, le développement des capacités produit de l'activité empêchée (Clot, 1999). Selon Coutarel et Petit (2013, p. 180) : « La perspective développementale peut viser à inscrire durablement la construction de marges de manœuvre favorables à une évolution du rapport au milieu, donc du pouvoir d'agir. Le développement du pouvoir d'agir indique donc un développement durable du rayon des actions. ».

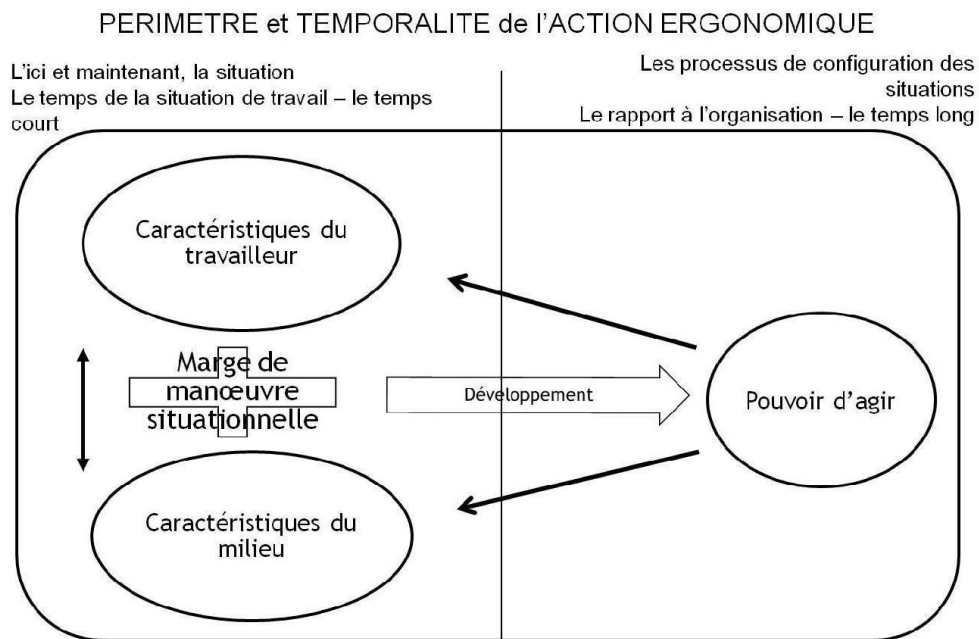


Figure 4. Périmètre et temporalité de l'action ergonomique selon Coutarel et Petit (2013).

Selon Schwartz (2010), le renforcement durable des capacités d'influence sur le milieu correspond au développement du pouvoir d'agir des opérateurs. Selon Fernagu Oudet (2012), l'environnement doit être favorable au développement du pouvoir d'agir des individus et de leurs dispositions à apprendre. Il est donc question de mettre à disposition des opérateurs des possibilités d'extension sur le pouvoir d'agir, par exemple en créant des situations où il est possible d'apprendre. Concrètement, l'organisation doit favoriser l'expression de la vision de l'opérateur pour lui permettre de modifier sa situation de travail afin de gagner en efficacité lors de la collaboration humain-technologie.

4. Les dimensions collectives du travail avec la technologie

Le collectif de travail est à la fois un niveau d'analyse intéressant mais aussi une ressource importante pour l'individu. Notamment en ce qui concerne la gestion des dilemmes professionnels croisant l'usage. Ces points semblent donc liés aux dimensions de :

4.1. La régulation collective et les espaces débat-travail

Selon Falzon (2005), un développement continu de connaissances passe notamment par la gestion du temps et les pratiques réflexives (collectives). Nous pouvons retrouver dans le principe de la gestion du temps l'idée de conserver du temps pour les réflexions individuelles mais aussi pour une régulation collective (discuter avec d'autres opérateurs sur les problèmes rencontrés et les solutions trouvées...). C'est donc à cette condition que l'équipe pourra se construire des règles et connaissances partagées ainsi qu'effectuer des progrès individuels. Clot (2012) propose plusieurs points pour améliorer le travail dont les EDT. Une organisation de type capacitante est une organisation capable de se transformer, se développer, en créant les conditions du débat des règles organisationnelles et de ses évolutions (à travers des espaces de discussion sur le travail) (Barcellini, 2017). De plus, c'est une organisation qui donne la possibilité à chacun de construire sa propre activité et qui doit « favoriser la confrontation des points de vue en encourageant les débats à tous les niveaux de l'organisation » (Arnoud, 2013, p. 143). Les caractéristiques des EDT sont développées par Rocha et al. (2017). Tout d'abord, il est nécessaire de se centrer sur le travail réel (vidéo, récit de cas, discours...). Ensuite, l'analyse et l'action ont une grande importance. Selon Mollo et Nascimento (2013), toute pratique réflexive doit tenir compte de la singularité des situations et doit chercher à développer collectivement des solutions techniques ou organisationnelles. En effet, l'EDT est inutile sans action. Enfin, le socle régulier permet de suivre les dossiers et de bénéficier du processus d'apprentissage. L'EDT est donc un temps et un espace de discussion collective que l'organisation doit mettre en place et qui permet une discussion centrée sur l'expérience de travail, ses enjeux, les règles du métier, le sens de l'activité, les ressources et les contraintes selon la Haute Autorité de Santé (HAS) en collaboration avec l'ANACT-ARACT (2017). Il sera donc à la charge de l'organisation d'en définir une temporalité adéquate après discussion avec les différents acteurs. L'EDT étant un dispositif évolutif, cette temporalité entre deux sessions pourra être modifiée à l'avenir.

4.2. Les partenaires d'entraide (« supportive coworkers »)

Selon Hon et al. (2014), les « supportive coworkers » (partenaires d'entraide) aident à dépasser les effets de la résistance au changement. Il est souligné que ces partenaires doivent être là

depuis le début de l'implémentation technologique. En effet, ils doivent être au courant de la complexité des technologies et des multiples stratégies nécessaires à l'implémentation (Schoville, 2017). Ces partenaires d'entraide peuvent donc favoriser l'adoption de la nouvelle situation de travail et de la technologie émergente. Pour cela, l'organisation doit renforcer le collectif afin que les pairs soient une source de soutien pour l'opérateur. Ce renforcement peut passer par exemple par des opérations de team building.

4.3. Les facilitateurs

Le facilitateur est une personne qui a un rôle d'aide et de soutien spécifique d'assistance à l'équipe ou aux opérateurs. Dans notre cas, son rôle sera d'aider et de faciliter l'implémentation de la technologie émergente. Un facilitateur aide souvent un groupe d'individus à comprendre leurs objectifs communs et les assiste dans leurs plans pour atteindre leurs objectifs ; par ce fait, le facilitateur reste « neutre », ce qui signifie qu'il ne doit pas prendre de position particulière pendant la discussion (Bens et al., 2012). Selon le modèle ITIM de Schoville (2015), la présence d'un facilitateur est importante, c'est un rôle critique. L'organisation devra donc désigner une personne, ayant de l'expertise à propos de la technologie émergente, afin d'accompagner la transition des opérateurs vers le nouveau poste de travail et la technologie émergente associée.

5. Synthèse de l'analyse centrée sur les technologies émergentes et les collaborations avec l'humain en situation de travail

Cette synthèse n'est pas exhaustive de l'exploration de la littérature scientifique. Certains points (accompagnement au changement, coconstruction des situations, évaluation précoce de l'utilité de la technologie émergente, culture d'entreprise, management « habilitant »,...), seront amenés lors de la définition d'une ECS et seront donc synthétisés dans la section suivante (« Synthèse de l'ECS et de la conduite du changement associée », tableau 2). L'analyse de la littérature scientifique à propos de la collaboration humain-technologie émergente a révélé une littérature dense et hétérogène. Les résultats de cette analyse, présentés précédemment, sont synthétisés au tableau 1. Notre analyse conforte le fait que le terme unique de FH couvre des aspects très diversifiés. Les courants théoriques et épistémologiques des différents auteurs sont divergents et s'assemblent difficilement. On comprendra que d'autres auteurs préfèrent parler

des facteurs humains (au pluriel). Il semblerait que cette forte hétérogénéité de catégorisation du FH conduise à plusieurs conséquences car selon les projets, la prise en compte du FH est très différente. Ce qui favorise une conception guidée dans des directions très différentes, en fonction des préférences et de ce que retiennent les concepteurs du FH. La situation de conception devient alors très peu exigeante pour les concepteurs, qui trient de manière opaque (certaines fois de manière erronée comme dans le cas du techno-push) entre ce qui les intéresse ou non, entre ce qui leur paraît possible ou difficilement réalisable. Cette factorisation de l'humain est effectuée via un grand nombre de dimensions. Une partie non négligeable des travaux laisse de côté les enjeux généraux de l'activité humaine au travail, et donc le statut anthropologique des objets techniques. Les dimensions du FH traitent souvent du fonctionnement humain dans sa généralité et oublient les conditions du déploiement de l'activité (et donc de la santé). Afin de répondre à ce constat, nous avons développé l'ECS, centrée sur le déploiement de l'activité, pour en évaluer ensuite l'intérêt.

L'ergonomie de l'activité, auquel nous sommes davantage sensibles, s'est largement positionnée sur le rapport fondamental entre l'humain et la machine. Certaines préoccupations, bien que déterminantes, telles que l'attention, la prise de décision, la perception... sont davantage portées par l'ergonomie cognitive. L'un des principaux intérêts de l'ergonomie de l'activité porte sur la signification et le sens de l'humain dans sa relation avec la technologie émergente. L'ergonomie de l'activité (et disciplines connexes) interroge donc l'usage de la technologie du point de vue des capacités d'action du sujet que la technologie soutient, ou qu'elle entrave. Ces aspects développementaux qui lient la technologie émergente et les individus semblent soulever une attention particulière (Bobillier-Chaumon, 2021b ; Rabardel & Béguin, 2005 ; etc.). Ces différents auteurs, sensibles aux questions des possibilités d'action, invitent à s'assurer que les projets de conception et la nouvelle situation de travail favorisent le développement de l'activité et surtout ne l'entravent pas. Les ancrages anthropologiques de ces perspectives sont assumés par les auteurs (Rabardel, 1995 ; Wisner, 1997). La question n'est pas : que fait la technologie ? ; mais quel avenir se construit l'humain grâce à son utilisation ? ; Quelles nouvelles capacités d'action sur son monde l'humain développe-t-il par l'utilisation de la technologie ?

La question des technologies émergentes resitue donc tout projet de conception et d'implémentation technologique dans une destinée collective, pourtant largement absente des débats : quelle vision du travail futur convoque-t-on lors de ces projets et quelle proposition

théorique nouvelle peut-on faire et évaluer pour porter plus fortement ces enjeux dans les projets de conception, et auprès des concepteurs ?

Notre proposition autour de l'ECS a pour but de regrouper ces différents critères de l'agir auxquels l'ergonomie de l'activité est davantage sensible. Nous pensons que ces critères ne sont pas systématiquement pris en compte sur le terrain. L'ECS et ses critères associés permettront de guider les concepteurs des nouvelles situations de travail mais également d'analyser et d'évaluer les situations déjà existantes.

Tableau 1. Récapitulatif des dimensions étudiées et critères pragmatiques associés.

Catégorisation	Dimension étudiée	Critères pragmatiques
Dimensions cognitives et sociales de l'interaction individuelle Humain-Technologie	Acceptabilité sociale	L'organisation doit investiguer les conditions qui rendent la technologie émergente acceptable ou non, avant son usage effectif. Ces conditions peuvent s'exprimer en termes de représentation et d'image renvoyées à autrui mais aussi par l'image que l'opérateur a de lui-même lorsqu'il utilisera la technologie émergente.
	Utilité (théorique)	L'organisation doit mesurer <i>in situ</i> (avant déploiement) l'utilité théorique (rapport entre ce que l'opérateur veut faire de la technologie émergente en fonction des objectifs fixés et ce que la technologie est susceptible de réaliser) de la technologie émergente.
	Utilisabilité	L'organisation doit effectuer une évaluation <i>in situ</i> de l'utilisabilité de la technologie émergente (facilité à apprendre, efficience, mémorisation, prévention des erreurs et sentiment de satisfaction). Cette évaluation devrait également comprendre la charge de travail (dont physique et cognitive) de l'opérateur lors de sa collaboration avec la technologie.
	Transparence opérative	L'opérateur doit avoir des informations sur l'état et l'évolution du processus. Il doit également avoir une transparence sur les données traitées, leur type de traitement et la compétence du système.
	Réflexivité individuelle et prescription de tâches	L'opérateur ne doit pas être noyé sous un débordement continu de tâches afin de pouvoir analyser son travail. L'opérateur doit également avoir des buts clairs et appropriés qui lui laissent un espace de liberté.
	Charge de travail	L'opérateur doit avoir une charge de travail (notamment physique et cognitive) gérable.

Sécurité et intégrité des personnes	Sécurité	L'organisation doit prendre part à l'évaluation des risques et mettre en place les règles de sécurité adéquates.
	Normes (réglementaires)	L'organisation doit investiguer les normes réglementaires afin de mettre en place un poste de travail adapté.
	Variabilités	L'organisation doit évaluer l'environnement du poste de travail et vérifier que celui-ci ne nuit pas à la technologie émergente ou à l'opérateur et au déploiement de son activité. L'organisation doit également veiller à ce que le poste soit adapté à la singularité de l'opérateur.
Dimensions expérientielles de la relation à la technologie	Affects, émotions et humeurs.	L'organisation doit s'assurer du type d'affect ressenti par l'opérateur en situation de travail. Elle doit favoriser les affects positifs (fierté, joie, ...) et éviter les négatifs (peur, colère, dégoût, ...).
	Aspects hédoniques de l'UX	La technologie émergente doit pouvoir procurer un bien-être psychologique à l'opérateur. Elle peut favoriser la stimulation, l'identification et l'attractivité.
	Acceptation située	Il est nécessaire que l'organisation vérifie <i>in situ</i> que l'opérateur accepte (conduites réelles d'adoption) la technologie émergente. L'organisation doit donc investiguer les dimensions : individuelle, organisationnelle, relationnelle et transpersonnelle.
Sensibilité du sujet	L'organisation doit identifier les différents critères de valeurs, normes, préférences, etc. chez les opérateurs pour potentiellement identifier des récurrences et y répondre.	
Conception de l'usage instrumentales	continué et genèses dans	L'opérateur doit pouvoir modifier directement les caractéristiques du couple humain-technologie. Si ce n'est pas possible, l'organisation doit établir une communication directe entre les concepteurs et les opérateurs. Dans la mesure du possible, la technologie émergente doit être accessible et flexible.

	Marge de manœuvre et pouvoir d'agir	et	L'opérateur devrait disposer de plusieurs agencements des étapes du processus. Il est recommandé que l'opérateur ait au moins 2 modes opératoires, distincts et satisfaisants pour effectuer ses tâches. L'organisation doit aussi s'assurer que la voix de l'opérateur est entendue afin de renforcer sa capacité d'influence sur son Milieu.
Dimensions collectives du travail avec la technologie	Régulation collective du espace débat-travail	et	L'organisation doit mettre en place un temps et un espace de discussion collective. Il est à la charge de l'organisation de définir une temporalité adéquate après discussion avec les différents acteurs.
	« Supportive coworkers »		Les « supportive coworkers » (partenaires d'entraide) sont à favoriser (par exemple par team building).
	Facilitateurs		L'organisation devra donc désigner une personne, ayant de l'expertise à propos de la technologie émergente, afin d'accompagner la transition des opérateurs vers le nouveau poste de travail et la technologie émergente associée.

Chapitre 2 : les fondements théoriques de la situation de collaboration capacitante (ECS)

1. Le déploiement des capacités d'action

Au sein des approches cliniques de l'activité (Dujarier et al., 2016 ; Dujarier et al., 2021), dont fait partie l'ergonomie de l'activité, le développement des capacités d'action des individus est un enjeu commun et majeur d'analyse et de transformation des situations de travail. En ergonomie, Wisner (1997, p. 250) l'a formulé ainsi : « l'élargissement du champ des actions est une des caractéristiques, typique et fondamentale du développement humain. [...] La compétence des travailleurs est très liée à leur capacité de changer de registre selon les circonstances ». D'autres auteurs ont également développé ces questions autour du pouvoir d'agir comme, par exemple, Rabardel (2005) et Coutarel et al. (2015). Un management « habilitant » (Srivastava et al., 2006), c'est-à-dire un management qui responsabilise et autonomise les opérateurs, est une des manières de favoriser ce développement des capacités d'action.

Falzon (2005) et d'autres auteurs ont pu avancer l'intérêt de la conception d'environnements capacitants. L'environnement capacitant est issu du concept de « capabilité » (Sen, 1999 ; Sen, 2004), c'est-à-dire l'ensemble du fonctionnement humain disponible pour un individu indifféremment de son utilisation actuelle. L'auteur prend l'exemple du droit de vote qui n'est pas suffisant pour avoir la capabilité de voter. La capabilité de voter implique plusieurs choses comme une éducation civique suffisante, une bonne organisation des processus électoraux, etc. Dans un pays il est donc possible d'avoir le droit de vote mais avec une capabilité de vote très différente en fonction des individus. Selon Sen, seule importe la capabilité individuelle.

Selon l'auteur, Fernagu Oudet (2012, p. 6) : « l'environnement capacitant est un environnement qui met des ressources à disposition des individus et leur permet de les utiliser ». Il est également favorable au développement du pouvoir d'agir des individus et de leurs dispositions à apprendre. Pour Falzon (2005), l'environnement capacitant permet aux individus de développer de nouvelles compétences et connaissances, d'élargir leurs possibilités d'action, leur degré de contrôle sur leur tâche et sur la manière dont ils la réalisent (leur autonomie).

Par exemple : sur les contenus de travail (donner la possibilité de varier les tâches confiées et les activités conduites, de se confronter à des situations inédites, de travailler sur les situations

rencontrées, les événements... de leur donner du sens, etc.), sur les modes d'organisation du travail (donner la possibilité de travailler en binôme, tutorer de nouveaux arrivants, de participer à des groupes de travail, etc.) et sur la gestion des ressources humaines (permettre d'accéder aux savoirs et aux connaissances dont ils ont besoin pour résoudre les problèmes professionnels par le biais de formations, en leur donnant accès au marché interne du travail, en offrant des possibilités d'évolution d'emploi, etc.). Falzon (2005) décrit les 3 aspects de l'environnement capacitant. Celui-ci peut être :

- Préventif et donc préserver les capacités d'action de l'opérateur. L'environnement ne doit pas être préjudiciable à l'individu et doit préserver ses capacités d'action.
- Palliatif/universel et donc compenser les différences inter-individuelles. L'environnement doit prendre en compte les différences inter-individuelles comme l'âge, par exemple, et doit les compenser.
- Développementale et donc permettre aux opérateurs de développer leurs compétences et savoirs, d'agrandir leurs possibilités d'action, leur degré de contrôle, leur autonomie... L'environnement capacitant contribue au développement cognitif et encourage l'apprentissage.

Notre proposition théorique autour de l'ECS se situe dans la lignée de la vision de Falzon sur cet aspect développemental. Selon Falzon (2014), l'environnement capacitant est un environnement qui permet aux individus et aux collectifs de :

- Réussir, en utilisant, par exemple, leurs aptitudes d'une manière efficace et fructueuse. C'est un environnement qui n'entrave pas les capacités mais surtout qui permet aux individus d'être capables.
- Développer de nouvelles connaissances et de nouveaux savoir-faire.
- Élargir les possibilités d'action.
- Renforcer le contrôle sur les tâches ainsi que leur modalité d'exécution.

L'environnement capacitant favorise donc un apprentissage continu.

Cet apprentissage continu de connaissances se traduit en trois principes selon Falzon (2014) :

- Gestion du temps. L'opérateur ne doit pas être noyé sous un débordement continu de tâches. Nous retrouvons ici les aspects déjà abordés sur la nécessité de conserver du temps pour les réflexions individuelles (favorise les progrès individuels) et pour la régulation collective afin que l'équipe puisse construire des règles et des connaissances partagées.
- La prescription de tâches. Nous retrouvons ici également un aspect abordé précédemment autour des buts clairs et appropriés. La prescription de tâches doit laisser

un espace de liberté sur les buts et procédures de l'opérateur. C'est cette liberté qui autorise un espace de développement de connaissances (analyser le problème, chercher une solution et les outils pour développer de nouvelles connaissances, etc.). De plus, des ressources insuffisantes rendent difficile pour les opérateurs l'exécution de leurs tâches et empêchent le développement de connaissances.

- Les pratiques réflexives. Nous retrouvons dans ce troisième principe, des éléments que nous avons aussi eu l'occasion d'aborder précédemment autour de la compréhension de l'opérateur sur ses propres activités et la construction de nouvelles connaissances.

Nous partageons l'idée d'une situation de travail qui autorise les individus à acquérir de nouvelles compétences et de nouveaux savoirs, et à élargir leurs possibilités, leur degré de contrôle sur leur tâche et sur la manière dont ils la réalisent (Fernagu Oudet, 2012). Cependant, nous en conserverons les critères mais nous n'utiliserons pas le même vocable. Nous lions au développement une signification plus resserrée, celle d'un changement qualitatif du rapport de l'individu à son Milieu (Canguilhem, 2001) et donc d'un changement dans l'orientation de l'activité de l'opérateur. Le Milieu (Canguilhem, 2001) est ici à comprendre comme le monde propre qui est composé de régularités dans les manières de percevoir, apprécier, penser ou encore agir dans un ensemble de circonstances (et est donc lié à l'expérience). Ce changement de rapport au Milieu implique que le caractère développemental ne peut pas être porté seulement par l'environnement. Nous parlons bien d'interaction, de couple. Dans cette approche davantage interactionniste, relationnelle, nous dissociions apprentissage et développement. Récopé et Barbier (2015) distinguent l'ontogenèse (histoire individuelle des changements structuraux) et l'apprentissage. Ils concluent que les transformations ontogénétiques sont développementales et désignent un épisode de changement structural de l'activité, une autre « sensibilité à » (Récopé & Barbier, 2015). Selon cette approche, le développement semble donc plutôt se rapporter à tout ce qui relève des possibilités d'action dans le monde à partir d'un changement du rapport au Milieu (Canguilhem, 2001), dont l'opérateur est l'acteur essentiel. L'opérateur est acteur de l'interaction, normalisateur de son Milieu via son activité (Schwartz, 2007). Il est donc tout à fait possible qu'une technologie émergente puisse produire ce changement de représentation. L'organisation du travail mais aussi celle du projet, au sens de conduite du changement abordée précédemment, peuvent favoriser des possibilités de construire un nouveau rapport au Milieu. Cependant, ce changement de rapport, cette évolution de la perception est intimement lié à la singularité individuelle de l'individu. En résumé, il semble davantage abordable de prétendre à une ambition d'apprentissage que de développement car l'utilisation d'une technologie émergente

n'implique pas toujours un tel changement chez l'opérateur. En outre, le déploiement des capacités d'action du sujet à l'usage de la technologie émergente n'implique pas nécessairement un bouleversement structural de son activité. Selon Récopé et Barbier (2015, p. 25), les transformations de type apprentissage « désignent les acquisitions qui, au sein d'un couplage structural inchangé, permettent d'accroître l'efficacité et la compatibilité des interactions ». Il est donc tout à fait possible d'observer le développement de l'opérateur au cours d'une implémentation technologique. Cependant, ces conditions sont particulières, complexes et nécessitent un accompagnement des futurs utilisateurs (qui ne sont pas toujours connus) pour lesquels on aurait ciblé le fait qu'un changement de rapport au Milieu serait souhaitable. Dans cette conception, le développement est associé à une crise, une rupture qui n'est pas toujours souhaitable pour l'opérateur et l'industriel. De plus, le déploiement des capacités d'action du sujet à l'usage d'une technologie émergente n'implique pas nécessairement un bouleversement structural de son activité. La proposition théorique que nous développons autour de l'ECS s'inscrit résolument dans le courant de l'ergonomie de l'activité (Daniellou & Rabardel, 2005) qui place l'apport de l'ergonomie à propos des technologies émergentes, dans un rapport d'usage, de sens et de signification pour l'utilisateur. C'est donc pour ces raisons que nous avons concentré nos travaux, durant la durée de ce projet, sur le volet « apprentissage » tel que défini précédemment. Ce volet apprentissage correspond à la vision développementale de l'environnement capacitant, c'est-à-dire à l'accroissement des possibilités d'action à l'usage de la technologie. Cet accroissement peut, potentiellement, être accompagné d'un changement de la nature du rapport entre l'opérateur et son milieu.

Nous utilisons également le terme situation, alors que Falzon (2005) utilise plutôt le terme « d'environnement ». L'environnement, comme nous avons pu le voir, a tendance à soutenir une vision exogène de la technologie et de son usage. Il pourrait être question de dissocier l'individu de l'usage et du contexte. Une situation de travail est un « état et des relations » (St-Vincent et al., 2011, p. 341). Selon St-Vincent et al. (2011, p. 341) : « la situation de travail correspond à un état qu'il est possible de décrire dans ses différents éléments et qui est vécu par les personnes placées dans un cadre de travail particulier, c'est-à-dire une configuration particulière de déterminants. Les relations qui s'établissent entre les personnes et le cadre de travail font partie de la situation de travail. ». Le terme de situation semble davantage transmettre l'idée d'une interaction entre l'humain et son environnement, entre l'humain et la technologie émergente. L'individu possède des capacités qui peuvent (ou non) s'exprimer, se développer, voire évoluer dans et par l'activité. La technologie émergente, de la même façon,

dispose de propriétés qui peuvent (ou non) être utilisées. L'ECS aborde donc bien l'activité de travail sous l'angle du couple humain-technologie, dans une interaction nécessaire et difficilement dissociable.

2. Approche instrumentale et technologies émergentes

La proposition de notre approche par l'ECS s'inscrit dans la continuité de l'approche instrumentale proposée par Rabardel (Rabardel, 1995). L'essence de cette approche est d'aborder l'activité comme médiatisée par des artefacts. La question centrale traite de l'usage des outils par les humains. Ces outils font l'objet de transmission, d'appropriation et de développement pour les opérateurs, dans les contextes professionnels (Folcher & Rabardel, 2004) et deviennent alors instruments (via les genèses instrumentales). L'instrument est donc décrit par Rabardel (1995) comme médiateur de l'activité. Il est constitué d'un artefact qui n'est pas nécessairement un objet physique comme une technologie mais potentiellement un objet symbolique. Cet artefact est produit par le sujet qui l'associe à des schèmes d'utilisation qui lui sont propres. Cette construction peut être autonome mais peut aussi être le résultat de schèmes sociaux d'utilisation élaborés par d'autres sujets puis intériorisés par le sujet (Folcher & Rabardel, 2004). L'usage réel de l'artefact l'établit comme instrument de l'activité (Folcher & Rabardel, 2004). « L'instrument n'est pas seulement un objet de forme particulière, aux propriétés physiques déterminées, il est surtout un objet social, avec des modalités d'emploi élaborées au cours du travail collectif. Il est porteur des opérations de travail qui sont cristallisées en lui » (Rabardel, 1995, p. 37). Le passage de l'artefact à l'instrument (appropriation de l'artefact comme instrument) s'effectue à travers le processus de genèse instrumentale. Nous pensons que c'est cette genèse qui conditionne largement l'acceptation effective de la technologie émergente. C'est donc pour cela que la genèse instrumentale est l'un des piliers de l'ECS qui tend à la favoriser (critère 3).

La genèse instrumentale procède d'une double orientation. La première orientation (instrumentation) est un processus s'effectuant de l'artefact vers le sujet. Il s'agit de l'émergence et de l'évolution des schèmes d'utilisation qui sont déterminés par l'artefact. C'est le cas le plus observable lors de l'implémentation d'une technologie émergente. C'est au sujet de s'adapter, de s'accommoder à l'outil. La seconde orientation (instrumentalisation) est un processus qui s'effectue du sujet vers l'artefact. Il s'agit ici d'attribuer des fonctions à l'artefact.

Dans notre cas, cela serait que l'opérateur puisse mettre la technologie émergente à sa main, se l'approprier en la transformant ou en la détournant pour qu'elle corresponde mieux à son activité. Le sujet spécifie et enrichit les propriétés de l'artefact et lui donne un statut de moyen pour l'activité. L'orientation de l'activité est donc bien différente selon ces 2 processus mais ils sont bien tous deux effectués lors de la genèse instrumentale qui est la combinaison des 2 processus (Trouche, 2004).

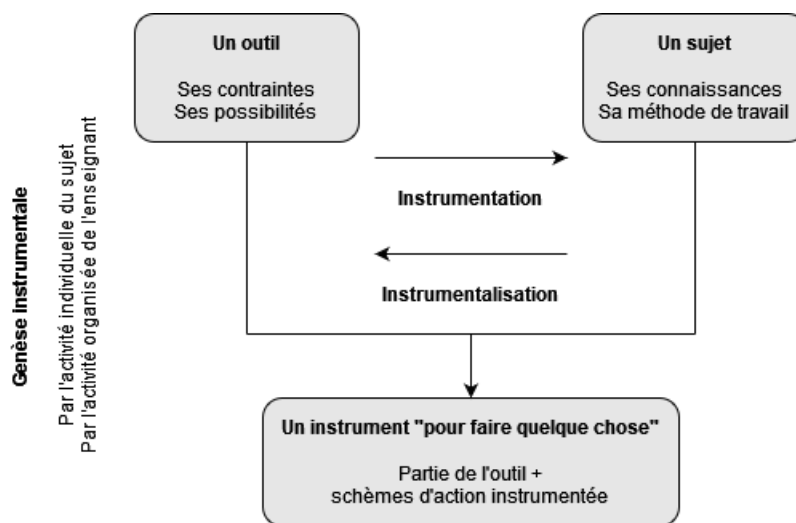


Figure 5. Traduction libre de l'illustration de Trouche (2004), à propos de la genèse instrumentale comme une combinaison de 2 processus.

L'appropriation de l'artefact par le sujet est bien le résultat d'une tension entre le sujet (l'individu possède ses propres connaissances, son vécu, ses schèmes, ses représentations...) et l'artefact (la technologie émergente est accompagnée de ressources mais aussi de contraintes) (Rabardel, 1995). Classiquement, lorsque des accompagnements au changement sont effectués afin de faciliter l'implémentation d'une technologie émergente, nous observons la formation de l'opérateur à la technologie émergente. C'est alors à lui de s'adapter à celle-ci que ce soit au niveau de ses savoir-faire ou au niveau de ses représentations. L'accompagnement au changement soutient donc classiquement le processus d'instrumentation, par exemple en formant l'opérateur à la technologie émergente pour qu'il puisse adapter son activité à ce nouvel outil. En revanche, bien que plus rarement observé, une conduite du changement peut favoriser le processus d'instrumentalisation, d'autant plus si elle répond à certaines caractéristiques (co-conception notamment). Durant ce type de conduite du changement, l'artefact fait émerger pour

le sujet, à plus ou moins long terme, de nouvelles fonctions et/ou de nouveaux usages potentiels. L'opérateur s'approprie alors la technologie. Un exemple de ce type d'instrumentalisation serait la catachrèse (Rabardel, 1995) où l'opérateur va détourner l'outil (ici la technologie émergente) de son usage initial afin qu'il corresponde mieux à son activité. Ces méthodes de conduite du changement engagent les concepteurs des situations de travail à identifier et soutenir les évolutions souhaitables de l'artefact pour répondre toujours davantage aux enjeux de l'activité. Par exemple, s'il est prévu par le concepteur que l'opérateur puisse modifier certaines caractéristiques de la technologie émergente telles que sa cadence (en fonction de l'état du flux et de l'opérateur) cela permet à l'opérateur de mieux se saisir de la technologie émergente et cela favorise donc les évolutions souhaitables de l'artefact pour répondre toujours davantage aux enjeux de l'activité.

La genèse instrumentale suppose donc le soutien des évolutions de l'artefact, surtout du point de vue du soutien du processus d'instrumentalisation (visé par l'ECS), plutôt que seulement l'adaptation des individus. Il est possible de retrouver ce soutien à 2 niveaux :

- Le premier niveau est celui de l'opérateur et de son environnement social proche (pairs, chef d'équipe, etc.). Folcher et Rabardel (2004) rappellent qu'il est pertinent de concevoir des artefacts (des technologies émergentes dans notre cas) dont les propriétés favoriseront la poursuite du processus de conception dans l'usage, et donc le développement ultérieur des genèses instrumentales (Rabardel, 1995). Concrètement, il s'agit de donner les moyens à l'opérateur pour qu'il puisse s'approprier la technologie et l'utiliser selon sa volonté durant l'activité. Nous sommes ici dans un temps court car il s'agit de la mobilisation directe de l'acteur et de son environnement social proche. Cependant, certaines fois, les futurs utilisateurs ne sont pas connus ou ne sont pas mobilisables (ou trop tardivement), la conception de l'artefact et la conduite du changement peuvent alors, à différentes intensités, favoriser une genèse instrumentale ultérieure.
- Le second niveau est celui de l'organisation. Contrairement au premier niveau, il n'est pas toujours possible d'effectuer directement les modifications. D'autres acteurs sont alors nécessaires (décideurs, ingénieurs, etc.), cela nécessite une intervention plus institutionnelle. Par exemple, pour la gestion des dilemmes professionnels croisant l'usage, plusieurs auteurs soulignent l'importance des temps de régulation collective et des espaces débat-travail (Clot, 2012 ; Falzon, 2005 ; etc.). Rabardel (1995) souligne que cela peut conduire à engager un autre et nouveau cycle de conception d'un artefact,

dont la nature peut être très différente. Concrètement, l'organisation doit être sollicitable et donc la parole des opérationnels doit être entendue afin de pouvoir engager un autre cycle de conception lorsque cela est nécessaire ou bénéfique à l'activité.

Seul l'opérateur peut juger finement de ses besoins pour l'activité. C'est pour cela que les exigences de la situation, construites par le sujet, imposent une extension des possibilités d'action qui soit indexée sur une approche écologique (située et multidimensionnelle) de la performance visée. L'ECS induit que la technologie émergente soutient cette extension de l'agir.

Contrairement à certaines approches de l'humain, l'approche instrumentale défend la vision d'un humain qui agit, ses actions sont pensées (parfois inconsciemment) et ne sont pas la simple réaction à un stimulus de l'environnement. Le sujet, en interaction avec son milieu, va donc chercher à le transformer afin qu'il satisfasse mieux ses aspirations. C'est également un moyen pour le sujet de se construire lui-même. L'ergonomie de l'activité, dans la lignée de cette vision, défend un sujet agissant qui n'est pas simplement soumis à son environnement et aux différentes contraintes. Il est vrai qu'en industrie, particulièrement, l'opérateur se plie à des contraintes et exigences fortes. Cependant, il n'est pas rare d'observer des opérateurs qui s'imposent des exigences encore plus fortes ou alors qui refusent les contraintes extérieures et qui n'en tiennent pas compte. L'opérateur peut donc se confronter au milieu, le transformer pour qu'il lui soit plus favorable et, ce faisant, il se construit.

Selon Wisner (1997, p. 250) : « l'élargissement du champ des actions est une des caractéristiques typiques et fondamentales du développement humain. [...] La compétence des travailleurs est très liée à leur capacité de changer de registre selon les circonstances ». L'ECS, dans la lignée de l'approche instrumentale, cherche à soutenir cette extension des possibilités d'agir du sujet. Cette adaptabilité et ce pouvoir de transformation de l'humain envers son milieu est central dans l'activité de l'opérateur. Selon Hubault (2021, p. 231) : « l'activité est une insubordination qui signe sa fondamentale inaliénabilité ». Selon les approches dont est issue l'ECS, il est important de soutenir l'agrandissement des possibilités d'agir. Cet élargissement permet d'interroger les situations d'usage des technologies émergentes et les processus de conception des postes de travail qui y sont associés, notamment parce que la technologie émergente (l'artefact) est liée à cette confrontation de l'individu à son Milieu et qu'elle est déterminante pour l'activité de l'opérateur dans sa situation de travail. Le devenir instrumental

de la technologie dépend du rapport du sujet envers celle-ci. Est-ce que la technologie permet à l'opérateur d'atteindre ses buts ? Ou est-elle un frein à ses aspirations ? Dans un cas, l'opérateur peut apprendre ou se développer lui et son activité. Dans l'autre cas, l'opérateur fera son possible pour éviter l'usage de la technologie émergente et se détournera de celle-ci (contournement, sabotage, etc.) car elle entre en contradiction avec sa vision de son monde et ses aspirations. De plus, une genèse instrumentale, et plus précisément l'instrumentalisation, est induite (en partie) grâce à une extension des possibilités d'action de l'opérateur. Si celui-ci dispose de davantage de manières d'agir, l'artefact devenu instrument (ici la technologie émergente) autorise l'opérateur à être plus performant ou atteindre de nouveaux buts, ce qui favorise l'acceptation de la technologie.

Chapitre 3 : concept et composition d'une situation de collaboration capacitante (ECS)

55.6% (10/18) des dimensions issues de notre analyse de la littérature ainsi que de ces critères de l'agir sont comprises dans l'ECS. La figure 6 représente les différentes dimensions relevées par notre analyse de la littérature. Les dimensions cerclées de noir sont celles faisant partie de l'ECS et le chiffre en indice indique le critère de l'ECS en question. Nous pouvons remarquer qu'elles sont comprises dans 3 de nos 4 catégories et composent environ la moitié des critères issus de l'analyse du facteur humain en lien avec les technologies émergentes dans la littérature (55.6%). Nos critères d'une ECS s'intéressent donc beaucoup aux dimensions expérientielles de la relation à la technologie ainsi qu'aux dimensions collectives du travail avec la technologie. En revanche, il est vrai que cette définition est moins sensible sur les points classiques de l'interaction humain-machine (utilisabilité, acceptabilité, etc.) ainsi que sur les variables sécuritaires (normes, sécurité, environnement...). Ce qui nous paraît essentiel est de porter le critère des capacités effectives d'action. Notre proposition d'ECS rassemble des travaux divers en ergonomie de l'activité. Ce sont justement ces critères classiques de l'interaction humain-machine qui sont souvent largement portés et qui n'expliquent pas certaines insatisfactions relatives aux projets d'implémentation technologique. L'ECS n'est pas non plus sensible, dans un premier temps, à la conduite du changement bien que celle-ci puisse favoriser une ECS. C'est un point que nous aborderons par la suite.

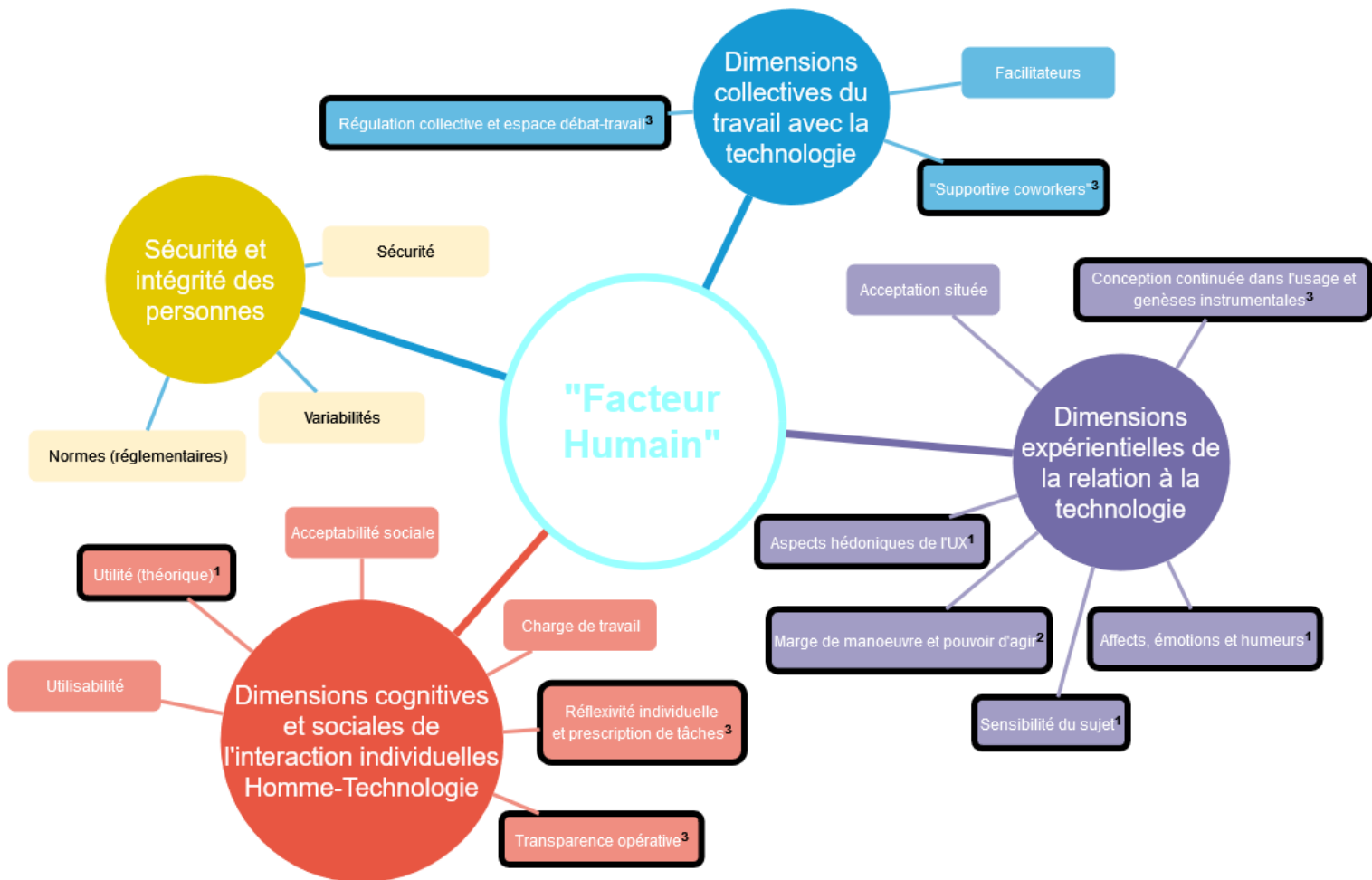


Figure 6. Représentation visuelle des dimensions relevées dans la littérature. Les dimensions cerclées de noir sont celles faisant partie de l'ECS (le chiffre en indice indique le critère de l'ECS).

L'ECS soutient le déploiement de l'activité de l'opérateur lors de l'implémentation d'une technologie émergente selon trois critères :

1. Apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante et maintien de cet apprentissage

Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante est le premier critère d'une ECS. Souvent, l'objectif premier d'une implémentation technologique est l'amélioration de la performance. Cependant, on peut observer d'autres objectifs premiers (la préservation de la santé des opérateurs, par exemple) mais ils ne doivent pas entraîner une baisse de la performance. Cet aspect est donc soutenu par ce premier critère de l'ECS. La performance, dans le cadre organisationnel, correspond à : « la réalisation d'un résultat équivalent ou supérieur à l'objectif fixé par une organisation compte tenu des moyens mis en œuvre » (Bourgeois-Bougrine & Brangier, 2021, p. 389). Cette augmentation de la performance n'est pas seulement du point de vue de l'organisation, l'opérateur devrait également obtenir un résultat équivalent ou supérieur à ses aspirations en fonction des moyens dont il dispose et qu'il aura mis en œuvre. Il s'agit d'identifier les critères de performance pertinents dans le système considéré, notamment aux yeux des différents protagonistes et avant tout aux yeux de l'opérateur. L'évaluation de cette performance ne peut être faite qu'au plus proche des situations réelles d'usage, cette analyse doit donc être écologique. En effet, il est assez classique que la performance soit estimée, avant implémentation de la technologie, à partir de simulations (virtuelles ou avec des tiers qui simulent les usages) qui sont finalement assez éloignées des variabilités quotidiennes du travail humain.

En rapport avec notre analyse de la littérature, nous retrouvons donc les dimensions de l'utilité (Nielsen, 1994 ; Tricot et al., 2003) et, plus indirectement, celles relatives aux affects, émotions et humeurs (Lallemand & Gronier, 2017), aux aspects hédoniques de l'expérience utilisateur (Hassenzahl, 2003 ; Lallemand & Gronier, 2017), et à la sensibilité et l'orientation du sujet (Falaix & Récopé, 2014 ; Récopé et al., 2019). La relation structurante de la performance et de la santé est un des piliers de l'ergonomie : la performance professionnelle est une condition de la construction de sa santé par le travail (Coutarel et al., 2021). C'est pour cela que le sentiment de performance pour un opérateur en situation de travail est directement associé aux aspects hédoniques de l'expérience utilisateur (Hassenzahl, 2003 ; Lallemand & Gronier, 2017), aux émotions et humeurs (Lallemand & Gronier, 2017) mais surtout aux orientations du sujet (qui lui sont propres) envers son activité (Récopé et al., 2019), c'est-à-dire à la hiérarchisation dynamique et en actes des valeurs qu'il associe à son travail (Monéger, 2018) : ce vers quoi le sujet tend le plus parmi les différents enjeux sous-jacents aux prescriptions qui lui sont faites.

Concrètement, il est nécessaire de mesurer si la technologie émergente, en situation, permet d'obtenir un résultat équivalent ou supérieur à la situation antérieure, selon les critères de performance retenus. Ces critères de performance doivent être évalués en fonction des

différents acteurs (management, opérateur...). Cette nouvelle manière de faire doit être stable dans le temps pour une performance durable et soutenable.

2. Accroissement des possibilités et des manières de faire

L'accroissement des possibilités et des manières de faire est le second critère de l'ECS. Il est nécessaire d'élargir les possibilités d'action de l'opérateur afin de favoriser le déploiement de son activité. Cela est rendu possible par l'élargissement de sa MMS (Coutarel et al., 2015). L'opérateur, en acquérant de nouvelles capacités, augmente le champ des capacités exprimables. La technologie émergente lui permet d'utiliser ses nouvelles possibilités qui répondent à des capacités de l'opérateur qu'il ne pouvait pas exprimer jusque-là car contrariées. Malheureusement, il est fréquent d'observer une restriction des possibilités d'action de l'opérateur lors de l'implémentation d'une technologie émergente. L'opérateur fait office de variable d'ajustement en s'adaptant à la technologie et en réalisant les actions que celle-ci ne peut pas faire. L'opérateur se voit ainsi réduire sa marge de manœuvre. Il est donc nécessaire que, lors de la conception de la situation de travail, les différents acteurs pensent les différentes possibilités d'usage de la technologie émergente. L'objectif, par exemple, est que l'opérateur puisse reprendre la main sur certaines étapes du process ou encore laisser la main à la technologie émergente sur ces mêmes étapes selon les circonstances. Afin de penser ses possibilités d'usage, il est important de connaître le travail préalablement à l'implémentation de la technologie émergente et donc de faire une évaluation écologique du travail (sur l'ancien poste, sur des postes analogues, etc.) avec les différents acteurs concernés (ou similaires lorsque les acteurs ne sont pas connus ou mobilisables) lors de la conception du poste.

Concrètement, l'opérateur devrait avoir plusieurs possibilités pour réaliser son travail. Il pourrait, par exemple, choisir (lorsque cela est possible et pertinent) l'agencement des étapes du processus. Il est recommandé que l'opérateur dispose d'au moins 2 modes opératoires, distincts et satisfaisants pour effectuer ses tâches afin d'avoir une MMS suffisante (Norval et al., 2019).

3. Ajustement des attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps

L'ajustement des attributs du couple (Humain-Technologie) en fonction de l'évolution des situations dans le temps est le troisième critère de l'ECS. La situation de travail, de par l'évolution inhérente à la production et de par les différentes formes de variabilité est amenée à changer. L'opérateur aura donc besoin de pouvoir modifier sa situation de travail et notamment la technologie émergente pour répondre à ces changements. Pour cela, il est nécessaire de favoriser et soutenir dans le temps le processus de genèse instrumentale (Folcher & Rabardel, 2004 ; Rabardel, 1995 ; Rabardel & Pastré, 2005 ; Vergnaud, 2006) et donc de rendre possible une CCU. Nous identifions deux conditions afin de favoriser cette CCU.

Dans le premier cas, l'opérateur doit disposer des différentes compétences et autorisations nécessaires pour pouvoir opérer lui-même les différentes modifications (ou à l'aide du collectif, les collègues doivent donc être une source de soutien pour l'opérateur (Hon et al., 2014)), dans un temps court. Ces différentes modifications, toujours dans un temps court, peuvent être soutenues par l'organisation en marche courante. Les caractéristiques du couple seront donc modifiées rapidement, à l'initiative de l'opérateur. Cela suppose plusieurs choses. Tout d'abord, l'opérateur doit comprendre suffisamment le fonctionnement de la technologie émergente qu'il utilise, c'est ce que Rabardel (1995) dénomme la transparence opérative. L'opérateur doit pouvoir traduire les actions passées, pour ajuster ses actions présentes et déduire les conséquences futures de ses actions. La collaboration humain-technologie est alors davantage claire pour l'opérateur. Cependant, il est aussi nécessaire que l'individu ne soit pas débordé par ses tâches (Falzon, 2005) afin qu'il puisse penser sa propre activité, simuler, tester ou encore solliciter un avis ou une aide. Cela sous-entend un troisième point : le management doit accorder sa confiance et responsabiliser l'opérateur (ou au moins un certain niveau de confiance et de responsabilisation). Certains auteurs dénomment ceci le management de type « habilitant »³ (Ahmed Yahia, 2019).

³ L'essence du leadership habilitant est d'attribuer aux opérateurs des responsabilités additionnelles, un pouvoir décisionnel sur le travail ainsi que les ressources et le soutien nécessaires pour gérer efficacement leurs responsabilités (Ahearne et al., 2005, Vecchio et al., 2010). Ce type de leadership induit plusieurs avantages tels qu'une meilleure performance et une plus grande satisfaction au travail (Vecchio et al., 2010), le renforcement de la motivation intrinsèque des individus, ainsi que leur sentiment de compétence (Bowen & Lawler, 1992, cité dans

Dans le second cas, l'opérateur ne peut pas modifier directement les caractéristiques du couple humain-technologie. Cela peut dépendre du contexte ou de la nature même des évolutions souhaitables. Ces changements ne peuvent pas être effectués dans un temps court et/ou ne sont pas réalisables par l'opérateur ou son environnement immédiat. L'opérateur aura donc besoin de l'aide de l'organisation pour prendre en charge et permettre les modifications nécessaires à la situation de travail (et donc souvent à la technologie émergente). L'organisation doit alors autoriser ces demandes d'évolution par son fonctionnement courant. Différents éléments peuvent y être propices comme les espaces de débat sur le travail et les temps de régulation collective (Clot, 2012 ; Falzon, 2005 ; Hon et al., 2014 ; Rocha et al., 2017) ou de manière générale tout processus d'amélioration continue efficient.

Concrètement, il est important qu'un espace de discussion collective soit mis en place. Par « espace de discussion collective », nous entendons : « espace de confrontation et de médiation via la discussion sur le travail entre les différents acteurs de l'organisation...» (Rocha et al., 2017, p. 4). Les différentes modalités de mise en place et caractéristiques sont évoquées par Rocha et al. (2017). La concertation des différents acteurs (entre les opérateurs, entre les opérateurs et leur encadrement, entre les opérateurs et les concepteurs) est nécessaire pour que l'organisation puisse définir une modalité temporelle adéquate pour ces temps d'échange. Une communication directe entre les concepteurs et les opérateurs doit être possible et favorisée. Dans la mesure du possible, il est souhaitable que l'opérateur puisse lui-même effectuer les modifications directement dans sa situation de travail, la technologie émergente doit donc être comprise et tendre vers une accessibilité et une flexibilité convenable. L'opérateur doit avoir une transparence opérative satisfaisante (selon son évaluation) sur les données traitées, sur le type de traitement et sur les compétences de la technologie émergente pour modifier directement la technologie émergente ou pour permettre les débats.

Ahmed Yahia, 2019). Enfin, Hon et al. (2014) distinguent le management habilitant comme un facteur socio-contextuel qui aide à dépasser les effets de la résistance au changement. Les dirigeants (leaders) doivent donc reconnaître les barrières et fournir un support approprié pour la résolution de problèmes (Schoville, 2017).

4. Intérêts théoriques de l'ECS

L'ECS est donc inscrite dans la continuité de développements antérieurs. Il est possible, à ce stade, de soulever plusieurs points d'utilité de l'ECS. Ces différents points sont :

- L'ECS rassemble dans une même proposition des critères présents dans la littérature en ergonomie de l'activité. Ces critères sont dispersés et donc difficiles d'accès pour les ergonomes et les concepteurs. Les critères 1 et 2 portent principalement sur l'instrumentation. Le critère 3 porte l'exigence d'instrumentalisation. La genèse instrumentale est donc soutenue par l'ensemble des critères.
- L'ECS semble se différencier des propositions autour du/des facteurs humains qui dominent la littérature internationale ; de par son ancrage autour de la signification et du vécu de la situation à travers l'extension des capacités effectives d'action, elle porte une perspective largement absente de cette littérature.
- L'ECS suppose une situation antérieure (ou de référence) afin d'autoriser une comparaison avec la nouvelle situation. Au fil du temps, c'est cette dernière qui deviendra la nouvelle situation de référence, de laquelle de nouveaux besoins d'activité émergeront. Cela correspond à ce que vivent les travailleurs qui comparent les bénéfices d'une situation antérieure (souvent vécue) et la variabilité comme les évolutions du travail qui, au final, conduisent à considérer souhaitables de nouvelles évolutions.
- L'ECS a pour avantage de contenir une déclinaison opérationnelle de ses différents critères.
- Les critères de l'ECS peuvent permettre d'évaluer une situation d'usage de la technologie, comme ils peuvent guider le processus de conception lui-même de cette situation de travail (et la technologie émergente associée).

Chapitre 4 : une conduite du changement favorable à l'ECS

La conduite du changement est un point déterminant car elle consiste en l'ensemble des opérations effectuées afin de permettre et faciliter l'implémentation de la technologie émergente. Ainsi, nous nous sommes intéressés aux conditions de conduite du changement qui seraient favorables à la conception d'une ECS. Pour cela, nous avons étudié les conditions

associées dans la littérature à une implémentation réussie de la technologie. En ce qui concerne la conduite du changement, nous avons relevé ces différents éléments :

1. L'accompagnement au changement

Selon plusieurs auteurs (Cenfetelli, 2004 ; Laumer & Eckhard, 2012 ; Lapointe & Rivard, 2005 ; Martinko et al., 1996) la résistance utilisateur est basée sur les croyances et les attitudes envers les technologies en question. Cette résistance peut être induite par plusieurs facteurs comme les menaces perçues, les inhibiteurs de la technologie, la perte de pouvoir, etc. Nous pouvons donc logiquement lier ces aspects à la communication du dirigeant et l'accompagnement au changement (Autissier & Moutot, 2016 ; Kearns, 2004) pour guider l'opérateur vers d'autres représentations. Autissier et Moutot (2003 ; 2016) distinguent les contours de l'accompagnement au changement. Il correspond aux actions que l'entreprise peut mettre en place, sur le terrain avec les acteurs concernés, pour favoriser l'implémentation de la nouvelle technologie et se l'approprier. Chaque situation propre est unique, il est donc difficile de définir des critères pragmatiques. En revanche, Autissier et Moutot (2003 ; 2016) recommandent un accompagnement au changement en 3 étapes.

La première concerne le traitement des impacts. Les études d'impacts permettent de construire le plan d'accompagnement. Chaque étude permet de définir le point A et le point B du changement et les actions d'accompagnement nécessaires. L'étude formalise la cible du changement par rapport à l'existant.

La seconde étape est appelée coaching (Autissier & Moutot, 2003) ou plan de communication (Autissier & Moutot, 2016). Cette communication permet de construire la cible du changement et le processus de sa réalisation. Elle rassure les bénéficiaires et leur permet de se projeter. Elle peut passer par différents canaux comme des affiches, des mails, des entretiens, etc. Cependant les auteurs (Autissier & Moutot, 2003) recommandent pour les managers une méthodologie en 3 entretiens de 2h. Lors du premier entretien, doivent être explicitées les manières qui ont conduit à la décision du changement. Le deuxième entretien doit porter sur les modalités de réalisation du changement. Enfin, le troisième entretien porte sur l'exploitation et le suivi du changement (ce que nous appelons dans nos monographies la gestion et la trajectoire des personnes impactées par le changement). La forme des entretiens et leur nombre ne semblent pas avoir autant d'importance que les sujets abordés. Il semble essentiel d'aborder ces 3

éléments afin que les opérateurs aient connaissance de la technologie émergente et qu'ils soient correctement accompagnés sur les tenants et aboutissants du projet.

Enfin, la troisième étape porte sur la formation (Autissier & Moutot, 2016 ; Strauch, 2017). Selon Autissier et Moutot (2016, p. 165), la formation est « une attente forte des bénéficiaires du changement car cela les rassure et leur donne des enseignements sur le « comment faire ». ». Ils recommandent également la création de nouveaux outils de gestion afin d'obtenir une vue différente de l'environnement de travail. « La modification des outils oblige les acteurs à modifier leurs pratiques mais également à réfléchir sur l'intérêt et la finalité de ces mêmes pratiques » (Mitre, 2003, p. 14). Nous avons donc là un point qui se rapproche de l'évaluation précoce de l'utilité de la technologie émergente.

D'un point de vue pratique, il est essentiel d'accompagner les opérateurs afin de les préparer à la nouvelle situation de travail et à la technologie émergente. Il ne s'agira pas de modifier leurs représentations car elles seraient « mauvaises » mais plutôt de leur expliquer ce à quoi sert la technologie et donc les raisons du changement ainsi que sa mise en place et l'avenir du dispositif et des personnes impactées. Il peut être difficile de se représenter certains aspects de la future situation de travail. L'objectif est donc bien de discuter des visions et des représentations. Il semble également pertinent que l'opérateur puisse « essayer » la technologie émergente avant son intégration opérationnelle au poste de travail.

2. La co-conception de la future situation de travail

Selon Bobillier-Chaumon (2017), il est important de déployer une démarche d'intégration participative et de co-conception des outils en regroupant les différents acteurs concernés (utilisateurs finaux, décideurs, concepteurs...). Il est essentiel d'impliquer une diversité d'acteurs (Trischler et al., 2018 ; Trischler et al., 2019). Si les utilisateurs finaux ne sont pas accessibles, il est envisageable d'inviter des opérateurs d'une situation analogue afin de profiter de leur expertise. En effet, les analyses d'activité viennent nourrir et étayer les réflexions de ce collectif et la mise en place de méthodes de simulation (Van Belleghem, 2012) peuvent éprouver et affiner les solutions esquissées. Schoville (2017), nous rapporte également que si tous les acteurs (hiérarchiques et opérateurs) sont impliqués dans le processus d'implémentation d'une technologie (développer les usages, design...), cela augmente la vitesse de l'adoption de la technologie. De la même sorte que pour les EDT, il n'existe pas de méthodologie prédéfinie

en ce qui concerne la temporalité de ces regroupements. Il appartiendra donc aux différents acteurs (futurs utilisateurs compris) de se réunir pour co-concevoir le dispositif et définir, ensemble, la modalité temporelle de ces réunions. L'I3C (Barcellini, 2015) détaille les différentes modalités de cette co-conception.

3. L'évaluation précoce de l'utilité de la technologie émergente

Les technologies sont fréquemment implémentées en « techno-push » et donc sans lien étroit avec les enjeux précis des opérateurs ; l'évaluation précoce de l'utilité (Davis, 1985 ; Nielsen, 1994), en situation écologique, semble alors essentielle. Il est donc nécessaire que l'organisation effectue une évaluation précoce (en début de projet d'implémentation) de l'utilité du dispositif technologique. Cette évaluation permettra de vérifier si la technologie émergente est le bon choix, en adéquation avec le besoin, le but que le système est censé permettre d'atteindre. Cette utilité théorique doit être évaluée selon les sensibilités des différents acteurs. Il est risqué d'autoriser l'implémentation d'une technologie émergente qui ne soit validée que par un seul type d'acteur, l'organisation par exemple, car cela pourrait se traduire par un rejet des opérateurs qui ne partagent pas toujours la même sensibilité sur les critères choisis.

En résumé, ces différents aspects de conduite du changement étant rarement rencontrés dans les situations observées, il semble important de définir ce que serait une conduite du changement favorable à la mise en place d'une ECS. En tenant compte des différents éléments soulevés précédemment, ce type de conduite du changement est favorable à l'expression de l'ensemble des acteurs quant à leurs critères d'importance. Nous pouvons rapprocher cela d'une démarche de co-conception de la situation de travail (Bobillier-Chaumon, 2017), ce qui est favorable aux trois critères de l'ECS. En effet, cette co-conception autorise une vision opérationnelle du poste de travail selon les modalités décrites précédemment. Il est assez classique d'observer des ingénieurs simulant eux-mêmes les usages ou alors des postes de travail importés d'autres usines sans que l'on ait pris en compte les spécificités de l'environnement, notamment social. De plus, cette conduite du changement doit aussi favoriser l'accompagnement au changement (Autissier & Moutot, 2003 ; Autissier & Moutot, 2016) des opérateurs. Il ne s'agit pas de simplement les convaincre du bien-fondé du changement mais il

s'agit surtout de favoriser la compréhension de la future situation de travail, des raisons du changement et d'expérimenter la technologie émergente. Cela pourrait améliorer indirectement le premier critère de l'ECS en ce qui concerne la sensibilité des opérateurs. Enfin, cette conduite du changement doit favoriser une évaluation réaliste de la technologie émergente en situation. Elle autorise des essais en situation écologique (ou très proche) avec les futurs opérateurs (ou acteurs analogues). C'est ce que nous pourrions appeler l'évaluation précoce de l'utilité de la technologie émergente (Davis, 1985 ; Nielsen, 1994 ; Tricot et al., 2003). Il est assez classique que la technologie émergente ne soit pas évaluée (techno-push) ou d'observer les concepteurs de la future situation de travail évaluer eux-mêmes la performance ou encore une fois, la déportation directe d'un poste de travail. La performance se situant dans le couple humain-technologie, son évaluation ne peut être décorrélée des futurs opérateurs (ou d'un personnel représentatif).

D'un point de vue de l'intervention, ce qui n'est pas l'orientation de notre recherche mais qui en est un lien important, l'I3C (Intervention Capacitante en Conduite du Changement) détaille les processus qui seraient favorables à une « conduite du changement capacitante » (Barcellini, 2015). L'I3C porte différents critères qui sont en lien avec nos recherches. Il s'agit notamment de la construction d'une représentation commune de l'activité réelle et l'analyse collective de l'existant (Raspaud, 2014, cité dans Barcellini, 2015), ainsi que la conception de l'organisation « capacitante » (Barcellini, 2015). Il s'agit également de soutenir la performance des participants, la préservation de leur santé, la conception d'une situation de travail de conception capacitante et de favoriser la durabilité des transformations (Barcellini, 2015). La culture d'entreprise⁴ (Hon et al., 2014 ; Thévenet, 2015) peut aussi soutenir cette conduite du changement si l'entreprise possède une culture d'innovation.

Concrètement, l'organisation doit accompagner les futurs opérateurs au changement. Cela peut être en mettant en place des études d'impact de la nouvelle situation de travail, en communiquant et en formant les opérateurs à la future situation de travail (ce qui inclut la technologie émergente) (Autissier & Moutot, 2003 ; Autissier & Moutot, 2016) ou encore en

⁴ Selon Thévenet (2015), deux aspects structurent la définition de la culture. Elle est un contenu (un ensemble de références partagées dans l'organisation, construites tout au long de son histoire en réponse aux problèmes rencontrés par l'entreprise), descriptible, spécifique à l'entreprise qui la distingue des autres. Elle est aussi un mode de description de l'organisation, une grille de lecture de cette « société humaine » particulière. Pour Thévenet (2015), la culture d'entreprise est donc une manière spécifique à l'entreprise de répondre aux problèmes ; elle caractérise l'entreprise et la distingue des autres dans ses façons de réagir aux situations courantes de la vie de l'entreprise. En effet, selon Hon et al. (2014), le climat pour la modernité est un des facteurs socio-contextuels qui aide à dépasser les effets de la résistance au changement.

fournissant aux futurs utilisateurs l'opportunité de « tester » la technologie émergente avant son implémentation. De plus, les différents acteurs (futurs utilisateurs ou pairs représentatifs compris) doivent se réunir pour co-concevoir le dispositif. Il leur reviendra de trouver un accord sur la temporalité de ses réunions, l'I3C (Barcellini, 2015) peut aider à accompagner cette démarche. Enfin, il est à la charge de l'organisation d'évaluer, très tôt dans le projet, l'utilité théorique de la technologie émergente. Elle doit être capable de justifier l'amélioration espérée de la future situation de travail (performance, conditions de travail, etc.). Cette mesure doit être écologique afin d'éviter le techno-push.

Synthèse de l'ECS et de la conduite du changement associée

L'ECS est une continuité à l'environnement capacitant proposé par Falzon (2005), notamment en ce qui concerne son aspect le plus développemental. Nous partageons bien l'idée d'une situation de travail favorisant l'acquisition de compétences et de savoirs, l'élargissement des possibilités d'action. En revanche, nous nous distinguons de Falzon, entre autres, sur le vocable utilisé. L'ECS répond à une ambition tenant davantage à l'apprentissage qu'au développement, l'utilisation d'une technologie émergente n'impliquant pas nécessairement un changement de rapport au milieu chez l'opérateur. Selon Récopé et Barbier (2015, p. 25), les transformations de type apprentissage « désignent les acquisitions qui, au sein d'un couplage structural inchangé, permettent d'accroître l'efficacité et la compatibilité des interactions ». Contrairement au développement, ici associé à une rupture, l'apprentissage s'inscrit dans la continuité d'un rapport au milieu existant. Cet aspect d'apprentissage correspond à la vision développementale de l'environnement capacitant développée par Falzon (2005). Nous utilisons également le terme de situation qui illustre « un état et des relations » (St-Vincent et al., 2011, p. 341). Le terme situation, contrairement à celui d'environnement, semble donc illustrer cette interaction, ce couplage entre l'individu et la technologie émergente, entre l'individu et son environnement.

L'ECS s'inscrit également dans la continuité de l'approche instrumentale proposée par Rabardel (Rabardel, 1995). La genèse instrumentale possède 2 orientations. La première, appelée instrumentation, concerne l'émergence et l'évolution des schèmes d'utilisation qui sont déterminés par l'artefact. C'est ce que nous observons fréquemment lors de l'implémentation d'une technologie émergente : le sujet s'adapte à l'outil. La seconde orientation, appelée

instrumentalisation, concerne l'attribution de fonctions à l'artefact. Il s'agit de mettre la technologie émergente à sa main, se l'approprier ou détourner ses fonctions pour une meilleure adéquation à son activité. Alors que les accompagnements au changement sont effectués afin de faciliter l'instrumentation, notamment via des formations, il est possible (bien que plus rare) que la conduite du changement puisse favoriser une instrumentalisation (notamment à travers la co-conception de la future situation de travail). L'ECS vise donc le soutien des genèses instrumentales, surtout du point de vue du processus de l'instrumentalisation. Ce soutien peut avoir lieu au niveau de l'opérateur et de son environnement social proche ou alors au niveau de l'organisation, lorsque d'autres acteurs sont nécessaires (décideurs, ingénieurs, etc.). L'ergonomie de l'activité, dont nous nous réclamons, soutient la vision d'un sujet, en interaction avec son milieu qui agit et n'est pas simplement soumis à différentes contraintes. L'objectif principal de l'ECS est donc bien de soutenir l'extension des possibilités d'action de l'opérateur autorisée par l'implémentation d'une technologie émergente.

Ce déploiement de l'activité est soutenu via les 3 critères de l'ECS qui sont :

- Apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante et maintien de cet apprentissage.
- Accroissement des possibilités et des manières de faire.
- Ajustement des attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps.

Les intérêts théoriques de l'ECS (abordés en section « 4. Intérêts théoriques de l'ECS ») justifient l'intérêt pour cette proposition théorique, notamment par son développement en critères opérationnels permettant une évaluation d'une situation d'usage de la technologie, mais aussi le guidage du processus de conception de la situation de travail (et la technologie émergente associée).

Toujours dans une visée opérationnelle, la conduite du changement est un point déterminant pouvant favoriser ou défavoriser la mise en place d'une ECS. Les points principaux de cette conduite du changement concernent l'accompagnement au changement, la co-conception de la future situation de travail et l'évaluation précoce de l'utilité de la technologie émergente. Le tableau 2 résume les différents critères évoqués ainsi que leurs critères pragmatiques associés. Certaines dimensions sont directement issues de notre analyse de la littérature et d'autres sont mobilisées car elles nous semblent indispensables aux ambitions de l'ECS.

Tableau 2. Critères de l'ECS, dimensions et critères pragmatiques associés.

Critères de l'ECS	Dimensions associées	Critères pragmatiques associés
Critère 1 de l'ECS : Apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante et maintien de cet apprentissage	Utilité	L'opérateur doit pouvoir accomplir ce qu'il souhaite effectuer, la technologie ne doit pas empêcher ses actions.
	Affects, aspects hédoniques de l'UX et sensibilité à	Le rapport de signification construit par l'opérateur lors de l'usage de la technologie émergente, ce à quoi l'opérateur accorde de la valeur en activité ainsi que ses ressentis au contact de la technologie émergente doivent être favorables au bon déroulement de son activité.
	Acceptation	L'opérateur doit accepter, en situation, la technologie émergente.
Critère 2 de l'ECS : Accroissement des possibilités et des manières de faire	Marge de manœuvre situationnelle	L'opérateur doit disposer de plusieurs manières efficaces de travailler (au moins 2 modes opératoires, distincts et satisfaisants) en fonction de ses préférences et des variabilités rencontrées.
Critère 3 de l'ECS : Ajustement des attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps	Genèses instrumentales et conception continuée dans, par et pour l'usage	L'opérateur doit avoir la possibilité de s'approprier la technologie émergente et la situation de travail (genèses instrumentales : instrumentation/instrumentalisation). L'opérateur doit également avoir la possibilité de modifier sa situation de travail ainsi que la technologie émergente.
	Entraide des pairs	L'opérateur en activité doit disposer d'une source de soutien auprès de ses pairs (partage d'informations, aide, etc.).
	Transparence opérative	L'opérateur doit comprendre suffisamment le fonctionnement de la technologie. Il doit pouvoir interpréter la situation actuelle en fonction de l'historique et pouvoir interpréter les effets des actions.
	Réflexion individuelle	L'opérateur doit être en situation de prendre sa propre activité de travail comme objet d'analyse. L'opérateur ne doit alors pas être débordé par la tâche à accomplir.
Management de confiance et de responsabilisation	L'opérateur doit voir son autonomie et sa responsabilisation favorisées par son management.	

	Espaces de débat sur le travail et temps de régulation collective	L'opérateur doit disposer de temps de régulation collective et d'espaces de débat sur le travail lors desquels sa voix peut être entendue. La majorité des acteurs (hiérarchie, ingénieurs, pairs, etc.) doivent être régulièrement présents.
Conduite du changement (absent de l'ECS mais peut en favoriser la conception)	Accompagnement au changement	Des présentations de la technologie émergente et de la future situation de travail doivent être effectuées en amont de l'implémentation. Ces présentations doivent être accompagnées de présentations sur les raisons du changement. Enfin, un individu « expert » de la technologie émergente doit aider à la prise en main de celle-ci par l'opérateur. D'autres modalités d'accompagnement au changement pourront être mises en place.
	Co-conception	La situation de travail doit être co-construite en impliquant une diversité d'acteurs.
	Évaluation précoce de l'utilité	Il est nécessaire d'effectuer une évaluation précoce de l'utilité de la technologie émergente assez tôt dans le processus de conception.

Chapitre 5 : objectifs de la thèse et différentes études

Ce travail de recherche se compose de trois parties afin d'étudier l'intérêt de l'ECS. Pour cela, nous avons mis en place une étude de cas multiples (composée de 3 cas) ainsi que 2 situations expérimentales exploratoires et 2 études expérimentales plus ambitieuses.

1. Objectif 1 et étude de cas multiples

Le premier objectif de cette recherche est de vérifier comment se construisent les projets d'implémentation technologique. Il s'agit d'y mesurer la prise en compte du FH de manière générale mais surtout de se focaliser sur les critères composant l'ECS.

Pour cela, nous avons mis en place une étude de cas multiples composée de 3 cas. Le premier cas porte sur l'implémentation d'un robot collaboratif (Yumi) au sein d'une ligne de production (chez un équipementier automobile à dimension internationale). Le second cas porte sur l'implémentation d'un dispositif de réalité augmentée (HoloLens 1) au sein d'un service de maintenance (chez un équipementier automobile à dimension internationale). Enfin, le troisième cas porte sur l'implémentation d'un exosquelette (IP-12) auprès de sylviculteurs (travailleurs indépendants).

2. Objectif 2 et étude expérimentale auprès de concepteurs

Le second objectif de cette recherche est de mesurer comment notre proposition de l'ECS est perçue par les concepteurs (ingénieurs) des situations de travail.

Nous avons donc investigué, à travers deux études exploratoires et une étude longitudinale, comment des ingénieurs en formation pouvaient s'approprier les différents critères de l'ECS. Différentes modalités d'accompagnement ont été essayées car les ingénieurs ne prennent pas spontanément en compte certains critères de l'ECS qui peuvent leur paraître éloignés (ce que nous montrent les études exploratoires et l'étude de cas multiples). L'étude longitudinale consistait en l'accompagnement de deux groupes d'étudiants ingénieurs dont l'objectif était de concevoir un poste de travail collaboratif (collaboration humain-cobot).

3. Objectif 3 et étude expérimentale auprès d'opérateurs

Le troisième objectif de cette recherche est d'expérimenter la possibilité de concevoir une situation d'usage d'une technologie émergente à partir des critères de l'ECS. Le but étant de mesurer que cela ne nuise pas à la performance et que l'ECS soit bien perçue par les opérateurs.

Pour cela, nous avons mis en place une étude expérimentale auprès d'industriels simulant l'activité d'un technicien de maintenance. L'objectif était de faire vivre au participant une situation classique (avec un mode opératoire papier) puis de lui faire vivre une situation similaire mais assistée d'un dispositif de réalité augmentée (HoloLens 2). Cette seconde situation respectant, à différentes intensités, les critères de l'ECS.

Partie II : Cadre méthodologique général

Chapitre 6 : complémentarité de nos différentes études

1. Stratégie de recherche

Dans l'objectif de vérifier, *in situ*, comment se construisent les projets d'implémentation technologique, nous avons mis en place une étude de cas multiples. Le but de cette étude était de vérifier de quelle manière sont implémentées différentes technologies émergentes et comment les opérateurs réagissent à ces implémentations. Nous avons pu voir que l'ECS n'est pas indexée à une technologie émergente spécifique. Nous avons donc étudié des projets comprenant différentes technologies émergentes qui comptent parmi les dernières technologies émergentes de l'industrie du futur (partie III : Étude 1). Nous aborderons dans un premier temps la méthode de l'étude de cas multiples ainsi que la construction d'une monographie (chapitre 7), pour ensuite l'utiliser avec nos 3 cas. Le premier cas (chapitre 8 : « 1. Cas A, le cas de l'implémentation d'un cobot ») concerne l'implémentation d'un robot collaboratif (Yumi) au sein d'une ligne de production, dans un cadre industriel. Le second cas (chapitre 8 : « 2. Cas B, le cas de l'implémentation de lunettes de réalité augmentée ») concerne l'implémentation d'un dispositif de réalité augmentée (HoloLens 1), dans un cadre industriel. Le troisième cas (chapitre 8 : « 3. Cas C, le cas de l'implémentation d'un exosquelette ») concerne l'implémentation d'exosquelettes (IP-12), pour la sylviculture.

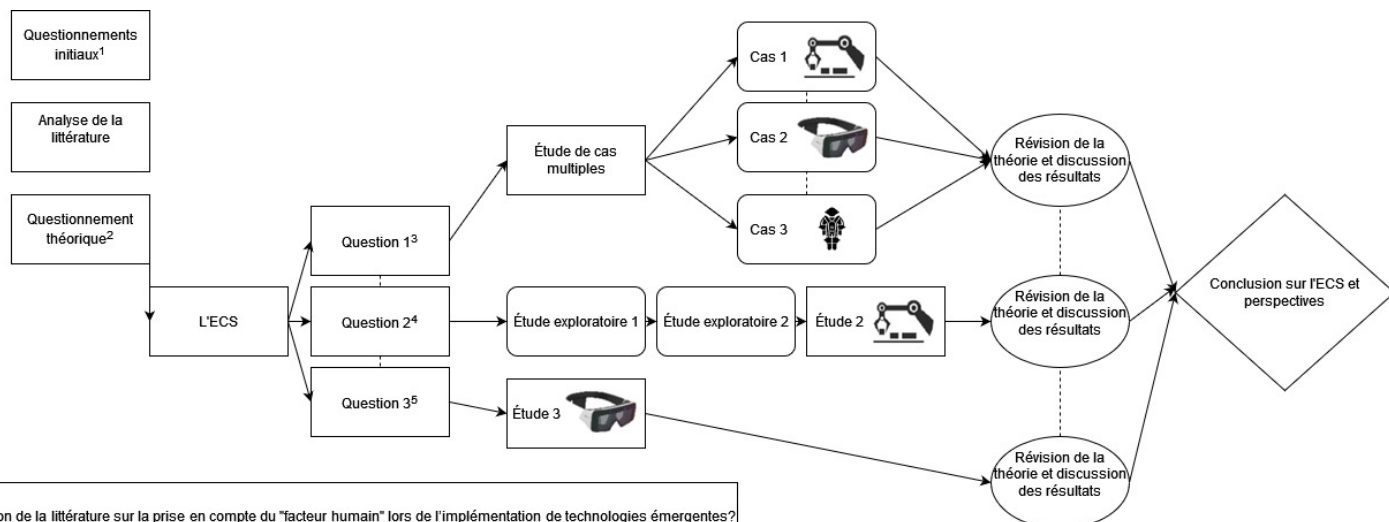
Afin de faire suite à l'étude de cas multiples et de mesurer comment les concepteurs peuvent se saisir des critères de l'ECS, nous avons pu mettre en place plusieurs études expérimentales. L'étude 2 est effectuée à la suite de deux études exploratoires (partie IV : Étude 2) ayant interrogé le type d'accompagnement nécessaire à l'appropriation de l'ECS. La première expérimentation exploratoire (chapitre 9 : « 1. Études exploratoires ») a consisté à ne fournir qu'une version papier d'un cahier des charges et se révèle insuffisante pour la prise en compte de l'ECS par les concepteurs. La seconde expérimentation exploratoire (chapitre 9 : « 1. Études exploratoires ») consiste en un accompagnement ponctuel (présentation de l'ECS et réponse aux questions) et montre également des limites en termes de prise en compte de l'ECS. Nous avons donc effectué une troisième expérimentation (chapitre 9 : « 2. Accompagnement longitudinal des concepteurs (étude 2) »), cette fois longitudinale et plus conséquente (celle que

nous appelons étude 2) afin d'évaluer dans quelle mesure notre proposition de l'ECS pouvait être perçue par les concepteurs. Nous avons donc suivi deux groupes d'étudiants dont le but était d'améliorer expérimentalement un poste de travail à l'aide d'un cobot tout en favorisant sa collaboration avec l'humain.

Enfin, la troisième étude (partie V : Étude 3) est une première tentative de conception d'une situation de travail sur la base de certains critères de l'ECS afin d'évaluer la perception associée des utilisateurs. Il a donc été question de reconstruire expérimentalement une situation de travail (une consignation industrielle) collaborative (assistée de lunettes de réalité augmentée) et de manipuler les conditions pour que cette situation de collaboration respecte « faiblement » ou « fortement » les critères de l'ECS. L'objectif était de mesurer si ces variations d'intensité de l'ECS pouvaient nuire à la performance et de quelle manière ces différentes intensités de l'ECS pouvaient être perçues par les sujets.

Concrètement, nous avons donc effectué trois études. La première étude pour savoir comment les critères de l'ECS étaient pris en compte dans les différentes situations de travail. La seconde étude pour savoir comment l'ECS pouvait être reçue et assimilée par les ingénieurs (concepteurs). La troisième étude pour savoir comment l'ECS pouvait être reçue et perçue par les opérateurs.

Notre stratégie de recherche est synthétisée dans le schéma suivant (figure 7), nous y trouvons l'articulation de la thèse ainsi que les technologies associées à chaque étude.



¹ Quelle est la composition de la littérature sur la prise en compte du "facteur humain" lors de l'implémentation de technologies émergentes? Est-elle plutôt hétérogène ou plutôt homogène ?

² Comment pouvons-nous regrouper les éléments qui questionnent l'usage de la technologie émergente du point de vue des capacités d'action du sujet, qui ne semblent pas souvent prises en compte ?

³ Comment se construisent les projets d'implémentation technologique ? Quelle prise en compte du facteur humain ? Quelle est la place des critères de l'ECS ?

⁴ Comment est-ce que des ingénieurs, concepteurs de nouveaux postes de travail, pourraient recevoir et tenir compte des critères de l'ECS ?

⁵ Comment est-ce que les opérateurs recevraient une situation qui respecte davantage les critères d'une ECS ?

Figure 7. Synthèse de la méthodologie générale et des technologies associées.

2. Présentation de nos études

Afin d'obtenir une vision générale sur le travail effectué, nous proposons une brève description des différents sites d'expérimentation. Pour des raisons de confidentialité, les noms de l'étude de cas multiples ont été anonymisés. Vous trouverez un glossaire spécifique à chaque cas de l'étude en annexe (annexe 1 pour le cas A, annexe 2 pour le cas B et annexe 3 pour le cas C). Vous trouverez également les frises chronologiques des cas en annexe (annexe 4 pour le cas A, annexe 5 pour le cas B et annexe 6 pour le cas C).

2.1. Étude de cas multiples (Étude 1)

- Le cas A concerne l'implémentation d'un cobot (Yumi) sur une ligne de production. Ce recueil de données a eu lieu en juin 2019, environ 6 mois après la mise en place des cobots ainsi qu'en novembre 2019. BS est une société industrielle française à dimension internationale. Elle fabrique des produits pour la fixation dans les

domaines de l'automobile, de la santé, des énergies renouvelables et de l'industrie. Elle est non cotée en bourse et déclare ne pas licencier pour raisons économiques. Plusieurs partenaires ont participé à ce projet comme Ce (centre d'expertise mécanique), ABB (ASEA Brown Boveri, fournisseur du Yumi), ainsi qu'une société spécialiste de l'intégration de cobots que nous appellerons RT. Afin de recueillir les données nécessaires, nous avons été mis en contact avec monsieur P, membre de l'équipe Méthodes. Le recueil de données a eu lieu sur deux journées entières, ce qui a permis d'observer deux équipes de travail (matin et soir). Lors de la première visite, il a été possible d'interviewer 1 opérateur de chaque équipe, 1 leader (chef d'équipe) de chaque équipe, 2 membres de l'équipe Méthodes (ingénieurs) dont un ancien membre de la société d'implémentation RT (maintenant membre de BS), 2 techniciens de maintenance et enfin 1 responsable à plus haut niveau. L'intervention a donc été ponctuelle (6 mois après l'implémentation effective de la technologie). Lors de la seconde visite, il a été possible de s'entretenir une vingtaine de minutes avec monsieur P en début de journée, puis une opératrice a pu être observée et un entretien a pu être effectué sur son poste de travail. Par la suite, il a été possible d'interroger et d'observer une autre opératrice dans l'après-midi. Il a ensuite été question d'effectuer, durant une demi-heure, une restitution de nos observations de la journée, de manière informelle (sans préparation préalable), à notre contact (monsieur P).

- Le cas B concerne l'implémentation de lunettes de réalité augmentée (HoloLens 1) au sein d'un service de maintenance. Ce recueil de données a eu lieu entre 2019 et 2020 sur 4 mois (à partir d'octobre 2019). L'accès au terrain s'est effectué sur 15 jours. MA est une société industrielle française à dimension internationale. Elle fabrique principalement des produits pneumatiques et est cotée en bourse. L'étude s'est effectuée dans un service de maintenance (en chaufferie). Ce projet d'intégration de lunettes de réalité augmentée (HoloLens) a pour partenaire MA (le financeur) et la Start-up SP qui est le fournisseur de la solution technologique. Ce « chantier » est d'ailleurs l'un des premiers contrats de SP. Afin de recueillir les données nécessaires, nous avons été mis en contact avec monsieur D, « ergonomiste group » de la société. Suite à cette prise de contact, eut lieu une première réunion de présentation avec Fabien Coutarel, monsieur D, monsieur P (responsable des travaux) et l'ergonome chercheur. Monsieur P restera notre principal interlocuteur

durant la totalité de l'étude. Il nous est arrivé, lors des différentes phases de l'étude, de collaborer avec un ergonome et un UX designer de l'entreprise (principalement lors de la simulation avec le dispositif de réalité augmentée). Le recueil de données a eu lieu durant 15 jours sur quatre mois, ce qui nous a permis d'observer la quasi-totalité du service de maintenance (hormis un technicien) à différents moments de la journée. Il a été possible d'interroger le chef d'équipe, 2 membres de SP (les fondateurs), 1 responsable des travaux et 5 techniciens de maintenance (sur un total de 6 dans l'équipe). Un focus group (7 participants dont 4 techniciens de maintenance, un responsable des travaux, un ergonome et moi-même) a pu être mis en place, ainsi que la simulation d'un scénario complet assisté de réalité augmentée (HoloLens) avec un technicien de maintenance. Nous avons également eu accès à divers documents comme des vidéos de démonstration de la technologie, la fiche d'expertise « Environnement et Prévention des Risques » (EPR) du dispositif, le déroulé des scénarios (démarrage chaudière et une consignation en eau industrielle), le carnet de notes d'un technicien de maintenance... Enfin, il a également été possible de suivre l'activité d'un technicien de maintenance sur la totalité d'une journée (non assisté de lunettes de réalité augmentée).

- Le cas C concerne l'implémentation d'un exosquelette (IP-12) auprès de sylviculteurs. Ce recueil de données a eu lieu entre novembre 2020 (lancement du projet) et mars 2022 (restitution). Fi est une association régionale qui regroupe et fédère la filière bois. Elle œuvre à la mobilisation des bois, à la valorisation des bois d'œuvre et des bois énergie et industrie, ainsi qu'à l'amélioration de la compétitivité des entreprises. L'interprofession représente l'ensemble de la filière auprès des services de la Région et de l'État. Erg est un cabinet de conseil en ergonomie. Erg gravite au cœur d'un réseau de partenaires institutionnels, universitaires, de cabinets de consultants, d'organismes publics, d'associations, etc., afin de guider les entreprises. Oc est le régime de protection sociale (obligatoire) des personnes salariées et non salariées des sylviculteurs. Oc gère plusieurs domaines tels que : maladie, famille, vieillesse, accidents du travail et maladies professionnelles ainsi que le recouvrement des cotisations. Ik est une entreprise française spécialisée dans la location de matériel. L'entreprise dispose d'une branche d'innovation dont fait partie la location d'exosquelettes. Afin de recueillir les données nécessaires, nous avons été mis en contact avec le cabinet Erg. Le cabinet, après avoir répondu à un

appel d'offres, a été choisi pour la mise à l'essai d'un exosquelette auprès de sylviculteurs. Un premier rendez-vous pour initier le projet a eu lieu avec un représentant de Fi, 2 représentants d'Erg, le chercheur et 2 représentantes de Oc (une médecin du travail et une conseillère en prévention). Il a par la suite été possible d'observer 2 sylviculteurs sur le terrain (en forêt), sur une journée entière. L'observation était accompagnée de questionnements classiques d'une intervention en ergonomie. Lors de cette étude de l'activité, les 2 sylviculteurs étaient en conditions habituelles de travail, bien que la cadence de travail était moindre (de par les interruptions des différents acteurs de l'étude) et le temps de travail plus court. Étaient présents 2 ergonomes (dont le chercheur), une médecin du travail (côté Oc) et une conseillère en prévention (côté Oc). Ces personnes seront systématiquement mandatées pour étudier l'activité. La deuxième journée d'analyse d'activité eut lieu 3 mois après, afin d'observer la primo utilisation de l'exosquelette de ces 2 sylviculteurs. Un représentant commercial de l'entreprise Ik était également présent au début de la journée pour accompagner la prise en main de la technologie émergente. Enfin, la troisième journée d'analyse de l'activité eut lieu 5 jours après, afin d'analyser comment les 2 sylviculteurs s'étaient approprié l'exosquelette. Entre les observations, il n'y a pas eu d'utilisation complète de l'outil, les chantiers étant assez variables. Il a, par la suite, été possible de recontacter les acteurs afin de poser nos questions de recherche. Nous avons donc pu interroger par téléphone les 2 sylviculteurs, l'ergonome d'Erg, les 2 représentantes de Oc (prévention et médecine) et le commercial d'Ik. Avec la même démarche, il a été possible d'analyser l'activité de deux autres sylviculteurs. Cette analyse a aussi eu lieu sur 3 jours de travail (avant, pendant et après implémentation de la technologie émergente, même s'il n'a pas été possible d'observer la situation de travail sur le troisième jour). Il a aussi été possible d'interroger en présentiel ces 2 sylviculteurs avec nos questions de recherche. La durée d'utilisation de l'exosquelette a été variable. 3 sylviculteurs l'ont utilisé sur une durée d'1 à 2 jours (une demi journée minimum à 1 journée maximum d'affilée), le 4ème sylviculteur l'a utilisé sur une semaine (3 jours consécutifs).

2.2. Étude de l'activité et accompagnement de concepteurs (ingénieurs) à l'ECS (Étude 2)

- La première expérimentation exploratoire consistait à fournir un cahier des charges de l'ECS aux concepteurs afin de recueillir leurs ressentis et leurs prises en compte de ces critères dans l'amélioration d'un poste de travail. Cette expérimentation a été effectuée la semaine du 06 juillet 2020. Ne sachant pas le nombre d'étudiants à disposition (pour les tests) nous avons opté pour tester toutes les possibilités (mesures intergroupes et intragroupe). Nous avons donc effectué cette étude exploratoire sur 8 sujets. Notre public était composé très majoritairement de doctorants (mathématiques/informatique, informatique et ingénierie), nous avons également interrogé un enseignant-chercheur, un stagiaire (L3) et une ergonome.
- La seconde expérimentation exploratoire consistait à accompagner ponctuellement des étudiants ingénieurs aux critères de l'ECS afin de voir comment ils pouvaient les percevoir et en tenir compte pour leur projet de conception. Nous avons pu effectuer cette intervention le 23 novembre 2020 auprès de 14 étudiants de seconde année (ingénieurs à l'école Génie Industriel de Grenoble). Nous avons effectué à 7 étudiants la présentation de chacun des critères et de comment ces critères peuvent s'adapter à leur propre cas d'usage (sans leur donner de réponse qui orienterait leur projet). Les 7 autres étudiants faisaient partie d'un groupe « vierge » (de la présentation) afin de mener la comparaison. Notre objectif était d'étudier dans quelles mesures les critères favorisant une ECS ont pu orienter leur projet. La durée totale de la présentation/discussion était d'environ 45 minutes par groupe (de 3 et 4 étudiants).
- La seconde étude (et donc la troisième expérimentation) consistait à accompagner longitudinalement deux groupes d'étudiants ingénieurs aux critères de l'ECS afin de mesurer leur prise en compte de ces critères pour la conception d'un poste de travail collaboration humain-cobot. Les projets étaient liés à l'implémentation d'un cobot au sein d'une ligne de production. L'entreprise est une société française de solutions de fixation pour le bâtiment. L'objectif de cette étude était de fournir aux étudiants-concepteurs un cahier des charges (adapté et facile d'accès, car nous avons vulgarisé

les termes) comprenant les critères d'une ECS. Cette fois-ci, un accompagnement personnalisé par un ergonome a été mis en place longitudinalement à raison de 4 séances d'environ 4 heures réparties sur 3 mois (première séance le 05 mars et dernière séance le 30 mai 2021). Nous avons également pu assister à différentes visio de suivi (où ils pouvaient résumer leur travail) ainsi que leur soutenance. Nous avons donc eu accès à deux groupes de 3 étudiants (correspondant à deux projets comparables) de seconde année, ingénieurs à l'école Génie Industriel de Grenoble. Cette étude a été effectuée dans le cadre d'une UE optionnelle d'ergonomie. Les étudiants avaient déjà eu une UE de découverte de l'ergonomie lors de leur première année (voir annexe 7). Nous avons mis en place un questionnaire sociodémographique. Tous les résultats de ce questionnaire sont présents en annexe 7. Après analyse des réponses, il ne semble pas y avoir de différences significatives entre les groupes, ou entre les étudiants, les profils étant relativement similaires. Les données sociodémographiques ne semblent pas avoir un impact significatif sur les résultats.

2.3 Étude de l'activité de sujets simulant une tâche dans une situation respectant, à différentes intensités, les critères de l'ECS (Étude 3)

- La troisième étude consistait en la conception d'une expérimentation où l'environnement de travail d'un opérateur de maintenance était reproduit. L'objectif était d'améliorer la situation de travail par l'implémentation d'une technologie émergente (lunettes de réalité augmentée, HoloLens 2) et de mesurer l'impact sur le sujet d'une situation de collaboration respectant « faiblement » ou « fortement » les critères de l'ECS. La mise en place de l'étude et les passations ont eu lieu de novembre 2021 à août 2022. L'environnement était contrôlé, ce qui limite l'intervention de variables parasites. Notre population était composée de 53 sujets, dont 5 ont été retirés de l'expérience en raison de divers problèmes (1 a abandonné, 1 a pris des photos du mode opératoire en G1 (ce qui était interdit), 1 en raison de dysfonctionnements du matériel et 2 parce qu'ils avaient de grandes difficultés de compréhension du mode opératoire (certaines parties étaient presque complètement manquées)). Cela nous donne, au final, 48 G1. Un participant a dû être retiré de G1 car l'appareil a mal fonctionné lors de son deuxième passage. Ainsi, pour nos

analyses, il y a 47 sujets en G1, qui, lors d'une deuxième session, ont été divisés pour avoir 23 G1' et 24 G1''. Il y a également eu des problèmes avec le questionnaire « TAM » sur les premiers participants, qui ont concerné 1 G1' et 2 G1''. Toutes les données ont été conservées sauf le questionnaire « TAM » qui n'était pas utilisable par ces sujets. À propos des caractéristiques de cette population, l'âge moyen est de 38,68 ans, il s'agit majoritairement d'hommes (13,6% de femmes), de langue maternelle française (pour 97% des sujets), de professions diverses mais principalement issues du milieu industriel (seulement 3 étudiants), l'ancienneté dans la structure (entreprise) est de 13,3 ans en moyenne, le niveau d'étude médian est le baccalauréat. 61,1% des sujets ont déclaré travailler dans un bureau, 17,8% ont déclaré travailler dans un atelier et 21,1% dans les deux domaines. Leur habitude de la consignation était en moyenne de 4,47 sur 7 (7 étant le maximum). 76,9% des sujets ont déclaré n'avoir jamais utilisé la réalité augmentée, cependant l'utilisation de la réalité augmentée pour les autres sujets est largement anecdotique (test, démo, etc.). Enfin, la vision de la réalité augmentée est majoritairement positive (5,62/7 en moyenne, 7 étant le maximum).

3. Techniques de recueil de données et traitement associé

Afin d'obtenir une vision d'ensemble de notre stratégie d'étude et des différents types de données associées, nous résumons ici les différentes techniques de recueil de données utilisées. Les techniques utilisées sont :

3.1. L'observation

L'observation est une méthode qui consiste à relever des données qualitatives selon la question de recherche. L'observation peut être mise en place en condition écologique ce qui permet, au sein de nos différents cas, de relever des comportements, des verbalisations, les formes d'interaction avec la technologie émergente, etc. L'observation permet aussi d'accéder aux comportements non verbaux, traduisant certains aspects de l'activité parfois difficilement verbalisables par les opérateurs. De plus, l'observation est une méthode holistique qui permet au chercheur de mieux comprendre les individus pendant leurs propres activités (Baker, 2006).

Cela nous permet, entre autres, de distinguer le prescrit du réel. Afin de mener nos observations, nous utilisons principalement la technique du « shadowing » (Lallemand & Gronier, 2017) qui consiste à suivre l'opérateur durant son activité sans intervenir sur l'activité mais en se laissant la liberté de poser des questions contextuelles. Cette posture fait du chercheur un observateur-participant. Il a également été possible de mettre en place ponctuellement la technique de « pensée à voix haute », toujours dans le but d'accéder aux implicites de la situation qui sont difficilement identifiables verbalement dans les entretiens.

Il est également possible d'analyser divers documents venant alimenter nos questions tels que les fiches de poste, les carnets des opérateurs, la documentation technique, les fiches de management visuel, etc.

Concrètement, il a été possible de suivre l'ensemble des opérateurs en activité avec et sans la technologie émergente pour les cas B et C de l'étude 1, pour l'étude 2 (par vidéo) ainsi que pour l'étude 3. En ce qui concerne le cas A de l'étude 1, l'implémentation technologique était déjà effectuée, nous n'avons donc pu observer que la « nouvelle » situation de travail. Nous avons également pu effectuer une chronique d'activité (Simonet et al., 2011) afin de quantifier les bénéfices que pouvait apporter l'exosquelette du cas C (étude 1) en rapport avec les sollicitations physiques des opérateurs.

3.2. L'entretien

L'entretien permet d'obtenir une quantité riche d'informations bien que les données soient longues à traiter. C'est la technique principale que nous avons utilisée pour recueillir des données. La majorité de nos entretiens ont eu lieu dans un temps externe à l'activité. Il s'agissait donc pour l'opérateur de verbaliser et de remobiliser ses souvenirs à propos de l'activité. Cela permet un temps réflexif et une mise à distance des perturbations liées au caractère instantané de l'activité. Cela est complémentaire aux méthodes de pensée à voix haute et de questionnements *in-situ* mentionnées précédemment.

Lors de nos recueils de données, nous utilisons principalement deux types d'entretiens qui sont l'entretien semi-directif et l'entretien ouvert :

L'entretien ouvert ou non directif (Lallemand & Gronier, 2017) est le « type d'entretien le plus ouvert, qui permet d'explorer une thématique en laissant l'utilisateur parler librement. Après

une première question consigne, on laisse parler l'interviewé en le relançant pour approfondir le sujet. » (Lallemand & Gronier, 2017, p. 51). Il est ici question de relever son ressenti envers la technologie étudiée, la première question est donc très générale sur ce que le sujet pense de la technologie. Cette première question ouverte est intéressante car elle nous permet de prioriser les informations qui ont de l'importance pour le sujet. En effet, nous pouvons récupérer des informations sans que l'entretien soit dirigé et seulement avec des relances neutres (reformulations, silences, etc.).

L'entretien semi-directif (Lallemand & Gronier, 2017) : « est le type d'entretien le plus courant. Il permet à l'interviewer d'aborder tous les points qu'il souhaite mais laisse une flexibilité dans la conversation. Une première question consigne est suivie d'autres questions et de relances » (Lallemand & Gronier, 2017, p. 51). L'entretien est ici mené grâce à notre grille d'entretien, composée par les différents critères issus de notre analyse de la littérature ainsi que d'éléments plus contextuels (voir figure 9). Il est ici question d'aborder chaque item de cette grille et d'effectuer des relances ou de demander plus d'informations, si nécessaire. L'ordre de passation des items n'est jamais le même car, pour favoriser la fluidité de l'entretien, l'interviewer rebondit sur les déclarations du sujet afin de ne pas perdre la cohérence globale de l'entretien et de ne pas rendre celui-ci trop mécanique.

Nous avons également eu l'occasion de mettre en place des focus group lors de cette étude de cas multiples. Le focus group consiste en la réunion de plusieurs individus afin de débattre et de fournir un éventail d'idées et de sentiments que les individus ont sur certains sujets, cela permet aussi de mettre en lumière les différences de perspective (Rabiee, 2004). C'est donc l'ergonome qui anime et oriente (relance, changement de sujet, etc.) l'espace de discussion. Le focus group peut être utilisé afin de comprendre les phénomènes repérés.

Afin de traiter les informations obtenues grâce à ces techniques de recueil de données, nous avons effectué des analyses thématiques (Boyatzis, 1998). La quasi-totalité de nos entretiens étant enregistrés, cela a pu faciliter cette analyse qui consiste à relever l'intégralité des verbatims afin d'effectuer un classement. Ce regroupement par thématique (et par type d'acteurs) permet d'analyser finement les réponses obtenues avec une optique transversale. Par exemple, un sujet peut nous dire que la technologie lui permet d'aller « plus vite » et un autre que la technologie lui permet d'« augmenter sa cadence ». Nous regroupons donc ces 2

verbatim sous la dénomination « vitesse » et nous relèverons le nombre d'occurrences (ici 2 occurrences sur 2 sujets). Il est, par la suite, possible de constater le nombre de thématiques abordées ainsi que leur saillance de par le nombre d'occurrences. Par la suite, des comparaisons intragroupe (entre opérateurs, par exemple) sont effectuées pour savoir si l'avis est homogène dans un même groupe. Enfin, des comparaisons intergroupes (par exemple, opérateurs vs management) sont effectuées pour souligner des convergences ou des divergences entre les différents types d'acteurs.

3.3. Le questionnaire

Le questionnaire est un outil qui permet de recueillir des informations subjectives provenant de l'opérateur. Les différents questionnaires peuvent être auto-complétés ou effectués sous la forme d'un entretien. Ils peuvent être standardisés ce qui permet d'obtenir des résultats robustes et potentiellement généralisables. Les questions peuvent être ouvertes, sur une échelle de Likert, dichotomiques... Lorsque cela est possible et que le contexte le permet (cas C de l'étude 1), il peut être intéressant d'utiliser des questions qui nous fournissent d'autres types de données que les verbalisations ou les observations.

Nous avons utilisé les questionnaires suivants :

- Questionnaire socio-démographique : obtention des informations sur les caractéristiques personnelles du sujet, notamment afin de vérifier si elles peuvent avoir une influence sur nos mesures. Ce type de questionnaire a été utilisé pour le cas C de l'étude 1 ainsi que pour l'expérimentation exploratoire 1 et les études 2 et 3. En ce qui concerne les cas A et B de l'étude 1 et l'expérimentation exploratoire 2, les informations obtenues grâce au questionnaire ont été recueillies à l'oral sur un faible nombre de variables (âge, ancienneté, sexe...).
- Questionnaire raw NASA-TLX (Hart, 2006 ; Hart & Staveland, 1988) : le questionnaire raw NASA-TLX est un outil classique de mesure de charge de travail, la version « raw » est composée de 6 dimensions (charge mentale, charge physique, exigence temporelle, performance, effort, niveau de frustration). Les sujets doivent alors se positionner sur une échelle de Likert pour chaque dimension. Le questionnaire est présent en annexe 8. Ce type de questionnaire a été utilisé pour le cas C de l'étude 1 ainsi que pour l'étude 3.

- Questionnaire TAM (Davis, 1989) : le questionnaire TAM est un outil classique afin de mesurer l'acceptabilité. Ce questionnaire comporte 3 dimensions qui sont la perception de l'utilité, la perception de la facilité d'utilisation et l'intention d'utilisation. Les sujets doivent alors se positionner sur une échelle de Likert sur l'ensemble des questions (chaque dimension est évaluée par 4 questions). Le questionnaire est présent en annexe 9. Ce type de questionnaire a été utilisé pour le cas C de l'étude 1 ainsi que pour l'étude 3.
- Questionnaire inspiré du WDQ (Morgeson & Humphrey, 2006) : mesure des caractéristiques perçues du travail. Ce type de questionnaire a été utilisé pour le cas C de l'étude 1. Celui-ci est présent en annexe 10.
- Questionnaire de représentation des douleurs, inspiré de celui présenté par St-Vincent et al. (2011, p. 308) : mesure des douleurs perçues par le sujet. Il s'agit principalement de l'autocomplétion d'une illustration représentant leur corps. Cette analyse des douleurs ressenties par les sylviculteurs a été complétée avec le recueil de verbatims. Le questionnaire est présent en annexe 11. Ce type de questionnaire a été utilisé pour le cas C de l'étude 1.

En ce qui concerne les questionnaires utilisés pour l'étude 3, nous avons eu un nombre suffisant de sujets pour avoir une robustesse satisfaisante permettant la passation de tests statistiques. Les questionnaires utilisés dans les autres études ont une visée qualitative.

4. Technologies émergentes étudiées

Les technologies émergentes jouent un rôle déterminant dans la perception de la situation de travail par l'opérateur. De par leurs caractéristiques spécifiques, il pourrait être possible que chacune des technologies étudiées puisse entraver l'agir de l'opérateur. Ces questions technocentrées seront abordées spécifiquement dans chacune de nos études. Nous ne pensons pas que l'ECS puisse être décorrélée de la nature de la technologie émergente utilisée. Les propriétés intrinsèques aux technologies ne sont pas notre spécialité. Le cadre de notre projet ANR autorise l'étude de ces aspects par nos collègues ingénieurs (Baslé et al., 2021). Il ne sera alors pas question de livrer une analyse fine des différents composants et potentialités propres

à chaque technologie émergente. Ces technologies émergentes étant amenées à évoluer très rapidement, l'ECS questionne le rapport fondamental de l'humain à l'outil et s'affranchit donc d'une partie de ces questionnements. Nous commencerons ici par effectuer une description générale des technologies étudiées, centrée sur l'activité, pour ensuite en livrer des précisions (parfois technocentrées) dans chacune des études respectives. Les types de technologies émergentes étudiés font partie des technologies typiques de l'usine du futur (Gazzaneo et al., 2020), ce sont :

- Les cobots : selon Moulières-Seban et al. (2017), Cobot est un néologisme formé par les mots « collaboratif » et « robot ». Il a été utilisé pour la première fois par Peshkin et Colgate (1999) pour conceptualiser l'interaction directe entre un robot et un humain sur une station de travail dédiée. Un cobot correspond à « l'interaction réelle, directe ou téléopérée, entre un humain et un système robotique asservi ou pseudo-autonome » (Claverie et al., 2013). Selon Jansen et al. (2018), un cobot a plusieurs caractéristiques : ce sont des bras robots qui travaillent ensemble avec l'humain dans un environnement non protégé, il peut être aisément programmé par l'utilisateur, il est utilisé comme outil (et non comme remplacement) pour les employés et il aide les compagnies à contrôler leurs processus automatisés. Cependant, il semble exister quelques différences entre la qualification de cobot (la technologie prévue pour la collaboration) et celle de système cobotique (l'usage effectif censé être collaboratif mais qui ne l'est pas toujours). Dans l'étude de Moulières-Seban et al. (2017), le cobot est défini comme un robot qui a été conçu et bâti afin de collaborer avec les humains. C'est également cette conception que retiennent les industriels que nous avons pu rencontrer. Un poste de travail dans lequel un robot et un humain collaborent est appelé un système cobotique. Toujours selon les mêmes auteurs, un robot peut avoir des composants mécaniques et un hardware typique pour une possible collaboration avec les humains mais s'il est utilisé en autonomie totale, configuration que l'on trouve classiquement en usine, il est considéré comme ne faisant pas partie d'un système cobotique même s'il peut être appelé cobot. Inversement, un robot industriel standard collaborant avec un opérateur (avec une télécommande par exemple), est considéré comme faisant partie d'un système cobotique. Un système cobotique inclut un robot et un humain collaborant en synergie afin d'effectuer une tâche au poste de travail. Le design d'un système cobotique implique une compréhension claire des possibilités d'interactions humain-robot, de leurs besoins, de

leurs contraintes et du type de système robotique, selon Goodrich et Schultz (2007). Pour Salotti et al. (2018), un robot conçu pour collaborer n'est qu'un cobot potentiel. Pour ces auteurs, un cobot ne l'est que s'il y a présence de collaboration effective. Nous retiendrons la définition de cobot donnée par Moulières-Seban et al. (2017), qui nous semble plus correspondre à ce que nous avons observé en milieu industriel. Le cobot est appelé comme ceci pour ses possibilités d'interaction avec l'humain et non pour son usage effectif qui est largement entravé par les normes réglementaires, susceptibles d'évoluer. Dans notre cas A, le cobot est un Yumi (ABB, Zurich, Suisse ; Commercialisé depuis 2015), composé de deux bras articulés. Au sein de notre seconde étude, le cobot est un PANDA (Franka Emika, Munich, Allemagne ; Commercialisé depuis 2017) et dispose d'un seul bras articulé.

- Les lunettes de réalité augmentée : la réalité augmentée se situe dans le continuum de la réalité mixte (Milgram & Kishino, 1994) allant de l'environnement réel à l'environnement virtuel. La réalité augmentée fait référence à toute instance dans laquelle un environnement réel est « augmenté » au moyen d'objets virtuels (Milgram & Kishino, 1994). L'information est ajoutée au réel, ce qui permet à l'opérateur d'avoir les mains libres. L'environnement 3D (flèche, instructions, etc.) a été créé et mappé avec la salle expérimentale à l'aide du logiciel Vuforia studio. Au sein de notre second cas et lors de notre première étude exploratoire, les lunettes utilisées étaient des HoloLens 1 (Microsoft, Redmond, WA ; Commercialisées depuis 2017). Notre troisième étude comportait des HoloLens 2 (Microsoft, Redmond, WA ; Commercialisées depuis 2019) qui sont la version améliorée de l'HoloLens 1.

- Les exosquelettes : l'exosquelette est une technologie émergente d'assistance physique portée directement par l'humain. Selon Bobillier-Chaumon (2021b, p. 20), les cobots sont « des assistants, qui restent dépendants de l'intention, du geste ou du comportement de l'homme au travail ». À ce titre, il classe l'exosquelette comme une technologie émergente cobotique. L'exosquelette est un : « dispositif d'amplification électrique, pneumatique ou hydraulique du mouvement de chaque segment du corps mobilisé dans le déplacement ou l'action pour lesquels il a été conçu » (Claverie et al., 2013, p. 210). Bien qu'il n'y ait pas de consensus sur le sujet, nous avons pu observer deux types d'exosquelettes : passif (assistance mécanique, aussi appelé

ergosquelette) et actif (assistance électrique). L'exosquelette est principalement utilisé pour lutter contre les TMS en diminuant la charge physique. Au cours de notre étude de cas multiples, nous avons eu l'occasion de nous intéresser à un exosquelette de type IP-12 (GOBIO, Montaigu-Vendée ; Commercialisé depuis 2018). Cet exosquelette propose une assistance pour les membres supérieurs et soulage l'individu (jusqu'à 5kg par bras) lorsqu'il lève les bras au-dessus de la ligne de cœur.

Synthèse de la partie II (Cadre méthodologique général)

La description des différentes études mises en place est synthétisée dans le tableau 3.

Tableau 3. Synthèse des différentes études.

Différentes études	Étude 1			Étude 2	Étude 3
	Cas A	Cas B	Cas C		
Dates d'expérimentation et de présence sur le terrain (les jours sur le terrain n'incluent pas les différents appels/visios, etc.)	Juin 2019 et novembre 2019	Octobre 2019 – janvier 2020	Novembre 2020 – mars 2022	Mars 2021 – mai 2021 4 jours sur le terrain	Novembre 2021 – Août 2022 De la mise en place de la salle, aux prétests et aux tests
Objectif de l'étude	Mesurer comment les critères de l'ECS sont spontanément pris en compte sur le terrain			Mesurer comment les ingénieurs (concepteurs) reçoivent et tiennent compte des critères de l'ECS	Mesurer quel est l'impact de l'ECS sur la perception et la performance des opérateurs ?
Terrain d'étude	BS (société industrielle française)	MA (société industrielle française)	En forêt avec des sylviculteurs	Salle expérimentale simulant un poste de travail	Salle expérimentale simulant une machine ainsi que ses différentes parties

	dimension internationale)	à dimension internationale)				
Technologie émergente associée	Cobot (Yumi)	Lunettes RA (HoloLens 1)		Exosquelette (IP-12)	Cobot (PANDA)	Lunettes RA (HoloLens 2)
Sujets interrogés	4 opérateurs 1 chef d'équipe 2 ingénieurs 2 techniciens de maintenance 1 responsable	5 techniciens de maintenance 1 chef d'équipe 2 ingénieurs 1 responsable des travaux	de	4 sylviculteurs 1 représentant commercial 1 conseillère en prévention 1 médecin du travail 1 ergonome	6 étudiants ingénieurs (8 sujets pour la première étude exploratoire et 14 sujets pour la seconde étude exploratoire)	53 sujets (principalement issus du milieu industriel)
Techniques de recueil de données	Observation (shadowing analyse documents) Entretiens (semi-directif et ouvert)	Observation (shadowing, analyse de documents) Entretiens (semi-directif et ouvert, focus group)	et de	Observation (shadowing, analyse de documents et pensée à voix haute) Entretiens (semi-directif et ouvert) Questionnaires (socio-démographique, raw NASA-TLX, TAM, simili WDQ, représentation des douleurs)	Observation (shadowing et analyse de documents) Entretiens (semi-directif et ouvert) Questionnaire (socio-démographique)	Entretiens (semi-directif et ouvert) Questionnaires (socio démographique, raw NASA-TLX, TAM)

Partie III : Étude 1 : étude de la conception et de l'implémentation de technologies émergentes dans 3 entreprises

Chapitre 7 : l'étude de cas multiples

L'approche par l'étude de cas multiples peut permettre d'analyser l'activité en tenant compte de la complexité des situations. L'avantage de cette proposition est alors d'être très proche des conditions écologiques de performance. Afin de présenter nos cas, nous avons rédigé des monographies. Ce sont ces monographies qui sont présentées dans ce document. Une monographie est une manière particulière de rendre compte d'un cas. La monographie formalise le cas, dans un format homogène voué à être répliqué, en utilisant une approche holistique, en profondeur (Feagin et al., 1991). Cette approche apporte une considération importante au contexte (Yin, 2013). C'est alors la réplification de ce format monographique pour chaque cas qui autorise par la suite de futures comparaisons. Cette approche autorise alors des propositions théoriques intermédiaires qui permettent d'avoir une vision écologique, située et avec laquelle on peut mesurer l'importance du contexte. Alexandre (2013) souligne que la méthode de l'étude de cas est largement reconnue par la communauté scientifique, notamment pour sa contribution aux recherches exploratoires et pour la compréhension de facteurs difficilement mesurables autrement. Nous pouvons donc en déduire la pertinence d'une étude de cas multiples. Le caractère contextuel des cas est analysable par la recherche qualitative qui en fait une force de par le caractère situé de ses données. En revanche, il n'est pas possible d'obtenir une répliquabilité stricte (ce qui n'est, de toute façon, pas souhaité). Ce sont les recherches analogues qui, une fois analysées, convergent vers une interprétation des résultats (Merriam, 1998). C'est donc par la convergence de cas mais aussi par leurs différences que l'étude de cas multiples montre tout son intérêt. Yin (2013) soulève que le résultat d'une étude de cas permet de formuler des propositions qui pourront éventuellement être utilisées pour apprécier ou rendre intelligibles d'autres cas.

De nombreux auteurs ont pu mettre en évidence les avantages de l'étude de cas. Elle permet d'interroger des modèles, par exemple à propos de dimensions du phénomène, identifiées

comme importantes sur le terrain, et pourtant secondaires ou absentes dans les modélisations (Alexandre, 2013 ; Petit et al., 2007). Roy (2009) souligne que l'étude de cas, notamment parce que le chercheur est au cœur du terrain, autorise l'inscription du phénomène recherché dans une approche écologique. C'est cette approche qui tend à limiter le risque d'erreurs dans l'interprétation des données fournies par les outils de collecte de données et qui permet l'identification de facteurs non anticipés et donc inattendus. L'étude de cas permet donc d'apprécier la complexité des situations et les perceptions contrastées des différents acteurs, ce qui enrichit l'analyse du cas (Alexandre, 2013). Cette méthode est spécialement valide pour comprendre le « particulier » et non ce qui est le plus fréquent (le plus grand nombre, la validité statistique) (Merriam, 1998). Le phénomène étudié est donc compris, de par la mise en place de cette méthodologie, à travers une plongée dans ses éléments constitutifs (Mucchielli, 2007).

L'étude de cas n'est pas une modélisation inductive, de terrain, qui est capable de produire des prédictions. Les généralisations effectuées ne peuvent pas être extraites de leur contexte et n'ont pas non plus la prétention à être des explications légales, ni de concevoir des règles ou des vérités absolues. Comme nous avons pu le mentionner, l'étude de cas multiples permet, en augmentant le nombre de cas, d'obtenir des résultats davantage robustes et contextualisés. C'est alors la distinction de ces invariants transversaux des différents cas qui permet d'éclairer de nouveaux terrains. Selon Alexandre (2013), cette généralisation analytique porte sur l'enrichissement et la généralisation des propositions analytiques (ici l'ECS) et non sur des populations. Selon Yin (2013), la généralisation obtenue par l'étude de cas multiples est fondamentalement limitée car nous perdriions en qualité d'étude. En effet, la seule façon d'augmenter suffisamment le nombre de cas pour obtenir une robustesse scientifique signifierait de sacrifier l'avantage principal de cette méthodologie, à savoir la nature approfondie et contextualisée des connaissances obtenues. Il semble alors pertinent de conserver cette approche holistique qui conduit inévitablement à ne pouvoir compter que sur un nombre limité de cas, même si une catégorisation des interventions autorise l'augmentation de ce nombre.

Concrètement, la connaissance fine d'un cas permet d'observer, contextuellement (interactions, variabilités...) comment les critères du FH sont pris en compte. Cela permet également d'éprouver nos critères à propos de l'ECS sur le terrain. L'étude de cas permet de vérifier la robustesse effective de propositions théoriques dans une situation concrète. L'ECS est donc étudiée sous un nouvel angle, en situation réelle, ce qui permet de comprendre le

fonctionnement de nos critères en interaction avec des éléments contextuels qui sont autrement impossibles à prendre en compte. Cette nouvelle connaissance autorise d'inférer des hypothèses que l'on vérifie avec d'autres cas ou des études expérimentales selon le besoin. Chaque cas, c'est-à-dire chaque projet d'implémentation technologique analysé est construit et étudié selon les mêmes critères et les mêmes modalités. Ces reconstitutions ont été effectuées par des recueils et analyses qualitatives, basés à partir de multiples sources (Tellis, 1997), à savoir : des entretiens, des observations de situations de travail, la caractérisation de l'organisation, la consultation de documents du milieu de travail (fiches de poste, documents techniques, etc.). Il a alors été possible d'isoler, dans un premier temps, l'appréciation globale de chaque projet par différents acteurs (et groupes d'acteurs) ainsi que les différents vécus (chefs d'équipe, dirigeants, ingénieurs, opérateurs...). Ces analyses nous permettent de refaire le trajet du projet et constituent une monographie. La monographie formalise le cas, dans un format homogène et répliquable, dans une approche holistique en profondeur (Feagin et al., 1991). Cette approche permet d'identifier et d'évaluer l'impact du contexte (Yin, 2013). Chaque monographie est ensuite comparée aux autres monographies. Nos comparaisons seront ici centrées sur l'ECS, les autres critères de la littérature ainsi que le contexte nous permettant d'apprécier et d'expliquer la prise en compte des critères de l'ECS. La figure 8 résume notre méthodologie de recherche.

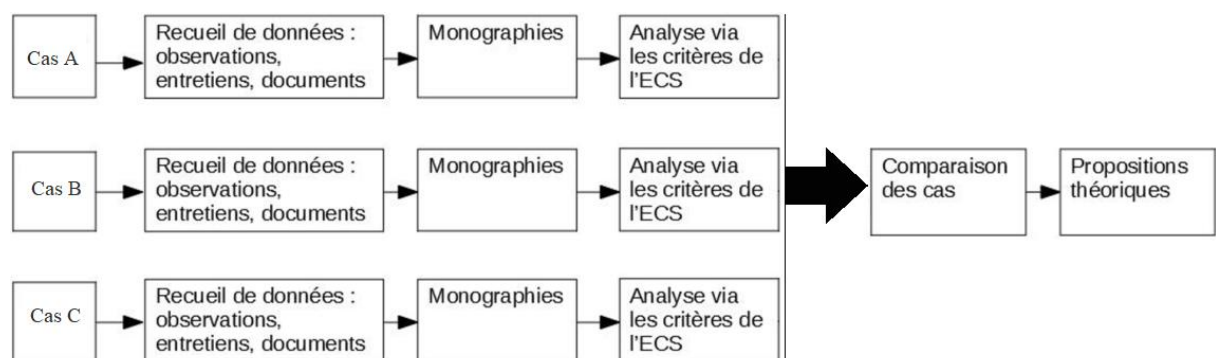


Figure 8. Méthodologie de l'étude de cas multiples pour étudier la pertinence de l'ECS.

Lors de l'étude des différents cas, il a été possible d'appliquer la même grille d'entretien, ce qui n'a pas empêché l'apparition de variables contextuelles ou de régulation prenant la forme de mise en place de nouveaux outils (comme le focus group pour le second cas ou différents

questionnaires pour le troisième cas). La grille d'entretien utilisée pour l'étude de cas multiples est présentée en figure 9.

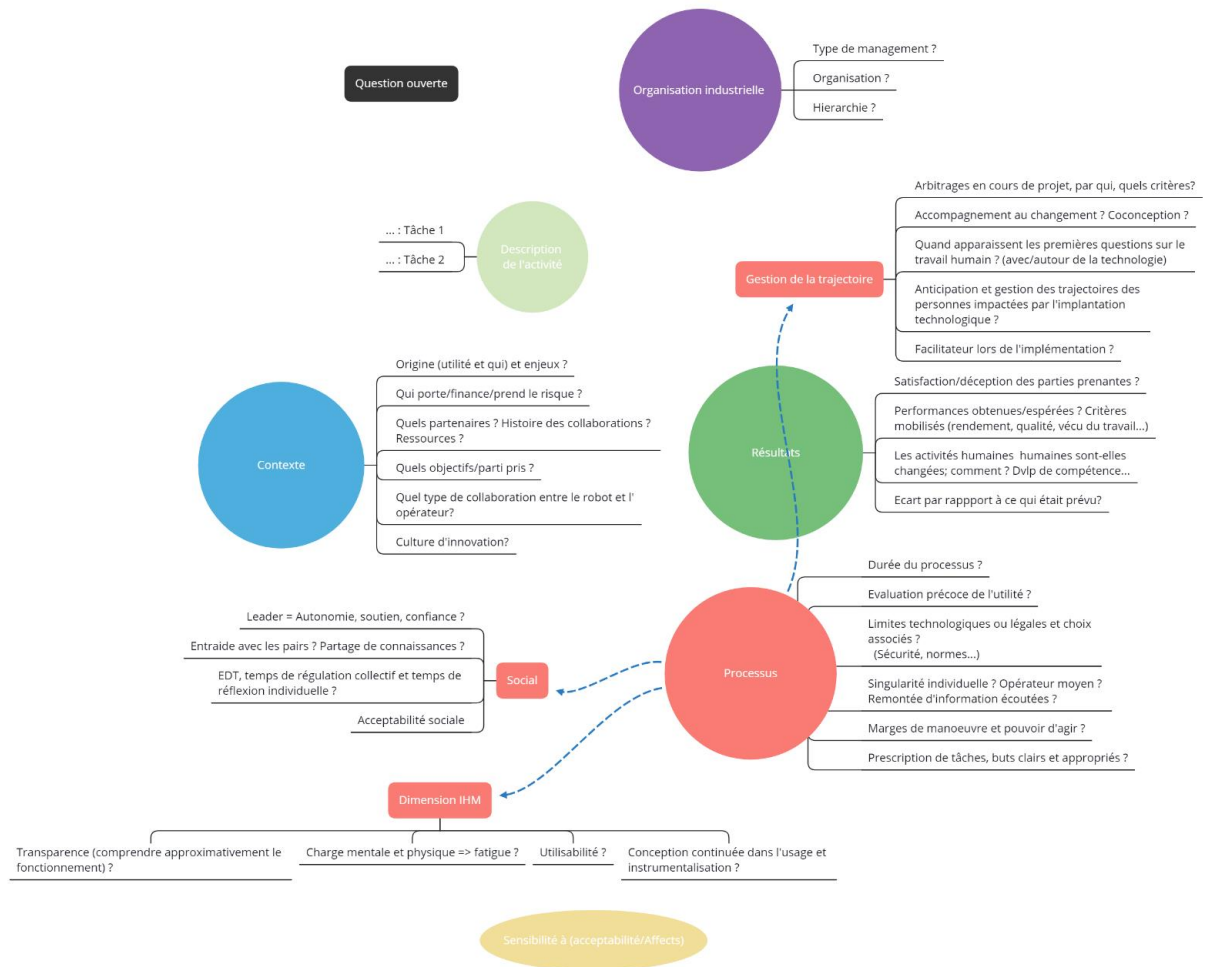


Figure 9. Grille d'entretien utilisée lors de l'étude de cas multiples.

Chapitre 8 : les différents cas de l'étude de cas multiples

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents cas, du point de vue du contexte d'intervention et du point de vue des résultats. Le chapitre se conclut par le croisement des 3 cas composant notre étude de cas multiples afin d'en apprécier les résultats.

1. Cas A, le cas de l'implémentation d'un cobot

Pour des raisons de confidentialité, les noms ont été anonymisés. Vous trouverez un glossaire en annexe 1.

1.1. Contexte

Le projet d'intégration de Yumi sur l'atelier d'assemblage de cette usine BS a émergé d'une volonté de ramener la production en interne (en France). En effet, il a semblé plus avantageux de produire en France car les coûts de transport seraient très fortement diminués selon le responsable Méthodes Industrialisation. Des tests ont donc été effectués et les retours sur investissements semblaient intéressants, comparés aux pays « low cost », aux « centres d'aide par le travail » ou aux prisons. Les robots standards actuels sont prévus pour des opérateurs humains avec un haut niveau de qualification. De plus, il est soulevé une problématique de casse. Les robots traditionnels coûtent extrêmement cher à réparer (prix des pièces) et les blessures humaines sont souvent coûteuses également.

L'idée a donc émergé de pouvoir intégrer des cobots sur les lignes de production. Il n'était pas question de collaboration directe avec l'humain mais plutôt d'une forte adaptabilité du cobot, celui-ci étant paramétrable facilement et disposant d'une base roulante afin de le déplacer aisément. Le cobot a également pour avantage un gain d'accessibilité (« se passer des barrières ») et de sécurité pour l'opérateur. Au final, le parti pris initial était de pouvoir déplacer le cobot mais le volume initial de commande ayant augmenté, le cobot était gardé en statique et BS a entrepris l'achat d'un second Yumi. Le premier Yumi (suivi rapidement du second) était donc un test permettant une meilleure personnalisation avec le client sur les petites et moyennes séries. Le projet était financé à 100% par BS. 1 an après son implémentation, il est prévu d'automatiser un poste identique dans une autre usine pour répondre aux exigences des grandes séries. Ce poste est conservé pour sa flexibilité et est donc adapté aux petites séries.

Du point de vue de l'opérateur, l'objectif était d'obtenir un mieux-être au travail, afin que les opérateurs puissent développer leurs compétences. La visée était également de supprimer au maximum les tâches répétitives et « l'abrutissement », certaines déclarations du responsable telles que « on veut utiliser l'humain pour son cerveau », montraient la volonté affichée d'utiliser la robotisation pour diminuer les tâches pénibles, lourdes et répétitives. Selon les

déclarations, paradoxalement, il peut sembler difficile de trouver du personnel qui veut monter en compétence pour être pilote de systèmes automatisés plutôt qu'opérateur de montage.

Il est à noter qu'il existe un système d'« idée déclic » et que les opérateurs sont récompensés financièrement si leur projet (innovation, amélioration, etc.) est retenu. La rémunération est proportionnelle à l'aboutissement de l'idée.

Cette entreprise ne possède pas d'ergonomes internes et s'est donc appuyée sur des recommandations d'une autre célèbre entreprise (positionnement des opérateurs, zones, distances...) afin de respecter les normes ergonomiques sur les postes.

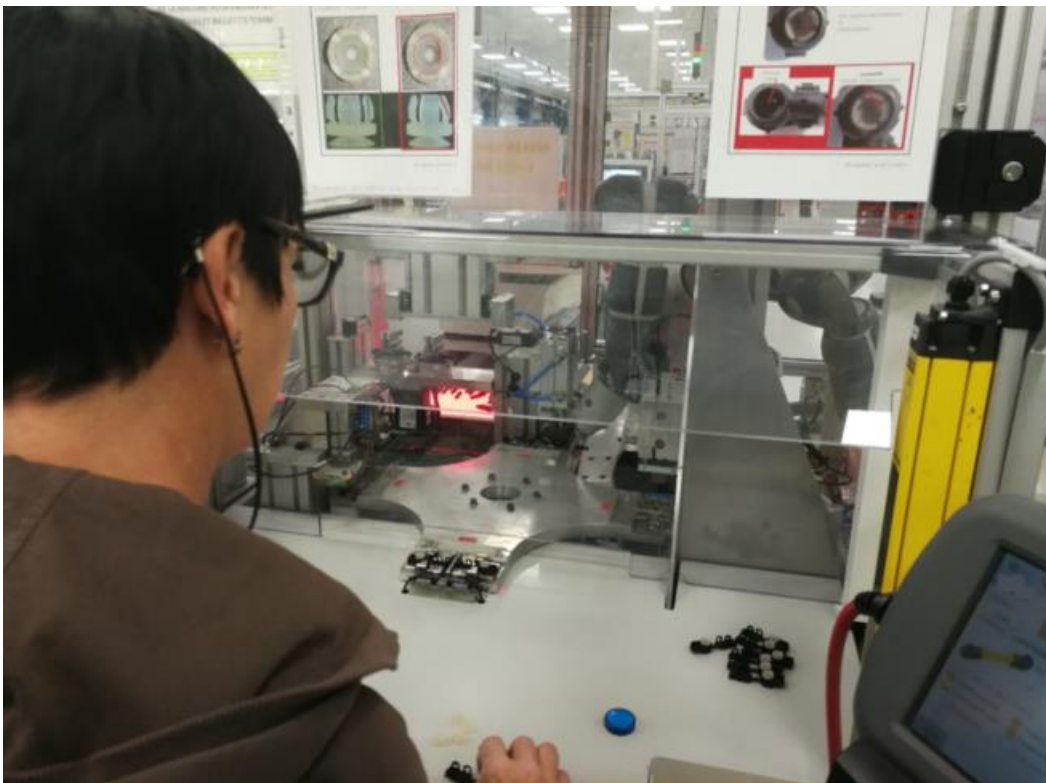


Figure 10. Photographie du poste de travail du côté de l'opérateur.

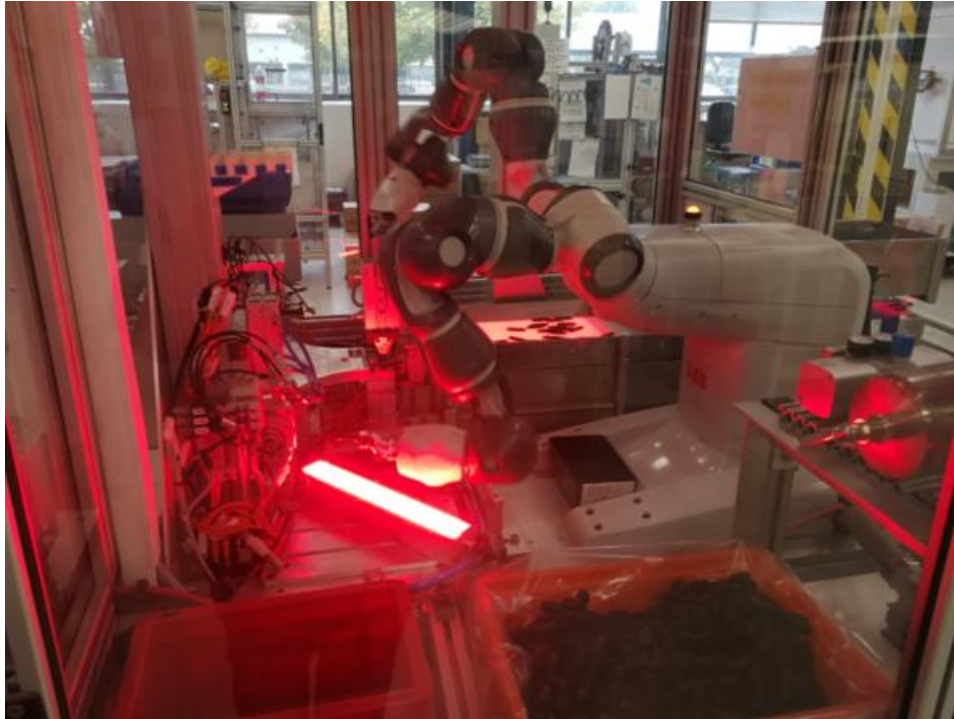


Figure 11. Photographie du poste de travail du côté du cobot.

1.2. Organisation

Nous pouvons souligner que le management du site de production est de type « servant leadership » selon BS. Nous nous approchons de ce que nous pouvons trouver dans la littérature sous le nom d'une organisation dite « habilitante ». L'intégralité des managers a reçu une formation au « servant leadership ». En effet, les opérateurs sont assez libres dans leur travail et peuvent s'organiser comme ils le souhaitent au sein du périmètre défini. Par exemple, il est possible de se faire remplacer (par un autre opérateur, pour ne pas arrêter la production) afin d'aller en pause. Les leaders (chefs d'équipe) ont tendance à mettre en valeur l'autonomie des opérateurs. De plus, les opérateurs ont accès à tous les membres de l'organisation via téléphone mais, dans les faits, leurs interactions s'effectuent très majoritairement avec leur leader. L'entreprise est composée de 595 opérateurs (dont 98 intérim), cette proportion est respectée dans l'atelier que nous avons pu observer.

Les opérateurs sont organisés en 3X8, il y a donc 3 équipes avec chacune leur leader. Les opérateurs restent 1 semaine sur le poste puis passent à un autre poste. Une fois que tous les opérateurs (formés à interagir avec le cobot) de l'équipe ont été sur le poste, la rotation recommence (une rotation complète dure environ 7 semaines).

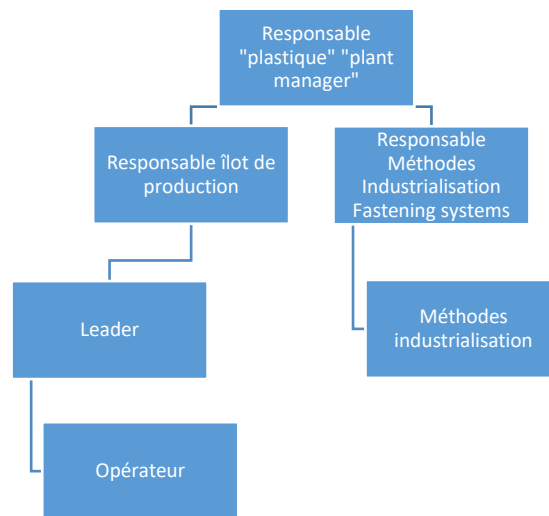


Figure 12. Organigramme du cas A.

1.3. Activité

1.3.1. Description de l'activité

L'activité se déroule selon la manière suivante :

- Tâche 1 : préparation du pré-assemblage des composants.
- Exigences de la tâche 1 : l'opérateur doit prendre 2 pièces noires et 2 pièces blanches et les réunir en un point central.



Figure 13. L'opérateur prend 2 pièces noires et 2 pièces blanches.

- Tâche 2 : pré-assemblage des composants.
- Exigences de la tâche 2 : l'opérateur doit assembler les 2 pièces l'une face à l'autre.



Figure 14. L'opérateur assemble les pièces (la pièce blanche s'emboîte dans la pièce noire).

- Tâche 3 : alimentation du cobot (avec le pré-assemblage).
- Exigences de la tâche 3 : l'opérateur doit alimenter le cobot en plaçant les pièces vers le cobot qui pourra prendre la pièce grâce à la plaque tournante.



Figure 15. L'opérateur tend au cobot (via un plateau) les deux pièces préfabriquées.

- Tâche 4 : fin du conditionnement.
- Exigences de la tâche 4 : une fois les tâches 1, 2 et 3 répétées un nombre suffisant de fois pour remplir un carton de pièces, l'opérateur doit se lever, sceller le colis puis le disposer sur une palette.

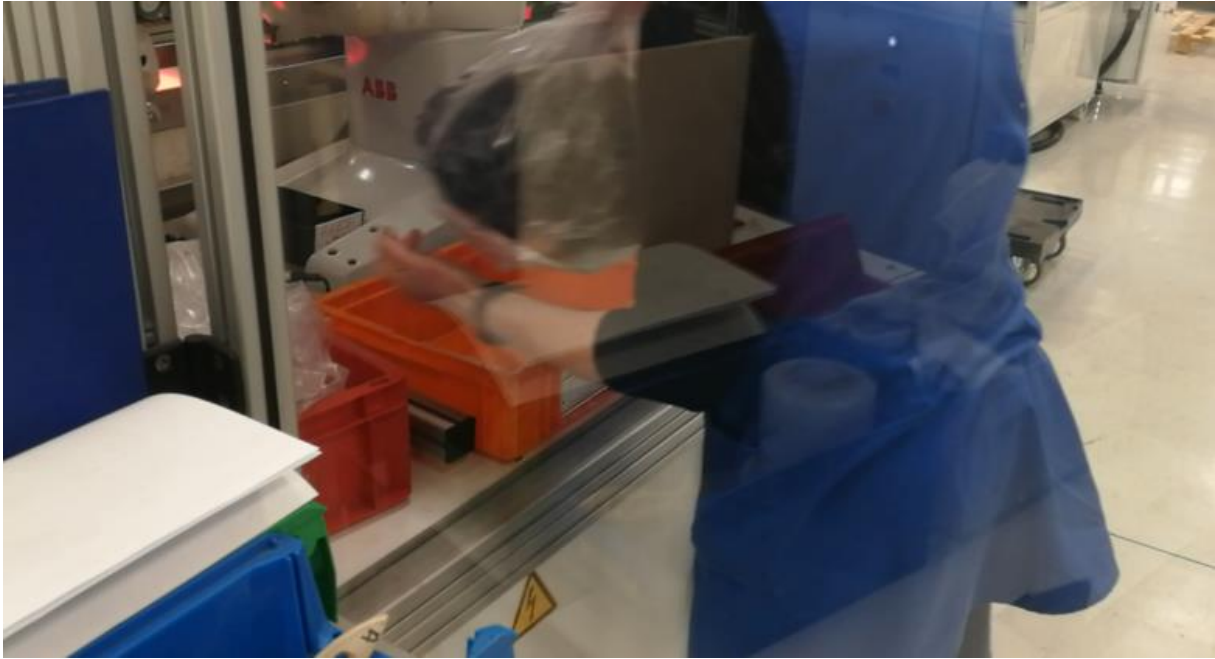


Figure 16. L'opérateur retire les pièces fabriquées afin de les emballer dans un colis.



Figure 17. L'opérateur prépare le colis.



Figure 18. L'opérateur dispose le colis sur une palette de stockage.

1.3.2. Écart réel et prescrit

Selon le mode opératoire prescrit, hormis le début et la fin de production, il n'existe que 2 tâches :

- « Pré-assemblage des composants :
 - Positionner (sans les clippers) les clips rotules dans les embouts.
 - Déposer le sous-ensemble dans les posages : présence à gauche puis présence à droite pour ensuite posage gauche à plat et posage droit à plat.

À cette suite : bien vérifier l'IHM que les 4 capteurs sont à « 1 » ou que le voyant sur la zone de dépose est éteint. Dès que l'opérateur a retiré ses mains de la zone délimitée par la barrière immatérielle, le plateau va tourner. Il faut trois rotations successives pour finaliser l'initialisation du plateau en début de production.

- Fin du conditionnement

Lorsque le compteur conditionnement atteint le nombre maximum, une alarme « fin de conditionnement » s'affiche et une porte s'ouvre. L'opérateur doit :

- Récupérer son carton de pièces conformes

- Remettre un vide
- Refermer la porte
- Acquitter les défauts
- Mettre à zone le compteur conditionnement (à vérifier)

Par la suite, le cycle reprend où il s'est arrêté. »

Dans un premier temps, en ce qui concerne un écart aux tâches, nous pouvons constater que les opérateurs distinguent leur activité en 4 étapes au lieu de 2 (la première tâche étant divisée en 3 actions). De plus, nous avons pu observer qu'il arrive que des opérateurs placent les pièces de droite dans le bac de gauche car, selon eux, c'est plus simple pour les attraper. Il est également classique que les opérateurs effectuent les étapes (réelles) 1 et 2 plusieurs fois d'affilée pour prendre de l'avance car le cobot est « lent ». Cependant, les cadences prescrites ne semblent tout de même pas atteintes.

1.3.3. Schématisation du process de l'activité

La figure 19 suivante schématise le process de l'activité.

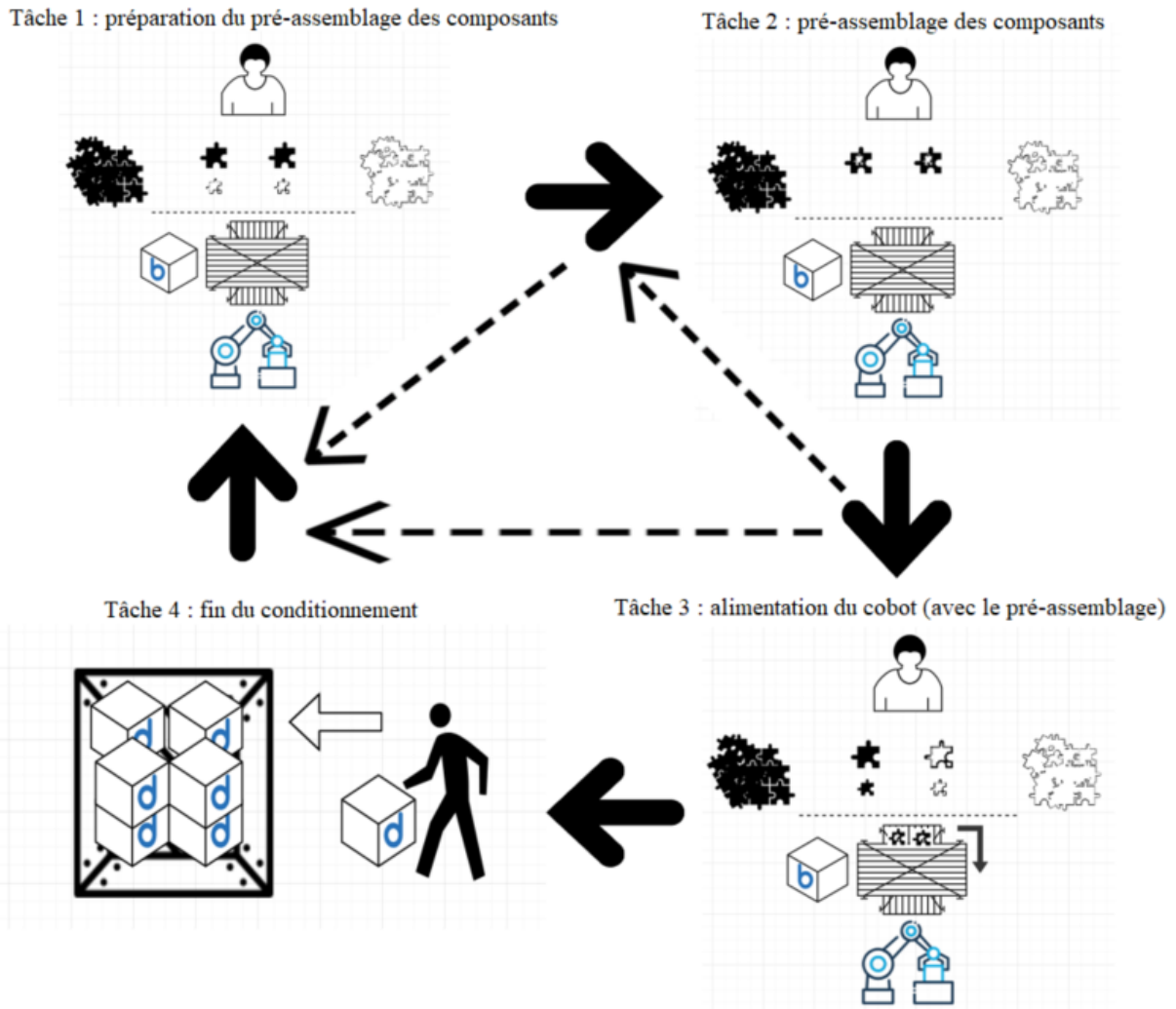


Figure 19. Schématisation du process de l'activité.

1.4. Processus de l'implémentation technologique (conduite du changement)

Le processus aura pris environ 2 ans, de l'idée à l'implémentation. Le cahier des charges initial était fonctionnel, la demande initiale portait sur la rapidité et la robustesse du cobot. Bien que la collaboration avec l'humain était souhaitée, aucun niveau de celle-ci n'était précisé hormis le fait que le cobot devait être en cage.

Avant l'intégration, l'équipe Méthodes a pu travailler avec l'intégrateur. Le chef projet disposait de son autonomie. Les premiers tests ont donc été effectués en interne, chez BS. Une première présentation a été faite aux opérateurs de l'usine lors d'un évènement organisé par BS, portant sur l'industrie du futur. Lors de cet évènement, les opérateurs ont pu se familiariser avec

le cobot et on a pu leur expliquer l'intérêt de la mise en place de celui-ci. Toujours avant l'intégration du cobot, l'équipe Méthodes (entre-eux) a pu réaliser des pré-tests en interne avec des chronomètres en mesurant une cadence moyenne. Ils tenaient à mesurer une cadence acceptable et donc pas trop élevée (« on prend le temps »).

La gestion s'est donc effectuée entre les 2 chefs de projets (côté implémentation et côté BS) avec une focalisation sur les aspects techniques des Yumi et leur intégration dans l'usine. Les questions sur le travail humain étaient absentes en amont de l'intégration (hormis les normes ergonomiques fournies par une grande entreprise).

Une fois le cobot implanté, celui-ci avait moins de cadence par rapport à ce qui était souhaité initialement. Ces problèmes d'efficacité sont survenus essentiellement au début de la mise en place du cobot car lors de la première visite (6 mois après implémentation) la cadence était presque égale à celle prévue par le cahier des charges. Cependant l'intégrateur considère que le projet n'est pas une totale réussite, notamment à cause de ces problèmes initiaux de cadence. Certains opérateurs ont également soulevé un temps d'appivoisement avec le cobot car celui-ci souffrait de « bugs » lors des premiers temps. Celui-ci était lent et se bloquait régulièrement, un processus d'adaptation a donc été nécessaire. Pour continuer sur le versant technique, le cobot est également considéré comme fragile car 3 bras ont été cassés depuis sa mise en place.

Il y a donc eu, depuis sa première intégration, un travail important d'augmentation de la productivité du Yumi. BS continu, encore actuellement (lors de la première visite), à travailler sur le cobot et notamment sur l'IHM (Interface Homme-Machine) qui souffre de lags. Nous pouvons donc parler de CCU car le cobot est implanté mais est amélioré régulièrement en tenant compte des retours des opérateurs.

Les opérateurs ont donc été (faiblement selon les opérateurs) accompagnés au changement grâce à la réunion d'introduction (environ 1 an avant l'implémentation du cobot). À chaque prise de poste, un facilitateur/formateur est présent pour guider l'opérateur sur une journée maximum. Les opérateurs trouvaient cela suffisant et n'ont pas déclaré de souci à ce niveau-là, la tâche étant relativement simple et les buts/tâches étant bien compris et appropriés. Il existe tout de même un mode opératoire au format papier disponible sur le poste.

Cependant, l'acceptabilité (avant implémentation du cobot) était plutôt faible. Le cobot n'était « pas au point » et certains opérateurs avaient « peur du remplacement ».

Au final, les opérateurs comme les leaders considèrent que l'implémentation a été facile et que le cobot permet un développement de compétences pour les opérateurs (1 opérateur sur les 4 interrogés considère qu'il n'y a pas vraiment de changement dans les activités humaines et ne se sent pas plus développé, de plus il ne se sent pas « valorisé » car « tout le monde y passe »). Majoritairement, il est « valorisant de travailler avec le robot », notamment car le cobot est vu positivement (en partie grâce à sa cadence). En effet, le cobot permet de gagner du temps et ajuste son mouvement en fonction de celui de l'opérateur (il l'attend). Certaines réserves ont pu être émises quant à l'utilisation du Yumi qui, bien que perçue comme positive, aurait pu être plus efficace. En effet, le poste n'était pas considéré comme optimal (lors des visites), notamment en terme de cadence. Un opérateur a souligné le fait que, s'ils avaient été davantage consultés en amont de l'intégration, il aurait été possible d'avoir un poste de travail plus optimisé (« ils auraient pu améliorer le poste » (bacs, pièces élémentaires qui se perdent sous le plateau...)).

1.5. Résultats de l'implémentation technologique

1.5.1. Résultats généraux de l'implémentation technologique

Environ 6 mois après l'implémentation du cobot, celui-ci est accepté par les opérateurs (bonne acceptation). Malgré des débuts difficiles, comme décrit précédemment, « on s'est cassé les dents dessus », c'était un « gros changement », le cobot était « lent et pas fluide » ... Cependant, le cobot « tire les gens vers le haut » et l'ensemble des opérateurs se déclare satisfait. Seuls les membres de l'équipe Méthodes interrogés ne sont pas totalement satisfaits, notamment par la cadence et la mobilité du cobot.

L'expérience utilisateur est (très) positive, certains opérateurs ont la sensation d'être « promus », que le travail est « valorisant », ils « aiment travailler dessus ». En revanche, il convient de pondérer cette satisfaction en fonction du reste de l'activité des opérateurs. En effet, si les autres tâches (qui n'ont pas pu être observées) sont considérées comme mauvaises par les opérateurs (attention, il ne semble pas que ce soit le cas), ceux-ci peuvent faire preuve d'un enthousiasme exagéré pour la situation observée.

En ce qui concerne la gestion du temps de travail au poste, tous les opérateurs pouvaient être assignés à ce poste (considéré comme valorisant), à raison d'une semaine. La MMS est

considérée comme satisfaisante par les opérateurs. Ils peuvent organiser leur temps, effectuer de micro pauses (sanitaires) quand ils veulent et des pauses plus conséquentes avec l'aide de leurs pairs. En effet, la seule règle est que la production ne doit pas s'arrêter, il est donc nécessaire que l'opérateur se fasse remplacer au poste s'il souhaite prendre une pause plus conséquente. L'opérateur dispose donc de possibilités d'ajustement de son activité, il peut également adapter son poste (position assise/debout, lumière, siège...) et peut écouter de la musique (via écouteurs) lors de son activité.

La communication entre les leaders s'effectue au moment du changement d'équipe. Il existe également une brève réunion entre opérateurs et leader au moment du début de service pour l'équipe du matin, seulement une fois par semaine pour l'équipe du soir et occasionnellement entre l'équipe Méthodes et le leader. Il n'existe pas d'espace de discussion sur le travail réunissant l'équipe Méthodes, le leader et les opérateurs au même moment.

En cas de problème technique, comme une panne du cobot, l'opérateur signale l'incident et celui-ci est résolu dans la journée. Dans tous les cas, les remontées d'informations sont instantanées vers le leader. Il est à noter que la cage séparant le cobot de l'opérateur est perçue comme sécuritaire car elle protège des blessures et de la poussière, le Yumi n'étant pas toujours considéré, par nature, comme plus sécurisé qu'un robot standard.

La relation avec le leader est vécue comme positive « ça se passe très bien », celui-ci laissant de l'autonomie et faisant confiance aux opérateurs. La relation avec les pairs est également vécue comme positive. L'entreprise en elle-même dispose d'une culture d'innovation qui favorise l'implémentation d'une telle technologie. Actuellement, tous les opérateurs ont accès au poste du Yumi (via une formation) s'ils le souhaitent (par exemple, un opérateur ayant beaucoup d'expérience ne souhaite pas travailler avec le cobot par résistance au changement). En revanche, un leader considère qu'il serait peut-être pertinent d'effectuer un tri au niveau du personnel, en réponse au problème de casse répété du bras du cobot.

Enfin, en ce qui concerne la collaboration avec le cobot, nous pouvons affirmer que les différents acteurs le trouvent utile, que ce soit au niveau de la performance (cadence correspondant approximativement à celle fixée par le cahier des charges initial) ou au niveau de la qualité (100% des pièces sont bonnes car le contrôle vision est automatisé). De plus, le cobot soulage l'opérateur en évitant certaines tâches, améliore le vécu du travail, la flexibilité et coûte moins cher qu'un opérateur humain. En ce qui concerne son utilisation, la charge mentale (pas de maux de tête, par exemple) et la charge physique (léger mal de dos « mais rien

de gênant ») semblent appropriées (à pondérer au vu des autres postes). Le cobot est utilisable et les opérateurs comprennent approximativement son fonctionnement. Le dernier point étant amélioré par le fait que la cage entourant le cobot est transparente, l'opérateur peut donc observer en permanence ses actions.

L'analyse plus approfondie des réponses à la première question ouverte (volontairement généraliste, de type : que pensez-vous de cette situation de travail, de la technologie ?) nous apporte des informations intéressantes sur ce que les opérateurs considèrent comme important/prioritaire au moment de l'entretien. Les déclarations suivantes des participants ont été émises sans que l'interviewer ne les oriente. Sur les 10 participants à cette étude, une majorité (6) déclare prioritairement avoir une bonne approche du cobot, celui-ci plaît. Les participants sont satisfaits (4), la formation à la prise de poste les ayant aidés (3). Le soutien de l'équipe technique est apprécié. En effet, les pannes ne sont pas gênantes, notamment parce que le soutien (leader, équipe Méthodes et service technique) est réactif quand le cobot rencontre un problème (4). Le Yumi est perçu comme améliorant la production, notamment à travers sa cadence (3). En revanche, il est important de constater que le cobot a pu faire peur, peur du changement, de la suppression d'emploi... Ce qui a induit une mauvaise acceptabilité (2) mais le début d'accompagnement au changement par la présentation du cobot une année avant son implémentation a aidé (2). Les participants considèrent qu'il est valorisant de travailler avec le cobot et que celui-ci « tire les gens vers le haut » (2).

Les avis qui vont suivre sont plus marginaux car ils n'ont été émis que par un seul participant mais ils semblent tout de même avoir de l'importance car l'interviewer n'a pas guidé la question à ce moment-là. L'implémentation du cobot, malgré le temps d'appropriation et le processus d'adaptation, est considérée comme facile. Le poste de travail avec le cobot soulage (malgré un opérateur qui compense son mal de dos par une posture debout), dispose d'une bonne utilisabilité (malgré sa faible cadence) et améliore le vécu au travail. Nous pouvons cependant noter une déception sur les cobots de la part de l'équipe Méthodes. Nous notons également une déception de la part d'un opérateur sur l'absence de co-conception : « on aurait pu faire des modifs. », cet opérateur aurait changé la disposition des bacs et des composants : « on aurait pu faire mieux ». Une présentation « de loin » et 6 mois avant n'était pas suffisante.

1.5.2. Comparaison croisée des résultats selon les différents acteurs

Cette section s'appuie sur les analyses thématiques des différents entretiens (exemple en annexe 12) regroupées par type d'acteur (exemple en annexe 13). Ces résultats sont également issus de nos observations.

Il semble pertinent de regrouper les différents acteurs en 4 groupes. Nous avons d'un côté les opérateurs (4 sujets), puis les leaders (2 sujets), les membres de l'équipe Méthodes (3 sujets) et enfin l'équipe de maintenance (2 sujets pour un seul entretien).

Opérateurs : les réponses des opérateurs sont homogènes. Nous ne notons pas d'écart de points de vue qui semble significatif hormis pour l'acceptabilité où le discours semble partagé entre ceux qui avaient peur du cobot (2 opérateurs) « j'avais peur » et ceux qui ne le craignaient pas (2 opérateurs également). Cette différence s'explique de par la variabilité interindividuelle. Ils (3 opérateurs) sont d'accord pour dire que l'organisation semble tenir compte de leur remontée d'informations via le leader mais pour un des opérateurs « cela prend du temps ».

Leaders : en ce qui concerne les leaders, les réponses sont également très homogènes et nous ne constatons pas de différences semblant significatives.

Méthodes : l'équipe Méthodes est, comme nous avons pu le voir, plus négative en ce qui concerne la perception du cobot. Il ne semble pas non plus y avoir d'écart significatif entre la vision de chaque membre interrogé. En ce qui concerne la co-conception, seul le responsable de l'équipe Méthodes qui a une vision plus macro, de par son activité, considère qu'elle a été satisfaisante. Les autres membres sont plutôt mitigés car selon eux, on n'a pas assez tenu compte des opérateurs lors de la conception du poste de travail. Le responsable ne s'est pas non plus exprimé sur l'adaptabilité du poste pour chaque opérateur. Ce même responsable qui considère que l'accent est mis sur la sécurité des opérateurs (ce qui est vrai dans le sens où le cobot est encagé) alors qu'un autre membre a une vision plus pessimiste car c'est justement parce que le cobot n'est pas plus sécurisé qu'un robot classique qu'il est encagé.

Nous constatons donc que les différences mineures de perception au sein de l'équipe Méthodes confrontent la vision du responsable qui a une vision plus macro et commerciale alors que les autres membres interrogés ont une vision plus « terrain ».

Maintenance : les deux opérateurs de maintenance ayant été interrogés lors du même entretien, nous n'avons pas relevé de différences significatives dans leur discours. Les avis sont homogènes.

Synthèse (comparaison croisée) : globalement les avis sont homogènes au sein d'un même groupe, la vision semble commune intragroupe. Cependant, en ce qui concerne la vision intergroupes nous constatons quelques différences.

Dans un premier temps, les responsables de l'équipe Méthodes semblent avoir une vision plus positive de l'acceptabilité. Cette vision est assez négative du côté des leaders et opérateurs. Nous pouvons supposer que les membres de l'équipe Méthodes, de par leur technocentrisme, n'ont pas la résistance au changement que l'on peut observer chez les opérateurs et les leaders. En effet, ils ont l'habitude de travailler avec et sur des robots et ont donc un effet d'habituation.

Nous constatons également un avis globalement divergeant et assez mitigé des opérateurs de maintenance. En effet, ceux-ci ne sont en contact avec le cobot que lorsque celui-ci est en panne et qu'ils sont donc appelés pour le dépannage. De plus, l'organisation ne leur a pas présenté le cobot en amont... C'est ce type d'indice qui nous éclaire sur la raison de cette vision mitigée de ces opérateurs de maintenance, envers le cobot.

Enfin, nous n'observons pas de différence semblant significative entre la vision que les opérateurs, leaders et membres de l'équipe Méthodes ont du poste de travail. Les opérateurs semblent cependant mettre plus d'importance sur le faible accompagnement au changement en amont de l'implémentation et regrettent la découverte du cobot seulement le jour J.

1.6. Résultats du point de vue de l'ECS

Cette analyse des résultats du point de vue de l'ECS est découpée en 3 critères. Ces critères sont ceux qui composent notre définition d'une ECS. Le respect d'un critère est évalué sur un continuum allant de « insatisfaisant » (le critère n'est pas ou très peu pris en compte dans la situation observée) à « satisfaisant » (le critère est majoritairement pris en compte dans la situation observée).

- **Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante et maintenir cet apprentissage.**

Nous pouvons constater l'apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante (selon les critères choisis) et donc utile. Cette nouvelle manière de faire est maintenue dans le temps malgré les rotations des opérateurs. En revanche, il est regretté que le cobot ne soit pas encore plus utile.

Ce premier critère semble donc satisfaisant.

- **Accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations d'usages.**

Nous pouvons constater une défaillance sur ce point précis. Bien que les opérateurs ont une légère MMS en ayant la possibilité de préparer des pièces à l'avance, ils sont tout de même extrêmement dépendants du cobot et de sa cadence. En effet, il n'y a qu'un seul mode opératoire possible, avec un séquençement prédéfini et une cadence maximum également prédéfinie par le robot. La seule latitude dont dispose l'opérateur est dans la configuration de son poste de travail, que ce soit au niveau de sa posture (assis vs debout) de la luminosité ou encore d'ambiance (musique via écouteurs).

Ce second critère semble donc insatisfaisant.

- **Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation.**

Nous pouvons constater une bonne transparence opérative. Les opérateurs comprennent le fonctionnement de la machine et ont donc la possibilité d'anticiper son comportement. Ils peuvent donc adapter leur conduite en créant des pièces d'avance pour alimenter le robot. En revanche, ils ne disposent pas de possibilité de transformation des caractéristiques de la technologie ou de varier leurs modes d'interaction. Leurs capacités locales d'intervention sur l'un des éléments du couple sont très limitées. Il n'existe qu'un seul mode opératoire. Les opérateurs ont tout de même la possibilité de contacter le service Méthodes et leur leader afin de faire remonter des informations (pannes, suggestions, etc.). En revanche, dans les faits, les remontées ne semblent pas toujours écoutées, les changements sont très technocentrés (vitesse de production, taux d'erreur, etc.).

Ce troisième critère semble donc mitigé. En effet, les espaces de débat sur le travail n'en sont pas vraiment car tous les acteurs ne sont pas présents. Bien que l'opérateur dispose d'assez de temps pour réfléchir à la situation, la CCU via les remontées d'informations est présente mais très limitée (surtout pour augmenter les performances de la machine et non du couple). Il est difficile de parler de CCU et d'instrumentalisation car les opérateurs changent régulièrement (intérimaires). Cependant, certains opérateurs pensent que leurs retours sont pris en compte et d'autres ne se sentent pas écoutés. Nous notons tout de même une très bonne transparence opérative ainsi qu'un management habilitant.

2. Cas B, le cas de l'implémentation de lunettes de réalité augmentée

Pour des raisons de confidentialité, les noms ont été anonymisés. Vous trouverez un glossaire en annexe 2.

2.1. Contexte

Ce projet d'implémentation d'un dispositif de réalité augmentée s'inscrit dans un autre projet plus vaste, le « digital manufacturing » (réflexions sur l'usine 4.0). Initialement, le projet vient de monsieur PP (dont le poste est « initiative leader ») qui a été contacté par SP (Start-up qui conçoit la technologie) via LinkedIn pour la technologie qui nous intéresse. Cependant, ces deux technologies étaient en concurrence. La chaufferie a donc été sélectionnée pour être un service test des 2 technologies. Monsieur PR (chef d'équipe) n'avait pas choisi les lunettes HoloLens. En revanche, monsieur P (mon contact principal, responsable des travaux) a insisté pour prendre les lunettes HoloLens. Au final, monsieur PR fut convaincu par l'idée car, selon lui, la population de la chaufferie est jeune (environ 35 ans de moyenne d'âge) et inexpérimentée (alors que la chaufferie est un domaine « vaste et grand » et certaines interventions n'ont lieu « qu'une ou deux fois dans l'année »). Monsieur PR pense donc que la technologie peut apporter une aide « pour faire grandir les gens », c'est une technologie « qui va devenir grandissante dans les années futures ». Nous notons donc un intérêt au niveau industriel et au niveau de la spécificité des acteurs de la chaufferie.

MA est reconnue par les différents acteurs comme une société favorable à l'innovation. Monsieur PR pense que « l'innovation fait partie des gènes de l'entreprise ». Il est vrai que le site où se trouve la chaufferie est vieillissant mais cela n'impacte pas la vision de cette culture d'innovation. SP semble partager ce point de vue. En revanche, certains techniciens trouvent que bien que MA soit porteur dans l'innovation, le site où se trouve la chaufferie est en « retard ».

Le projet est porté à 100% par MA qui est donc décideur et financeur. SP a été leur partenaire dès le début du projet et s'y investit (donne du temps supplémentaire et ne facture pas les dépassements du pilote, par exemple) afin de gagner en expérience. Au final, les fondateurs de

SP ont présenté la technologie au service de maintenance et ont trouvé un terrain d'entente avec MA.

Le dispositif répond à la perte de savoir-faire et de connaissances dans le milieu industriel. Monsieur P a donc eu pour mission de mener à bien ce pilote car son service a été sélectionné comme test pour la mise en place de la technologie (novembre 2018). Les deux représentants de SP sont venus 2 jours par mois, principalement pour mettre à jour les lunettes HoloLens selon les avancées. Monsieur P définissait avec eux (SP) la criticité des projets/sujets sur lesquels ils voulaient se lancer. Au bout d'un an, la solution était plutôt adaptée pour MA (mieux adaptée à l'industrie). L'utilité de l'innovation a convaincu assez rapidement les différents acteurs. Le point délicat a été de définir le ROI (retour sur investissement) car les opérations de maintenance sont principalement préventives, les problèmes sont donc souvent résolus avant d'atteindre un stade critique. Il en résulte qu'il est d'autant plus difficile de chiffrer les dépenses car il est impossible de prouver que la panne serait effectivement arrivée. Il est « très logique de justifier l'intérêt de la maintenance mais très compliqué en termes de chiffres de lui donner de l'importance ». « Le problème c'est de trouver des cas très concrets qui rapportent ».

En ce qui concerne les objectifs de l'implémentation de ce dispositif de réalité augmentée, monsieur P estime qu'« en temps de formation, on économise énormément de temps » avec le casque de réalité augmentée. Selon monsieur P, le dispositif technologique répond au « manque d'info en général » et de perte de « temps pour aller chercher de l'info », « le problème c'est d'avoir un environnement saturé d'informations ». Selon lui, « le casque [...] permet d'appliquer un certain filtre, ou de pouvoir mettre en évidence certaines informations par rapport à d'autres. ». Nous notons également une « perte de savoirs » dans le service de la chaufferie, les lunettes répondent donc également au besoin de transmission de connaissances. En revanche, bien qu'ils déclarent que cela ne soit pas impactant sur l'adoption du dispositif, cette avancée peut faire peur à certains techniciens qui craignent une sous-traitance du service (facilitée par les lunettes) « est-ce qu'on se tire une balle dans le pied ? ». L'objectif pour monsieur PR est donc de développer l'apprentissage et la formation ainsi que les outils du numérique (la RA entre dans le plan de digitalisation de MA). Il est également possible de dépanner à distance grâce au dispositif, il peut servir de support et transmettre de l'information (d'un opérateur à l'autre lors d'une prise de poste par exemple). Pour SP, les objectifs affichés sont de former, d'éviter les erreurs et de gagner du temps ainsi que d'améliorer leur dispositif de manière générale. Le parti pris est de ne pas être spécifique et de proposer une solution qui

convient à beaucoup d'entreprises. L'idée est de créer un software, centré utilisateur, qui permet d'avoir un retour sur investissement. Les différents pilotes (dont celui-ci, avec MA) permettent donc d'améliorer leur dispositif.

Le type de collaboration entre le dispositif technologique et l'opérateur (le technicien) n'a pas été étudié. Monsieur PR voit plutôt le dispositif comme un assistant pour rassurer et sécuriser les personnes sans les infantiliser. Il avoue qu'en ce qui concerne la collaboration, ils ne se sont pas « posé cette question-là au départ. ». Cependant, le débat a été évoqué. Selon monsieur P, la responsabilisation est un terme important chez MA ; « nous ce qu'on veut, c'est que l'humain garde une plus-value », « il faut clairement qu'on puisse dire que s'il [l'opérateur] l'utilise [le dispositif], il monte en compétence et il régresse pas ». Pour SP, les lunettes doivent assister l'opérateur, cependant « si elles ont été abordées, ces notions sont restées très vagues ».



Figure 20. Capture d'écran de l'interface des lunettes de réalité augmentée durant l'activité du technicien de maintenance.



Figure 21. Exemple d'un lieu d'activité d'un technicien de maintenance.

2.2. Organisation

MA ne semble pas fournir de directives précises sur le management de ses équipes hormis un devoir d'« exemplarité ». MA propose un triangle de gestion (salarié, manager et service du personnel). Selon PR, depuis quelques années MA « a responsabilisé beaucoup plus le manager et le salarié. ». Le manager doit régulièrement faire des points avec le personnel sur la marche courante, la gestion de carrière, les aspirations... pour ensuite voir les points de progrès du salarié. MA est une très grande entreprise, il y a donc beaucoup d'interlocuteurs et une structure verticale. En ce qui concerne précisément l'équipe de la chaufferie, PR considère que le manager « participe à la bonne vie de l'équipe » sans laisser « des gens au bord de la route ». Il se considère comme « participatif » et laisse donc de la marge de manœuvre à son équipe. Il veut « responsabiliser les gens » mais sait être directif, sans se priver de « bousculer les gens » si nécessaire. Monsieur P confirme cette « vraie volonté de responsabilisation ». Selon SP, PR est un manager « du terrain » il a conscience des « enjeux ». Les différents acteurs sont donc invités à participer aux réflexions sur le travail. Le ressenti des techniciens est d'ailleurs identique et assez homogène, ils ressentent l'autonomie et la confiance qui leur sont attribuées

et se sentent écoutés lors des remontées d'informations. Leur principal interlocuteur est monsieur PR.

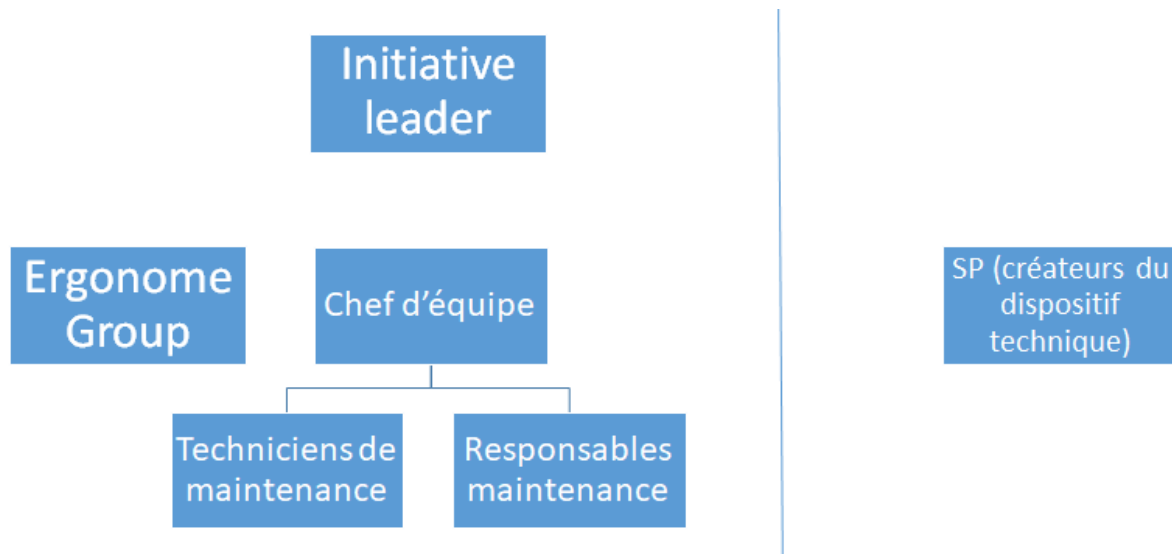


Figure 22. Organigramme du cas B.

2.3. Activité

2.3.1. Description de l'activité

L'activité des différents acteurs de la chaufferie est divisée en 2 types de tâches différentes :

- Les opérations de conduite et de maintenance : cette activité correspond à l'entretien des différentes machines, leur mise en service, leur réglage, le suivi de fonctionnement, etc. Il s'agit d'opérations plus ou moins régulières.
- Les opérations de dépannage : l'activité de dépannage est très contextuelle car elle répond à un besoin immédiat (une panne, une casse, etc.). C'est l'opération la moins fréquente qui n'intervient pas régulièrement, « les dépannages sont souvent uniques » (Monsieur P). Cette opération peut être très variable en termes de durée. Le dispositif de réalité augmentée semble peu adapté aux opérations de dépannage. Ce constat fait consensus au sein du collectif.

Une journée type commence aux environs de 7h du matin. Les différents membres du collectif s'équipent et prennent le café en salle de pause. Par la suite, vers 8 h, le collectif se retrouve afin de discuter sur le travail, en présence d'un responsable des travaux et potentiellement du chef d'équipe. Lors de cette réunion, ils discutent de la sécurité, des moyens et machines, de la qualité et des coûts. Le collectif utilise également cet espace d'échange sur le travail pour discuter de la technique (« faut pas trop forcer sur la vanne... » « les soudures... ça suinte... », etc.). Les réunions durent entre 25 et 30 min. La maintenance journalière est abordée en 10 min alors que 15 à 20 min sont nécessaires pour les discussions sur le travail. Les techniciens se retrouvent ensuite pour la pause repas (aux alentours de midi) et finissent la journée en milieu d'après-midi.



Figure 23. Un technicien de maintenance en activité.



Figure 24. Exemple d'installation sur laquelle intervient le technicien de maintenance.

2.3.2. Écart réel et prescrit

L'activité des techniciens de maintenance est très variable car soumise au contexte. En effet, le dépannage des machines va dépendre de leurs dysfonctionnements. En ce qui concerne les activités de maintenance et de conduite, cela va également dépendre du besoin (en chauffage, en eau, etc.) ce qui est donc également contextuel pour une grande majorité. Il est donc impossible de définir un mode opératoire pour l'ensemble de l'activité comme on pourrait le faire sur une ligne de production. En effet, chaque technicien de maintenance agit en fonction de son expérience et de son savoir-faire et les moyens pour effectuer une même tâche peuvent être variables. Le point commun est donc la réunion du matin (aux alentours de 8h) et la pause repas.

Nous pouvons noter des adaptations qui ne sont pas conformes au mode opératoire et aux consignes de sécurité (spécifiques à une machine). Par exemple, un technicien de maintenance utilise un écrou pour bloquer des vannes (qu'il faut normalement bloquer manuellement, par sécurité), afin de pouvoir effectuer une autre tâche en parallèle, ou encore les réunions du matin

qui durent entre 25 et 30 min (alors que le prescritif est de 10 min). Le chef d'équipe PR leur demande également de vérifier le travail des sous-traitants afin de « favoriser la paix sociale ».



Figure 25. Exemple d'adaptation par un technicien de maintenance.

2.4. Processus de l'implémentation technologique (conduite du changement)

Nos différentes visites se sont déroulées sur plusieurs mois. Celles-ci ont débuté environ 1 an et demi après le début du projet et 1 an après le début du pilote (le pilote a été lancé 6 mois après le début du projet). Le projet ne dispose pas de planning prévisionnel. Initialement le contact (il y a un an et demi) a été effectué par SP qui a pu par la suite présenter la technologie sur site pendant 2 jours. Par la suite, 3 mois après cette présentation, MA et SP signent le pilote. La durée du pilote (initialement 4 mois) est finalement rallongée (7 à 8 mois au total) afin de créer un pont, jusqu'au déploiement. L'implémentation effective aurait dû avoir lieu très prochainement mais la situation sanitaire ainsi que des questions budgétaires ont gelé le projet. Il semble également utile de préciser que le projet est seulement un pilote pour le moment et que les opérateurs ont la possibilité de ne pas porter les lunettes.

En ce qui concerne les arbitrages en cours de projet au niveau des choix budgétaires, organisationnels, etc., ils sont surtout effectués au niveau du central de MA et donc les acteurs avec qui nous avons pu être en contact n'ont pas de pouvoir décisionnaire sur ce volet. Ce sont P et PR qui font les arbitrages quotidiens concernant le développement de la technologie. Les techniciens de maintenance peuvent faire remonter des informations car SP est très attaché à l'écoute du terrain. En effet, ils ont mis en place au début du pilote des tests et entretiens avec les techniciens afin de recueillir leurs avis et besoins. Ces entretiens et tests préliminaires ont notamment été utiles pour accompagner au changement les techniciens en leur permettant de prendre en main précocement le dispositif. La majorité des techniciens ont ressenti cette démarche de co-conception et se sont sentis écoutés. Selon PR « il y a de l'accompagnement à faire » « c'est un travail de maturation », bien qu'il n'ait pas réellement prévu de dispositif d'accompagnement au changement. C'est donc réellement SP qui place l'accompagnement au changement dans son processus, « notre objectif est d'être au plus proche des utilisateurs », notamment en désignant un « ambassadeur » (ici monsieur P) qui fait le lien avec le terrain. C'est également dans cet esprit qu'un facilitateur est toujours présent lors de la prise en main initiale du système de réalité augmentée, que ce soit SP au début ou monsieur P (ambassadeur) par la suite.

Bien que le début du projet ait été très technocentré, le facteur humain est apparu dès le début, notamment en ce qui concerne les interfaces, les modes opératoires, etc. En effet, le travail de SP est orienté sur des cas d'usage concrets, remontés du terrain. Afin de favoriser l'acceptabilité SP a choisi de mettre les opérateurs dans la boucle dès le début et donc de récolter les remarques sur le travail réel. SP est donc allée sur le terrain afin d'évaluer le besoin : « tout d'abord aller sur le terrain, comprendre le terrain et récolter le premier problème et le premier besoin, parce que toute autre manière de fonctionner fera forcément un outil pas utilisé » (SP). Les techniciens ressentent bien l'envie de SP de les intégrer au processus et de prendre en compte leur avis, dès le début du projet.

Les différents acteurs ne relèvent aucune limite technologique ou légale majeure. Elles existent, notamment car le dispositif n'est pas adapté à certains environnements (arcs électriques, atmosphère explosive, etc.) mais cela ne concerne pas le périmètre de la chaufferie. Les lunettes occultent un peu les obstacles dans les endroits sombres (cette difficulté est compensée par des pictogrammes de sécurité dans le dispositif) et il a été soulevé des soucis de sécurité informatique et de connexion qui ont été contournés avec un PC et une connexion dédiée.

En revanche, il n'y a pas eu d'évaluation précoce de l'utilité du dispositif technologique. Les lunettes de réalité augmentée sont prévues pour l'ensemble du service mais les techniciens ont la possibilité de créer leur propre scénario (de maintenance) qui est ensuite partagé à l'équipe. Les lunettes se partagent donc entre les différents techniciens et ceux-ci considèrent qu'elles s'adaptent bien. Cependant, les techniciens sont assez mitigés sur leur utilité. Les principaux points soulevés sont des soucis techniques (temps de chargement, etc.), une peur de perdre de la marge de manœuvre dans le travail mais surtout une absence d'intérêt car ils sont déjà experts dans leur poste (ils conseillent le dispositif pour les novices). Actuellement, il en résulte que peu de techniciens mettent les lunettes car ils n'en voient pas l'utilité (ils sont tous experts). Selon eux, le dispositif ne peut se substituer à un compagnonnage mais peut être un bon support lors de ce temps de compagnonnage. Cette crainte est pertinente car PR et SP déclarent ne pas avoir particulièrement réfléchi à l'anticipation et la gestion des trajectoires des personnes impactées par l'implémentation technologique. Selon monsieur P, les techniciens ne pourront pas être remplacés par le casque de réalité augmentée mais il leur permet de monter en compétence tout en gardant leur emploi. L'objectif est donc que les lunettes soient compatibles avec le logiciel préexistant d'aide à la maintenance. Selon SP, cette implémentation technologique va dans le sens d'une transformation industrielle, déjà existante. Cela ne « remplacera jamais le technicien » mais facilite « la transmission des savoirs-faire » et va donc fatalement « impacter les méthodes de travail ». Les techniciens ressentent cette absence d'anticipation, ce qui éveille des craintes telles que la perte d'autonomie et la perte de temps dans le travail.

2.5. Résultats de l'implémentation technologique

2.5.1. Résultats généraux de l'implémentation technologique

En ce qui concerne l'aspect social, PR déclare faire confiance à son équipe. Il n'essaie pas de « piéger » son personnel et déclare : « je me vois mal de ne pas faire confiance à mes gens ». Cependant, bien que « bienveillant », il se déclare également « dur dans les idées », si nécessaire. Du côté de SP, ils n'ont pas poussé le manager à lancer une dynamique d'utilisation de la technologie. Monsieur P (ambassadeur) et monsieur PR (chef d'équipe) n'étaient donc pas prescriptifs quant à l'utilisation des lunettes, ce qui a influencé la faible utilisation des lunettes par les techniciens. Il y a actuellement des discussions sur des primes qui seraient

reversées aux techniciens qui utilisent les lunettes, notamment pour créer des scénarios (maintenance, etc.). Du point de vue des techniciens, il ne semble pas y avoir d'animosité entre eux et le chef d'équipe. Ils se considèrent comme « écoutés » et PR est « attentif aux problèmes ». Un des techniciens regrette cependant qu'il ne puisse pas avoir encore plus d'autonomie. Grâce aux observations effectuées sur le terrain et aux ressentis relevés des différents acteurs, nous observons un mode de management proche d'un management habilitant. De plus, il y a quelques tensions dans l'équipe (entre techniciens) mais cela n'empêche pas le partage de connaissances et le soutien dans l'équipe ; P déclare d'ailleurs : « [le partage de connaissances] est fondamental », « c'est très vrai chez nous ». Le sentiment semble partagé par les techniciens « on a toujours besoin du collègue ». Il n'y a donc pas de rétention d'informations dans l'équipe, les collègues sont une source de soutien, malgré de petits conflits interindividuels qui n'influent pas sur le travail. En revanche, en ce qui concerne les lunettes, la politique de SP n'est pas d'intervenir sur l'équipe mais de se concentrer sur les ambassadeurs. Il y a peu d'échanges entre les techniciens sur le dispositif de réalité augmentée, « chacun procède un peu à sa façon » (selon un technicien).

Il n'existe pas vraiment d'espace débat-travail où l'ensemble des acteurs peuvent confronter leur point de vue et échanger sur l'activité. En revanche, des régulations sur le travail se font « sur des réunions informelles » et non sur des « réunions systématiques » selon PR. Nous pouvons cependant noter la présence d'une réunion tous les matins, plutôt orientée « business ». Lors de cette réunion, s'effectue la transmission des consignes entre l'équipe montante et l'équipe descendante ainsi que des discussions sur les problèmes et solutions et le programme de la journée durant environ 25 à 30 min. Ce type de réunion du matin permet également d'échanger sur les pratiques et l'aspect social de l'équipe. Selon un technicien, cet espace est « ouvert, chacun dit ce qu'il a envie de dire ». Nous remarquons que les caractéristiques de ces réunions matinales sont assez proches d'un EDT. Nous pouvons aussi signaler la présence d'une réunion mensuelle, entre PR (chef d'équipe) et l'équipe, pour un point ainsi qu'un tour de table.

En ce qui concerne plus spécifiquement les relations avec la technologie, tous les techniciens interrogés comprennent le fonctionnement de la machine. C'est d'ailleurs un souhait de PR et de SP « on essaie qu'ils comprennent tout » (SP). P déclare que « la solution en elle-même est très simple » et que le temps de formation est rapide : « le temps de formation ne prend pas plus d'une journée », « si tu dois faire une formation compactée, le gars est autonome en 2h ». Nous notons donc une bonne transparence opérative.

Nous ne relevons pas de difficulté au niveau de la charge mentale et de la charge physique, lors d'utilisations courtes, les cas d'usage étant majoritairement aux alentours d'une demi-heure, conformément aux préconisations de SP. Cependant après utilisation prolongée (plus de 2 heures), les lunettes peuvent être lourdes (ce qui sera en partie résolu avec la nouvelle version des lunettes) et, rarement, les opérateurs déclarent avoir les yeux fatigués ou des maux de tête (environ 1% des cas, selon monsieur P et SP). Nous avons pu relever qu'un technicien sur cinq interrogés déclare avoir mal au nez à cause du poids des lunettes mais que cela dépendait des réglages : « une fois que c'était bien réglé, ça m'allait bien ». Un autre technicien déclare avoir des maux de tête au bout de 15 à 20 minutes d'utilisation mais que cela est dépendant d'une pathologie personnelle car il ressent la même chose devant un jeu vidéo. L'ensemble des techniciens ne semble donc pas relever de souci de charge mentale ou de charge physique pour une utilisation traditionnelle (30 minutes environ).

À propos de l'utilisabilité, nous pouvons constater différents points pertinents. Tout d'abord, seulement 1 technicien sur 5 déclare ne pas avoir de problèmes à l'utilisation. Le point principal est un effet tunnel. En effet, lors de l'utilisation des lunettes, certains techniciens déclarent ressentir une focalisation de l'attention. Les lunettes peuvent également être contraignantes à l'usage (batterie, connexion, installation...), lourdes et un technicien préférerait un cliqueur plutôt que le geste traditionnel d'utilisation. Nous pouvons également signaler qu'un technicien déclare un sentiment pénible d'enfermement « on se sent un peu prisonnier ». Les lunettes sont assez flexibles et adaptables dans le temps.

En ce qui concerne la marge de manœuvre. La tendance est au soutien et à l'assistance plutôt qu'au système directif mais la MMS dépend fatalement de qui conçoit le scénario. SP essaye d'aller dans le sens d'une large marge de manœuvre en proposant des options de checklist où l'opérateur choisit l'ordre des actions ou encore la possibilité de naviguer dans le chapitrage d'un scénario. Les techniciens ne semblent pas non plus avoir de souci d'acceptabilité sociale en étant équipés du dispositif et ne pensent pas en avoir à l'extérieur. Au moment du recueil de données, le dispositif n'a été utilisé qu'en chaufferie.

À propos de la dimension sensible, nous retrouvons une peur de la sous-traitance ainsi qu'une peur que l'on impose le dispositif. Le dispositif est en évolution et marqué de bugs (surtout au début) et le clic fonctionne mal. Cela peut engendrer de la frustration et donc l'acceptabilité (avant utilisation) était plutôt bonne mais l'acceptation (après utilisation) un peu moins. Pour un des techniciens, la technologie ne lui pose pas de problème car c'est l'humain qui crée le scénario d'usage. Se pose donc la question suivante : qui doit élaborer le scénario ? L'ensemble

des opérateurs est d'accord sur le fait que les lunettes ne peuvent remplacer un compagnonnage mais peuvent être un bon support. Certains opérateurs ont également la crainte de devenir dépendants aux lunettes et donc d'être « perdus le jour où il y aura un problème sur les lunettes ». SP est très sensible à la perte de savoirs et de compétences « je me pose beaucoup de questions sur les gens qui ont des compétences mais qui ont du mal à les partager ». Monsieur P partage cette analyse et ressent que certains techniciens ont peur de se faire remplacer dans le travail par le casque, le risque de sous-traitance de la chaufferie étant conséquent. Il semble qu'il y ait une crainte sous-jacente que « n'importe qui » puisse faire le métier avec les lunettes, ce qui pourrait expliquer que l'intégralité des techniciens considère que le dispositif ne peut remplacer l'humain. Selon SP cette peur est assez fréquente mais si les opérateurs sont accompagnés au changement, celle-ci finit par disparaître car le remplacement de l'humain n'est pas le but du dispositif.

En ce qui concerne le changement des activités humaines grâce au dispositif, nous pouvons relever une volonté managériale (PR) de proposer que les lunettes accompagnent l'opérateur car il faut que « l'Homme reste prépondérant par rapport à l'outil ». Selon SP, le dispositif technologique « augmente l'humain pour pouvoir lui donner un maximum d'informations pour qu'il décide mieux », il en résulte un développement des compétences. Nous remarquons cependant que les retours des techniciens sont plus modérés. Ils pensent que les lunettes ne peuvent pas remplacer l'Homme et seront inutiles pour un expert mais utiles pour un novice (en complément d'une formation avec un compagnon). Il est cependant à noter que la notion d'expertise est dépendante du contexte. Sur des interventions très rares, un « expert » devient novice et trouverait une utilité dans les lunettes. Les lunettes semblent également « abrutissantes » et l'intégralité des techniciens interrogés ont peur d'un effet « GPS » qui rendrait dépendant et finirait par faire perdre des compétences.

Le projet est tout de même globalement perçu comme un succès par les acteurs malgré les quelques difficultés rencontrées citées précédemment. Il ne paraît pas y avoir d'écart avec ce qui était prévu bien que « on n'avait pas de planning » (PR) et que SP et P ont trouvé l'évolution du projet trop lente à cause de certains freins organisationnels de MA. Les objectifs affichés par SP, selon eux, ont été atteints (efficacité, réduction du temps de formation et absence de rétention de l'information). Selon PR, il est actuellement un peu tôt pour dire si les objectifs ont été atteints car les retours ne sont pas encore suffisants. Pour lui, les critères sont les mêmes que pour SP mais il ajoute le dépannage à distance et la réduction du personnel. Le critère de l'acceptabilité est également atteint, le pilote est donc validé. Deux techniciens se déclarent

également satisfaits alors qu'un autre ne voit pas la plus-value dans son travail et considère le dispositif comme « gadget » et se dit donc insatisfait. Deux autres techniciens ne souhaitent pas se prononcer car les lunettes ne les intéressent pas (l'un part à la retraite et l'autre n'attend rien des lunettes). Au final, nous pouvons constater que le dispositif convient difficilement pour la chaufferie à l'heure actuelle, car les techniciens sont tous experts et le dispositif semble plutôt convenir aux novices. PR est satisfait du travail de SP et souhaiterait continuer mais le projet est gelé à cause de difficultés budgétaires et des impacts de la situation sanitaire sur l'activité de MA.

L'analyse plus approfondie des réponses à la première question ouverte (volontairement généraliste) nous apporte des informations intéressantes sur ce que les opérateurs considèrent comme importants/prioritaires au moment de l'entretien. Les déclarations suivantes des participants ont été émises sans que l'interviewer ne les oriente. Sur les 9 participants nous notons des réponses assez variées qui ne dégagent pas de grandes tendances. Nous pouvons noter que le dispositif semble intuitif et accessible (3), c'est une innovation, un changement important (2) ainsi qu'une opportunité avec beaucoup de potentiel (2) qui répond à un réel besoin et est donc utile (2). En revanche, bien que le dispositif soit perçu comme un support des savoirs, des connaissances à transmettre (2), l'opérateur doit être indépendant et le dispositif doit rester dans son rôle de support/assistance (3).

Voici quelques remarques qui n'ont été émises, à chaque fois, que par un seul participant. Bien que plus marginales, elles ont tout de même de l'importance car l'interviewer n'a pas guidé l'entretien à ce moment-là. Il ressort : que le dispositif est très intéressant et qu'il est intégrable facilement mais qu'il est difficile à mettre en œuvre, qu'il permet de développer des compétences, de gagner du temps, d'éviter les erreurs et de faciliter le quotidien (utilisabilité). En revanche, il peut également nuire à l'attention et les points d'intérêt (IHM) peuvent se décaler. Il ressort également que les experts semblent trouver le dispositif inutile, ce qui peut être lié au fait qu'ils préfèrent le papier (car plus personnalisable) et que, bien que le dispositif soit reconnu comme utile pour les informations qui ne sont pas courantes (pour les experts), il est nécessaire d'avoir une volonté managériale assez forte pour avoir des retours sur investissement pertinents. Pour terminer, un utilisateur avait peur que les lunettes lui masquent la réalité mais au final cela n'a pas été le cas.

2.5.2. Résultats du focus group

Le focus group s'est déroulé dans une salle dédiée pendant environ 50 minutes. La phase de présentation et de familiarisation du groupe a été volontairement évitée car toutes les personnes présentes étaient déjà familières. Nous comptons 7 participants lors de ce focus group, dont 4 techniciens, un responsable des travaux, un ergonomiste et moi-même. Le responsable des travaux et un technicien furent contraints de partir durant l'exercice.

Dans l'ensemble, nous retrouvons les mêmes résultats que lors des entretiens individuels, l'ensemble des réponses malgré quelques frictions (résultantes de différends interindividuels) est cohérente et homogène. Les lunettes de réalité augmentée sont considérées comme utiles mais pas pour le service de chaufferie hormis pour les scénarios très exceptionnels. En effet, les lunettes ne sont pas adaptées pour être un support de dépannage mais conviennent plutôt aux opérations de conduite et de maintenance. L'expertise est toujours nécessaire selon eux (on ne peut remplacer l'humain). Il semble y avoir un consensus sur l'utilité des lunettes mais seulement avec un compagnon pour la formation. Les lunettes permettraient ainsi de réduire le temps de formation. Le dispositif apporte donc un gain de temps et de confiance mais peut également être un facteur de perte de compétences : « si la personne cherche pas trop ». Le taux d'erreur ne semble pas être influencé par les lunettes. Bien que l'exhaustivité des informations puisse être un facteur minimisant les erreurs, le fait de ne pas pouvoir s'adapter à la situation (scénario rigide à un instant donné) peut être facteur d'erreur.

En ce qui concerne la prise en main du dispositif, les problèmes d'utilisation tels que les bugs sont mineurs et les techniciens sont confiants sur la bonne avancée de la technologie. Ils notent tout de même des soucis de clics pour valider les actions et une focalisation de l'attention (effet tunnel). Il y a donc un risque de sécurité ici, si on ne connaît pas l'environnement et que les risques n'ont pas été préalablement identifiés. L'interface est perçue comme claire bien que dépendante du scénario et le guidage par les lunettes est également clair. Les techniciens préfèrent que le dispositif soit directif (scénario) mais adaptable selon leur souhait. Il y a également une crainte de l'effet « GPS » pouvant amener les techniciens à ne plus se renseigner par eux-mêmes et à n'utiliser que le mode opératoire présent dans les lunettes, selon eux : « tu deviens suiveur ».

Les techniciens semblent utiliser les lunettes par contrainte car actuellement, ils n'en ressentent pas le besoin. Ils se considèrent comme experts et le dispositif est, selon eux, adapté aux

novices. Ils ont conscience que les lunettes vont être un facteur allant dans le sens de la sous-traitance. Ils reconnaissent que ce n'est pas le but original du dispositif mais que cela va la favoriser. En revanche, selon eux, cette sous-traitance n'influencerait pas leur vision des lunettes. L'acceptabilité sociale, quant à elle, n'est pas un problème hormis pour un des techniciens pour lequel le regard des autres (externes à la chaufferie) semble être dérangeant durant l'utilisation des lunettes.

Enfin, ils se sentent écoutés lorsqu'ils émettent des retours sur le dispositif de réalité augmentée.

2.5.3. Résultats de la simulation de l'activité avec le dispositif RA

Cette simulation a été effectuée durant environ 20 minutes. Celle-ci était in situ et le technicien faisait réellement les manipulations hormis celles qui nécessitaient des traitements spéciaux (vidage des cuves, transferts, etc.). Nous nous sommes donc approchés de la situation réelle qui aurait duré environ 30 minutes. Durant cette simulation l'UX designer a pu filmer la séance et nous avons pu utiliser la technique de la pensée à voix haute afin que le technicien puisse verbaliser ses actions et raisonnements durant son activité.

Lors de son activité nous avons remarqué que le technicien semblait trouver une utilité à l'utilisation des lunettes, l'opération en cours n'étant pas habituelle. Il semblait également conscient de ce qu'il faisait et utilisait son expertise en complément des lunettes. Il ne suivait donc pas le scénario sans analyser son activité. Nous notons un petit souci de transparence opérative car lors de certaines manipulations, le technicien ne comprenait pas ce que voulaient les lunettes. De plus, certains textes étaient trop petits ou incomplets, la suite étant remplacée par des points de suspension. Nous notons que le port du dispositif était également hasardeux car il est arrivé que le technicien retouche les lunettes.

À la suite de cette expérience, nous avons pu effectuer un entretien avec le technicien, sans la présence du responsable des travaux. Il ressort de cet entretien plusieurs informations qui semblent cohérentes avec ce que nous avons pu relever précédemment. Dans un premier temps, le technicien déclare qu'il connaissait un peu les manipulations et il essayait de coupler son expertise aux instructions des lunettes. De plus, il devait se réapproprier le dispositif car cela faisait longtemps qu'il ne l'avait pas porté (quelques mois). Ce qui pose la question de la pertinence du dispositif pour les utilisations ponctuelles.

En ce qui concerne ces retours, nous pouvons relever qu'il a trouvé les lunettes utiles et suffisantes pour mener à bien la tâche. Elles ne le dérangent pas lors de ses actions bien que leur position l'ait gêné quelques fois, ce qui l'a poussé à les repositionner sans que ce soit néfaste pour son expérience utilisateur. Il reconnaît également qu'il réfléchissait pour voir s'il ne faisait pas d'erreur car il ne connaissait pas bien les étapes de ce scénario. Cela traduit le fait qu'il n'a pas totalement fait confiance au scénario. Selon lui, maintenant qu'il l'a essayé, il est prêt à lui faire confiance car il sait « qu'il est bon », contrairement à des scénarios non éprouvés. Enfin, selon lui, le dispositif est donc utile, utilisable, acceptable et accessible. Il est « intuitif [...] assez simple à utiliser » et donc son utilisation ne lui « pose pas de problème ».



Figure 26. Simulation de l'activité avec un technicien de maintenance équipé des lunettes de réalité augmentée.



Figure 27. Interface en réalité augmentée.

2.5.4. Comparaison croisée des résultats selon les différents acteurs

Cette section s'appuie sur les analyses thématiques des différents entretiens (exemple en annexe 12) regroupées par type d'acteur (exemple en annexe 13). Ces résultats sont également issus de nos observations et autres méthodes employées (focus group et simulation de l'activité).

Il semble pertinent de regrouper les différents acteurs en 3 groupes. Nous avons d'un côté les techniciens (5 sujets), puis les dirigeants sur le projet qui sont le chef d'équipe et le responsable des travaux, également « ambassadeur » pour SP (2 sujets) et enfin, les membres de l'équipe SP (2 sujets).

Techniciens : Nous notons chez les techniciens des réponses assez homogènes dans l'ensemble. En ce qui concerne les différences significatives, nous en relevons sur deux sujets. Tout d'abord, la majorité des techniciens considère que MA possède une culture d'innovation mais 2 techniciens (sur 5) considèrent que ce n'est pas le cas, spécifiquement sur le site qui les concerne. Ensuite, nous remarquons que, pour la sécurité et l'environnement, les techniciens sont partagés. Certains semblent penser qu'il n'y a pas de souci hormis potentiellement un effet tunnel (3) alors que d'autres sont beaucoup plus critiques en relevant de nombreux problèmes

tels que la sécurité informatique, la confidentialité ou encore la connexion (2), voire les risques de blessure, notamment à cause de cet effet tunnel identifié (3).

Dirigeants : Nous notons chez les dirigeants des réponses assez homogènes dans l'ensemble, hormis sur 3 sujets. Le premier sujet concerne la co-conception avec les acteurs. Le chef d'équipe la considère comme suffisante car les techniciens ont été dans la boucle dès le début du projet mais pour le responsable des travaux, les retours n'ont pas été assez représentatifs et ne sont que des « grandes tendances ». Le second sujet concerne l'acceptabilité, car selon le responsable travaux, plusieurs points influencent cette acceptabilité. Dans un premier temps, beaucoup de temps doit être investi dans le dispositif. De plus, il existe pour les techniciens, une peur d'être enfermés dans une procédure ainsi qu'une crainte de se faire remplacer, ce qui expliquerait que les techniciens acceptent difficilement le dispositif. Le chef d'équipe, de son côté, considère que l'acceptabilité sociale peut être un point bloquant au départ mais non rédhibitoire. Enfin, le dernier sujet porte sur la sécurité et l'environnement. Là où le chef d'équipe ne perçoit pas de problème du côté de la chaufferie, le responsable des travaux identifie des failles de sécurité informatique ainsi que des espaces sombres auxquels le dispositif semble peu adapté.

Start-up (membre de l'équipe SP) : Les deux individus rencontrés représentant la Start-up, étaient assez hétérogènes dans leur discours, bien que leur vision était identique. Nous notons un accompagnement au changement pour lequel l'un des acteurs n'est pas totalement satisfait alors que l'autre considère que leur objectif est d'être « au plus proche des utilisateurs ». Nous observons la même dissonance concernant la co-conception avec les acteurs. Le premier acteur considère que la co-conception a surtout été effectuée avec l'ambassadeur (le responsable travaux), bien que celui-ci disposait de remontées d'informations du terrain alors que le second acteur considère que les chefs d'équipe sont les utilisateurs finaux. En ce qui concerne l'environnement et la sécurité, le premier acteur déclare des difficultés liées au poids et des problèmes d'ordre technologique (en voie d'être dépassés) alors que le second acteur ne voit aucun souci car : « on choisit les cas d'usage où on n'a pas de problème. »

Synthèse (comparaison croisée) : Nous relevons de faibles disparités en ce qui concerne les avis intragroupes. Nous constatons cependant des différences de vision entre les groupes. En ce qui concerne la MMS, l'équipe « Start-up » est très optimiste sur la liberté laissée à l'opérateur alors que le groupe « Dirigeants » semble douter et relativise en fonction du scénario. Sur ce

point, les techniciens sont également mitigés. L'accompagnement au changement a été très bien reçu par les « Techniciens » qui le considèrent comme suffisant (hormis pour un des techniciens qui est plus réservé) alors que le groupe « Dirigeants » ainsi que le groupe « Start-up » semblent beaucoup plus mitigés. Nous notons également une forte différence de point de vue en ce qui concerne les affects. Là où les « Techniciens » perçoivent la technologie comme une bonne idée mais peuvent ressentir de la frustration (notamment pour des défauts techniques), nous ne relevons aucun ressentiment de la part du groupe « Dirigeants » ou du groupe « Start-up ». Le constat est similaire en ce qui concerne l'acceptabilité. Les groupes « Dirigeants » et « Start-up » n'ont pas déclaré de difficulté de cet ordre mais ils sont bien conscients que les « Techniciens », pour diverses raisons, ont du mal à accepter la technologie. Ce sentiment se trouve confirmé par le ressenti des « Techniciens » dont l'acceptation est au mieux mitigée et au pire mauvaise. Nous relevons cependant un point paradoxal. Le groupe « Start-up » déclare que les opérateurs ont souvent une mauvaise acceptabilité mais au final une bonne acceptation, une fois le dispositif pris en main. Or, dans le cas de la chaufferie, c'est l'inverse qui s'est produit. L'acceptabilité du dispositif par les « Techniciens » est positive alors que l'acceptation est négative. Enfin, en ce qui concerne l'utilité, nous pouvons signaler une homogénéité des points de vue entre le groupe « Start-up » et le groupe « Dirigeants » (utilité positive) alors que les techniciens ne ressentent pas l'utilité du dispositif sur le service et ne se sentent pas concernés par le dispositif technologique.

Nous notons donc principalement deux visions qui s'opposent sur quelques sujets (acceptabilité, acceptation, utilité, etc.) entre le groupe « Dirigeants » au point de vue assez semblable à celui du groupe « Start-up » et le groupe de « Techniciens ».

2.6. Résultats du point de vue de l'ECS

Cette analyse des résultats du point de vue de l'ECS est découpée en 3 critères. Ces critères sont ceux qui composent notre définition d'une ECS.

- **Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante et maintenir cet apprentissage.**

Nous observons l'apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante (selon les critères choisis) et le dispositif est utile mais potentiellement pour un public de novices. L'ensemble des techniciens considère que le dispositif est utile pour les opérations dont ils n'ont pas l'habitude et qui sont très rares. Les lunettes de réalité augmentée semblent donc beaucoup plus adaptées à la formation, bien que le dispositif ne dispense pas, selon eux, de la présence d'un compagnonnage.

Ce premier critère semble insatisfaisant pour la population actuelle de la chaufferie.

- **Accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations d'usage.**

Il est difficile de développer ce point précis. En effet, la MMS est très dépendante du contexte et du scénario. Ce point est donc peu dépendant de la technologie de réalité augmentée en elle-même mais est plutôt dépendant de la construction des différents scénarios. Pour le moment, les scénarios permettent de choisir l'ordre de certaines étapes. Les techniciens ressentent bien que les lunettes peuvent les enfermer dans un protocole assez rigide. PR déclare que la marge de manœuvre accordée aux opérateurs dépend du type d'application.

Ce second critère semble donc mitigé et dépendant du contexte.

- **Ajuster les attributs du couple en fonction de l'évolution de la situation.**

Ce sont les techniciens eux-mêmes qui construisent les modes opératoires dépendant des scénarios, ils ont donc la possibilité d'ajuster les attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps. D'autant plus que les techniciens restent « maîtres de l'outil » et PR envisage un « espace personnel » pour chaque opérateur dans le dispositif.

Nous pouvons noter qu'il existe bien un espace pour discuter du travail tous les matins (d'environ 30 minutes) en présence des responsables travaux et des techniciens. Il arrive régulièrement que le chef d'équipe soit également présent. Bien que tous les acteurs ne soient pas présents, cet espace permet de faire remonter les informations du terrain et de discuter sur le travail. Les techniciens déclarent avoir le temps de réfléchir à leur activité durant leur travail, ce qui rend ce temps de réunion d'autant plus utile.

Nous pouvons également constater que le management se rapproche d'une conception habilitante où il est cohérent de laisser de l'autonomie, de la confiance et de la responsabilisation aux techniciens. En effet, l'activité étant ponctuée très régulièrement de situations singulières, les techniciens doivent être capables de s'adapter.

Enfin, la transparence opérative est un souhait de la direction (PR) et l'intégralité des acteurs semble comprendre le fonctionnement du dispositif et ce qu'il attend d'eux. Nous notons tout de même quelques difficultés d'usage.

Dans l'ensemble, ce critère semble donc satisfaisant.

3. Cas C, le cas de l'implémentation d'un exosquelette.

Pour des raisons de confidentialité, les noms ont été anonymisés. Vous trouverez un glossaire en annexe 3.

3.1. Contexte

La démarche d'implémentation de l'exosquelette en sylviculture est une initiative de Fi, qui souhaite améliorer les conditions de travail des sylviculteurs. Le métier est réputé difficile et peu attrayant, d'autant plus pour la partie « dépressage » sur laquelle le projet se concentre. Le processus de dépressage est physiquement éprouvant et n'a lieu que quelques mois dans l'année (environ 20% de leur activité totale, soit 2,5 mois par an). Pour cela, ils se sont rapprochés d'Oc afin d'être « accompagnés » et « conseillés ». La démarche est plutôt « techno-push » car au départ du projet, l'exosquelette n'était pas connu, Fi avait juste « entendu parler » de la technologie. Par la suite, Oc qui porte et finance le projet, lance un appel d'offres auprès des cabinets en ergonomie. L'objectif était de réaliser une étude ergonomique du dispositif et d'élaborer une méthodologie d'accompagnement/évaluation de ce type d'implémentation de technologie émergente afin de pouvoir la reproduire rapidement et facilement. En effet, les demandes financières de ce type (exosquelette) sont croissantes dans le secteur. Oc ne souhaite donc pas investir à la légère dans ce type de dispositif sans avoir un retour complet.

Au final, le choix de l'exosquelette n'a été effectué que tardivement dans le projet (juste avant l'accès au terrain) et principalement sur la possibilité d'obtenir la technologie en location et non en achat.

C'était la première collaboration pour l'ensemble des parties prenantes. Le commercial de Ik ne connaissait pas le terrain, la situation la plus proche qu'il connaissait concernait l'élagage. Oc avait déjà travaillé avec Fi. Le cabinet d'ergonomie Erg a l'habitude de travailler avec Oc (mais pas avec ces interlocuteurs) et Erg n'a jamais travaillé avec Fi. Ce type de collaboration était également une nouveauté pour les sylviculteurs.

Les objectifs étaient donc la réduction de la pénibilité pour les sylviculteurs ainsi que l'amélioration de l'attractivité du métier (revalorisation de la filière). Oc souhaitait également effectuer de la prévention/conseil sur le projet et se former à la démarche d'implémentation de

technologies émergentes. Du point de vue de l'ergonome, il s'agissait d'accompagner le projet et de vérifier la viabilité de la technologie pour répondre à la demande. Le commercial d'Ik avait pour objectif de « donner de la visibilité » aux exosquelettes et de promouvoir l'engagement de son entreprise à la « réduction des pénibilités ».

En ce qui concerne les partis pris, le cabinet d'ergonomie souhaitait évaluer la rentabilité de l'achat d'un exosquelette au regard des enjeux de santé et de performance. Oc souhaitait donner de la visibilité sur leur capacité de conseil auprès des adhérents, notamment pour limiter les investissements inopportuns. Oc avait également comme parti pris de tester la viabilité de l'exosquelette, de voir s'il peut « s'adapter à la filière bois, et de trouver une méthodologie ».

Le type de collaboration entre l'opérateur et la technologie émergente n'a pas été pensé en amont du projet. En revanche, la conseillère en prévention et le commercial souhaitent de la réduction de pénibilité/de l'assistance et non de l'augmentation de l'humain.

Enfin, la culture de la filière bois est globalement positive à l'innovation. Les sylviculteurs n'étaient pas réfractaires au changement. Contrairement à la vision, a priori technophobe des forestiers, une culture de mécanisation et d'innovation technologique se développe chez les sylviculteurs, en particulier chez la jeune génération. Pour 2 sylviculteurs, c'est le début de la culture d'innovation ; l'un explique cela en lien avec le départ à la retraite de l'ancienne génération ; pour le second, c'est potentiellement par souci de rentabilité. Pour les 2 autres, la filière est plutôt technophile, les enjeux étant la réduction de la pénibilité et la rapidité d'exécution (« les gens sont aussi à l'écoute de la technologie pour pouvoir au moins se faciliter la vie » ; « on essaie de mécaniser un maximum pour pouvoir faire le boulot [...] pour aller plus vite »).



Figure 28. Sylviculteur en activité (sans exosquelette).



Figure 29. Sylviculteur en activité (avec exosquelette).

3.2. Organisation

Les sylviculteurs interrogés ont l'habitude de travailler en petit groupe de deux ou seul. 3 répondants sur 4 sont indépendants ou équivalent (entrepreneur individuel). L'un d'eux parle d'une « totale liberté », un autre insiste sur la confiance que les clients (réguliers et occasionnels) lui accordent, le dernier met l'accent sur la confiance et l'entraide entre pairs : « je travaille avec les collègues aussi, on s'arrange entre nous ». Globalement, le management est de type habilitant avec une grande responsabilisation et une grande liberté pour les sylviculteurs. L'organisation est peu contraignante et aucun des sylviculteurs interrogés ne souligne de soucis de ce point de vue. Les sylviculteurs disposent de plusieurs chantiers qu'ils peuvent alterner à leur guise. Le seul objectif étant de respecter les délais (ce qui ne semble pas poser de problèmes aux sylviculteurs), ils peuvent donc alterner plusieurs chantiers selon la difficulté ou la météo.

3.3. Activité

3.3.1. Description de l'activité

L'activité de dépressage consiste, dans un peuplement très dense d'arbres, à supprimer un certain nombre d'arbres (plutôt jeunes) afin de favoriser la croissance des autres. Pour cela les sylviculteurs disposent de plusieurs outils tels que des tronçonneuses.



Figure 30. Sylviculteur en activité (situation initiale).

Le processus de travail est assez contextuel car assez dépendant de variables extérieures comme la météo (qui peut empêcher de travailler, notamment la pluie ou la neige), l'âge des arbres (qui peut impacter fortement la coupe), le terrain (plus ou moins accidenté ou pentu) et les rencontres. En ce qui concerne les rencontres, certains sylviculteurs ont spécifiquement mentionné la présence d'écologistes qui ont une représentation du travail des sylviculteurs comme néfaste au bien être de la forêt. Le comportement de ces personnes était donc hostile. Les rencontres peuvent aussi être des animaux de la forêt (souvent éloignés par le bruit, mais dont le précédent passage peut avoir abîmé les arbres, notamment lorsque les cerfs frottent leurs bois sur les troncs).

L'intégralité du processus de travail (pré-dépressage, dépressage et activités associées et post-dépressage) est schématisée en figure 31. Le processus classique du dépressage consiste en plusieurs étapes préalables telles que l'échange et le conseil au client. Il va s'agir de comprendre la demande et potentiellement d'orienter le client. Par la suite, le sylviculteur visite le chantier, la parcelle, et poursuit son activité de conseil. Une fois ces étapes validées, le sylviculteur peut alors organiser le chantier et coordonner ses interventions, notamment en repérant la parcelle (souvent balisée). Une journée de travail classique consiste à la préparation et au transport des outils (souvent en voiture puis à pied jusqu'au chantier), le sylviculteur peut alors choisir les arbres à couper, élaguer (taille des branches) certains arbres, couper les arbres sélectionnés et

chapeauter les arbres coupés (taille de l'arbre, une fois que celui-ci est à terre). Une fois le nombre suffisant de jours de travail effectué, le sylviculteur peut clôturer le chantier.

3.3.2. Écart réel et prescrit

Nous n'avons pas pu observer de prescription en ce qui concerne le mode opératoire des sylviculteurs. Ceux-ci étant très autonomes et responsabilisés et la majorité étant à leur compte, l'adaptabilité est très importante. Les étapes décrites précédemment peuvent donc, au gré des besoins, être échangées les unes avec les autres. Seuls les aléas mentionnés sont des véritables contraintes qui amènent le sylviculteur à s'adapter (principalement en reportant son chantier). La technologie émergente n'a eu aucun impact sur le processus de travail des sylviculteurs, que ce soit dans les observations ou dans les verbatims relevés. Nous pouvons tout de même noter qu'un des sylviculteurs ne peut plus mettre son sac à dos (à cause de l'exosquelette) et qu'il doit donc effectuer des allers-retours pour alimenter sa tronçonneuse en essence (selon lui, ce n'était pas une contrainte). Les autres sylviculteurs ne portent pas de sac à dos.

3.3.3. Schématisation du process de l'activité

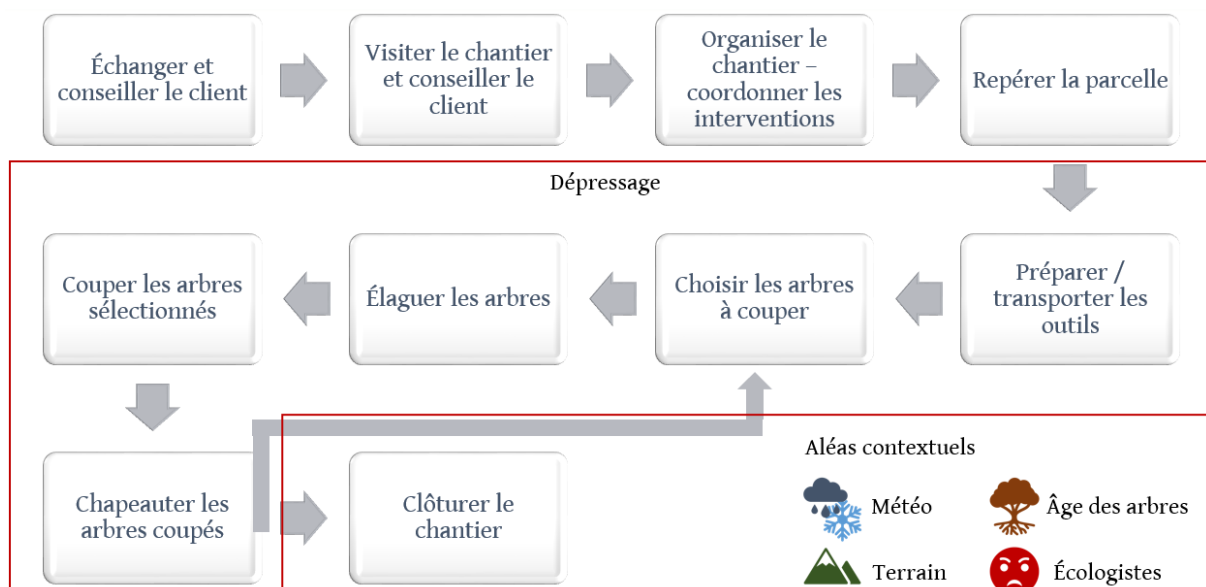


Figure 31. Schématisation du process de l'activité d'un sylviculteur.

3.3.4. Caractéristiques perçues du travail

Nous avons eu l'occasion, lors de l'intervention, d'effectuer la passation d'un questionnaire concernant le travail perçu par les sylviculteurs. Nous avons utilisé un questionnaire inspiré du WDQ-F (Bigot et al., 2014), qui est la version française du WDQ (Morgeson & Humphrey, 2006). Ce questionnaire est utile pour mesurer les qualités psychométriques d'une situation de travail. Le questionnaire est présent en annexe 10. Les différentes réponses sont soulignées dans les différents diagrammes ci-dessous (figure 32). Rien, dans les caractéristiques du travail, ne semblait remettre en question l'utilisation de la technologie émergente. Le travail semble bien perçu comme responsabilisant, autonome et assez libre.

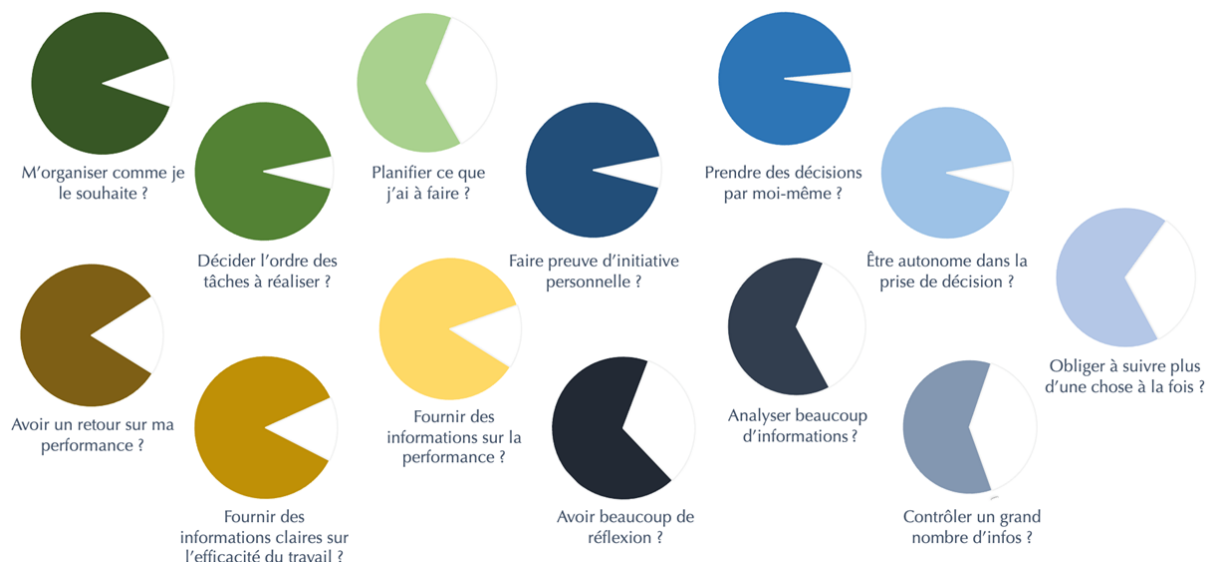


Figure 32. Moyenne des réponses (Likert sur 7) des 4 sylviculteurs, aux questions portant sur la perception du travail.

3.4. Processus de l'implémentation technologique (conduite du changement)

Le processus aura pris environ 17 mois. L'appel d'offre a été lancé en novembre 2020 et le cabinet d'ergonomie y a répondu en décembre 2020. Le projet s'est terminé le 1^{er} Avril (pour la partie évaluative qui nous intéresse) lors de la restitution par le cabinet d'ergonomie aux différents acteurs. Il n'y a pas eu beaucoup d'arbitrages en cours de projet, si ce n'est autour de

l'aspect financier et notamment de la location de l'exosquelette (l'aspect financier a été déterminant pour le choix de la technologie émergente). Oc effectuait les arbitrages financiers car elle a porté le projet. En ce qui concerne l'évaluation, il s'agissait d'une collaboration entre les ergonomes et Oc, il y a donc eu ponctuellement des « régulations chaudes » mais rien qui ne semble significatif.

L'exosquelette en lui-même n'a pas eu d'évaluation précoce de son utilité. La technologie a été choisie arbitrairement (présentation dans des salons) et son adaptabilité à l'activité des sylviculteurs n'a pas été réfléchi car la technologie en elle-même (le type d'exosquelette) n'était pas connue. De l'avis d'un sylviculteur, les porteurs du projet ne « se sont peut-être pas posés les bonnes questions pour avoir quelque chose qui nous aide » car « les bras au-dessus des épaules, c'est assez rare dans notre métier ». Le processus d'implémentation de la technologie émergente était donc de type techno-push bien qu'il y ait tout de même une prise en compte de l'humain dès le début de projet. En effet, Oc avait pour volonté de faire intervenir des ergonomes. L'ergonome d'Erg mentionne que : « Dès l'instant où nous, cabinet d'ergonomie, on a été inclus dans le projet [...] pour moi c'est ce qui a mis les questions du facteur humain au centre. ». Côté Oc, les deux acteurs du projet s'accordent sur la prise en compte précoce du travail humain dans le projet, bien que la demande initiale était technocentrée.

Il n'y a pas eu de co-conception de la technologie. Ici, la démarche était bien d'essayer une technologie existante et de potentiellement faire des retours sur celle-ci. Ik est un organisme de prestations (location) différent du concepteur de la technologie émergente. Bien qu'ils puissent faire remonter des informations, la qualité et la quantité des remontées d'informations prises en compte ne sont pas connues et n'ont pas eu d'impact durant ce projet. Selon le commercial de la structure, les retours d'expérience sont remontés « aux gens en charge de l'innovation nationale chez Ik [...] qui eux, peuvent faire remonter directement au fabricant ». En agence, les collaborateurs auraient également des contacts directs avec les fabricants.

En ce qui concerne l'implémentation en elle-même, le commercial (ici également facilitateur) chargé de la location de l'exosquelette a effectué une brève présentation du dispositif (environ 15 minutes), sur site, avec un PowerPoint. Il a pu expliquer de manière générale les bénéfices du changement (surtout centrés sur les TMS) et présenter l'exosquelette. Il a ensuite installé et réglé le dispositif sur les sylviculteurs et est resté présent (environ 1 à 2 heures) pour effectuer les modifications requises. L'accompagnement au changement est une démarche semi-institutionnalisée par l'entreprise de location. En effet, il s'agit principalement au commercial

de s'impliquer dans cet accompagnement et il ne semble pas y avoir de protocole précis à respecter. À titre personnel, le commercial de ce projet y semblait sensible : « moi [...], pouvoir aider personnellement un projet, c'est quelque chose qui est important ». Il valorise l'importance d'un « relais local » et la mise en place de réunions avec toutes les parties prenantes (ce qui a été le cas durant le projet), pour « donner du sens à l'ensemble de la démarche ». Du point de vue de l'ergonome, l'accompagnement au changement a été facilité par la présence des ergonomes dans le projet mais le facilitateur ne s'est pas adapté à « la spécificité du travail des personnes en face de lui ». En revanche, la médecin d'Oc estime que l'accompagnement n'a pas été suffisant, et qu'un peu plus d'observation du travail réel aurait permis d'avoir de meilleurs réglages de l'exosquelette. De plus, la conseillère en prévention estime que la présence/participation du facilitateur était insuffisante. Selon elle, il ne les a notamment pas assez rassurés sur la « résistance » du dispositif. Enfin, du point de vue des sylviculteurs, 3 répondants sur 4 sont satisfaits de l'accompagnement au changement, « c'était clair et concis », « c'était suffisant ». La moitié des sylviculteurs (2) sont plutôt satisfaits de la participation du facilitateur (commercial d'Ik) et de son travail sur l'implémentation (accompagnement à la prise en charge de la technologie émergente). Deux d'entre eux pensent avoir un poids dans la co-conception du dispositif, c'est-à-dire qu'ils pensent que les remontées d'informations sont écoutées (même si un des sylviculteurs en doute).

3.5. Résultats de l'implémentation technologique

3.5.1. Résultats généraux de l'implémentation technologique

En ce qui concerne les résultats, nous pouvons noter plusieurs points. Les différents acteurs se déclarent globalement satisfaits du projet. Cet essai permet de trancher la question d'achat de l'exosquelette (il ne sera pas acheté). Le projet permet, selon les acteurs de Oc, « d'apporter une vision qu'on n'a pas », « la réalité du terrain ». Les sylviculteurs sont aussi satisfaits du projet sauf un qui considère que le projet est décevant « parce que ça nous apporte rien ». En revanche, le bilan est bien plus mitigé sur la technologie émergente en elle-même. L'ergonome se considère déçue du projet « parce qu'il y avait beaucoup d'attentes », le constat est identique pour les acteurs de Oc qui considèrent que la performance de la technologie émergente est insuffisante « le gain ne vaut pas l'investissement ». Les sylviculteurs considèrent que l'exosquelette n'est pas adapté à leur besoin, leur activité : « il apporte pas ce que j'attends »,

« ça va pas prendre l'amplitude de notre travail », « c'est un bon produit mais pas pour notre utilisation ».

En effet, en terme de performance, l'exosquelette n'assiste le sylviculteur seulement lorsque celui-ci lève les bras au dessus de la ligne de cœur, ce qui ne concerne que 20% de son activité de dépressage (qui elle-même correspond environ à 20% de son activité), l'aide est donc considérée comme insuffisante. Malgré tout, selon l'ergonome et d'après les déclarations d'un sylviculteur, ce dernier ferait du « meilleur travail » (cela lui permet de couper des branches plus haut). Cette déclaration est à relativiser car ce nouveau comportement autorisé par l'exosquelette n'est pas habituel dans le travail, le sylviculteur n'agit pas de cette façon sans l'exosquelette. Cela ne semble pas non plus une condition pour un travail bien fait. La conseillère en prévention estime que la performance de l'exosquelette est décevante (« un peu déçue de la performance »). Selon la médecin du travail, l'exosquelette est « performant dans ce qu'il annonce » (assistance au-dessus de la ligne de cœur), mais cette position correspond peu à l'activité des sylviculteurs. De plus, elle mentionne « il y a quand même une crainte s'il est mal réglé, c'est qu'ils doivent forcer contre le système, ça ça peut être gênant, médicalement parlant ». Les sylviculteurs partagent ce sentiment négatif en raison de la faible utilité de l'exosquelette pour leur activité : « il y avait que le fait de lever les bras où ça nous a aidé ». Un des sylviculteurs trouve que le résultat est « neutre ». Seul le commercial de la technologie se déclare satisfait de la pertinence de l'outil car selon lui, le sylviculteur le plus âgé en a vraiment ressenti les bénéfices.

Nous pouvons noter que les activités humaines ne semblent presque pas modifiées par la technologie émergente. L'ensemble des sylviculteurs déclare que l'exosquelette ne modifie pas leur activité. L'ergonome déclare que pour « 90% de leur situation de travail, ça ne change rien » (hormis pour le sylviculteur qui peut élaguer plus haut) même si ça change leurs « schèmes moteurs ». Les acteurs de Oc déclarent que la majorité du travail n'est pas modifiée bien que cela permet à un sylviculteur de « faire mieux son travail » (élagage en hauteur). Pour le commercial de la technologie émergente cela permet également aux sylviculteurs de « monter en compétences parce qu'on découvre quelque chose de nouveau ». Selon les acteurs de Oc, il n'y a pas eu d'anticipation ni de réflexion à long terme sur la trajectoire des sylviculteurs avec la technologie émergente, hormis sur l'attractivité du métier. Le commercial et un des sylviculteurs soulignent aussi la réduction de pénibilité. Un dernier sylviculteur souligne l'amélioration de la qualité (« pouvoir faire mieux, c'est valorisant »).

Le bilan sur le projet est donc globalement positif. Pour l'ergonome « ça montre vraiment l'importance de s'intéresser aux situations de travail avant même de s'intéresser aux outils », « potentiellement, ça peut amener à dupliquer [...] ce type d'accompagnement ». Le médecin aurait souhaité davantage de terrain (ce qui était prévu initialement) pour avoir des données plus robustes. Seuls les 3 sylviculteurs sont déçus car le projet ciblait une situation qu'ils rencontrent peu : « ça reste quand même une utilisation assez restreinte ».

Hormis ces constats assez généraux sur l'utilisation de la technologie émergente, nous avons également pu relever, grâce aux entretiens et aux observations, des résultats plus spécifiques concernant l'utilisation de l'exosquelette (certains seront appuyés dans les sections suivantes par différents outils comme une chronique d'activité, des questionnaires, etc.). Dans un premier temps, il semble pertinent de décrire le ressenti des sylviculteurs durant l'utilisation de la technologie émergente. 3 sylviculteurs expriment un sentiment positif de curiosité et d'enthousiasme : « curieux de savoir comment ça pouvait se comporter », « j'ai ressenti un petit peu d'enthousiasme ». Nous pouvons largement associer ces déclarations à l'effet de nouveauté induit par la technologie émergente. Ils ne ressentent pas de contraintes ou de gêne dans le port de l'exosquelette (« c'est pas quelque chose qui m'a gêné dans mon quotidien » ; « ça n'a pas été une contrainte donc c'est déjà quelque chose de positif »), mais ils éprouvent de la frustration ou de la déception face au manque d'utilité du dispositif dans leur activité (« frustration que ça serve pas pour nous » ; je vais pas dire de la frustration mais un peu déçu que ce soit pas plus efficace »). Le dernier sylviculteur ne déclare pas de ressenti particulier (« neutre »). L'ergonome ne relève pas de point qui devrait nuire à l'acceptation, hormis l'utilité de l'exosquelette. Enfin, selon le commercial de la technologie « 70% » des individus (en général) trouvent la technologie intéressante et restent sur cet avis alors que 20% des réfractaires sont finalement convaincus et « 10% » restent insatisfaits car l'exosquelette n'est pas adapté à leur poste de travail.

La moitié des sylviculteurs (2) trouve que les prescriptions sont « assez bien définies » même s'il faut parfois faire preuve de pédagogie car il y a « ceux qui savent ce qu'est la forêt et les autres ». Un autre sylviculteur déclare qu'environ « 2 fois sur 10 », la prescription n'est pas appropriée, cependant il ne semble pas mal vivre la chose. En effet, nous ne notons pas de difficultés significatives au niveau de la prescription des tâches. En ce qui concerne les MMS, l'exosquelette ne semble pas avoir réduit ou augmenté significativement leurs possibilités dans leurs manières d'agir. Celles-ci, avant implémentation de l'exosquelette, étaient déjà très élevées car ils sont très autonomes et choisissent donc leur mode opératoire selon la situation

et leurs caractéristiques individuelles. Par contre, certains sylviculteurs privilégient les allers-retours alors que d'autres préfèrent embarquer leur équipement. Ils déclarent « j'aurais fait la même chose sans l'avoir » « ça m'a pas changé grand-chose ». Nous observons tout de même qu'un des sylviculteurs ne semble pas pouvoir porter son sac à dos avec l'exosquelette. Bien qu'il ne semble pas ressentir négativement l'impossibilité de porter son sac à dos, ce ressenti est à relativiser car l'exosquelette n'a été essayé que 3 jours par ce sylviculteur, on pourrait donc constater une gêne à plus long terme.

Les sylviculteurs partagent un sentiment d'aide entre pairs ainsi que de bonne entente : « ils sont toujours à donner des conseils », « on s'entraide régulièrement [...], on fait appel aux uns aux autres » ; « quand on a des conseils [...] partage de techniques, de connaissances ». En revanche, il n'y a aucun temps ou espace formel pour échanger sur les pratiques. Ces différents échanges se font lorsque les sylviculteurs se rencontrent lors de temps informels (« apéro ») ou « directement sur le chantier ». Pour 2 d'entre eux, l'Af (une association des métiers de la forêt) favorise les temps de rencontres et d'échanges : « Ce genre d'association c'est bien pour pouvoir au moins se connaître, échanger et surtout savoir l'évolution au niveau réglementaire », Fi semble également aller en ce sens. Nous constatons donc un besoin d'échange entre sylviculteurs de par l'absence de temps formels mais qui, pour ceux que l'on a rencontrés, est compensée par des temps informels (associatifs ou privés). La conseillère en prévention, de par sa connaissance du milieu, souligne l'existence d'entraide entre les sylviculteurs, notamment pour faire face à la concurrence de l'ONF (tous les sylviculteurs interrogés ne faisaient pas partie de l'Office National des Forêts).

L'exosquelette, en situation de travail, a été plutôt bien pris en main par les sylviculteurs. Ils n'ont pas rencontré de problèmes majeurs lors de son utilisation hormis quelques petites difficultés de réglage (souci avec un des brassards). Le commercial signale qu'un nouveau système d'attache des manchettes a permis de résoudre ce problème. Il est également possible que le scratch ventral ne tienne pas, de par la présence abondante de sciure. Selon le commercial, c'est la première fois qu'il observe ce genre de problème (très associé au métier de sylviculteur). Tous les sylviculteurs reconnaissent l'utilisabilité de la technologie émergente, deux d'entre eux en sont même surpris : « je m'attendais à quelque chose de plus contraignant au niveau de la mobilité », « il est quand même léger ». Nous notons tout de même quelques

gestes supplémentaires, tels que le fait de retirer des branches coincées dans l'exosquelette, qui ne semblent pas gêner les sylviculteurs lors d'une utilisation rapide (dans les conditions de l'essai) mais qui pourraient être un souci à plus long terme.

L'exosquelette est très simple d'utilisation et son fonctionnement est compréhensible facilement. Il y a des repères sur le dispositif et la documentation technique (très simplifiée) est livrée avec. Tous les sylviculteurs sont d'accord sur la facilité d'utilisation et de compréhension de la machine. L'un d'eux précise tout de même ne pas avoir cherché à modifier les réglages. Dans l'ensemble les sylviculteurs semblent satisfaits des réglages de l'exosquelette, il semble s'adapter efficacement à la morphologie et donc est approprié à la singularité des sujets. En revanche, seulement 2 des sylviculteurs ont osé retoucher les réglages après l'équipement initial effectué par le commercial.

La charge de travail (physique et cognitive) n'a pas empiré et ne s'est pas améliorée avec la technologie émergente. Elle est importante en ce qui concerne la sollicitation physique et la technologie ne semble pas améliorer significativement ce point « le gain physique est trop faible », selon l'ergonome. Selon l'ergonome « j'ai pas eu l'impression que ça les ait handicapés ». Du point de vue des sylviculteurs, les avis sont plutôt partagés. L'un d'eux trouve que la cadence de travail lors de l'essai n'était pas représentative du travail réel, un autre sylviculteur dit avoir très vite oublié qu'il portait l'exosquelette. Enfin, les 2 derniers n'ont pas vu de différence dans la charge de travail avec l'exosquelette mais ont ressenti une gêne à l'utilisation.

Enfin, en terme d'acceptabilité sociale, le commercial parle d'un « effet Terminator » assez classique, voire d'un effet « jalousie ». Les sylviculteurs n'ont pas rencontré ce souci. Certains (2) soulignent même un effet positif « quand on en parle, les gens sont plutôt curieux ». Bien que nous n'ayons pas pu vérifier ce point, la conseillère en prévention de Oc pense que l'utilisation d'exosquelettes pourrait « créer de l'attractivité autour des métiers ».

L'analyse plus approfondie des réponses à la première question ouverte (volontairement généraliste) nous apporte des informations intéressantes sur ce que les acteurs du projet considèrent comme importants/prioritaires au moment de l'entretien. Les déclarations suivantes des sujets ont été émises sans que l'interviewer ne les oriente (seulement des relances « neutres » si besoin, c'est-à-dire des demandes de précision non orientées). Les acteurs les plus opérationnels (sylviculteurs et intégrateurs) se concentrent sur les questions de pénibilité du

travail. Sur les 8 sujets nous notons surtout 2 grandes tendances concernant le bon déroulement du projet et la déception envers l'exosquelette. La majorité des acteurs (7) du projet sont alignés pour souligner le bon déroulement du projet « c'est un bon projet », « c'est une bonne évolution »... C'est d'ailleurs le premier point abordé pour répondre à la question. En revanche, ce point est relativisé par le fait que cet exosquelette, bien qu'intéressant et fonctionnel n'est pas adapté et donc est inutile dans l'activité (6). Les sylviculteurs et l'intégrateur (5) soulignent principalement ces deux points et discutent de la pénibilité de la situation de travail, l'impact de l'âge et comment l'exosquelette pourrait être utile. Toujours sur cette question ouverte, les autres acteurs développent d'autres notions comme la méthodologie de l'intervention qui est intéressante (3), le caractère dynamique de l'évolution des technologies (2), la méthodologie qui aurait pu être poussée plus loin, c'est-à-dire avec davantage de tests (2) ou enfin les doutes quant à l'utilisation du dispositif, notamment au niveau de l'utilisabilité, qui au final ont été levés (2). Enfin, la médecin du travail mentionne spécifiquement l'accompagnement au changement qui aurait pu être plus développé et la conseillère en prévention mentionne les spécificités de l'outil et les potentielles poursuites du projet.

3.5.2. Résultats de l'évaluation de la vision des sylviculteurs envers l'exosquelette

Les sylviculteurs ont été amenés à se positionner sur une échelle de Likert (sur 7 points de « complètement négative » à « complètement positive ») aux différents moments de l'intervention (figure 33). Nous notons une baisse du score concernant la vision envers l'exosquelette. En revanche, les scores restent élevés car les sylviculteurs envisagent la possibilité de tester d'autres dispositifs.

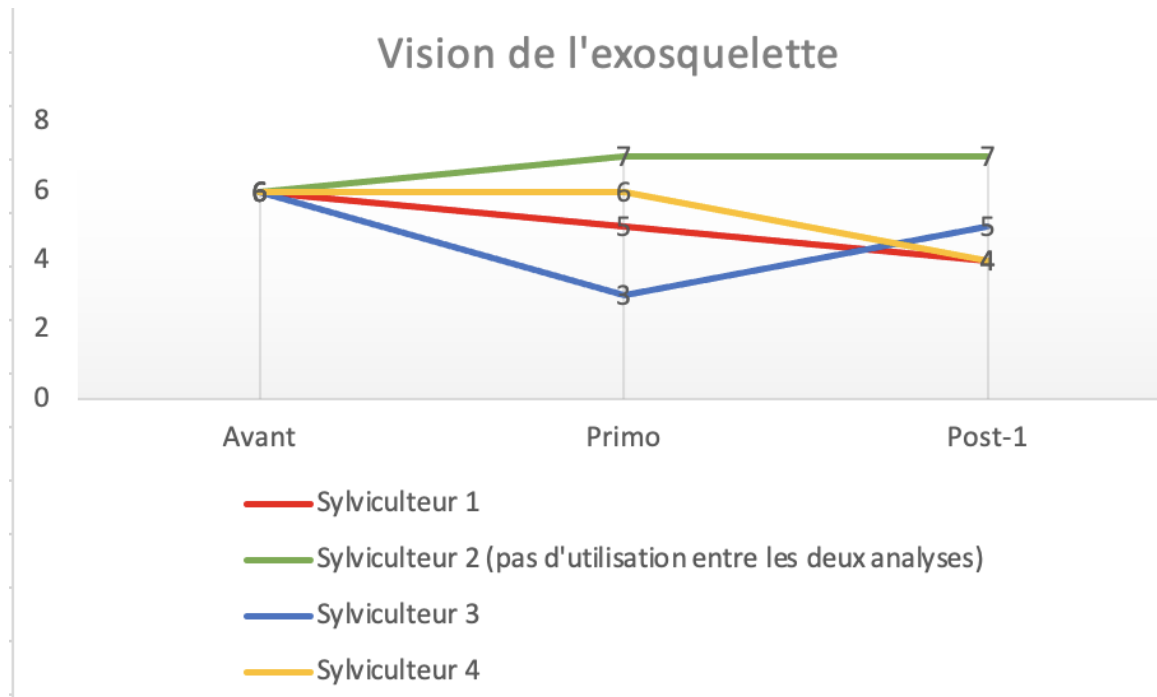


Figure 33. Réponses des sylviculteurs (sur 7) en fonction du temps (avant utilisation, primo utilisation et après une semaine) à la question : « Votre vision envers l'exosquelette est-elle plutôt (entourez la bonne réponse) ».

3.5.3. Résultats de l'analyse des douleurs ressenties par les sylviculteurs

Pour rappel, lors des observations (les acteurs de l'étude n'étaient là que lors du premier et du dernier jour d'essai) la cadence de travail des sylviculteurs était moindre (de par les interruptions des différents acteurs de l'étude) et le temps de travail plus court. Entre les observations, il n'y a pas eu d'utilisation complète de l'outil, les chantiers étant assez variables, 2 des sylviculteurs ont refusé d'utiliser le dispositif. De ce que nous observons, à travers une utilisation rapide de l'exosquelette, rien ne semble suggérer une diminution ou une augmentation significative des douleurs (figure 34). L'impact de la technologie émergente sur ce point semble minime, cela étant dû à l'activité et au peu de mouvements sur lesquels l'assistance semble apporter une plus-value.

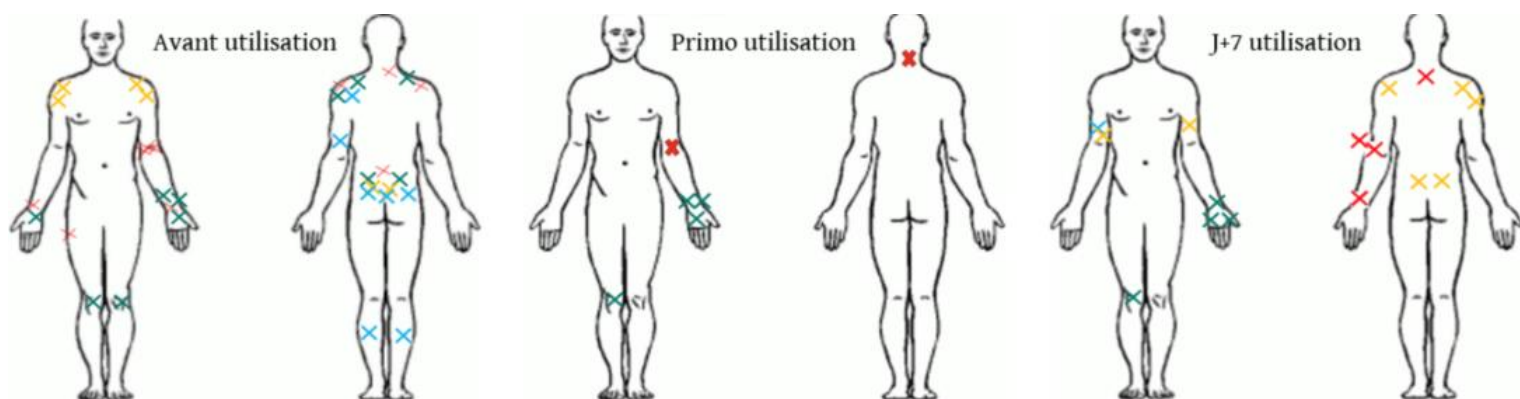


Figure 34. Résultats des questionnaires de représentation de la douleur (annexe 11), complétés par les sylviculteurs (chaque couleur est associée à un sylviculteur et une croix marque une douleur).

3.5.4. Résultats de la chronique d'activité

La chronique d'activité (figure 35) nous permet de constater que seulement environ 20% de l'activité de dépressage (hors déplacement et prise d'information) est assistée par l'exosquelette et principalement sur un seul bras (qui est le gauche car les sylviculteurs sont droitiers, c'est donc le bras opposé à la gâchette de la tronçonneuse).

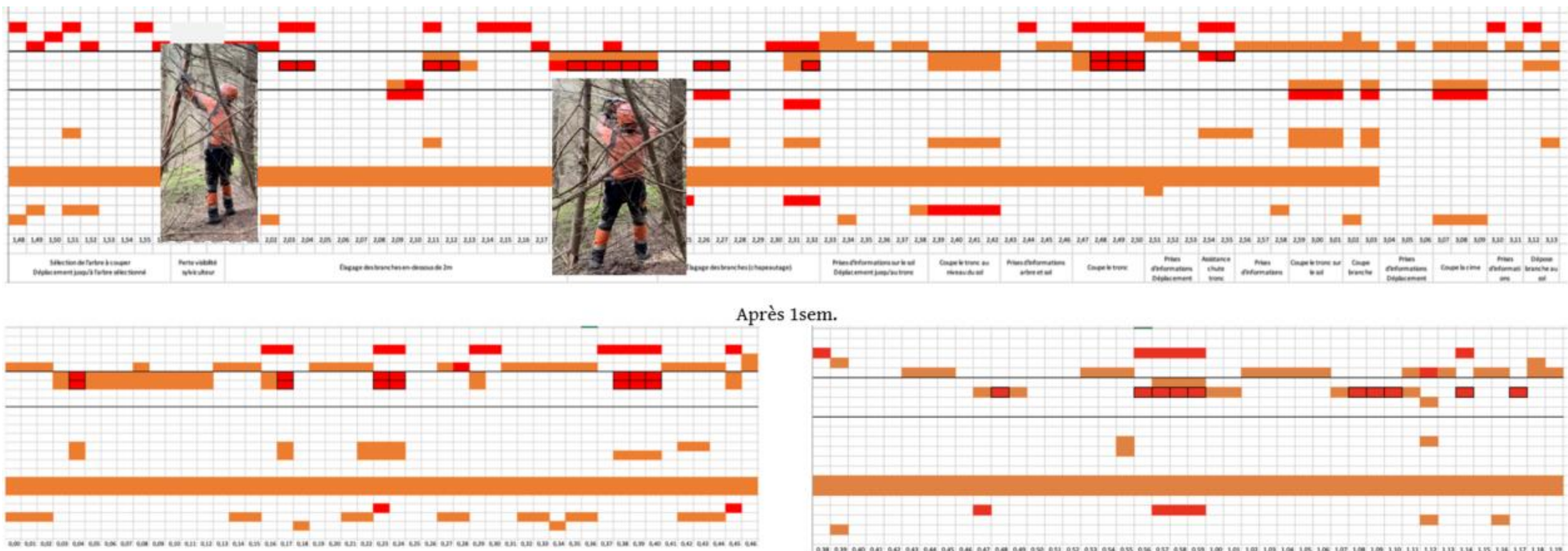


Figure 35. Illustration de la chronique d'activité, les zones rouges encadrées de noir sont celles où l'exosquelette apporte une assistance.

3.5.5. Résultats du questionnaire de charge de travail (NASA-TLX)

Chaque colonne des figures (36, 37, 38 et 39) ci-dessous correspond à un instant d'utilisation (sans exosquelette, primo utilisation et après une semaine d'utilisation). Cette évaluation est effectuée le plus proche possible de l'activité (interruption de l'activité pour complétion du questionnaire). Le sylviculteur 3 n'a pas trouvé la technologie émergente efficace et a donc refusé de l'utiliser durant la semaine d'essai. Le sylviculteur 4 n'a pas pu utiliser l'exosquelette lors de la primo utilisation (car il n'avait pas les bons outils pour le dépressage) et a refusé de l'utiliser lors de la semaine d'utilisation (car il n'y voyait pas d'utilité). La charge mentale ne semble pas être augmentée de manière significative. L'exigence physique ne semble pas baisser de manière significative. La performance ne semble pas avoir été impactée par l'exosquelette. La sensation d'effort ne semble pas avoir baissé de manière significative. L'exosquelette ne semble donc pas avoir d'effet significatif sur la charge de travail perçue.

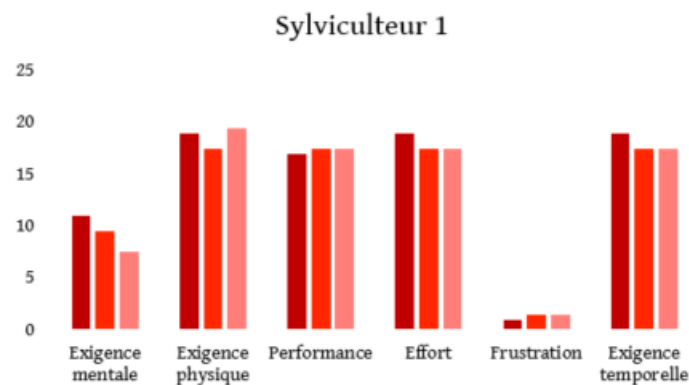


Figure 36. Moyenne des réponses du premier sylviculteur au NASA-TLX (sur 20) (annexe 8) en fonction du temps (avant utilisation, primo utilisation et post 1 semaine d'utilisation).

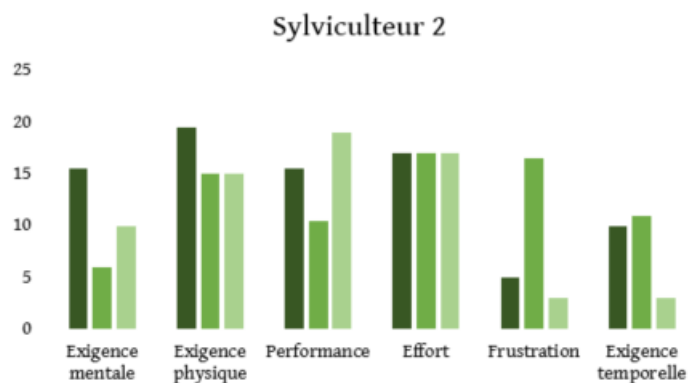


Figure 37. Moyenne des réponses du second sylviculteur au NASA-TLX (sur 20) (annexe 8) en fonction du temps (avant utilisation, primo utilisation et post 1 semaine d'utilisation).

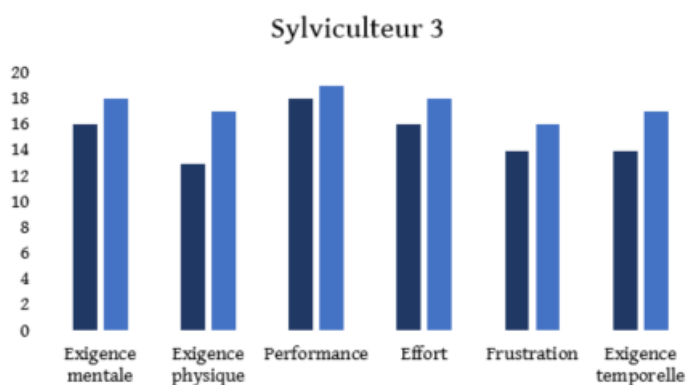


Figure 38. Moyenne des réponses du troisième sylviculteur au NASA-TLX (sur 20) (annexe 8) en fonction du temps (avant utilisation et primo utilisation).

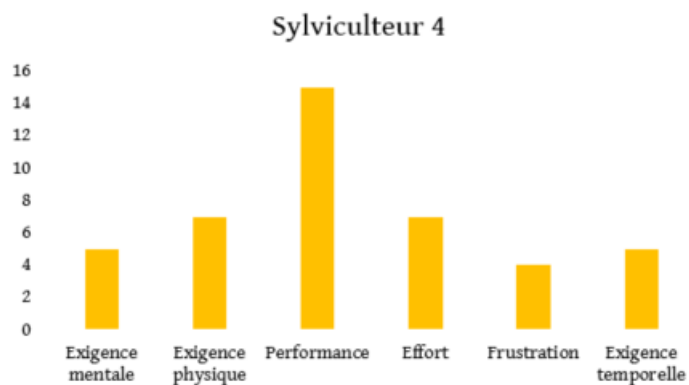


Figure 39. Moyenne des réponses du quatrième sylviculteur au NASA-TLX (sur 20) (annexe 8) en fonction du temps (avant utilisation).

3.5.6. Résultats du questionnaire d'acceptabilité (TAM)

Au sein des figures (40, 41, 42 et 43) ci-dessous, chaque colonne correspond à un instant d'utilisation (primo utilisation et après une semaine d'utilisation). Nous notons un souci d'acceptabilité de l'exosquelette lors d'un usage prolongé. 50% des sylviculteurs ont rejeté le dispositif.

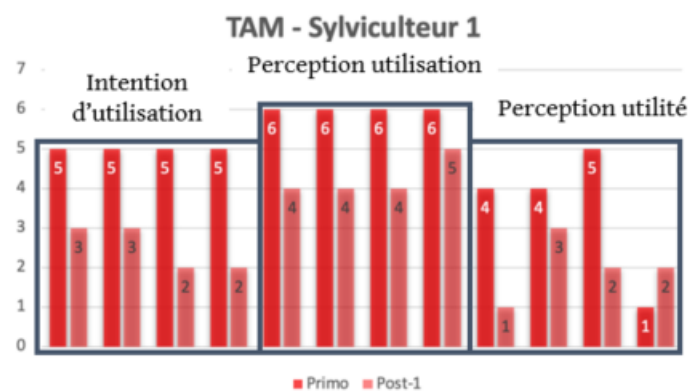


Figure 40. Réponses, par dimension, du premier sylviculteur au TAM (sur 7) (annexe 9) en fonction du temps (primo utilisation et après une semaine).

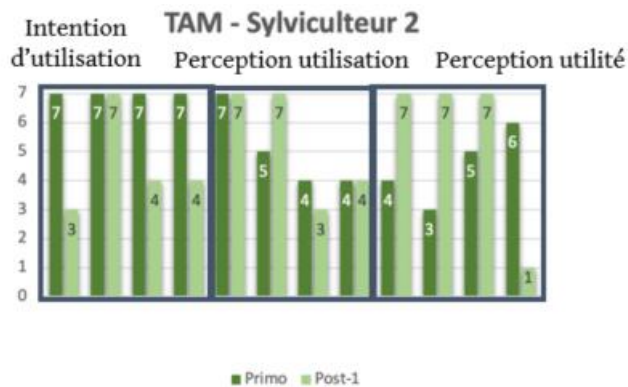


Figure 41. Réponses, par dimension, du second sylviculteur au TAM (sur 7) (annexe 9) en fonction du temps (primo utilisation et après une semaine).

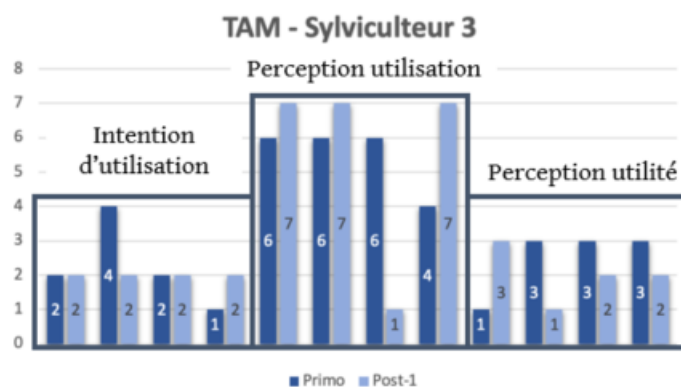


Figure 42. Réponses, par dimension, du troisième sylviculteur au TAM (sur 7) (annexe 9) en fonction du temps (primo utilisation et après une semaine).

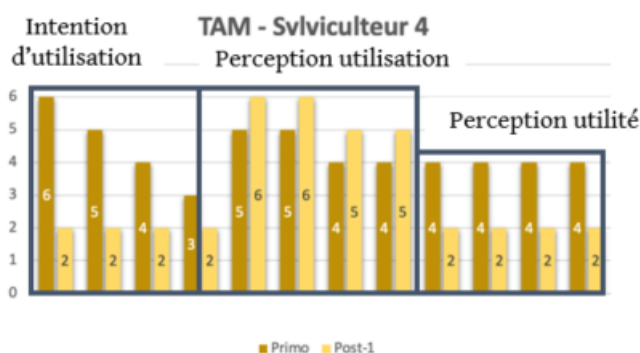


Figure 43. Réponses, par dimension, du quatrième sylviculteur au TAM (sur 7) (annexe 9) en fonction du temps (primo utilisation et après une semaine).

3.5.7. Comparaison croisée des résultats selon les différents acteurs

Cette section s'appuie sur les analyses thématiques des différents entretiens (exemple en annexe 12) regroupées par type d'acteur (exemple en annexe 13). Ces résultats sont également issus de nos observations et autres méthodes employées (questionnaires et chronique d'activité).

Il semble pertinent de regrouper les différents acteurs en 4 groupes. Nous avons d'un côté les sylviculteurs (4 sujets), les employés de Oc (c'est-à-dire la conseillère en prévention ainsi que la médecin du travail) (2 sujets), l'intégrateur de l'exosquelette (1 sujet) et enfin l'ergonome (1 sujet).

Sylviculteurs : les réponses des sylviculteurs sont globalement homogènes bien que plus ou moins détaillées. 3 des sylviculteurs sont pleinement satisfaits du projet et un autre se déclare « déçu parce que ça ne nous apporte rien ». Ils trouvent tous que l'exosquelette n'est pas adapté à leurs besoins. L'ensemble des sylviculteurs cite bien la réduction de la pénibilité comme l'objectif principal de l'implémentation technologique même si 2 d'entre eux avancent également d'autres enjeux tels que l'attractivité du métier et la rentabilité. Seul un des sylviculteurs ne se déclare pas totalement satisfait de l'accompagnement au changement. 2 d'entre eux pensent avoir un poids dans la remontée d'informations (co-conception du dispositif). Un des sylviculteurs voit un potentiel danger de sécurité de l'exosquelette, les branches qui se coincent pouvant être dangereuses s'il a « besoin de reculer en urgence ». Les sylviculteurs ne changent pas significativement leur manière de travailler avec l'exosquelette. L'un d'entre eux déclare pouvoir élaguer plus haut mais ce n'est pas un critère de performance. Ils sont satisfaits de l'utilisabilité de l'exosquelette, même si l'un d'entre eux a eu des soucis avec un brassard.

Oc : en ce qui concerne les actrices de Oc (conseillère en prévention et médecin du travail) les réponses sont également très homogènes et nous ne constatons pas de différences semblant significatives. Elles sont assez déçues de la performance de l'exosquelette mais sont satisfaites par le projet qui apporte une vision de la « réalité du terrain ». Le moment de la prise en compte de l'humain dans le projet diverge. L'un des acteurs dirait que c'est au montage du projet avec l'appel aux ergonomes et l'autre plutôt au Copil. La médecin, contrairement à la conseillère en prévention, pense que les possibilités de réglage de l'exosquelette ne sont pas suffisantes (notamment l'angle d'assistance).

Ergonome : ce groupe n'est composé que d'un seul individu, nous ne relevons pas de différences significatives ou de contradictions entre les différents discours.

Intégrateur : ce groupe n'est composé que d'un seul individu, nous ne relevons pas de différences significatives ou de contradictions entre les différents discours.

Synthèse (comparaison croisée) : globalement les avis sont donc homogènes que ce soit au sein d'un même groupe ou entre les groupes. Nous observons une forme de consensus sur les qualités de l'exosquelette et la réussite du projet en tant que test. En revanche, l'exosquelette est considéré comme insatisfaisant et inadapté à l'activité par l'ensemble des acteurs. L'accompagnement au changement est considéré comme insuffisant par l'ergonome et les acteurs de Oc (et 1 sylviculteur).

3.6. Résultats du point de vue de l'ECS

Cette analyse des résultats du point de vue de l'ECS, est découpée en 3 critères. Ces critères sont ceux qui composent notre définition d'une ECS.

- **Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante et maintenir cet apprentissage.**

Nous ne pouvons pas constater l'apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante (selon les critères choisis). La technologie émergente ne semble pas modifier significativement la nouvelle situation de travail et ne prouve donc pas son utilité. Certains points, tels que le taux d'usage de l'exosquelette ou encore certaines variabilités (branches qui se coincent) pourraient être un frein à long terme.

Ce premier critère semble donc insatisfaisant.

- **Accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations d'usages.**

L'exosquelette ne semble pas avoir réduit ou augmenté significativement les possibilités de manière d'agir des sylviculteurs. Celles-ci sont déjà très élevées en situation de travail classique. En revanche, il est possible que dans certains cas et à plus long terme, l'exosquelette puisse entraver ces possibilités de manière d'agir. En effet, en l'état, l'exosquelette empêche de porter des outils ou encore des sacs à dos. Ce fait n'a pas gêné les sylviculteurs sur les quelques jours d'utilisation de la technologie émergente mais pourrait devenir contraignant à long terme.

Ce second critère est donc mitigé.

- **Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation.**

Nous pouvons constater une bonne transparence opérative. Les sylviculteurs comprennent le fonctionnement de l'exosquelette et ont la possibilité de comprendre comment l'utiliser. Bien que la moitié des sylviculteurs ne se sont pas saisis de cette possibilité, ils ont eu la possibilité de modifier la force d'assistance de l'exosquelette selon les tâches à effectuer. En revanche,

hormis ce réglage qui est déjà prévu par la technologie, les sylviculteurs ne disposent pas de possibilités de transformation des caractéristiques de la technologie. Il n'existe pas d'espaces de débat sur le travail qui soient formels au cours desquels ils pourraient échanger avec un concepteur de la technologie et ils n'échangent avec leurs collègues que lors de temps informels. Aucune preuve d'une remontée d'informations efficace n'a, non plus, été observée.




Ce troisième critère semble donc mitigé. En effet, il n'y a pas d'espaces de débat sur le travail. Bien que les sylviculteurs disposent d'assez de temps pour réfléchir à la situation, et de beaucoup d'autonomie et de responsabilisation, la CCU via les remontées d'informations n'est pas démontrée. En revanche, les sylviculteurs comprennent bien le fonctionnement de la machine (transparence opérative) et ont réellement la possibilité de la mettre « à leur main » (ajustement, réglages).

4. Synthèse des 3 cas sous l'angle de l'ECS

4.1. Critère 1 : apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante et maintien de cet apprentissage

Le tableau 4 nous permet de synthétiser les 3 cas sous l'angle du premier critère de l'ECS.

Tableau 4. Synthèse des cas sous l'angle du premier critère de l'ECS.

Cas A 	Cas B 	Cas C 
Meilleure cadence de production	Lunettes utiles pour des novices	Technologie fonctionnelle mais non adaptée à la situation
Réduction du taux d'erreur	Nous n'observons pas d'amélioration de la performance (vitesse, erreurs)	Nous n'observons pas d'amélioration de la performance
Les acteurs trouvent le cobot utile	Les lunettes ne sont pas utilisées par les techniciens	Potentiels freins à long terme

L'analyse du premier cas permet de constater que le cobot permet d'obtenir une meilleure cadence de production ainsi que la réduction du taux d'erreur (contrôle visuel). En effet, l'ensemble des différents acteurs du projet trouve que le cobot, dans cette situation, est utile. Nous pouvons donc en conclure que le bilan du premier cas concernant le premier critère de l'ECS est satisfaisant car la technologie émergente permet d'apprendre une nouvelle manière de faire plus performante.

L'implémentation des lunettes de réalité augmentée du second cas aurait pu permettre d'augmenter la performance des novices. Or, les techniciens de la situation ont tous une forte expertise. Les lunettes RA ne permettent alors pas d'aller plus vite car les travailleurs connaissent déjà les différents emplacements des machines et les modes opératoires (qui sont les principaux intérêts du dispositif). Les lunettes RA ne semblent pas non plus réduire le taux d'erreur. En conséquence, la technologie n'est pas utilisée par les opérateurs. Nous pouvons donc en conclure que le bilan du second cas concernant le premier critère de l'ECS est insatisfaisant car la technologie émergente ne permet pas d'apprendre une nouvelle manière de faire plus performante.




Enfin, l'analyse du troisième cas démontre que la technologie émergente (exosquelette) assiste bien les sylviculteurs lorsqu'ils ont les bras au-dessus de la ligne du cœur (c'est ce qui est annoncé par le fabricant). Malheureusement, cela ne concerne que 20% de leur situation de travail et l'assistance ne porte que sur un seul bras. L'aide est donc considérée comme

insuffisante par les différents acteurs du projet. Nous n'avons pas non plus observé d'amélioration de la performance. De plus, certains aspects tels que le taux d'usage (20% de la situation de dépressage qui ne concerne que 20% de leurs tâches globales) de l'exosquelette ou encore certaines variabilités (poussières de bois et branches qui se coincent) pourraient être un frein à l'adoption du dispositif à plus long terme. Nous pouvons donc en conclure que le bilan du troisième cas concernant le premier critère de l'ECS est insatisfaisant car la technologie émergente ne permet pas d'apprendre une nouvelle manière de faire plus performante.

4.2. Critère 2 : accroître les possibilités et les manières de faire

Le tableau 5 nous permet de synthétiser les 3 cas sous l'angle du second critère de l'ECS.

Tableau 5. Synthèse des cas sous l'angle du second critère de l'ECS.

Cas A 	Cas B 	Cas C 
Adaptations improvisées Opérateurs dépendants du cobot	Les opérateurs conçoivent les scénarios	La MMS des sylviculteurs est toujours très élevée avec l'exosquelette.
Un seul mode de fonctionnement possible	Potentielle perte de MMS et d'autonomie	Potentielle perte de MMS

Dans le premier cas, la nouvelle situation de travail collaborative autorise quelques micro-adaptations improvisées, notamment en préparant des pièces à l'avance. En revanche, les opérateurs sont très dépendants du cobot et de sa vitesse. La situation a été conçue de telle manière qu'un seul mode de fonctionnement est possible (le séquençage des tâches et la vitesse maximale sont prédéfinis). Nous pouvons donc en conclure que le bilan du premier cas concernant le second critère de l'ECS est insatisfaisant car nous observons un déficit de MMS.

L'implémentation des lunettes RA du second cas autorise les opérateurs à concevoir leurs scénarios d'intervention. Selon le scénario, les opérateurs craignent une perte de MMS et




d'autonomie, même si les dirigeants et les intégrateurs de la technologie émergente sont plutôt optimistes à ce sujet. Les opérateurs craignent que leur direction leur dicte, en fonction de la situation, une unique façon de travailler. En effet, la MMS est très dépendante du contexte et du scénario. Il est donc possible d'avoir un scénario prescrit très linéaire sous la forme d'étapes consécutives ou bien un scénario plus permissif qui laisse davantage de liberté à l'opérateur. Ce flou autour du potentiel déficit de MMS nous permet de conclure que le bilan du second cas concernant le second critère de l'ECS est mitigé.

La MMS des sylviculteurs du troisième cas est très élevée que ce soit avec l'exosquelette ou sans cette technologie émergente (situation de travail classique). En revanche, il est tout à fait probable qu'à plus long terme, l'exosquelette puisse entraver cette MMS. En effet, en l'état, l'exosquelette empêche de porter des outils ou encore des sacs à dos. L'exosquelette est aussi potentiellement sensible aux poussières (qui pourraient, à terme, poser des soucis d'utilisation) ainsi qu'aux branches qui, en se coinçant, peuvent entraver les mouvements. Ces illustrations n'ont pas gêné les sylviculteurs sur les quelques jours d'utilisation du dispositif mais cela pourrait devenir contraignant dans le temps. Ce flou autour du potentiel déficit de MMS nous permet de conclure que le bilan du troisième cas concernant le troisième critère de l'ECS est mitigé.

4.3. Critère 3 : ajuster les attributs du couple humain-technologie en fonction de l'évolution des situations dans le temps

Le tableau 6 nous permet de synthétiser les 3 cas sous l'angle du troisième critère de l'ECS.

Tableau 6. Synthèse des cas sous l'angle du troisième critère de l'ECS.

Cas A 	Cas B 	Cas C 
La technologie émergente est comprise par les différents acteurs.	Les techniciens de maintenance semblent globalement comprendre le fonctionnement de l'appareil.	Les sylviculteurs semblent comprendre le fonctionnement de l'exosquelette. Ils ont la possibilité de régler la force d'assistance de l'exosquelette et de l'ajuster à leur morphologie.
Les opérateurs ne sont pas submergés par leurs tâches.	Les techniciens de maintenance ne sont pas dépassés par leurs tâches.	Les sylviculteurs ne sont pas dépassés par leurs tâches.
Les temps de débat sont rapides (avant que le service n'ait lieu) et tous les acteurs ne sont pas présents (notamment l'équipe Méthodes).	Les temps de débat sont réguliers (25-30 minutes avant la prestation) mais tous les acteurs ne sont pas présents (notamment les intégrateurs).	Les temps de débat sont toujours informels. Les remontées d'informations vers les concepteurs de la technologie ne semblent pas écoutées.
Les opérateurs sont autonomes et responsabilisés mais un des opérateurs a le sentiment de ne pas être écouté.	Les techniciens de maintenance sont autonomes et responsabilisés.	Les sylviculteurs sont autonomes et responsabilisés.
Les opérateurs ont une faible possibilité d'ajuster les attributs du couple.	Les opérateurs ont la possibilité d'ajuster les attributs du couple.	Les opérateurs ont une faible possibilité d'ajuster les attributs du couple.

L'opérateur en situation de travail, dans le cas A, dispose d'une bonne transparence opérative. En effet, les différents opérateurs comprennent le fonctionnement du cobot et ont donc la possibilité d'anticiper son comportement. Cette compréhension est permise par l'IHM qui leur

permet de suivre la production en temps réel ainsi que par la cage en verre qui autorise de voir les actions du cobot en temps réel. En revanche, les opérateurs n'ont pas la possibilité de transformer les caractéristiques de la technologie émergente ou même de faire varier leurs modes d'interaction. Ils ont toujours la possibilité de contacter le service Méthodes, cependant cela semble plutôt rare dans les faits et les changements effectués sont technocentrés. Un des opérateurs a le sentiment de ne pas être écouté. Enfin, l'absence du service Méthodes dans les temps de débat ne permet pas d'avoir un espace efficace d'échange collectif sur le travail. L'ensemble de ces éléments semble nous indiquer que les opérateurs ont des difficultés pour ajuster les attributs du couple humain-technologie en fonction de l'évolution des situations dans le temps. Nous pouvons donc en conclure que le bilan du premier cas concernant le troisième critère de l'ECS est mitigé.

Les techniciens de maintenance du second cas semblent globalement comprendre le fonctionnement des lunettes RA (malgré quelques difficultés d'utilisation liées au mécanisme du « air tap »). La manipulation du dispositif n'est pas toujours intuitive et les instructions ne sont pas toujours clairement transmises (notamment au niveau de la localisation des points d'intérêt). Ce sont les techniciens eux-mêmes qui construisent le mode opératoire (potentiellement personnalisable pour chaque technicien) et les attributs du couple humain-machine en fonction des situations. Nous pouvons également noter un espace de discussion sur le travail tous les matins (d'une durée de 25-30 minutes environ), où les intégrateurs de la technologie émergente sont systématiquement absents. L'ensemble de ces éléments semble nous indiquer que les techniciens ont globalement la possibilité d'ajuster les attributs du couple humain-technologie en fonction de l'évolution des situations dans le temps. Nous pouvons donc en conclure que le bilan du second cas concernant le troisième critère de l'ECS est majoritairement satisfaisant.




L'exosquelette du troisième cas est bien compris par les sylviculteurs qui disposent donc d'une bonne transparence opérative. Bien que la moitié des sylviculteurs ne se soit pas saisie de cette possibilité, ils ont eu la possibilité de modifier la force d'assistance de l'exosquelette en fonction des tâches à effectuer. En revanche, hors ce réglage qui est initialement prévu par les concepteurs du dispositif, les sylviculteurs ne disposent pas de possibilité de transformation (à visée appropriative) de la technologie émergente. De plus, il n'existe pas d'espaces de débat sur le travail qui soient formels au cours desquels les sylviculteurs pourraient échanger avec un concepteur de la technologie. Dans les faits, les sylviculteurs n'échangent entre eux que lors de temps informels (associatif ou directement sur le chantier). Nous n'avons pas, non plus, observé

de preuve d'une remontée d'informations qui soit efficace. L'ensemble de ces éléments semble nous indiquer que les sylviculteurs ont une faible possibilité d'ajustement des attributs du couple humain-technologie en fonction de l'évolution des situations dans le temps. Nous pouvons donc en conclure que le bilan du troisième cas concernant le troisième critère de l'ECS est mitigé.

5. Synthèse des 3 cas sous l'angle de la conduite du changement

Le tableau 7 nous permet de synthétiser les 3 cas sous l'angle de la conduite du changement.

Tableau 7. Synthèse des cas sous l'angle de la conduite du changement.

Cas A 	Cas B 	Cas C 
Une journée de présentation générale	Intégrateurs souvent présents et disponibles	Intégrateur présent et disponible lors de l'implémentation
Les opérateurs n'ont pas été consultés pour la conception	Co-conception de la situation avec les opérateurs	Présentation générique, peu située
Les tests ont été effectués par les ingénieurs	Approche technocentrée	Les opérateurs n'ont pas été consultés pour la conception Approche technocentrée
La conduite du changement ne semble pas favorable à une ECS	La conduite du changement semble légèrement favorable à une ECS	La conduite du changement ne semble pas favorable à une ECS

Au sein du premier cas, l'accompagnement au changement s'est effectué au cours d'une journée de présentation générale sur le 4.0. Les opérateurs considèrent que cela est plutôt faible comme type d'accompagnement. Les opérateurs n'ont jamais été consultés pour co-concevoir ou aider à l'évaluation de l'utilité de la future situation de travail. L'évaluation précoce de l'utilité de la

technologie émergente a été effectuée par des ingénieurs simulant les activités des opérateurs. L'ensemble de ces éléments semble nous indiquer que les opérateurs n'ont pas eu une conduite du changement qui soit favorable à la mise en place d'une ECS. Nous pouvons donc en conclure que le bilan du premier cas concernant la conduite du changement pouvant menée à une ECS est insatisfaisant.

Les intégrateurs de la technologie du second cas étaient souvent présents et disponibles. Il était possible pour les techniciens de maintenance de communiquer fréquemment avec eux. L'accompagnement au changement semble alors satisfaisant. Les techniciens de maintenance ont pu co-concevoir la situation de travail car leurs retours étaient écoutés. Des sessions de travail ont aussi eu lieu. En revanche, il n'y a pas eu d'évaluation précoce et située de l'utilité des lunettes RA. L'ensemble de ces éléments semble nous indiquer que les opérateurs ont eu une conduite du changement qui semble favorable à la mise en place d'une ECS excepté autour de l'évaluation précoce de l'utilité de la technologie émergente qui, dans le contexte, est un élément indispensable. Nous pouvons donc en conclure que le bilan du second cas concernant la conduite du changement pouvant mener à une ECS est mitigé.




Au sein du troisième cas, l'intégrateur de l'exosquelette était bien présent et disponible durant quelques heures au moment de l'implémentation. L'accompagnement au changement était donc satisfaisant de ce point de vue. En revanche, il n'était présent que quelques heures, seulement au moment de l'implémentation et avec une présentation générique qui n'était pas adaptée aux spécificités du métier de sylviculteurs. Les sylviculteurs n'ont pas eu de possibilité de co-conception de la situation de travail et il n'y a eu aucune évaluation précoce et située de l'utilité de la technologie émergente. L'ensemble de ces éléments semble nous indiquer que les opérateurs ont eu une conduite du changement qui semble défavorable à la mise en place d'une ECS. Nous pouvons donc en conclure que le bilan du troisième cas concernant la conduite du changement pouvant menée à une ECS est insatisfaisant.

Synthèse de la partie III (Étude 1 : étude de la conception et de l'implémentation de technologies émergentes dans 3 entreprises)

Nous avons donc pu conduire une étude de cas multiples afin d'analyser l'activité dans des conditions très proches des conditions écologiques de performance. Cette approche nous a

permis d'identifier le contexte et donc d'en saisir l'impact sur nos mesures. Le tableau 8 nous permet de visualiser les différents cas sous l'angle de l'ECS et de la conduite du changement.

Tableau 8. Synthèse des cas sous l'angle de l'ECS et de la conduite du changement.

Caractéristiques d'une ECS	Cas A 	Cas B 	Cas C 
Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante	Cobot unanimement considéré comme utile : meilleure cadence de production et diminution du taux d'erreur. Amélioration de la performance maintenue dans le temps.	Lunettes presque inutiles pour des opérateurs experts (ce qu'ils sont tous) ; pas de gain de rapidité ou de diminution du taux d'erreur. En revanche, le dispositif est considéré utile (localisation, taux d'erreur, vitesse) sur des utilisations ponctuelles ou avec un opérateur novice.	Exosquelette considéré comme fonctionnel mais non adapté à la situation : pas de gain de rapidité ou de soulagement des douleurs car l'assistance concerne seulement 20% de l'activité (qui est elle-même assez marginale). De potentiels freins sont possibles à long terme (poussières de bois et branches qui se coincent).
	Balance satisfaisante : la situation de travail permet bien d'obtenir un résultat équivalent ou supérieur à la situation antérieure et semble stable dans le temps.	Balance insatisfaisante : la situation de travail ne permet pas d'obtenir un résultat supérieur à la situation antérieure. L'équivalence n'a pas pu être démontrée. La technologie émergente n'est pas utilisée par les experts hors de l'incitation à développer la solution pour d'autres utilisateurs. La situation n'est donc pas stable dans le temps.	Balance insatisfaisante : la situation de travail ne permet pas d'obtenir un résultat supérieur à la situation antérieure. L'exosquelette est considéré comme inadapté. La situation n'est donc pas stable dans le temps.

<p>Accroître les possibilités et les manières de faire</p>	<p>Manque de marge de manœuvre situationnelle. Possibilités minimalistes d'adaptation. Il n'y a qu'un seul mode opératoire, comme avant l'implémentation du cobot.</p>	<p>Un usage ponctuel des lunettes (pas d'usage quotidien). Risque perçu par les opérateurs d'une dégradation de leur autonomie si cet outil devait être rendu obligatoire.</p>	<p>La MMS des sylviculteurs est toujours très élevée avec l'exosquelette. Risque probable, à plus long terme, que l'exosquelette puisse entraver ces MMS (soucis d'utilisation).</p>
--	--	--	--

Balance insatisfaisante :

il n'y a pas d'accroissement des possibilités et manières de faire disponibles.

Balance mitigée :

la balance finale dépendra des scénarios qui seront embarqués dans la technologie, dans le futur.

Balance mitigée :

la balance finale dépendra des risques à long terme. Il semble probable d'observer, à long terme, une diminution de la MMS.

<p>Ajuster les attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps</p>	<p>Cobot compris par les différents acteurs. Opérateurs non submergés par leurs tâches. Temps formels d'échange collectif, courts et sans les services support. Temps informels occasionnels d'échange avec le service Méthodes. Opérateurs autonomes et responsabilisés. Un opérateur (1/4) exprime le sentiment de ne pas être écouté.</p>	<p>Lunettes comprises par les différents acteurs (malgré quelques difficultés relatives à l'utilisabilité). Opérateurs non submergés par leurs tâches. Temps formels d'échange collectif, réguliers (absence régulière du chef d'équipe). Temps informels occasionnels d'échange avec les services supports. Opérateurs autonomes et responsabilisés. Les opérateurs peuvent être considérés comme des développeurs (conception des scénarios et options de</p>	<p>Exosquelette compris par les sylviculteurs. Sylviculteurs non submergés par leurs tâches. Temps formels d'échange inexistant (ces temps de débat sont toujours informels). Sylviculteurs autonomes et responsabilisés. Les remontées d'informations vers les concepteurs ne semblent pas écoutées.</p>
--	--	---	---

conception pour l'interface).

Balance mitigée :

des conditions favorables semblent présentes mais les modifications ne sont pas réalisables directement par l'opérateur. Aucune modification de la situation de travail par l'opérateur via l'organisation n'a été observée depuis l'implémentation du cobot.

Balance satisfaisante :

les possibilités de transformer les lunettes (interface) et la situation de travail (niveau d'assistance, scénarios) existent.

Balance mitigée :

les possibilités de transformer l'exosquelette sont uniquement celles prévues par les concepteurs (réglage de la force d'assistance et ajustement à la morphologie du sylviculteur).

<p>Conduite du changement pouvant mener à une ECS</p>	<p>Opérateurs faiblement accompagnés au changement. Opérateurs non impliqués dans la conception. Utilité du dispositif évaluée par l'équipe Méthodes (tests en interne).</p>	<p>Opérateurs fortement accompagnés au changement. Opérateurs impliqués activement dans la conception. Utilité du dispositif non évaluée en amont.</p>	<p>Opérateurs faiblement accompagnés au changement (présentation générique, peu située). Opérateurs non impliqués dans la conception. Utilité du dispositif non évaluée en amont.</p>
---	--	--	---

Balance insatisfaisante :

l'accompagnement au changement était insuffisant, il n'y a pas eu de co-conception de la situation de travail et les tests ont été effectués en

Balance mitigée :

l'accompagnement au changement était satisfaisant (intégrateurs présents et disponibles avec des communications fréquentes). Les opérateurs ont pu co-concevoir la

Balance insatisfaisante :

l'accompagnement au changement était insuffisant, il n'y a pas eu de co-conception de la situation de travail et il n'y a pas eu d'évaluation

interne par l'équipe situation de travail mais il précoce de l'utilité de la
Méthodes. n'y a pas eu d'évaluation technologie émergente.
précoce de l'utilité de la
technologie émergente.

Les différents éléments composant nos critères de l'ECS sont considérés comme un continuum. Cette évaluation a été effectuée par l'ergonome qui a pu évaluer les différents cas. Cette évaluation n'est valable que pour l'instant considéré et s'appuie principalement sur les entretiens avec les différents acteurs mais également sur des analyses de l'activité, sur l'observation et sur l'analyse de documents. Les différents éléments de l'ECS ainsi que les balances ne sont donc pas à considérer avec une logique arithmétique. Si l'élément n'est globalement pas rencontré, alors la balance sera insatisfaisante. Si l'élément est partiellement présent, alors la balance sera mitigée. Enfin, si l'élément est globalement rencontré, alors la balance sera satisfaisante.

Notre étude de cas multiples nous a permis de relever différents points d'intérêt :

- La satisfaction positive des différents acteurs du projet n'implique pas systématiquement une amélioration de la situation de travail. En effet, nous pouvons remarquer pour l'ensemble des cas que les acteurs donnent une opinion positive du projet, même s'il n'y a pas d'amélioration évidente de la situation de travail.
- Le niveau de collaboration avec la technologie émergente est très variable. En effet, l'interaction humain-technologie varie considérablement en fonction de la technologie (de sa nature) et du type de tâche. Le cobot du cas A, par exemple, est conçu comme un outil de collaboration mais dans les faits, nous n'observons qu'un faible niveau de collaboration avec l'opérateur.
- Chaque type d'acteur ne souligne pas les mêmes sujets et ne donne pas les mêmes avis sur le projet. Ce point est très lié à la sensibilité des différents protagonistes et donc au critère 1 de l'ECS. En effet, les membres interrogés du service Méthodes du cas A auraient voulu un cobot davantage performant, car ils en connaissent le potentiel (contrairement aux autres acteurs qui se satisfont de la performance rencontrée. Les intégrateurs et le management du cas B perçoivent une utilité à la technologie émergente, ce qui n'est pas le cas des techniciens de maintenance qui ont une vision

beaucoup plus opérative centrée sur leur propre expertise (ils jugent donc la technologie émergente inutile pour leur profil).

- Le second critère de l'ECS, c'est-à-dire l'accroissement des possibilités et des manières de faire est peu rencontré dans nos différents cas. Ce critère est insatisfaisant pour le cas A et mitigé pour les cas B et C.
- Les ingénieurs sont absents des EDT dans les 2 premiers cas observés. Cet échange avec les ingénieurs est également impossible dans le cas C car les EDT n'existent pas formellement. Dans tous les cas, il n'y a donc pas de moment optimal pour les discussions à propos du travail car les spécialistes de la technologie (cobot, réalité augmentée et exosquelette) ne sont pas présents.

Partie IV : Étude 2 : étude de l'activité et accompagnement de concepteurs (ingénieurs) des futures situations de travail

Chapitre 9 : présentation de l'ECS dans le cadre d'un accompagnement longitudinal (2ème étude)

Cette deuxième étude permet d'identifier comment des concepteurs peuvent se saisir des critères de l'ECS et de quelle manière ces critères orientent leur projet de conception. Afin de préparer cette seconde étude, nous avons pu mettre en place deux études exploratoires (la figure 44, illustre le poste expérimental utilisé pour la première étude exploratoire) qui nous ont permis de préciser la direction que nous voulions emprunter avec cette seconde étude (étude longitudinale ; le cobot est photographié en figure 45).

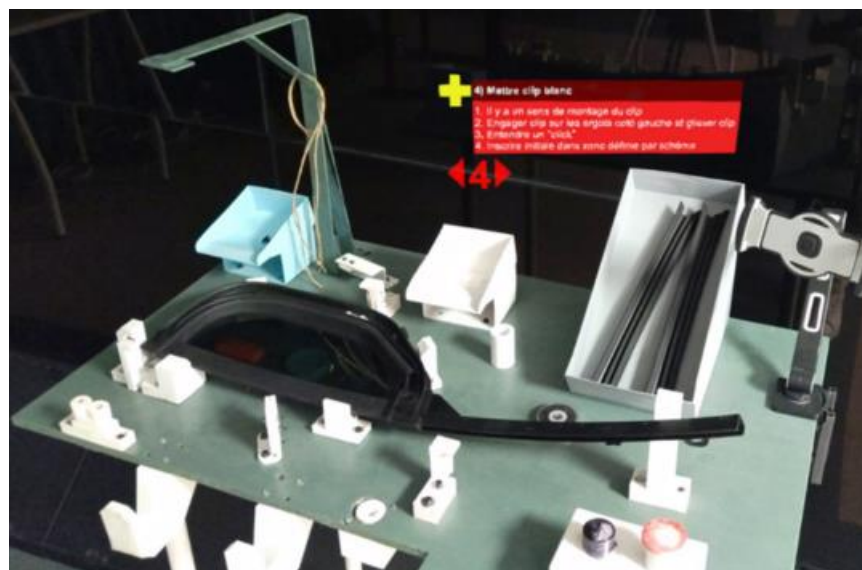


Figure 44. Poste de travail expérimental utilisé pour la première étude exploratoire.



Figure 45. Cobot utilisé pour l'étude 2.

1. Études exploratoires

La conception d'ECS pour les opérateurs en interaction avec la technologie dépend en partie des situations de conception et donc de l'activité des concepteurs car ce sont eux qui conçoivent, souvent seuls, le poste de travail. La question que nous nous sommes posée est donc : « Comment les concepteurs orienteraient leurs activités si on leur donnait, dans une mise en situation, une consigne précise sur les exigences d'une ECS ? ». Afin de mener cette réflexion, nous avons pu effectuer des études au sein de l'INP de Grenoble et en partenariat avec les laboratoires G-SCOP, PACTE et le projet « CIRCULAR ». Deux études exploratoires nous ont permis de préparer la réalisation de l'étude 2.

La première étude exploratoire avait pour objectif de faire essayer à des concepteurs de poste de travail un poste expérimental de formation équipé de lunettes de réalité augmentée. Une fois que le poste ainsi que les différentes tâches associées étaient pris en main, nous demandions aux participants de nous fournir un cahier des charges dans lequel ils devaient spécifier des critères d'amélioration du poste. Pour certains sujets, la consigne était classique, du type « prenez en compte le facteur humain », alors que pour d'autres, nous avons également fourni une documentation détaillée, à respecter, de nos différents critères de l'ECS (présente en annexe

14). Nous cherchions donc à évaluer les différences dans la conception du cahier des charges entre ces deux conditions. Trois sujets ont effectué la condition « inter capacitant », c'est-à-dire que nous leur avons donné les critères de l'ECS dès le début. Deux sujets ont effectué la condition « inter non capacitant », c'est-à-dire qu'ils n'ont pas été orientés avec les critères. Trois sujets (dont une ergonome) ont effectué la condition « intra », c'est-à-dire que nous n'avons pas donné les critères dans un premier temps, puis nous avons donné les critères dans un second temps. La durée totale de l'expérience était d'environ 1 heure pour les conditions inter et 1h30 pour les conditions intra. Le document fourni aux participants est présent en annexe 14.



Figure 46. Poste de formation simulé et dispositif de réalité augmentée (HoloLens 1).

Les premiers retours nous ont permis d'affiner notre matériel. Nous avons simplifié certains termes de notre grille de critères et ajouté un paragraphe de contexte à notre consigne. Le matériel n'était donc pas totalement identique si l'on compare les premiers participants aux derniers. De plus, au vu des principales difficultés relevées, nous avons décidé de mettre un terme à l'expérience (et de ne pas analyser finement les résultats) pour poursuivre sur une autre version de l'expérience (seconde étude exploratoire avec accompagnement ponctuel).

Nous relevons les principales difficultés suivantes :

- Les sujets ne modifient pas leurs comportements lorsqu'on leur donne la liste de critères. D'après ce que répondent les sujets, soit ils ne comprennent pas les critères et n'arrivent pas à définir ce qui pose problème, soit ils choisissent délibérément de ne pas en tenir compte (car trop de critères à respecter et ils n'en voient pas l'intérêt).
- Les sujets ont des difficultés à se projeter et à contextualiser l'exercice (malgré l'ajout d'un paragraphe de contexte). Par exemple, ils ne se projettent pas dans leur environnement potentiel et ne font pas appel à des personnes ressources.
- Les sujets ont du mal à prendre en main la RA (pour la majorité) et se focalisent sur la difficulté de cliquer (« air tap »). De plus, pour eux, la séquence de vidéos (prévue dans la formation) n'est pas utile.
- Les sujets se concentrent largement sur les aspects techniques de la situation de travail. Nous retrouvons donc principalement des suggestions d'amélioration de l'utilisabilité du dispositif.
- Les sujets ne comprennent pas l'intérêt de certaines variables (comme l'accompagnement au changement) pour un poste de formation. Certains d'entre eux n'ont pas compris si le poste était pour la formation ou la production.
- Le public des « concepteurs » est large et hétérogène. Les résultats sont assez variables d'un sujet à un autre. Les sujets ont tendance à délaisser les critères qui ne font pas partie de leur spécialité.

La seconde étude exploratoire consistait en une unique présentation qui faisait office de réponse liée aux différents constats de la première expérimentation. Nous avons déduit que nos différents critères d'une ECS étaient difficilement appréhendables sans la présence d'un facilitateur qui puisse les présenter et répondre aux questions. Nous avons donc réalisé une seconde expérimentation lors d'une UE où les étudiants (concepteurs) avaient pour consigne de défendre un projet d'amélioration technologique d'un poste de travail. Notre objectif était donc de constater comment les étudiants-concepteurs se saisissaient des critères d'une ECS afin d'orienter leur projet. Nous avons réalisé, auprès de 7 étudiants (en seconde année de l'école

Génie Industriel de Grenoble), la présentation de chacun des critères et de comment ces critères peuvent s'adapter à leur propre cas d'usage (sans leur donner de réponse qui orienterait leur projet). Les 7 autres étudiants faisaient partie d'un groupe « vierge » de comparaison. Notre objectif était d'étudier dans quelles mesures les critères favorisant une ECS ont pu orienter leur projet. Le PowerPoint de la présentation est présent en annexe 15.

How to design better work situations in 3 steps ?

It is not uncommon to find technologies that interact only little with humans, or technologies that perform tasks that operators considered to be of high added value and therefore of which they are deprived, to see their activity reduced to simple and repetitive tasks.

It happens that some technologies are implemented in "technopush" mode, without careful study of the implementation environment, which may explain the mixed results of projects with a high technological value.

- 1) Learn a way to do things more performant
- 2) Increasing the possibilities and ways of doing things availables
- 3) Adjust the Human-Machine couple attributes according to the situation

2/10

Figure 47. Exemple de diapositive issue de la présentation (seconde étude exploratoire).

Lors des soutenances, nous pouvons noter que 6 étudiants sur 7 ont pris en compte ou essayé de prendre en compte les critères présentés en cours. L'ensemble des autres étudiants (groupe « vierge » et autres) n'ont pris en compte que très légèrement le facteur humain. Nous notons également que 4 des 7 étudiants qui ont eu la présentation ont rédigé une diapositive sur le facteur humain contenant des éléments de la présentation. Aucun autre étudiant n'a présenté de diapositive spécifique sur le sujet. Les résultats détaillés sont présents en annexe 16.

Ces résultats nous ont amenés aux constats suivants :

- Les ingénieurs peuvent se saisir des critères et en tenir compte (même si cette prise en compte peut être justifiée contextuellement, ici par l'évaluation) pour orienter leur projet de conception si ceux-ci ont été présentés en amont. Cependant, cette nouvelle

représentation est encore limitée et nécessiterait probablement plusieurs interventions (un accompagnement approfondi).

- Les ingénieurs ne prennent pas en compte, de prime abord, les critères du facteur humain (ou très faiblement) et ont une idée erronée de ce qu'est l'ergonomie.

Suite à l'analyse des résultats de cette étude, nous avons émis la possibilité d'une orientation : si les étudiants-concepteurs pouvaient se saisir des critères et en tenir compte, bien que cette représentation soit limitée, il aurait pu être pertinent d'accompagner des projets de conception de manière longitudinale et donc d'accompagner les étudiants-concepteurs. L'objectif n'aurait pas été de les orienter sur des caractéristiques précises, mais d'être une ressource pour leurs questionnements en ce qui concerne l'ECS.

2. Accompagnement longitudinal des concepteurs (étude 2)

La deuxième étude était également réalisée lors d'une UE, sous la même forme que l'étude exploratoire précédente, excepté que le projet était réellement commandité aux étudiants. Cette UE amenait les étudiants à réaliser une étude pratique en entreprise afin d'acquérir des connaissances et des compétences en ergonomie sur l'analyse d'une situation de travail. Les objectifs étaient multiples et concernaient l'acquisition de la méthodologie d'intervention ergonomique, à travers les différentes étapes suivantes :

- analyse de la demande et négociation de l'intervention (choix d'un poste de travail qui pose problème ou qui va faire l'objet de modifications).
- identifier les contraintes de travail et leurs effets sur la santé.
- faire le diagnostic ergonomique.
- élaborer des repères sur les besoins humains, techniques et organisationnels à partir de l'analyse de la situation de travail.
- faire des recommandations en vue d'améliorer les conditions de travail.

Les groupes « externes » (que nous n'avons pas suivis) ont donc eu l'occasion de passer plusieurs demi-journées (5) en entreprise. Les deux groupes que nous avons pu suivre (groupe 1 et groupe 2) n'ont pas eu le même travail à effectuer. Pour eux, il s'agissait, à partir des vidéos

qui avaient été effectuées (par les étudiants de l'année précédente) de la situation de travail, de concevoir une optimisation technologique du poste. Leur objectif était donc, à partir de leur analyse du travail, de concevoir une collaboration humain-cobot améliorant la situation d'un point de vue santé et performance.

Le travail des étudiants ne se limitait donc pas à une preuve d'intention, mais bien à la conception d'une situation de travail, au moins prototypée. Notre rôle, comme pour la deuxième étude exploratoire, était de suivre ces étudiants dans leur projet de conception, mais cette fois, au lieu d'une intervention ponctuelle, nous avons pu effectuer un suivi du projet sur plusieurs mois afin de mesurer à quel point il est possible d'intégrer les critères d'une ECS, dès le début du processus de conception du poste de travail. Nous avons suivi les étudiants travaillant sur un cobot et nous leur avons fourni nos critères d'une ECS sous la forme d'un cahier des charges.

2.1. Méthodologie et procédure

L'objectif de notre étude 2 était, tout comme pour les études exploratoires, d'étudier dans quelles mesures les critères favorisant une ECS ont pu orienter leur projet. Cet objectif comporte deux aspects. Le premier est de vérifier que les étudiants se saisissent des critères de l'ECS, de l'accompagnement et de vérifier quelles sont les traces de cette prise en compte. En effet, ils pourraient affirmer avoir pris en compte un critère (car ce sont les attendus) sans que cela ne soit le cas. Le second aspect concerne la pertinence de la prise en compte de ces critères (et donc des solutions apportées). Malgré les différentes limites de l'étude (faible niveau de simulation, non prise en compte du collectif et de l'organisation, caractère isolé et non situé du poste de travail, etc.), il s'agit de distinguer les propositions entre elles afin d'en discuter et de les comparer.

Lors de cet accompagnement, l'ergonome n'a jamais été dans une position de prescripteur mais plutôt dans une position de support, d'accompagnateur. L'objectif n'était pas d'imposer une manière de faire mais simplement d'être une source de réponses et de précisions sur les aspects concernant l'ECS, sans les orienter sur les solutions techniques. Il s'agissait donc de répondre aux interrogations des étudiants sur des notions potentiellement mal maîtrisées comme la CCU ou la transparence opérative.

Le poste de référence étudié se situe en fin de ligne de production et consiste à la préparation et au conditionnement d'une cloueuse. L'objectif de l'opérateur est de disposer dans une mallette plusieurs accessoires (notice, câbles, etc.) ainsi qu'une cloueuse préalablement gravée. Il doit ensuite disposer la mallette (figure 48) dans un carton de conditionnement.



Figure 48. Mallette avec cloueuse et accessoires.

L'activité peut se découper comme ceci :

- 1ère étape : la cloueuse arrive de l'atelier précédent, l'opérateur la place sur la machine à gravure, la déplace sur le poste de travail et la nettoie.
- 2ème étape : l'opérateur prend la mallette et la place sur le poste de travail.
- 3ème étape : l'opérateur colle les étiquettes (3) à l'extérieur de la mallette.
- 4ème étape : l'opérateur ouvre la mallette et place les produits dans la partie droite suivant l'ordre qu'il a choisi : chargeur, câble électrique, lunettes de sécurité, cloueuse, clé hexagonale.
- 5ème étape : il ajoute ensuite le manuel et l'étiquette (situés dans la partie inférieure gauche du couvercle).
- 6ème étape : il ferme la mallette puis installe la serrure en plastique.
- 7ème étape : il place la mallette dans le carton de stockage.
- 8ème étape (à la fin de tous les cycles) : l'opérateur nettoie l'espace de travail puis réapprovisionne les produits sur le poste de travail.



Figure 49. Opérateur à son poste attendant la fin de la gravure de la cloueuse.

L'objectif du projet, pour les étudiants que nous avons pu suivre, est de technologiser ce poste à l'aide d'un cobot. Dans une démarche ergonomique, le but est d'améliorer les conditions de travail de l'opérateur tout en conservant (a minima) ou en améliorant la performance. Il est identifié que le travail est plutôt sollicitant physiquement, le matériel est lourd et le rangement de la mallette est contraignant (posture). Le cobot pourrait alors pallier, en partie, à ces problèmes, notamment en portant la cloueuse et/ou la mallette. Nous avons donc pu associer aux demandes des porteurs de projet notre propre cahier des charges simplifié (annexe 17) concernant l'ECS. Le cahier des charges initial, recouvrant l'ensemble des critères de l'ECS, fut considéré, par les porteurs de projet, comme trop compliqué et conséquent pour les étudiants (celui-ci est présent en annexe 18). Nous avons pu suivre longitudinalement 2 groupes de 3 étudiants (les données socio-démographiques sont présentes en annexe 7) à raison de 4 séances d'environ 4 heures, réparties sur 3 mois (première séance le 05 mars et dernière séance le 30 mai 2021). Le premier groupe se focalise sur la partie rangement de la mallette (7ème étape) et le second groupe se focalise sur la partie gravure et nettoyage de la cloueuse (1ère étape). Une séance type était donc en présentiel, au sein d'un espace de recherche, les deux groupes d'étudiants, pendant les 4 heures, travaillaient à la programmation du cobot et à la conception du travail. Pendant ce travail, il était possible de les observer en activité et de leur poser ponctuellement des questions afin de leur faire verbaliser leurs actions. La séance était conclue

par un entretien lors duquel les étudiants pouvaient partager leurs questionnements. Nous avons également pu assister à différentes visios de suivi (où ils pouvaient résumer leur travail) ainsi qu'à leur soutenance. Combiné à des observations et des verbalisations durant leur activité, nous avons pu effectuer un entretien à la fin de chaque séance où les groupes pouvaient partager leur avancée. Nous avons également eu accès à leur rapport final (sous la forme d'un dossier). Les données obtenues par l'analyse de ces entretiens, des observations et du rapport final sont présentes en annexes 19 à 23. Malheureusement, une partie significative des projets (environ la moitié) n'a pas pu être prototypée, principalement par manque de temps.

Enfin, nous avons également eu accès aux rapports finaux des groupes « externes », ceux que nous n'avons pas pu suivre et qui avaient des objectifs pédagogiques différents (comme énoncé plus tôt). L'objectif n'est pas d'effectuer une comparaison avec nos groupes suivis mais bien de mesurer comment ces groupes, au sein de leurs préconisations, tiennent compte du « facteur humain ».

2.2. Résultats des groupes suivis

2.2.1. Critère 1 : apprendre une nouvelle manière de faire plus performante et maintenir cet apprentissage

À partir des données présentes en annexe 19, nous pouvons globalement relever les critères de cadence et de TMS pour l'amélioration de la performance au poste. Le port de charge n'est pas nécessairement un critère de performance mais c'était bien une demande des porteurs de projet. Nous pouvons noter certains autres points cités par les groupes (motivation, durabilité, utilisabilité, etc.), mais sans pouvoir réellement apporter d'éléments concrets pour étayer leurs propos. En ce qui concerne l'amélioration de la performance, les différents éléments relevés pourraient être classés comme ceci :

- Cadence : pour le premier groupe, bien que le cobot soit plus lent dans la réalisation de ses tâches, cela laisse le temps à l'opérateur d'effectuer d'autres tâches (notamment remplir d'autres mallettes). Selon eux, la nouvelle situation de travail permettrait donc bien d'améliorer la cadence. Le second groupe parle d'un gain de temps, car l'opérateur peut également effectuer d'autres tâches en parallèle.

- TMS : selon le premier groupe, leur situation permettrait bien de diminuer les TMS (le cobot devrait éviter le port de mallette) et de faciliter le travail de l'opérateur (utilisabilité dans l'interaction Homme-robot). Le second groupe considère que la solution permettrait « d'éviter une fatigue physique et d'éventuels TMS pour l'opérateur ».
- Qualité et taux d'erreur : les deux groupes parlent également d'une amélioration de la qualité à propos de l'usure de la mallette. Le premier groupe pense que le cobot peut potentiellement abîmer la mallette et souhaite surveiller ce point (qui ne semble pas être un souci) et le second groupe souhaite éviter « l'erreur humaine », qui endommagerait la mallette, due à la répétitivité des gestes.
- Motivation : le second groupe parle d'une amélioration de la motivation chez l'opérateur, mais sans décrire pourquoi (même après interrogation). Il semble donc que le levier soit principalement dû à l'effet nouveauté.
- Sécurité : le second groupe mentionne la sécurité qui serait améliorée, car le cobot à la possibilité de se mettre en erreur. Cela semble anecdotique comme amélioration, car la situation initiale ne paraît pas présenter de danger de cet ordre.
- Maintien de la performance dans le temps : en ce qui concerne le maintien de la performance dans le temps, pour le premier groupe, celle-ci ne devrait pas se dégrader, et l'opérateur disposerait de soutien en marche courante (« appeler quelqu'un » ou réagir par lui-même). Le second groupe mentionne l'accompagnement au changement à travers des formations pour que « l'opérateur soit d'accord » et que « ça dure dans le temps » parce que « si l'opérateur comprend pas pourquoi on utilise le cobot [...] ça va ralentir le processus ». Le groupe souhaite également que les opérateurs puissent modifier facilement le cobot (ce qui nous renvoie au troisième critère).

Dans l'ensemble, nous pouvons constater que les groupes se sont saisis de la question de l'amélioration de la performance au poste. Le groupe 2 semble dégager davantage de critères (motivation, sécurité), mais leur situation prototypée est, au final, moins aboutie (le critère de cadence, par exemple, n'est pas atteint). Nous pouvons tout de même noter que les deux groupes

se sont heurtés à des limites technologiques, notamment par rapport au poids que peut soulever le cobot, ce qui impacte nettement la vitesse. Il est également à noter que le premier groupe n'a pas eu le temps de prototyper la phase de conditionnement des mallettes dans le carton et que le second groupe n'a pas eu le temps de prototyper la phase de nettoyage.



Figure 50. Exemple d'une session de conception.

Le premier critère de l'ECS semble donc pris en compte par les deux groupes. Des limites technologiques (lorsque le robot soulève les équipements lourds) semblent ralentir le cobot mais les situations prototypées évitent bien le port de charge à l'opérateur. Le maintien de la performance dans le temps semble également respecté. Les étudiants ont apporté un soin particulier à une projection écologique de la performance. Ils ont chronométré les opérateurs, se sont chronométrés en situation, ont prévu les tâches de l'opérateur en temps masqué, etc. En revanche, il n'y a pas eu de réelle démonstration/simulation de l'activité. Il est possible de retrouver les résultats complets en annexe 19, notamment différenciés par type de recueil (livrable, observation, entretien).

En revanche, il semble difficile d'affirmer que ce résultat est dû à la prise en compte des critères de l'ECS (et notre accompagnement) car l'augmentation de la performance est souvent le but premier d'un investissement technologique. De plus, il s'agissait des objectifs initiaux du projet.

2.2.2. Critère 2 : accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations de collaboration

Nous pouvons globalement noter un travail similaire entre les groupes. En effet, à partir des données présentes en annexe 20, nous pouvons classer les différents éléments relevés comme ceci :

- Les deux groupes ont analysé l'activité des opérateurs et ont donc observé la singularité des opérateurs en situations réelles (filmées).
- Les deux groupes ont conçu plusieurs possibilités de manières d'agir en fonction des variabilités observées. Le premier groupe propose 2 modes opératoires distincts pour préparer la mallette (verticale et horizontale) ainsi que 3 manières de conditionner la mallette dans le carton. Le second groupe propose une partie gravure « autonome » et une partie nettoyage avec un crochet « modulable » qui laisserait une grande liberté à l'opérateur. Chaque groupe permet donc à l'opérateur de choisir son « programme » de la manière « la plus adaptée pour lui ».



Figure 51. Position horizontale et verticale de la mallette.



Figure 52. Exemples de crochets (modulables).

- Dans les 2 contextes, l'opérateur ne semble pas être dépendant du cobot (« autonome »).
- Le premier groupe aborde également la question des modalités d'interaction avec le cobot et propose plusieurs manières d'interagir (PC ou tactile).

Nous avons pu remarquer que les 2 groupes ont basé leurs modes opératoires sur une observation de l'activité et de ses variabilités pour proposer davantage de MMS pour les opérateurs. Le point limitant est que la situation, bien qu'elle tienne compte des variabilités, dispose d'une certaine rigidité induite par la technologie. En effet, le poste de travail et ses emplacements doivent être statiques sinon « le robot se bloque ». Ce qui n'empêche pas l'opérateur de personnaliser son environnement de travail (hauteur du plan de travail, cobot, taille de la chaîne, etc.), comme nous allons le voir dans le critère 3. Cette contrainte a été soulevée par le premier groupe uniquement, mais elle est également présente, bien que non soulevée, pour le second groupe. Il est tout de même à noter que seules les parties de rangement dans la mallette pour le groupe 1 et de gravure pour le groupe 2 ont été prototypées. Nous n'avons donc pas pu observer le conditionnement (groupe 1) ou le nettoyage (groupe 2).

Il semble que le second critère de l'ECS soit pris en compte pour les 2 groupes. **En effet, le groupe 1 a conçu une situation qui présente plusieurs possibilités de manières d'agir et ne semble donc pas restreindre l'opérateur. De ce que nous avons pu observer, le groupe 2 est plutôt dans de l'automatisation, mais le cahier des charges semble respecté.** Tout comme pour le critère 1, les étudiants ont apporté un soin particulier à une projection écologique

de la performance (chronométrage, prévision des tâches de l'opérateur en temps masqué, etc.). En revanche, il n'y a pas eu de réelle démonstration/simulation de l'activité. Il est possible de retrouver les résultats complets en annexe 20.

Ce résultat est à relativiser par rapport aux apports de l'ECS et de notre accompagnement car l'analyse de l'activité est le but principal de l'UE. Selon les responsables de l'enseignement, l'autonomie et les MMS sont des notions également amenées dans l'UE.

2.2.3. Critère 3 : ajuster les attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps (dans la situation d'usage)

Afin de mesurer la prise en compte du critère 3 dans le projet, par groupe, nous allons aborder celui-ci sous deux angles distincts (comme dans le cahier des charges) : la transparence opérative ainsi que la CCU. En effet, ce sont là les deux points majeurs qui composent notre troisième critère de l'ECS et n'avons pas pu évaluer les aspects organisationnels et collectifs dans cette étude. Ces résultats sont issus des données présentes en annexe 21.

En ce qui concerne la transparence opérative, nous pouvons remarquer que les 2 groupes ont prévu plusieurs dispositifs afin de la favoriser :

- Les deux groupes souhaitent conserver un poste « simple et clair ». Pour cela le groupe 1 (G1) a conçu un fascicule (extrait du fascicule en annexe 22). Celui-ci est très visuel et pratique (parties et sous-parties), il est prévu pour être « compréhensible » et « pris en main rapidement ». Le groupe 2 (G2), selon la même direction, propose des fiches de « management visuel » (extrait en annexe 23), qui traitent moins de points que dans le fascicule, car le groupe considère que le cobot est déjà « compréhensible ». Ce dispositif, que ce soit pour G1 et G2, est très complémentaire à une formation.



APPEL MAINTENANCE
Permet d'alerter le service maintenance en cas de
problème survenant sur le cobot

Figure 53. Exemple de « management visuel » (G2).

- Les deux groupes pensent qu'une formation est indispensable. Le premier groupe envisage de mettre en place un facilitateur (« personne qualifiée ») afin d'accompagner ce changement. Les deux groupes se retrouvent dans l'idée de la formation initiale afin que l'opérateur prenne en main le cobot mais le premier groupe va plus loin en proposant de la formation continue (tous les ans ou tous les 6 mois).
- G1 propose également une vidéo (non conçue actuellement) qui sera montrée à l'opérateur avant de manipuler le cobot pour que ses mouvements soient prévisibles par l'opérateur. Ils ont également essayé de « faire les actions les plus simples possible ». G2 ne prépare pas l'opérateur aux mouvements du cobot car selon eux : « les mouvements sont les mêmes et ils sont ultra prévisibles » et le cobot dispose de « sécurités ».
- En ce qui concerne l'IHM, G1 aimerait concevoir quelque chose d'intuitif afin qu'il soit plus abordable pour l'opérateur, voire le supprimer. G2 ne se pose pas la question, car selon eux l'interface est déjà « intuitif » et « ergonomique ». Nous avons pu constater que ce n'est pas le cas, par exemple, l'affordance des fonctionnalités est basse (elles ne suggèrent pas leur propre utilisation) et la langue est d'office anglaise.

En ce qui concerne la CCU, nous pouvons remarquer que les 2 groupes ont prévu plusieurs dispositifs afin de la favoriser :

- Les deux groupes veulent favoriser la personnalisation du poste de travail et semblent avoir conscience de la variabilité des opérateurs. Selon le premier groupe, il est nécessaire d'intégrer cette démarche dans la marche courante en observant

l'activité, en interrogeant l'opérateur, en faisant des tests et réglages et en réaménageant le poste de travail. L'idée est d'accompagner l'opérateur avec des formateurs pour créer des programmes qu'il pourra changer « tout au long de la journée » (selon son état) via une clé USB par exemple. L'opérateur pourra modifier les mouvements du cobot via une interface hors du poste de travail. Le second groupe, lui, ne souhaite pas laisser trop de liberté à l'opérateur et a donc prédéfini les paramètres qu'il sera possible de régler (préalablement), ils ont cité :

- Ajustement de la hauteur et de l'orientation du crochet (phase nettoyage).
- Ajustement de la cadence : « l'opérateur pourrait ajuster la vitesse du cobot s'il le souhaite, mais dans une certaine mesure pour pas que le cobot se mette en erreur, par exemple. » en ajoutant l'idée d'adaptation « s'il a de l'avance ou du retard ».
- Ajustement de la hauteur : position de la cloueuse lorsque le cobot la tient.
- Ajustement de la manière d'agir du cobot, avec par exemple : « le temps pendant lequel le cobot tient la cloueuse », en précisant « ils mettent pas tous le même temps à nettoyer la cloueuse et ils commencent pas [...] par le même côté. » donc l'opérateur « pourrait choisir [...] de quel côté le cobot tient la cloueuse en l'air pour qu'il puisse nettoyer de la manière qu'il préfère et combien de temps il la tient pour qu'il ait le temps [...] de faire son travail comme il faut. »
- Un des étudiants envisage aussi de pouvoir modifier la force de préhension du cobot, notamment s'il y a plusieurs modèles de cloueuses.
- Il est prévu que l'opérateur puisse choisir la « hauteur de l'établi ».

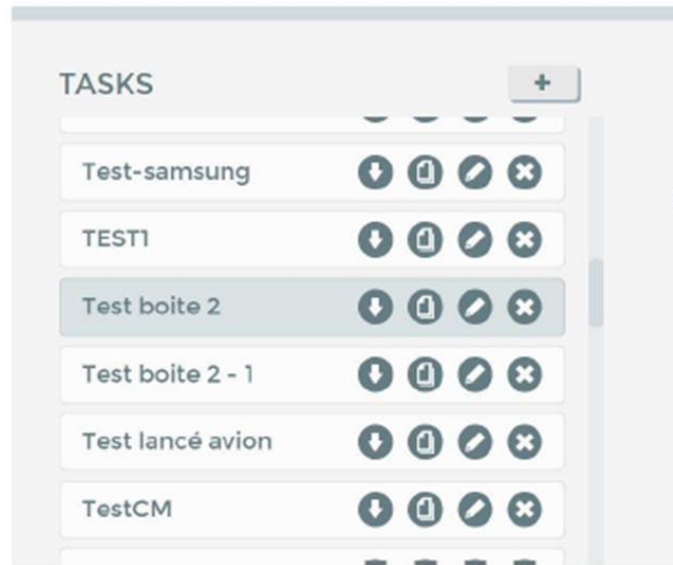


Figure 54. Représentation des programmes personnalisés sur l'interface (G1).

- Le premier groupe mentionne également les prémices de la CCU, dans la marche courante de l'organisation (EDT et espace de régulation). G1 compte mettre en place des « réunions et/ou mises en pratique » pour « anticiper des changements ». Le second groupe souhaite passer par un « service de maintenance » et ne souhaite pas que l'opérateur fasse des modifications directement : « il n'est pas là pour faire de la programmation ».
- G1 mentionne les modalités d'interaction avec le cobot et souhaite que celles-ci soient paramétrables (avec les commandes directement sur le cobot, par exemple en effectuant une pression sur la tête du cobot, il est possible de lancer le programme). G2 ne semble pas s'être interrogé sur le sujet.
- En ce qui concerne la gestion des erreurs, G1 n'aborde pas réellement la question. G2 identifie le risque d'erreur comme faible, mais ils songent à des manipulations « assez simples » que l'opérateur pourrait faire pour débloquer le cobot afin qu'il puisse réagir en situation ou alors appeler le service compétent (maintenance) qui interviendrait rapidement.

Nous avons pu constater que, dans l'ensemble, la transparence opérative semble favorisée par les 2 groupes, même si G1 semble avoir une réflexion plus aboutie sur le sujet grâce au travail

sur la vidéo de démonstration (non conçue), sur l'IHM et au facilitateur. Sur le sujet de la CCU, G1 et G2 ne partagent pas la même vision. Pour G1, des paramètres personnalisés sont pré-programmables mais l'opérateur peut lui-même modifier la technologie. G2 favorise l'idée de paramètres personnalisés également, mais refuse que l'opérateur puisse modifier directement la technologie au profit d'un « service de maintenance ». Les différences entre les visions se poursuivent, car G1 discute des modalités d'interaction avec le cobot alors que G2 ne traite pas la question, mais G2 envisage la gestion des erreurs alors que G1 n'étudie pas la question.

Nous pouvons tirer de nos observations (annexe 21) des étapes prototypées qu'il semblerait que l'opérateur ne sera pas débordé par ses tâches et qu'il devrait avoir le temps d'analyser sa propre activité en marche courante (critère de l'ECS). Bien entendu, cela reste une supposition car le niveau de simulation des étudiants n'intégrait pas une grande complexité des informations (variabilités, aspects collectifs et organisationnels, etc.). Il est à noter que la mise en place de formations ou la possibilité de personnaliser le cobot, est tout à fait envisageable, mais que nous n'avons pas pu observer de tels processus dans le cadre de cette étude. Nous tirons également de nos observations que l'appropriation du cobot par l'opérateur semble, dans les faits, un peu éloignée pour le groupe 1, car il n'a pas pu prototyper cette partie (nouvelle interface, formation, etc.). Pour le groupe 2, il est difficile d'évaluer la partie nettoyage, car celle-ci n'a pas été prototypée. Concernant la transparence opérative, à propos du facilitateur, G1 a été plus loin que ce qui était requis dans le cahier des charges. En ce qui concerne la CCU via l'organisation, le premier groupe semble avoir légèrement anticipé la seconde partie du critère 3, qui ne lui avait pourtant pas été présentée, en mentionnant la possibilité de réunions régulières. Enfin, il semblerait que le groupe 1 ait vraiment saisi la dimension temporelle d'une implémentation technologique. En effet, nous pouvons lire dans le rapport, des phrases comme : « l'implémentation d'une nouvelle technologie ne s'arrête pas au moment où cette dernière a été mise en place dans l'atelier, mais se réalise sur le long terme ». Ou encore : « Les variabilités individuelles, organisationnelles peuvent, par exemple, être une cause pour modifier la technologie. Ainsi, il est important de réaliser régulièrement (tous les 4 à 6 mois) des enquêtes de satisfaction auprès de chaque opérateur afin de vérifier la correspondance avec les critères du cahier des charges. De plus, des observations de l'activité pourront être à nouveau réalisées pour s'assurer du bon fonctionnement de la technologie sur le terrain, tout comme des entretiens individuels avec les opérateurs, 3 et 6 mois après l'implémentation de la technologie. ».

Il semble que le troisième critère de l'ECS soit pris en compte pour les 2 groupes (tout du moins dans les intentions, car ceci n'est pas vérifiable dans ce cadre. De même, nous observons de l'hétérogénéité entre les groupes). **En effet, le groupe 1 a conçu une situation qui favorise la transparence opérative (principalement par la création du fascicule, la formation, la vidéo et l'IHM). Le groupe 2 est, au final, moins avancé sur cet aspect mais nous retrouvons des critères favorisant la transparence opérative (« management visuel », formation). En ce qui concerne la CCU, le groupe 1 conçoit une situation où l'opérateur peut personnaliser/préprogrammer le cobot mais est aussi réellement acteur dans la collaboration, car il pourrait modifier directement sa situation de travail. Le second groupe conçoit également des paramètres préalables personnalisés, mais ne pense pas que l'opérateur doive programmer le cobot en situation. Il existe également quelques différences mentionnées plus haut entre les groupes, la plus importante étant que le premier groupe a été plus loin dans sa gestion des dimensions du critère 3 et a mentionné la possibilité de réunions régulières. Il semble également que G1 ait saisi la dimension temporelle d'une implémentation technologique. Il n'y a pas eu de réelle démonstration/simulation de l'activité, notamment car ces modifications n'ont pas été prototypées. Les intentions semblent assez technocentrées. Il est possible de retrouver les résultats complets en annexe 21.**

Cette prise en compte du troisième critère semble être originale, car les notions abordées dans le critère 3 ne sont pas évoquées durant l'UE.

2.3. Synthèse des résultats des groupes suivis

Afin de lire le tableau de synthèse ci-dessous (tableau 10), voici la légende :

Tableau 9. Légende du tableau 10.

	Prise en compte des critères de l'ECS satisfaisante.
	Prise en compte des critères de l'ECS mitigée.
	Prise en compte des critères de l'ECS insatisfaisante.
	Ne peut se prononcer avec les informations en notre possession.

Le travail de conception n'étant pas abouti, les couleurs visent principalement à distinguer les propositions entre elles. Une couleur verte ne signifie pas que la solution proposée est la bonne, mais que c'est une solution satisfaisante du point de vue de la prise en compte du critère en question. Il s'agit bien de préciser comment nos groupes se sont saisis de nos critères malgré les conditions d'un accompagnement limité.

Ci-dessous, le tableau 10 a pour fonction d'illustrer et de synthétiser la prise en compte des critères de l'ECS par les groupes que nous avons pu suivre.

Tableau 10. Synthèse des résultats des groupes suivis par critère de l'ECS.

	Groupe 1	Groupe 2
Sujet d'étude	Conditionnement et stockage	Gravure et nettoyage
Critère 1 (Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante)	Une situation théoriquement plus performante malgré des limites technologiques.	Une situation théoriquement plus performante malgré des limites technologiques.
Critère 1 (Maintenir l'apprentissage de la nouvelle manière de	Prévision d'un soutien en marche courante. La performance ne devrait pas se dégrader (propriété technologique).	Prévision de modifications que l'opérateur peut apporter au cobot pour maintenir la performance (avec formations durant l'accompagnement au changement). Le groupe songe à des manipulations « assez

faire plus performante)		simples » pour l'opérateur en cas de mise en erreur du cobot)
Critère 2 (Accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations de collaboration)	La situation conçue présente bien plusieurs possibilités de manières d'agir (positionnement de la mallette et conditionnement).	Le groupe a plutôt automatisé la tâche (partie gravure) et la partie nettoyage présente bien plusieurs possibilités de manières d'agir (crochet « modulable »).
Critère 3 (Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation (Transparence opérative))	Conception d'un fascicule « compréhensible » (visuel et pratique) et d'une vidéo. Le groupe souhaite également une formation. Le groupe souhaite un IHM abordable voire absent. La Transparence est portée par des dispositifs externes au cobot.	Conception de fiches de « management visuel ». Le groupe souhaite également une formation. Le groupe considère que le cobot et l'interface sont déjà compréhensibles (ce qui n'est pas le cas). La transparence est portée par des dispositifs externes au cobot.
Critère 3 (Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation (CCU))	Personnalisation du poste de travail notamment par clé USB, modifiable « tout au long de la journée ». L'opérateur pourrait modifier les mouvements du cobot via une interface hors du poste de travail. Le groupe souhaite mettre en place « des réunions et/ou mises en pratique » pour « anticiper des changements » (prémices d'une CCU en marche courante via EDT et espaces de régulation). Le groupe pense à différentes modalités d'interaction avec le cobot (par exemple : pression sur la tête du cobot pour lancer un programme).	Ne souhaite pas laisser trop de liberté à l'opérateur mais laisse la possibilité de paramétrer certains éléments en amont (hauteur de l'établi, orientation du crochet, cadence...).

2.4. Résultats des groupes « externes » et contextualisation de ces résultats

Nous avons également eu la possibilité de lire quatre autres dossiers effectués par les autres groupes de l'option d'ergonomie. Nous les appelons les groupes « externes », c'est-à-dire, n'ayant pas été familiarisés avec l'ECS. Notre volonté était de mesurer comment ceux-ci pouvaient prendre en compte le « facteur humain », sans les critères de l'ECS, au sein de leurs préconisations. Parmi ces groupes, des interventions ont été effectuées dans : un service d'ergothérapie pour la conception d'un logiciel, un service de préparation de rugbymen pour la conception d'une cage à squat, une librairie pour une étude de poste et une menuiserie pour une étude de poste. Bien que les consignes de ces groupes n'étaient pas les mêmes que pour les groupes suivis (ce qui invalide toute possibilité de comparaison car, ici, il s'agissait davantage d'une analyse de l'activité et d'une projection sur les solutions que d'une réelle mise en place de solutions), nous pouvons tirer de ces quatre dossiers supplémentaires divers éléments.

En ce qui concerne le premier critère, le maintien de l'amélioration de la performance n'est jamais abordé par aucun de ces 4 groupes, ils ne se questionnent pas sur la gestion des erreurs, par exemple. L'apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante est bien abordée car c'est le but principal de leur intervention. Le premier groupe n'a pas analysé l'activité et a simulé un nouveau programme « modifiable assez facilement » (cela n'est pas vérifié et il n'y a pas eu de simulation de l'activité hormis entre eux). Le second groupe a bien analysé l'activité (observations, entretiens, etc.) et ont imaginé la solution mais ne l'ont pas essayée (prototypage virtuel). Le troisième groupe a bien analysé l'activité réelle in situ (entretiens, observations, quantifications, etc.). Il ne s'agissait pas de refaire l'organisation du poste ou encore du travail mais de proposer des solutions techniques « kit main libre » « talkie-walkie » « chariots à roulettes »... Les solutions n'ont pas été essayées. Enfin, le 4^{ème} groupe a aussi analysé l'activité (observations, films, grille APACT, entretiens...). Les solutions sont techniques, de type « autocollants », « panneaux en métal », « étiquettes »... et n'ont pas été prototypées. En ce qui concerne le second critère, le groupe 1 propose une solution technique modifiable à loisir (il y aurait donc un gain de temps et potentiellement une bonne MMS). La MMS n'est pas abordée en tant que telle mais le fichier semble bien modifiable. En revanche, les ergothérapeutes pouvant également tout concevoir dans la situation initiale, il n'y a pas d'augmentation des MMS. Le second groupe étudie les « marges de manœuvre » mais nous n'observons pas, dans les 11 repères de conception, des informations à ce propos, à l'inverse ils proposent des systèmes génériques non réglables « taille max d'un athlète + ... », et ont une

volonté d'utiliser des « normes ». Le troisième groupe propose des solutions techniques basées sur les outils comme le « talkie-walkie » pour « gérer les interactions fréquentes » avec ses « collègues », « elle n'aura pas à se déplacer ». Bien que cela soit difficile à évaluer car la solution n'a pas été implantée, cela pourrait potentiellement diminuer les possibilités et les manières de faire disponibles en limitant la communication (non verbale par exemple) ou au contraire l'augmenter si l'utilisation de l'outil n'est pas obligatoire. Enfin, le groupe 4 pourrait également diminuer les possibilités et les manières de faire disponibles en proposant des solutions techniques comme, entre autres, « une utilisation plus intensive du casque anti-bruit ».

Le troisième critère semble davantage spécifique à notre intervention car l'ajustement des attributs du couple en fonction de la situation n'est pas abordé au sein de l'option d'ergonomie. Le groupe 1, de par la nature de la demande, a « décidé de modéliser un fichier qui reste modifiable facilement », ils ont également prévu une « notice d'aide à la conception » ce qui augmenterait la transparence opérative mais d'un point de vue externe au logiciel. En revanche, rien ne semble directement pensé du point de vue de la CCU car il n'est pas question de pouvoir modifier directement le logiciel mais seulement ce que les concepteurs ont initialement prévu. Le groupe 2 ne semble pas avoir travaillé, dans les 11 repères de la conception, sur la transparence opérative alors que certains soucis sont soulevés. Selon eux, c'est un manque d'expérience et ce sera comblé par la pratique (par exemple sur le réglage de la barre : « expérience » (sait régler la barre à la bonne hauteur) ou sur les stratégies : « certains athlètes adoptent avec plus d'expérience [...] une autre stratégie »). La CCU ne semble pas non plus abordée, même si par nature la cage à squat comprend certaines de ses modalités (réglage des poids, positionnement de la barre, etc.). Le dernier point pourrait cependant s'en approcher : « système pratique, utilisable par un utilisateur unique » mais ce point est anecdotique car c'est le dernier et avec la priorité la plus faible (3/10). Le troisième groupe n'étudie pas la transparence opérative mais le concept semble difficilement applicable pour cette étude. Cela pourrait éventuellement s'appliquer pour le besoin E, l'interface de la « tablette de poche » (une des solutions envisagées) n'étant pas du tout abordée. La CCU n'est pas non plus évoquée pour aucun des nouveaux outils mentionnés, il ne semble pas non plus question de coconstruire les solutions en amont avec chaque opérateur (« nous avons pensé »). Enfin, le groupe 4 soulève des points de transparence opérative dans la situation étudiée. Il y a effectivement un problème initial avec l'affichage des plans « c'est trop compliqué, et pas pratique d'avoir les plans à côté ». En revanche, à l'image des résultats de notre étude, les solutions apportées concernent toujours du management visuel : « panneau en métal », « affichage numérique ». En ce qui

concerne la CCU, celle-ci est abordée pour le plan de travail (« la table est trop basse ») en proposant une table réglable ou des « établis nominatifs ».

Afin de lire le tableau des résultats des groupes « externes » (tableau 12), voici la légende :

Tableau 11. Légende du tableau 12.

	Prise en compte spontanée des critères de l'ECS satisfaisante.
	Prise en compte spontanée des critères de l'ECS mitigée.
	Prise en compte spontanée des critères de l'ECS insatisfaisante.
	Ne peut se prononcer avec les informations en notre possession.

De la même manière que pour les groupes que nous avons pu suivre, les couleurs visent principalement à distinguer les propositions entre elles. Une couleur verte ne signifie pas que la solution envisagée est la bonne, mais que c'est une solution satisfaisante du point de vue de la prise en compte (spontanée) du critère en question. Cette évaluation de la prise en compte des critères de l'ECS ne peut être comparée avec celle effectuée pour les groupes suivis, le travail demandé étant radicalement différent.

Ci-dessous, le tableau 12 a pour fonction d'illustrer les résultats des préconisations émises par les différents groupes que nous n'avons pas pu suivre. Ces résultats mesurent la prise en compte spontanée (sans que nous ayons présenté les différents critères) des critères de l'ECS.

Tableau 12. Synthèse des résultats des groupes « externes » par critère de l'ECS.

	Groupe 1 « externe »	Groupe 2 « externe »	Groupe 3 « externe »	Groupe 4 « externe »
Sujet d'étude	Logiciel de conception (ergothérapie)	Conception d'une cage à squat	Analyse du travail d'une librairie	Analyse d'une menuiserie (PME)

<p>Critère 1 (Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante)</p>	<p>Le groupe n'a pas pu analyser l'activité. Il a créé un nouveau programme « modifiable assez facilement ».</p>	<p>Le groupe a bien conçu des améliorations de la cage à squat.</p>	<p>Le groupe propose des solutions techniques (kit main libre, chariots à roulettes,...) afin d'améliorer le travail mais les étudiants n'ont pas pensé à des réponses organisationnelles.</p>	<p>Le groupe propose des solutions techniques (autocollants, panneaux en métal, étiquettes,...) mais les étudiants n'ont pas pensé à des réponses organisationnelles.</p>
<p>Critère 1 (Maintenir l'apprentissage de la nouvelle manière de faire plus performante)</p>	<p>Cela n'est pas abordé.</p>			
<p>Critère 2 (Accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations de collaboration)</p>	<p>Le groupe propose une solution modifiable, la MMS n'est pas abordée en tant que telle mais celle-ci semble satisfaisante.</p>	<p>Le groupe mentionne les « marges de manœuvre » mais il n'y en a pas de trace dans les 11 repères de conception, à l'inverse les systèmes proposés sont plutôt génériques et ils ont la volonté d'utiliser des « normes ».</p>	<p>Le groupe propose des solutions techniques basées sur les outils comme le « talkie-walkie ». Bien que cela soit difficile à évaluer car la solution n'a pas été implantée, cela pourrait potentiellement diminuer les possibilités et les manières de faire disponibles en limitant la communication</p>	<p>Le groupe pourrait potentiellement diminuer les possibilités et les manières de faire disponibles en proposant des solutions techniques comme, entre autres, « une utilisation plus intensive du casque anti-bruit ». La majorité des solutions évoquées ne semblent pas impacter les MMS.</p>

			(non verbale par exemple) ou au contraire l'augmenter si l'utilisation de l'outil n'est pas obligatoire.	
Critère 3 (Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation (Tranparence opérative))	Le groupe a prévu une « notice d'aide à la conception ». La transparence est portée par des dispositifs externes au fichier.	Le groupe ne semble pas avoir travaillé, dans les 11 repères de conception, sur la transparence opérative alors que certains soucis sont soulevés. Selon eux c'est un manque d'expérience du sportif et ce sera comblé par la pratique (par exemple sur le réglage de la barre : « expérience (sait régler la barre à la bonne hauteur) » ou sur les stratégies : « certains athlètes adoptent avec plus d'expériences [...] une autre stratégie »).	Le troisième groupe n'étudie pas la transparence opérative mais le concept semble difficilement applicable pour cette étude. Cela pourrait éventuellement s'appliquer pour le besoin E, l'interface de la « tablette de poche » (une des solutions envisagées) n'étant pas du tout abordée.	Le groupe soulève des points de transparence opérative. Celle-ci n'est pas étudiée de manière systématique mais seulement quand elle est identifiée en tant que problème. Il y a un souci initial avec l'affichage des plans « c'est trop compliqué, et pas pratique d'avoir les plans à côté ». Ils pensent donc à du management visuel (« panneau en métal », « affichage numérique »). La transparence est portée par des dispositifs externes aux plans.
Critère 3 (Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation (CCU))	Le groupe ne semble pas penser la conception continuée dans l'usage car il n'est pas question de pouvoir modifier directement le logiciel	Le groupe n'aborde pas la conception continuée dans l'usage de manière explicite, même si par nature la cage à squat comprend certaines	Le groupe n'évoque pas la conception continuée dans l'usage pour aucun des nouveaux outils mentionnés, il ne semble pas non plus	Le groupe n'aborde la conception continuée dans l'usage, qu'en ce qui concerne le plan de travail (« la table est trop basse ») en proposant une table

<p>pour le mettre à sa main. L'utilisateur doit se limiter aux options proposées.</p>	<p>modalités (réglage des poids, positionnement de la barre, etc.). Le dernier point pourrait cependant s'en approcher : « système pratique, utilisable par un utilisateur unique » mais ce point est anecdotique car c'est le dernier et avec la priorité la plus faible (3/10).</p>	<p>question de coconstruire les solutions en amont avec chaque opérateur (« nous avons pensé »).</p>	<p>réglable ou des « établis nominatifs ».</p>
---	---	--	--

Nous pouvons donc constater que les groupes « externes », n'ayant pas eu la présentation et l'accompagnement, tiennent tout de même compte partiellement et spontanément du critère 1 de l'ECS. Le groupe 1 et 2 (dont les demandes étaient centrées sur les outils) ont pu améliorer la performance de la situation étudiée (nouveau programme et améliorations de la cage à squat). Le groupe 3 et 4 (dont les demandes étaient centrées sur des études de poste) proposent des solutions techniques. Par contre, le maintien de l'amélioration n'est abordé par aucun groupe. **Les groupes « externes » tiennent partiellement compte du critère 2 de l'ECS.** En effet, bien que n'abordant pas directement le sujet, le groupe 1 semble proposer un programme modifiable laissant de la MMS à l'utilisateur (ce n'est pas une augmentation de la MMS mais celle-ci reste à un niveau qui semble convenir). Le groupe 2, bien que mentionnant les « marges de manœuvre » ne semble pas en tenir compte dans ses repères de conception et propose des systèmes plutôt génériques (qui utilisent des « normes »). Nous n'avons pas assez d'informations sur l'expression du second critère pour les groupes 3 et 4, les solutions peuvent potentiellement porter atteinte au respect de ce second critère de l'ECS. **Enfin, concernant le troisième critère de l'ECS, ils n'en tiennent compte que partiellement.** Ce critère n'est spontanément respecté du point de vue de la transparence opérative que par des dispositifs externes, et seulement pour les groupes 1 (« notice d'aide ») et 4 (management visuel). Du point de vue de la CCU, celle-ci semble ne pas être prise en compte significativement pour les groupes

1, 2 et 3 et elle est seulement approchée par une des solutions techniques (plan de travail) du groupe 4 (les autres solutions concernent d'autres besoins).

2.5. Limites

Cette seconde étude semble montrer qu'un accompagnement longitudinal permet bien aux étudiants-concepteurs de se saisir des critères de l'ECS et d'en tenir compte. Bien que nous observions une hétérogénéité sur le troisième critère de l'ECS entre les groupes, l'ensemble des critères a bien fait écho aux étudiants-concepteurs durant leur projet de conception. En effet, le premier critère de l'ECS est pris en compte par les groupes suivis mais seulement partiellement, à cause de certaines limites technologiques. Le second critère de l'ECS est pris en compte par nos groupes, la MMS semble préservée voire augmentée sur le poste. Enfin, le troisième critère de l'ECS semble également pris en compte par les 2 groupes qui se sont saisis de la question de la transparence opérative et de la CCU.

Cependant, les groupes n'ont prototypé que la moitié de la situation demandée. De plus, en conditions expérimentales, nous ne pouvons évaluer certains aspects. Le travail réel avec un opérateur sur le nouveau poste, les dynamiques collectives et organisationnelles ou encore la formation, n'ont pas pu être observés. Cela limite donc la portée de nos résultats, tout comme la faible représentativité de notre population (étudiants dans une UE d'ergonomie, sans groupe « vierge »). Enfin, la mise en œuvre de certaines réponses à des critères de l'ECS (formations, manipulation du cobot par l'opérateur, etc.) peuvent nécessiter d'autres conditions non étudiées.

Il serait donc maintenant pertinent de poursuivre ce travail avec un panel plus représentatif en situation réelle afin de confirmer nos résultats.

Synthèse de la partie IV (Étude 2 : étude de l'activité et accompagnement de concepteurs (ingénieurs) des futures situations de travail)

Cette seconde étude (précédée de 2 études exploratoires) avait pour objectif de mesurer comment notre proposition de l'ECS est perçue par les concepteurs (ingénieurs) des situations de travail.

Les 2 études exploratoires nous ont permis de constater que le public des concepteurs est large et hétérogène (avec des intérêts différents) et qu'ils ne modifient pas leurs comportements si l'on se contente de leur donner la liste des critères de l'ECS (trop de critères à respecter et ils n'en ressentent pas l'intérêt). En revanche, si nous les accompagnons ponctuellement, les étudiants-concepteurs peuvent se saisir des critères et orienter leur projet de conception en tenant compte de ceux-ci. Les changements sont mineurs mais significatifs car ce public ne prend pas en compte, de prime abord, certains critères de l'ECS (2 et 3). Ces résultats préliminaires nous ont donc poussés vers l'accompagnement longitudinal d'étudiants concepteurs afin de leur permettre de tenir davantage compte des critères de l'ECS dans leur projet de conception.

Au sein de cette étude 2, il était question d'accompagner 2 groupes de 3 étudiants-concepteurs dans un projet qui leur était réellement commandité. Leur objectif était de reconcevoir certaines étapes d'un poste de travail (gravure et conditionnement d'une cloueuse) assisté par un cobot. Nous avons donc pu suivre ces étudiants (4 séances d'environ 4 heures) afin de les accompagner et de répondre à leurs questions. Nous leur avons fourni un cahier des charges comprenant une simplification des critères de l'ECS. Lors de cet accompagnement, l'ergonome n'a jamais été dans une position de prescripteur. À partir de verbalisation (*in situ* et soutenance) de leur activité, d'entretiens, d'observations et de l'analyse de documents (rapports finaux) nous avons pu mesurer leur prise en compte des différents critères de l'ECS (annexes 19 à 23). Malheureusement, une partie significative des projets (environ la moitié) n'a pas pu être prototypé, principalement par manque de temps.

Finalement, le premier critère de l'ECS semble pris en compte par les deux groupes. La situation de travail évite le port de charge à l'opérateur et le maintien de la performance dans le temps semble respecté. Le second critère de l'ECS semble également pris en compte par les deux groupes, bien que le second groupe tende plus vers de l'automatisation. Malheureusement,

les résultats sur ces 2 premiers critères sont à relativiser car l'amélioration de la performance (critère 1) reste le but premier de l'implémentation du cobot et l'analyse de l'activité, l'autonomie et les MMS sont des notions qui seraient amenées aux étudiants au sein de l'UE. Enfin, le troisième critère est pris en compte par les deux groupes (ici, nous évaluons surtout des intentions) mais les résultats sont hétérogènes. En termes de transparence opérative, le groupe 1 est davantage avancé (fascicule, formation, vidéo, IHM), alors que le groupe 2 est un peu moins avancé sur cet aspect (« management visuel » et formation). À propos de la CCU, les deux groupes ne répondent pas au critère de la même façon. Le premier groupe préconise une situation où l'opérateur peut directement agir sur le cobot (personnalisation et préprogrammation) hors et en situation de travail. Le second groupe n'autorise pas l'opérateur à agir sur le cobot durant la situation de travail (paramètres personnalisés préalablement). Le premier groupe est allé plus loin que le cahier des charges concernant le troisième critère de l'ECS, notamment en mentionnant la possibilité de réunions régulières (EDT) et semble avoir saisi la dimension temporelle d'une implémentation technologique. Cette prise en compte du troisième critère semble être originale, car les notions abordées dans le critère 3 ne sont pas évoquées durant l'UE. Le tableau 10 synthétise ces résultats.

Lors de cette seconde étude, nous avons également eu la possibilité de lire les dossiers des autres groupes (ceux dont nous n'avons pas fait le suivi). Le travail demandé n'était pas le même (il n'était pas question de conception mais d'analyse de l'activité et de propositions) ce qui nous restreint dans les comparaisons. Cependant, ces résultats sont intéressants car ils nous permettent de relever, tout comme dans l'étude 1, ce qui est spontanément pris en compte par les concepteurs (ici étudiants) dans les projets. Globalement, les résultats sont assez hétérogènes. Ces groupes « externes », tiennent compte partiellement du premier critère de l'ECS (le maintien de l'amélioration dans le temps n'est pas abordé) et du second critère de l'ECS (voir tableau 12). En ce qui concerne le troisième critère de l'ECS, la transparence opérative est abordée par 2 groupes (voir tableau 12) et la CCU n'est abordée volontairement que par le groupe 4. L'intégralité des résultats des groupes « externes » est synthétisée au tableau 12.

Cette seconde étude nous a donc permis de mesurer qu'avec un accompagnement longitudinal, les critères de l'ECS semblent orienter le projet de conception d'étudiants-concepteurs. Cependant, lors de cette étude, les groupes (étudiants dans une UE d'ergonomie, sans groupe « vierge ») n'ont prototypé que la moitié de la situation demandée. Certains aspects (activité des opérateurs avec le nouveau poste, dynamiques collectives et organisationnelles, etc.) n'ont

pas pu être abordés et la mise en œuvre de certaines réponses à des critères de l'ECS (formation, manipulation du cobot par l'opérateur, etc.) peut nécessiter d'autres conditions non étudiées. Ces résultats sont donc à relativiser.

Partie V : Étude 3 : étude de l'activité simulée d'opérateur de maintenance selon l'intensité de l'ECS

Chapitre 10 : mesure, dans un cadre expérimental, de la perception des sujets selon l'intensité de l'ECS

La manière dont les changements technologiques sont réalisés est très importante, notamment pour favoriser l'acceptation sur le lieu de travail (Bobillier-Chaumon, 2021a). Il serait donc intéressant de permettre aux opérateurs d'évoluer dans une ECS, afin que les opérateurs puissent avoir le contrôle sur la situation et utiliser leurs capacités (Sen, 1999 ; Sen, 2004). Les conditions permettant de répondre à de tels objectifs ont été définies à travers la conception d'ECS (Compan et al., 2021a ; Compan et al., 2021b ; Compan et al., sous presse). L'objectif ici est de vérifier les critères de performance visés dans le cadre d'une situation de travail qui respecterait davantage les critères de l'ECS.

1. Méthodologie et procédure

L'expérience porte sur la simulation d'une opération de consignation (LOTO pour Lock Out Tag Out) composée d'un ensemble d'actions à réaliser par l'opérateur. Ces actions sont rendues représentatives d'une opération de consignation (fermer des vannes, pousser des leviers, connecter des fils, etc.) La consignation est un processus lourd, prévu à l'avance et indissociable (réglementairement) de la documentation technique. Elle consiste à isoler certaines parties du processus et des machines afin de pouvoir effectuer des opérations de maintenance. L'objectif était de mesurer expérimentalement l'activité des sujets et d'analyser l'impact d'un dispositif de réalité augmentée dans une situation de travail collaborative respectant, à différentes intensités, les critères de l'ECS. Pour ce faire, deux scénarios ont été simulés, un classique avec une procédure d'opération papier (comme il est d'usage dans l'industrie) et un autre assisté par des lunettes de réalité augmentée (HoloLens 2). L'expérimentation mise en place permet donc d'avoir une situation de référence au premier passage et autorise selon l'intensité de l'ECS induit dans la situation collaborative, deux situations différentes au second passage (l'intensité

des critères de l'ECS étant plus ou moins élevée). 48 sujets passent par les deux situations (la situation initiale puis la seconde situation collaborative où l'intensité de l'ECS était variable) afin de tester si la situation collaborative est plus capacitante lorsque les caractéristiques de l'ECS sont mises en place, si la technologie est mieux comprise et acceptée dans la situation de travail et de montrer une amélioration potentielle de la performance. Dans cette expérience, nous n'avons pas évalué certaines dimensions de l'ECS comme le collectif et l'organisation (un aspect de la troisième caractéristique de l'ECS).

1.1. Salle expérimentale

Afin de reproduire une opération de consignation, une salle expérimentale (60m²) a été conçue, composée de plusieurs postes reproduisant une machine. Ces différents postes sont composés de véritables pièces de machine, isolées afin que l'opérateur puisse interagir avec elles. Ces différentes pièces comprennent des valves, des boutons de pression, des disjoncteurs, des ordinateurs, etc. Chaque poste est équipé de différentes étiquettes décrivant les différents éléments de la machine (une étiquette par vanne, interrupteur, etc.). Les différentes zones de la salle ont été colorées pour faciliter la compréhension des participants. La disposition des différents éléments de la salle a été faite de manière à créer une sorte de labyrinthe simulant la complexité d'une machine conséquente dans un atelier de production. Un chemin interdit a été inclus dans la salle, représentant les différentes zones de circulation interdites dans un atelier de production. Différents pictogrammes de sécurité ont également été ajoutés dans la pièce (ex : danger électrique ou thermique). Cette salle était équipée d'un rétroprojecteur et d'un haut-parleur. Un son ambiant capté dans un atelier à une hauteur constante entre 60 et 65 db (ce qui correspond à une mesure classique du bruit dans un atelier) a été diffusé. Quant au rétroprojecteur, il a été utilisé pour diffuser un enregistrement d'un atelier de production et notamment avec le passage d'un chariot élévateur afin d'obtenir plus de représentativité et d'immersion pour les sujets.

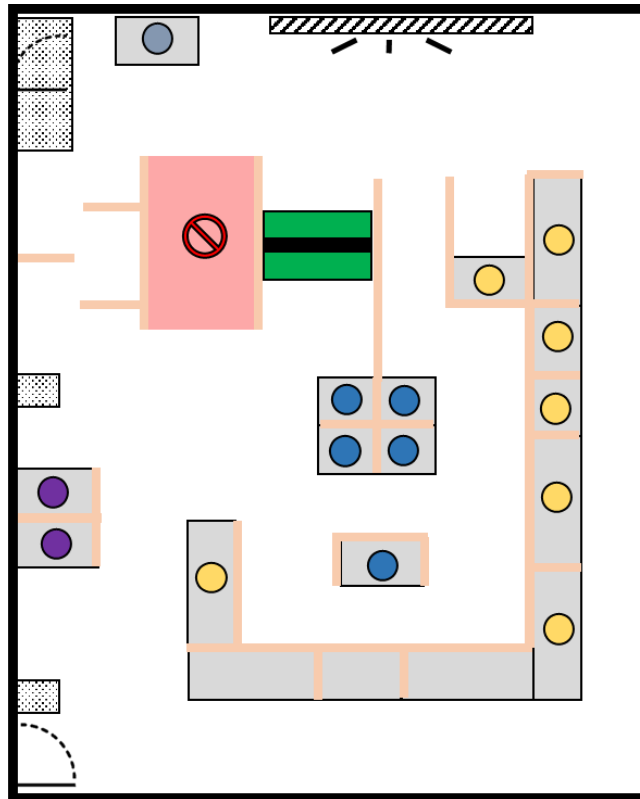


Figure 55. Plan de la salle expérimentale (chaque point représente un poste de travail, les couleurs servent à guider le participant sur l'emplacement du poste).

1.2. Mode opératoire

Le mode opératoire doit se rapprocher d'une situation réelle, aussi celui-ci a-t-il été divisé en plusieurs ensembles et sous-ensembles. Chaque sous-ensemble était composé de différentes tâches à effectuer sur différents postes. Le mode opératoire comprenait l'ensemble et le sous-ensemble en question (par exemple « Étape 6a »), la tâche à effectuer (par exemple « Abaisser la vanne d'entrée d'air (bleue) »), la localisation globale du poste de travail (par exemple « Bleu »), l'intitulé du poste (par exemple « J ») et enfin la partie de la machine sur le poste concerné par la tâche (par exemple « 01 »). Une image spécifiant la partie de la machine à utiliser était également présente pour guider l'opérateur dans son activité.

Etape 5	Baisser filtre 1	Bleue	I - 01
---------	-------------------------	-------	--------



Etape 6a	Baisser Vanne Arrivée AIR (bleue)	Bleue	J - 01
Etape 6b	Lever Vanne Retour AIR (jaune)	Bleue	J - 03



Figure 56. Exemple de sous-ensembles du mode opératoire.

1.3. Variables étudiées

Les variables étudiées, leur nature et leur type sont synthétisés dans le tableau 13.

Tableau 13. Synthèse des variables étudiées, de leur nature et de la mesure.

Variable étudiée	Nature	Mesure
Performance (nombre d'erreurs, omission et action supplémentaire), nombre de passages dans le chemin interdit, temps utilisé pour effectuer toute la procédure)	Donnée quantitative	Observation et comptage laser post-expérience
Charge de travail (incluant : charge mentale, charge physique, exigence temporelle, performance, effort, niveau de frustration).	Donnée quantitative	Passation du questionnaire raw NASA-TLX (Hart, 2006 ; Hart & Staveland, 1988) traduit en français, après l'expérience.
Acceptabilité (incluant : intention d'usage, facilité d'utilisation perçue, utilité perçue) (seulement pour G1' et G1'')	Donnée quantitative	Passation du questionnaire TAM (Davis, 1985) traduit en français, après l'expérience.

Intention comportementale	Donnée quantitative (question dichotomique) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience
Sentiment de satisfaction générale	Donnée quantitative (échelle de Likert) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience
Performance perçue	Donnée quantitative (échelle de Likert et question dichotomique) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience
Utilité perçue de la technologie	Donnée quantitative (échelle de Likert et question dichotomique) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience
Stratégies opératoires (tout comme leur variation en fonction de la situation)	Donnée qualitative (question ouverte)	Entretien post-expérience
MMS perçue (tout comme sa variation en fonction de la situation)	Donnée quantitative (échelle de Likert et question dichotomique) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience
Transparence opérative du mode opératoire et de la technologie (à travers ses trois dimensions : perceptibilité, accessibilité et compréhension (Rabardel, 2002))	Donnée quantitative (échelle de Likert) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience

Perception des possibilités de CCU	Donnée quantitative (question dichotomique) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience
Sentiment de prise en main de la technologie	Donnée quantitative (échelle de Likert) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience
Sentiment d'ajustabilité de la technologie	Donnée quantitative (échelle de Likert) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience
Sentiment d'implication dans le développement de la technologie	Donnée quantitative (question dichotomique) et qualitative (explications)	Entretien post-expérience
Représentativité de l'étude	Donnée quantitative (question dichotomique) et qualitative (question ouverte)	Entretien post-expérience

1.4. Procédure et conditions expérimentales

Pour évaluer la valeur de l'ECS, l'expérience s'est concentrée sur les mesures intragroupe. Autrement dit, chaque sujet a été confronté à la fois au scénario de base et au scénario amélioré (G1' ou G1''). Cela signifie que les sujets de notre groupe G1 ont dû suivre la procédure papier. Cette procédure était placée à différents endroits de la pièce avec un plan afin que le sujet puisse s'y référer régulièrement. La procédure pour G1 était la suivante :

- Accueil du participant.
- Signature du formulaire de consentement et remplissage du questionnaire socio-démographique.

- Présentation de la salle par un chercheur (accompagné d'un déplacement physique dans la salle) et annonce des différentes consignes.
- Le sujet réalise une mini opération de consignation composée de 2 postes à des fins d'entraînement.
- Le sujet commence le protocole et les chercheurs quittent la pièce. Le sujet est en totale autonomie sans enregistrement. La performance sera mesurée à la fin de l'expérience.
- Une fois l'opération de consignation complète terminée, les chercheurs procéderont à un rapide débriefing suivi du remplissage du questionnaire « raw NASA-TLX » puis à un entretien plus conséquent avec un chercheur (se référer au tableau 13).

Ensuite, les sujets du groupe G1 ont été divisés en deux groupes, G1' et G1'' (voir tableau 14). Cette fois, ils ont dû suivre la procédure en utilisant le dispositif de réalité augmentée (HoloLens 2). Certains éléments de la salle ont été modifiés pour minimiser le biais d'apprentissage. Afin de minimiser ce biais, le chemin interdit n'était plus au même endroit et les tâches et positions utilisées n'étaient plus les mêmes dans la procédure (le type de tâche est inchangé mais les pièces des machines et leurs emplacements sont différents).

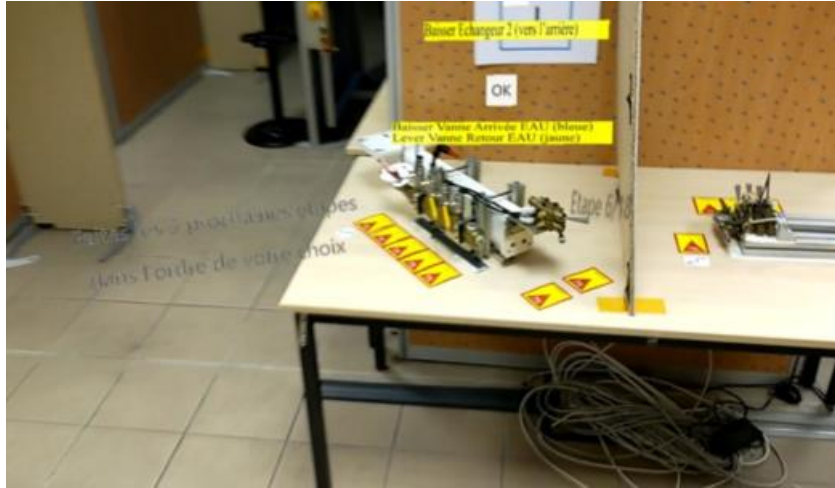


Figure 57. Exemple de l'interface des lunettes en G1'.



Figure 58. Exemple de l'interface des lunettes G1''.

Tableau 14. Synthèse des différents points concernant l'ECS dans les 3 conditions.

Critère de l'ECS	G1	G1' (« faible » ECS)	G1'' (« forte » ECS)
Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante et maintenir cet apprentissage	La procédure a été divisée en plusieurs ensembles et sous-ensembles avec les tâches, le lieu, le titre et la partie concernée du poste de travail.	Les lunettes indiquaient les différentes prescriptions du mode opératoire, situées dans l'espace et disposaient d'une aide à la navigation (une flèche indiquant la direction du poste de travail dans l'absolu et le nombre de mètres séparant le sujet du poste).	Les lunettes indiquaient les différentes prescriptions du mode opératoire, situées dans l'espace et disposaient d'une aide à la navigation (une flèche indiquant la direction du poste de travail dans l'absolu et le nombre de mètres séparant le sujet du poste).
Accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations d'usages	Il n'y avait aucune possibilité de varier les tâches assignées.	Il n'y avait aucune possibilité de varier les tâches assignées.	Pendant la procédure (2 fois), le sujet avait le choix de l'ordre pour 3 tâches.
Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation		CCU : petite flèche non modifiable, en haut du champ de vision et le texte est noir sur fond blanc. Ces paramètres sont conformes à ceux observés en atelier. Transparence opérative : Les paramètres étaient standards et rien n'a été fait pour améliorer cet aspect.	CCU : le sujet pouvait modifier (avant et après l'entraînement) la couleur du texte (blanc sur fond noir, noir sur fond blanc ou noir sur fond jaune), la position de la flèche de direction (position « haute » ou position « basse ») et la taille de la flèche de direction (« grande » ou « petite »). Transparence opérative : le chemin interdit était obstrué par un mur rouge virtuel, afin que le sujet puisse mieux comprendre les « intentions »

de la machine, interdisant cette zone de circulation. Le sujet disposait d'une indication en temps réel de sa progression dans le mode opératoire (ex : étape 4/18).

La procédure pour G1' et G1'' était la suivante :

- Accueil du participant.
- Signature du formulaire de consentement et remplissage du questionnaire socio-démographique.
- Un chercheur fait visiter la salle au participant et annonce les différentes consignes.
- Le sujet effectue une mini opération de consignation composée de 2 postes, à des fins d'entraînement.
- Le sujet peut remettre les lunettes en place selon les modalités expliquées précédemment (uniquement pour G1'').
- Le sujet commence le protocole et les chercheurs quittent la pièce. Le sujet est en totale autonomie sans enregistrement. La performance sera mesurée à la fin de l'expérience.
- Une fois l'opération de consignation complète terminée, les chercheurs procéderont à un rapide débriefing suivi du remplissage des 2 questionnaires (« raw NASA-TLX » et « TAM ») puis à un entretien plus conséquent avec l'un des chercheurs (se référer au tableau 13).

1.5. Traitement des données

Pour les analyses intragroupe (G1 vs G1' et G1 vs G1''), les différences entre nos variables quantitatives continues ont été traitées statistiquement avec le test de Student (échantillons appariés) lorsque les conditions étaient paramétriques, ou le test de Wilcoxon W lorsque le caractère paramétrique des données n'était pas respecté. Lorsque les variables étaient de type nominal (1/2, oui/non, avec/sans, etc.), un test de McNemar a été utilisé.

Pour les analyses intergroupes (G1' vs G1''), les différences entre nos variables quantitatives de type continu ont été traitées statistiquement avec le test de Student (échantillons

indépendants) lorsque les conditions étaient paramétriques, ou le test de Mann-Whitney U lorsque le caractère paramétrique des données n'était pas respecté. Lorsque les variables étaient de type nominal (1/2, oui/non, avec/sans, etc.), un test du « Chi2 » a été utilisé.

Les réponses ouvertes ont été analysées qualitativement par le biais d'une analyse thématique (Boyatzis, 1998). Un exemple de traitement de cette analyse thématique se trouve en annexe 12. Les verbatims des sujets ont ensuite été catégorisés et comptés. Ces catégories ont été classées par ordre de représentativité. G1 et G2 sont classés en 5 catégories de représentativité générale (le nombre d'itérations est expliqué entre parenthèses), qui sont : très faible (1), faible (2), moyen (3 à 5), élevé (6 à 10) et très élevé (11 et plus). G1' et G1'' ont la même classification mais le nombre de sujets est environ 2 fois moins important, le nombre d'itérations nécessaires est donc environ 2 fois moins important. On obtient ainsi les catégories suivantes : très faible (1), faible (2), moyen (3), élevé (4 à 5), très élevé (6 et plus). Afin d'être compréhensible et concis, dans ce document, seules les catégories les plus pertinentes et les plus représentées sont présentes, à savoir les catégories « élevée » et « très élevée ».

Des regroupements analytiques des verbatims ont été effectués en aveugle par un autre chercheur (qui n'a pas participé à l'expérience) afin d'identifier les émergences potentielles en fonction des variables socio-démographiques. Le chercheur a analysé, par groupe, les sujets plus habitués à l'atelier qu'au bureau (uniquement ceux qui ont répondu « atelier » à la question posée dans le questionnaire socio-démographique), ceux qui ont développé une expertise dans les opérations de consignation (6 ou 7 sur un Likert de 7) et ceux qui exercent effectivement le métier de mainteneur ou d'opérateur.

2. Résultats

Pour améliorer la lisibilité de l'article, certaines statistiques (résultats non-significatifs ou mineurs) sont placées en annexe (24 à 29).

2.1. Représentativité et durée de l'étude

L'étude est considérée comme largement représentative, dans les 3 conditions, par rapport à l'expérience des sujets dans l'usine. Pour vérifier cela, notre distribution a été comparée à une

distribution équivalente (50% pour le oui et 50% pour le non). Nos résultats apparaissent significativement différents (tableau à trouver en annexe 30), nos conditions sont donc représentatives. G1' n'est pas considéré comme plus représentatif que G1 ($\chi^2(1, N=23) = 0$; $p = 1$). G1'' n'est pas non plus considéré comme plus représentatif que G1 ($\chi^2(1, N=23) = 0.5$; $p = .48$). G1' n'est pas non plus considéré comme plus représentatif que G1'' ($\chi^2(1, N=47) = 1.37$; $p = .24$). La raison invoquée commune à tous les groupes concerne la représentativité de l'environnement (sonore, matériel, etc.) (G1 : N = 14 ; G1' : N = 6 ; G1'' : N = 4). G1 est également sensible à la bonne représentativité du travail (tâches, procédures, etc.) (N = 14), tout comme G1' (N = 7).

L'ensemble de la procédure a eu une durée moyenne de 1037,13 secondes sans la technologie (G1, procédure papier) et de 561,52 secondes avec les lunettes de réalité augmentée (G1' et G1'').

2.2. Contribution de la technologie (G1 vs G1' et G1 vs G1'')

Le tableau 15, ci-dessous, présente les différences significatives à propos de la contribution de la technologie (G1 vs G1' et G1 vs G1'').

Tableau 15. Différences significatives à propos de la contribution de la technologie (G1 vs G1' et G1 vs G1'').

Variable étudiée	Statistique	Groupe	Moyenne	Écart-type	P	Taille d'effet ⁶
Charge de travail (Moyenne sur 20 au raw NASA-TLX)	Student's t	G1	9.92	2.43	.007	0.62
		G1'	8.37	2.83		
	Student's t	G1	10.67	2.62	<.001	1.44
		G1''	7.22	1.56		

⁵ Certains sujets n'ont pas répondu à toutes les questions, le N peut alors varier

⁶ Cohen's d pour le Student's t et Rank biserial correlation pour le Wilcoxon W

Charge mentale (item spécifique du raw NASA-TLX item) (sur 20)	Wilcoxon	234	G1	12.13	3.57	<.001	0.85
	W		G1'	7.52	4.18		
	Wilcoxon	272.5	G1	13.81	4.36	<.001	0.97
	W		G1''	6.60	3.14		
Sentiment de satisfaction générale (sur 10)	Student's t	4.45	G1	6.35	0.35	<.001	0.93
			G1'	8.17	0.22		
	Student's t	6.20	G1	5.96	2.07	<.001	1.27
			G1''	8.71	0.91		
Sentiment de performance (sur 10)	Wilcoxon	2.50	G1	6.09	1.59	<.001	0.97
	W		G1'	8.09	1.08		
	Student's t	7.26	G1	5.83	1.49	<.001	1.48
			G1''	8.13	0.74		
MMS (sur 10)	Student's t	5.04	G1	4.04	1.81	<.001	1.03
			G1''	6.25	1.85		
Transparence opérative du mode opératoire (moyenne des 3 dimensions) (sur 10)	Student's t	4.95	G1	7.19	1.48	<.001	1.03
			G1'	8.83	1.03		
	Wilcoxon	29.50	G1	7.63	1.24	<.001	0.80
	W		G1''	8.69	0.96		

Variable étudiée (McNemar)		G1	G1'	χ^2	N	p
CCU	Oui	N = 0	N = 0	1	23	.32
	Non	N = 1	N = 22			

Variable étudiée (McNemar)		G1	G1''	χ^2	N	p
		Yes	No			

CCU	Oui	N = 1	N = 0	21	24	<.001
	Non	N = 21	N = 2			

Conformément à ce que l'on peut observer dans le tableau 15, le système de réalité augmentée contribue à réduire la charge de travail globale et la charge mentale. Les sujets déclarent également un meilleur sentiment de satisfaction globale à l'égard de la technologie émergente. Ces points semblent être liés car les verbatims associés à la question sur le sentiment de satisfaction globale expriment clairement qu'avec la technologie, le travail est plus rapide (N = 6) pour G1'' et plus facile/simple pour G1' (N = 5). Les sujets de G1 déclarent que le nombre d'allers-retours est contraignant (N = 18), qu'ils font des erreurs (N = 6) et qu'ils ont des difficultés à mémoriser (N = 6).

Le sentiment de performance est également amélioré avec le dispositif de réalité augmentée. Les sujets de G1 sont impactés négativement par le nombre d'allers-retours (N = 15), la faible vitesse (N = 13), leur nombre d'erreurs (N = 8), même si certains soulignent leur performance en termes de faible nombre d'erreurs (N = 11). Les participants de G1' soulignent l'impact de leur bonne vitesse (N = 9) ainsi que la diminution de leur charge mentale et la facilité de mémorisation (N = 5). Les sujets de G1'' mettent en avant le même type d'indicateurs de performance tels que la vitesse (N = 11), moins d'allers-retours (N = 7) mais aussi un faible taux d'erreur (N = 4) et moins de doutes/questionnements (N = 6).

Les stratégies diffèrent entre les groupes, notamment en termes de réflexivité. Les sujets de G1 ont deux stratégies principales, la première consiste à faire des allers-retours tout au long de la procédure (avec éventuellement des tentatives mineures de mémorisation de l'information) (N = 16) et la seconde consiste initialement à mémoriser plusieurs étapes de la procédure puis à abandonner cette stratégie pour reprendre les allers-retours (N = 11). Avec la technologie, les deux groupes sont guidés par les instructions qui apparaissent dans l'environnement et par la flèche directionnelle (N = 29 pour G1' et N = 23 pour G1'').

Les participants ont le sentiment d'avoir augmenté leur MMS en G1'', par rapport à la situation en G1. Sans les lunettes de réalité augmentée (G1), les sujets rapportent un manque de MMS sur l'ordre des tâches (N = 30) et sur les mouvements (N = 22), ils trouvent que le mode opératoire est très prescrit et laisse peu de MMS (N = 22). Les sujets de G1'' constatent

l'augmentation de leur MMS, sur l'ordre des tâches qui est plus libre (N = 16) et sur leurs différentes possibilités et façons de faire (N = 6).

L'implémentation de la technologie émergente, quelle que soit la condition, a augmenté la transparence opérative (du mode opératoire) pour les opérateurs. Les sujets de G1' ont constaté une amélioration de leur perception des informations, notamment en termes de visibilité (N = 6) et de clarté des informations (N = 6). Les sujets de G1' remarquent principalement que les instructions sont visibles (code couleur, mots en gras, détails, etc.) (N = 14), même si les images peuvent être petites ou peu lisibles (N = 9) ce qui divise car les autres participants trouvent ces instructions lisibles (N = 6). L'accessibilité du mode d'emploi est améliorée pour G1' et G1'' car le champ de vision et la visibilité des informations sont satisfaisants (G1' : N = 6 ; G1'' : N = 10), même si certains G1'' pensent le contraire (N = 4). Les sujets de G1' relèvent également la facilité d'obtenir des informations au poste (N = 6). Les participants en G1 soulignent plutôt les soucis d'allers-retours (N = 23) qui impactent négativement ce point d'accessibilité. Enfin, la compréhensibilité est améliorée pour les membres de G1' par rapport à ceux de G1 car les instructions sont explicites et claires (N = 12), les sujets de G1 soulèvent les mêmes qualités (N = 21).

Les possibilités de CCU sont perçues comme augmentées par l'implémentation de la technologie émergente pour les sujets de G1''. Les membres de G1' ne pensent pas pouvoir modifier la situation de travail (N = 9) et n'en ressentent pas le besoin (N = 5), contrairement aux sujets de G1'' qui perçoivent la possibilité de modifier la situation, surtout avant l'activité (N = 10), et choisissent principalement des modifications d'interface (N = 8). Dans la situation initiale, les sujets de G1 justifient une conception continue faible dans l'utilisation par leur respect de la procédure (N = 20) et leur ignorance du contexte/de la vue d'ensemble (N = 14), ce qui a pour conséquence que les sujets se laissent porter par la procédure (N = 13).

2.3. Contributions de l'ECS (G1' vs G1'')⁷

En ce qui concerne la contribution de l'ECS, nous avons repris dans le tableau 16 les différents points qui sont significativement différents. Les points qui ne sont pas statistiquement différents

⁷ Certains sujets n'ont pas répondu à toutes les questions, le N peut alors varier

ou dont la justification n'est pas qualitativement intéressante (entretiens) ne seront pas mentionnés.

Tableau 16. Différences significatives à propos de la contribution de l'ECS (G1' vs G1'').

Variable étudiée	Statistique	Groupe	Moyenne	Écart-type	P	Taille d'effet ⁸
Intention d'usage (TAM) (moyenne sur 7 des 4 questions sur l'intention d'usage)	Mann-Whitney U	G1' G1''	5.57 6.08	1.11 1.05	.055 (forte tendance)	0.34
Sentiment de satisfaction générale (sur 10)	Student's t	G1' G1''	8.17 7.71	1.03 0.91	.065 (forte tendance)	0.55
MMS (sur 10)	Mann-Whitney U	G1' G1''	3.65 6.25	1.87 1.85	<.001	0.69
Perception de l'évolution de la MMS (de -10 à 10)	Mann-Whitney U	G1' G1''	-0.57 5.21	4 2.86	<.001	0.73
Évaluation de la perceptibilité des	Student's t	G1' G1''	7.130 8.08	1.890 1.176	.043	0.6083

⁸ Cohen's d pour le Student's t et Rank biserial correlation pour le Mann-Whitney U

information							
s							
transmises							
par la							
technologie							
(sur 10)							
Évaluation	Student'	3.40	G1'	5.26	1.94	.001	0.99
de	s t		G1''	6.96	1.46		
l'ajustabilit							
é de la							
technologie							
(sur 10)							

Variable		G1'	G1''	χ^2	N	P
étudiée (Chi2)						
Perception de la variation de la MMS	Oui	N = 3	N = 21	26.1	47	<.001
	Non	N = 20	N = 3			
Évolution des stratégies opératoires	Oui	N = 9	N = 16	3.19	44	.074 (forte tendance)
	Non	N = 12	N = 7			
CCU	Oui	N = 1	N = 22	35.8	47	<.001
	Non	N = 22	N = 2			

Concernant le questionnaire TAM, nous notons une forte tendance sur la dimension de l'intention d'utilisation qui serait augmentée chez les participants de G1''. Cependant, les réponses qualitatives des deux groupes à la question sur l'intention comportementale sont similaires. Les sujets de G1' se sentent cognitivement plus légers (N = 8) comme ceux de G1'' (N = 11). La technologie leur permet d'éviter les allers-retours car les informations sont affichées sur le poste de travail, ce les sujets de G1' perçoivent comme une amélioration de la situation de travail (N = 8). Il en est de même pour les sujets de G1'' (N = 6). La situation de

travail est également vécue comme facile/simple pour les sujets de G1' (N = 5) et ceux de G1'' (N = 5).

Le sentiment global de satisfaction tend à s'améliorer dans une ECS « forte ». Les éléments de satisfaction relevés par les sujets de G1' concernent principalement la facilité/simplicité de la situation de travail (N = 5) alors que les sujets de G1'' mentionnent davantage le gain de vitesse, par rapport à la situation initiale (N = 6).

Les deux groupes semblent diverger dans leur perception de la MMS. Les participants de G1'' semblent percevoir une plus grande MMS grâce à une ECS « forte ». Les sujets de G1' perçoivent des consignes très dirigées (N = 9), un mode opératoire inflexible (N = 8) et une faible MMS sur l'ordre des tâches (N = 6) et les actions à réaliser (N = 4) bien que la MMS sur les mouvements soit satisfaisante (N = 5). Les sujets de G1'' soulignent encore le manque de souplesse du mode opératoire (N = 4) mais cela semble être secondaire par rapport à la MMS gagnée sur la flexibilité concernant l'ordre de certaines tâches (N = 16), les différentes possibilités d'action (N = 6) et la liberté de mouvement (N = 5).

L'intensité de l'ECS semble induire un changement de stratégies opératoires entre les sujets de G1' et ceux de G1''. Les membres de G1' ont tendance à ne signaler aucun changement de stratégies (N = 4) tandis que ceux de G1'' soulignent la diminution de la charge mentale (N = 7) et leur focalisation sur le guidage et l'interface de la technologie émergente (N = 4).

Les différences entre les groupes concernant la transparence opérative (du mode opératoire et de la technologie elle-même), ne semblent pas significatives, à l'exception de la perceptibilité des informations transmises par la technologie qui semble meilleure pour les membres de G1'' que pour ceux de G1'. Les justifications apportées par les sujets de G1' concernent principalement des soucis de perceptibilité, notamment sur la flèche et le guidage trop petit et saccadé (N = 13), tout comme celles apportées par les membres de G1'' même si ce dernier point semble moins important (N = 4). Les sujets de G1'' soulèvent également la bonne visibilité de l'information (N = 7).

Les sujets de G1' ont un sentiment significativement différent de leur possibilité de CCU, par rapport à ceux de G1''. Les membres de G1' soulignent à travers ces verbatims la perception de l'impossibilité de pouvoir modifier la situation (dispositif et mode de fonctionnement) (N = 9), ils soulignent également le fait qu'ils n'ont pas ressenti ce besoin (N = 5). Les sujets de G1'' trouvent une CCU, notamment avant l'activité (N = 10), ces modifications concernent

principalement l'interface du dispositif (N = 8) et leur MMS sur le choix de l'ordre de certaines tâches (N = 4).

Le sentiment d'ajustabilité des lunettes est significativement plus élevé pour les membres de G1'' que pour ceux de G1'. Les possibilités de réglage sont perçues comme moins importantes par les sujets de G1', notamment sur la partie virtuelle car ils n'ont pas trouvé ou eu l'impression de pouvoir régler l'interface (N = 7), ils n'ont pas essayé de la modifier (N = 6) ou ont pensé que c'était impossible (N = 5). En revanche, ils ont perçu que la partie physique était réglable (N = 17), tout comme ceux de G1''. Les sujets de G1'', en plus de la partie physique, trouvent que les lunettes sont virtuellement éditables (flèche, couleur, etc.) (N = 7) et que les modifications possibles sont satisfaisantes (N = 5), même s'ils souhaiteraient plus d'options de personnalisation (N = 9).

3. Limites

Cette étude 3 est la première tentative d'opérationnalisation de l'ECS. Il semble important que cette proposition théorique puisse démontrer expérimentalement son intérêt. Cette première expérimentation explique les limites de l'étude mais aussi l'originalité de ce travail. S'agissant d'une première tentative, les transformations de la situation ont été limitées (notamment de par notre méconnaissance de la technologie et de sa programmation). Cette faible intensité de changement peut expliquer les résultats partiels de l'expérience. Cependant, nous pouvons relever que les participants avec une « forte » ECS ont bien ressenti l'augmentation des critères bien qu'ils n'en ressentent pas nécessairement les bienfaits (ce point est discuté en partie VI). Il serait envisageable de poursuivre davantage ces modifications en termes de MMS, transparence opérative ou de possibilités de conception continuée dans l'usage (offrir davantage de possibilités de personnalisation et de prise en main du scénario par l'opérateur). De plus, certains aspects ne sont mesurables qu'en situation écologique (dynamiques collectives et organisationnelles, par exemple). Les travaux futurs devront être attentifs à offrir une MMS plus importante/constante et une meilleure CCU.

Synthèse de la partie V (Étude 3 : étude de l'activité simulée d'opérateur de maintenance selon l'intensité de l'ECS)

La troisième étude avait pour objectif de mesurer la manière dont il était possible d'augmenter l'intensité de l'ECS dans une situation de travail. L'objectif étant de mesurer que cette augmentation ne nuise pas à la performance et que l'ECS soit bien perçue par les opérateurs.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons mis en place une étude quasi-expérimentale dont le but était de simuler une opération de consignation. Les consignations sont des opérations lourdes, programmées à l'avance et pour lesquelles une documentation est obligatoire pour les techniciens. L'objectif est d'isoler en énergie une machine (ou une partie d'une machine) afin de permettre d'effectuer des opérations de maintenance. Deux scénarios ont alors été simulés, un classique avec une procédure d'opération papier (G1), comme il est d'usage dans l'industrie, et un autre assisté par des lunettes de réalité augmentée (HoloLens 2). Lors du deuxième passage avec les lunettes, une « faible » (G1') ou une « forte » (G1'') ECS était induite. Le tableau 14 résume comment ces intensités ont été induites. Les variables étudiées étaient la performance, la charge de travail, l'acceptabilité, l'intention comportementale, le sentiment de satisfaction générale, la performance perçue, l'utilité perçue de la technologie émergente, les stratégies opératoires, les MMS perçues, la transparence opératoire (du mode opératoire et de la technologie), la perception des possibilités de CCU, le sentiment de prise en main de la technologie, le sentiment d'ajustabilité de la technologie, le sentiment d'implication dans le développement de la technologie et la représentativité de l'étude. L'intégralité des variables étudiées et de la méthode de mesure est résumée dans le tableau 13. Certaines de ces variables testent directement nos hypothèses (performance et perception des différents critères de l'ECS) et d'autres sont à titre exploratoire (satisfaction, charge de travail, acceptabilité, etc.).

Le traitement des résultats a été effectué grâce à des analyses qualitatives (analyses thématiques) et quantitatives (statistiques). Dans un premier temps, il semble intéressant de souligner que l'étude, bien que dans un environnement qui ne soit pas écologique, est considérée comme représentative.

Ensuite, en ce qui concerne la contribution de la technologie (G1 vs G1' et G1 vs G1''), nous observons globalement une amélioration de la situation avec les HoloLens 2. Elles réduisent la charge de travail globale et la charge mentale. Les sujets ont également un meilleur sentiment de satisfaction globale avec la technologie émergente, le sentiment de performance est amélioré.

Les stratégies diffèrent entre les groupes et les participants ont bien le sentiment d'avoir augmenté leur MMS en G1''. L'implémentation technologie a aussi augmenté la transparence opérative du mode opératoire et les possibilités de CCU sont perçues comme augmentées par l'implémentation de la technologie émergente en G1''.

Cependant, en ce qui concerne notre objectif, ce sont surtout les différences entre G1' et G1'' qui nous intéressent (« faible » et « forte » ECS), nous allons donc davantage en détailler les résultats. Les données (statistiques et l'énumération de l'analyse thématique) sont présentes en 2.3. Contributions de l'ECS (G1' vs G1''). Le questionnaire TAM nous permet de noter une forte tendance sur la dimension de l'intention d'utilisation qui est plus importante en G1''. Cependant, les réponses qualitatives semblent similaires et soulèvent principalement une diminution de la charge mentale, la diminution des allers-retours et davantage de simplicité/facilité. Le sentiment global de satisfaction tend à s'améliorer avec une ECS « forte », les éléments soulevés en G1' concernent la facilité/simplicité de la situation de travail alors que les sujets de G1'' mentionnent davantage le gain de vitesse par rapport à la situation initiale. Nous observons une réelle différence entre les groupes sur la perception de la MMS. Les participants de G1'' perçoivent l'augmentation de leur MMS, ils soulignent tout de même le manque de souplesse du mode opératoire mais surtout le gain de flexibilité sur l'ordre de certaines tâches, les différentes possibilités d'action et la liberté de mouvement. Les participants en G1' sont plus négatifs car ils soulignent des consignes très dirigées, un mode opératoire inflexible et une faible flexibilité sur l'ordre des tâches et les actions à réaliser (la flexibilité sur les mouvements est considérée comme satisfaisante). La différence d'intensité de l'ECS semble induire un changement de stratégies opératoires. En effet, alors qu'aucun changement n'est signalé par les membres de G1', ceux de G1'' soulignent la diminution de la charge mentale et la focalisation sur le guidage et l'interface des lunettes. En ce qui concerne la transparence opérative (du mode opératoire et de la technologie en elle-même) les différences ne sont pas significatives, hormis en ce qui concerne la perceptibilité des informations transmises par la technologie (supérieure en G1''). La principale différence est que les sujets de G1'' soulignent une bonne visibilité de l'information. Le sentiment de CCU est significativement plus faible chez les membres de G1' que chez ceux de G1''. Les sujets de G1' ressentent l'impossibilité de pouvoir modifier la situation même s'ils n'en ont pas ressenti le besoin, alors que les participants de G1'' soulignent la possibilité de CCU (avant l'activité) qui est portée principalement par l'interface. Enfin, le sentiment d'ajustabilité des lunettes est significativement plus élevé pour les membres de G1'' que pour ceux de G1'. Les sujets de G1'

n'ont pas trouvé ou pas eu l'impression qu'ils pouvaient régler l'interface, certains n'ont même pas essayé ou ont pensé que c'était impossible (contrairement à la partie physique qui est largement perçue comme réglable), contrairement aux sujets de G1'' qui considèrent que la partie physique et la partie virtuelle (flèche, couleur, etc.) étaient réglables. Ils considèrent que les modifications possibles sont satisfaisantes même s'ils en auraient souhaité davantage.

Cette troisième étude est la première tentative d'opérationnalisation de l'ECS, bien qu'originale, il en découle plusieurs limites. Lors de cette première tentative, les transformations étaient limitées (principalement de par la méconnaissance de la technologie et de sa programmation) ce qui peut expliquer les résultats partiels de l'expérience. Cependant, nous pouvons relever que les participants avec une « forte » ECS ont bien senti l'augmentation des critères bien qu'ils n'en ressentent pas nécessairement les bienfaits (ce point est discuté en partie VI).

Partie VI : Discussion concernant l'intérêt de l'ECS

Ces différentes études, avec des méthodes d'analyse très différentes, nous ont permis de tester l'intérêt de nos propositions sur l'ECS. Certains auteurs tels que Loup-Escande et Loup (2021) ont pu souligner la complémentarité des différentes méthodes d'analyse. Les auteurs soulignent que les approches expérimentales, écologiques et prospectives n'auraient pas les mêmes types de résultats et sont donc complémentaires.

Grâce à l'étude de cas multiples, nous avons pu constater comment se construisent ces projets et comment y sont intégrés le facteur humain de manière générale ainsi que les critères de l'ECS. Les différents cas illustrent que les critères de l'ECS semblent être déterminants (certaines fois décisifs comme pour le cas B et C) pour le bon fonctionnement du projet d'implémentation technologique. Cet impact concerne notamment le premier critère de l'ECS (cas B et C) et le second critère (cas A). De futurs travaux devront mettre à l'épreuve de nouveaux cas afin d'affiner notre proposition et étayer davantage sa pertinence.

En ce qui concerne la seconde étude, celle-ci nous a permis de mesurer comment notre proposition de l'ECS était perçue par les concepteurs des situations de travail. Notre objectif, avec la seconde étude, n'était pas de mesurer si la nouvelle situation respectait davantage les critères de l'ECS en comparaison avec la situation initiale (qui n'a pu être étudiée que par vidéo) mais plutôt de découvrir de quelle manière les étudiants-concepteurs pouvaient s'en saisir et traduire les différents critères sur le poste de travail. En effet, les situations produites par les étudiants-concepteurs n'ont pas été totalement prototypées. Nous avons évalué, en partie, des intentions mais nous n'avons pas pu analyser l'activité de l'opérateur. Nous relevons de l'appréciation de la prise en compte des critères de l'ECS que celle-ci est partielle au sein des 2 premières études exploratoires. En revanche, les critères de l'ECS sont bien pris en compte dans la seconde étude. Selon ces premiers résultats, l'accompagnement par un ergonome apparaît donc nécessaire pour que les étudiants-concepteurs puissent appréhender et se saisir des critères de l'ECS. Le vocabulaire utilisé est bien intelligible et amène les étudiants-concepteurs à agir autrement (initialement, les critères de l'ECS ne sont pas pris en compte spontanément). De futurs travaux devront approfondir la connaissance en ce qui concerne une méthode efficiente d'accompagnement.

Enfin, l'étude 3 nous a permis de simuler l'impact de l'intensité de l'ECS sur une situation de travail. Dans nos conditions expérimentales, l'implémentation d'une technologie émergente telle que les HoloLens 2 ne semble pas avoir le même impact selon l'intensité des caractéristiques de l'ECS. D'un point de vue global, nous avons réussi à concevoir une situation collaborative qui respecte davantage les critères de l'ECS et qui est bien perçue comme telle par les différents sujets. En effet, une majorité des caractéristiques mesurées représentant l'intensité des critères de l'ECS a bien été perçue par les sujets. En revanche, bien que l'ECS ne nuise pas à la performance, les différents sujets n'en ont pas ressenti le bénéfice. En tant que première tentative d'opérationnalisation de l'ECS, l'étude présente plusieurs limites telles que la faible intensité des transformations. Il semble important que cette proposition théorique puisse démontrer expérimentalement son intérêt car la mise en place d'une ECS en milieu écologique est une opération coûteuse (temporellement et financièrement) pour une entreprise. Lors de cette étude, les différences technologiques (entre G1' et G1'') n'ont pas été très importantes. Cette faible intensité du changement peut expliquer les résultats partiels de l'expérimentation. De futurs travaux devront veiller à augmenter cette intensité, et notamment offrir une meilleure MMS et une meilleure CCU (pour la situation avec une « forte » ECS).

Les études associées à notre proposition théorique de l'ECS nous ont permis d'obtenir les résultats évoqués précédemment. Ces résultats complémentaires soulèvent plusieurs points d'intérêt. Dans un premier temps, nous allons aborder au sein du chapitre 12, les technologies émergentes et la transversalité de l'ECS ainsi que les différentes formes d'interaction entre l'humain et la technologie. Par la suite, le chapitre 13 discutera des différents points que nous avons pu évoquer à propos de chaque critère de l'ECS et de la conduite du changement associée. Enfin, le chapitre 14 portera sur les limites et les apports de l'ECS ainsi que les différentes perspectives.

Chapitre 11 : rapport entre l'ECS, les technologies émergentes et les formes d'interaction entre l'humain et la technologie

1. Technologies émergentes et transversalité de l'ECS.

Nous avons réussi à concevoir une situation qui respecte davantage les critères de l'ECS grâce à une technologie de réalité augmentée (étude 3), mais ferions-nous le même constat, avec une autre technologie émergente implémentée ? Dit autrement, est-ce que la nature de la technologie émergente peut influencer (favoriser ou défavoriser) la mise en place d'une ECS ? Notre étude de cas multiples nous permet de répondre en partie à cette question. Les 3 cas étudiés illustrent que la performance réelle (dont la performance socio-technique) n'est pas meilleure, les MMS ne sont pas améliorées et l'organisation ne soutient pas réellement les possibilités de CCU. Bien sûr, dans chaque cas, des éléments de contexte semblent pouvoir compenser partiellement ces déficits (au moins à court terme). Les résultats liés aux différentes technologies émergentes nous semblent donc homogènes, ce qui implique que de futurs travaux devront intégrer ces dimensions contextuelles, pour en apprécier l'importance en fonction des trois critères.

De l'anthropologie des techniques de Marcel Mauss (Mauss, 1936) jusqu'aux auteurs contemporains en ergonomie de l'activité (Daniellou & Rabardel, 2005), les questions fondamentales restent présentes, tout en étant renouvelées du fait des propriétés des nouveaux outils. Ce constat confère à notre proposition d'ECS une validité transversale et longitudinale appréciable, du fait de la rapidité des changements technologiques contemporains. Nous prenons alors le parti pris, à travers l'ECS, de donner un statut secondaire aux caractéristiques des artefacts et de polariser notre intérêt sur la conception d'une situation d'usage qui doit tendre vers un déploiement de l'activité (quelle que soit la technologie émergente étudiée). Les critères de l'ECS visent à évaluer cette extension des capacités d'action à l'occasion de l'implémentation technologique. Cela nous permet également de proposer une vision générale non conditionnée par les propriétés très évolutives des technologies étudiées. Ces caractéristiques (parfois très différentes) des technologies émergentes peuvent tout de même favoriser ou limiter la mise en place d'une ECS. Par exemple, certaines technologies, telles que l'exosquelette du cas C, sont difficilement modifiables (hors de ce qui a été prévu par les concepteurs). Au contraire, pour d'autres technologies telles que les lunettes de réalité

augmentée du cas B, bien que le « hardware » (les lunettes en elles-mêmes) soient difficilement modifiables, il est beaucoup plus aisé de modifier le « software » (le logiciel embarqué). Ces modifications (applications non prévues dans le logiciel initial, par exemple) sont alors beaucoup plus simples à effectuer par les opérateurs ou le service support.

Notre proposition théorique autour de l'ECS semblerait donc pertinente indépendamment du type de technologie émergente étudiée. Les critères de l'ECS qui concernent le soutien au déploiement de l'activité des opérateurs, abordent bien des dimensions transversales qui ne sont qu'en partie indexées sur la nature des technologies émergentes. Cette nature peut influencer la mise en place d'une ECS mais ne semble pas la remettre en cause. Cependant, notre bilan est plus mitigé en ce qui concerne les différentes formes de collaboration entre l'humain et la technologie émergente.

2. Impact de l'ECS sur les formes d'interaction humain-technologie émergente.

Nous trouvons le mot « collaboration » dans notre proposition de l'ECS. En effet, c'est souvent ce qui est annoncé ou visé lors de l'implémentation d'une technologie émergente. L'étude de nos résultats interroge l'existence de telles interactions. À ce propos, nous pouvons tirer de nos études plusieurs interprétations sur le niveau d'interaction observé entre les humains et les technologies émergentes ainsi que sur l'impact qu'a l'ECS sur cette interaction.

Les différents cas présentent des interactions assez hétérogènes, en ce qui concerne les degrés de collaboration entre l'humain et la technologie émergente. Les différentes classifications que nous allons utiliser ne sont pas exhaustives par rapport à ce que nous pouvons trouver dans la littérature scientifique. En revanche, elles sont représentatives et reconnues dans leurs différents champs et ont l'intérêt d'illustrer notre propos. Afin d'illustrer cette discussion, nous allons détailler l'exemple du cobot dans le premier cas de notre étude de cas multiples.

Dans le premier cas (cas A), lors des interactions entre les opérateurs et le cobot, nous n'observons pas une collaboration, au sens de Jansen et al. (2018) car il y a un partage d'espace de travail (bien que séparé par une cage), il y a un partage de temps de travail, et un partage de buts (même si les sous-butts sont différents), mais il n'y a pas de contact. Nous serions donc dans une coopération.

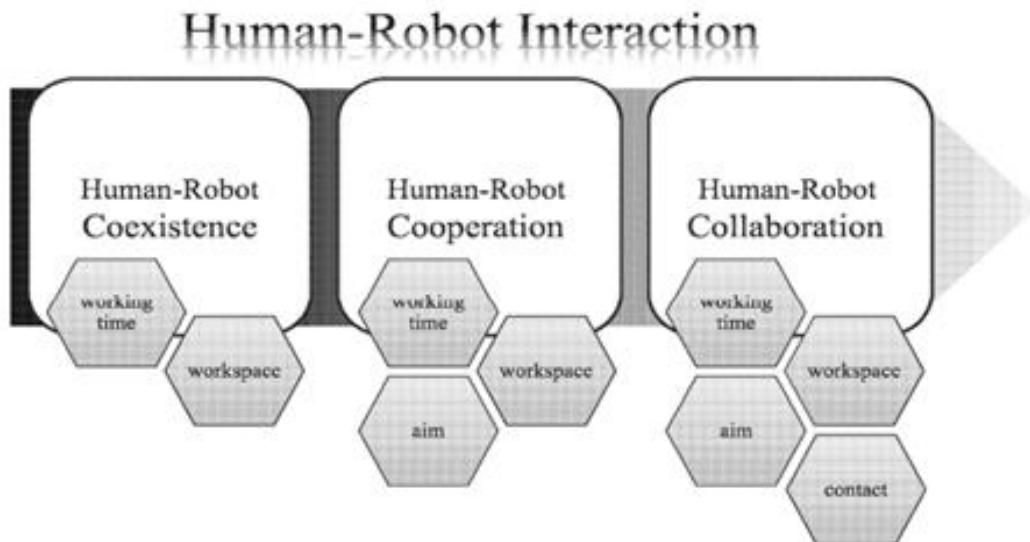


Figure 59. Classification des interactions humain-robot proposée par Jansen et al. (2018).

Selon la classification présentée par Morais (2018), la collaboration serait d'un niveau 2 car il n'y a pas d'interactions directes entre l'humain et le cobot. Elles sont médiées par une plateforme rotative et les actions sont alternées. Nous observons deux espaces de travail séparés par une cage en verre. Le cobot réalise bien son travail en fonction de l'opérateur et s'adapte à son rythme.

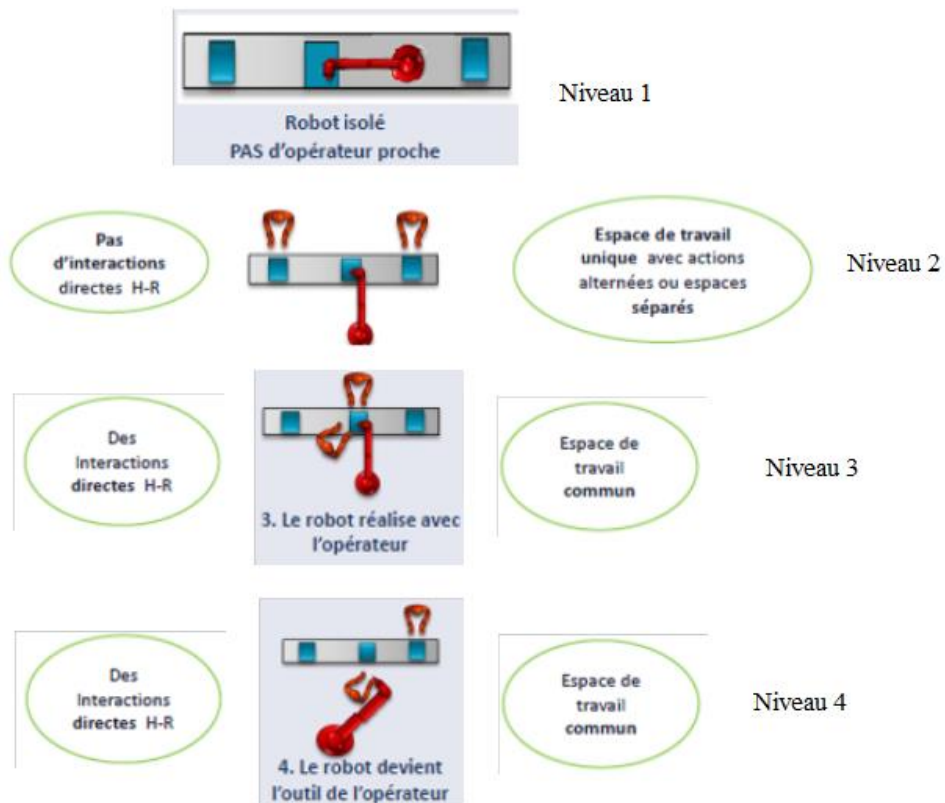


Figure 60. Classification des niveaux de collaboration humain-robot (Morais, 2018).

Bdiwi et al. (2017) proposent encore une autre forme de classification des interactions. Nous serions ici au niveau 2 car nous observons bien une zone de coopération mais sans contact.

Interaction Level		Zone Name	Zone State	Human Robot Cooperation	Robot presence	Human presence	Robot state	
Level 1	Shared Workspace Without shared task	Zone 1	Safe-Zone	Static	No	No	Yes	Max-Speed
		Zone 2	Danger-Zone	Dynamic/Static	No	Yes	No	Stop
Level 2	Shared Workspace Shared task without physical interaction	Zone 1	Safe-Zone	Static	No	No	Yes	Max-Speed
		Zone 2	Coop.-Zone	Dynamic/Static	Without Contact	Yes	Yes	Reduced-Speed
		Zone 3	Danger-Zone	Dynamic/Static	No	Yes	No	Stop
Level 3	Shared Workspace Shared Task Handing-over	Zone 1	Safe-Zone	Static	No	No	Yes	Max-Speed
		Zone 2	Coop.-Zone	Dynamic/Static	Without Contact	Yes	Yes	Reduced-Speed
		Zone 3	Coop.-Zone	Dynamic/Static	Handing-over	Yes	Yes	Hybrid Control
		Zone 4	Danger-Zone	Dynamic/Static	No	Yes	No	Stop
Level 4	Shared Workspace Shared Task With physical interaction	Zone 1	Safe-Zone	Static	No	No	Yes	Max-Speed
		Zone 2	Coop.-Zone	Dynamic/Static	Without Contact	Yes	Yes	Reduced-Speed
		Zone 3	Coop.-Zone	Dynamic/Static	Physical Contact	Yes	Yes	Hybrid Control
		Zone 4	Danger-Zone	Dynamic/Static	No	Yes	No	Stop

Figure 61. Classification des niveaux d'interaction humain-robot (Bdiwi et al., 2017).

Enfin, Kolbeisson et al. (2018) proposent une classification sous la forme d'un continuum d'interactions entre l'humain et le robot, ce qui peut aussi être une bonne manière de questionner l'interaction observée qui semble aussi se rapprocher d'une coopération (selon cette classification). En effet, nous ne sommes pas dans une situation qui soit totalement contrôlée par l'humain ou par le cobot et les deux acteurs partagent bien une tâche avec des interactions ponctuelles telles que le fait que le cobot doit attendre le travail de l'humain (et inversement).

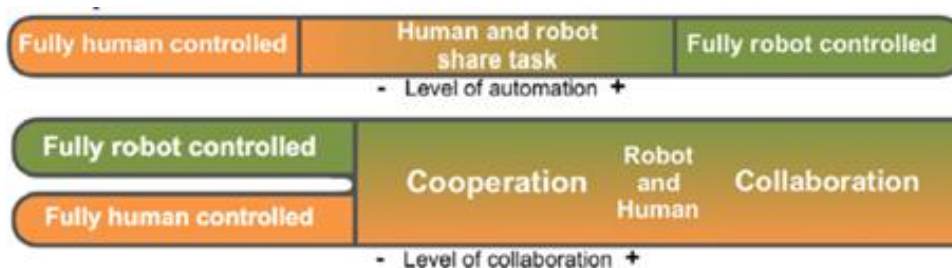


Figure 62. Vue générale du LoA (niveaux d'autonomie) et LoC (niveaux de collaboration) (Kolbeisson et al., 2018).

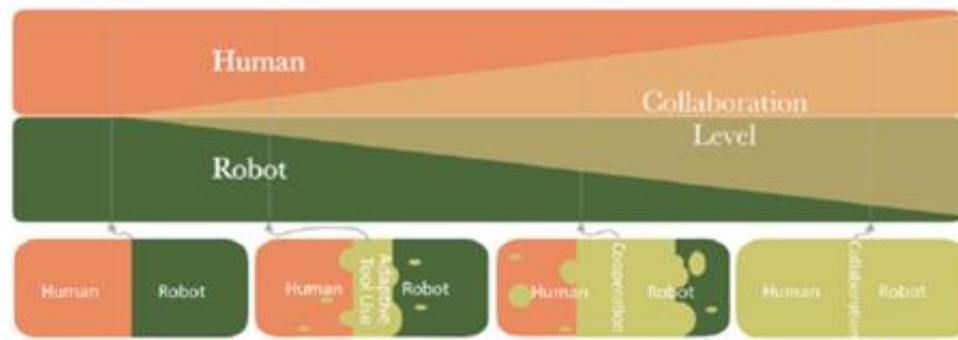


Figure 63. Visualisation du niveau de collaboration (Kolbeinsson et al., 2018).

Ces différentes classifications nous montrent que la zone de contact semble être un élément déterminant pour définir le niveau d'interaction qu'entretiennent l'humain et le cobot. On peut également en retenir que le plus haut niveau d'interaction (la collaboration selon Jansen et al. (2018)) n'est pas atteint.

Du côté des types d'interactions entre les humains, Barthe et Quéinnec (1999, p. 670) décrivent la coopération comme : « le processus par lequel des opérateurs effectuent une activité en commun », c'est un processus finalisé, actif et organisé dans le temps. Elle est organisée et s'organise dans le sens où l'activité doit être structurée et ordonnée. Si l'on utilise cette classification, nous pourrions aussi qualifier l'interaction humain-cobot observée dans le cas A, de coopération. En effet, cette interaction est dirigée vers l'atteinte d'un objectif (l'assemblage de la pièce), elle est organisée (au niveau des tâches et de leur séquençage) et peut évoluer (le cobot et l'humain peuvent adapter leur vitesse ou interrompre la production en cas de panne, par exemple). En revanche, la collaboration correspond plutôt, contrairement à la coopération (distribuée), à une activité dont les sous-buts ou buts immédiats des tâches de chaque coéquipier sont identiques.

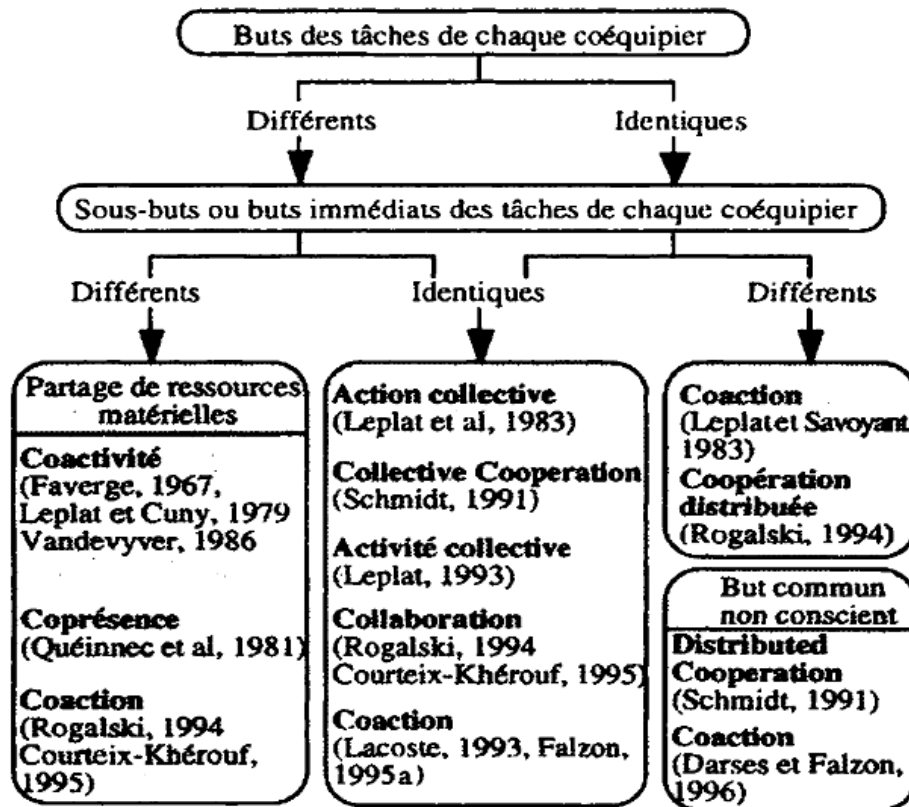


Figure 64. Classification des interactions humain-humain (Barthe & Queinnec, 1999).

Enfin, De la Garza et Weill-Fassina (2000) décrivent la coopération comme une situation dans laquelle des opérateurs travaillent ensemble sur un même objet ou un objet proche, il est donc nécessaire que ces opérateurs visent le même but proximal. Cela implique un partage du travail en fonction des ressources disponibles (connaissances et compétences, connaissance sur l'état de santé des uns et des autres, etc.) et des exigences immédiates du travail (Cuvelier & Caroly, 2011). Ils décrivent également la collaboration comme une situation dans laquelle des opérateurs poursuivent sur un même objet, des opérations différentes qui s'articulent les unes aux autres avec un but commun à court ou à moyen terme (De la Garza et Weill-Fassina, 2000).

Dans le cas A, en suivant De la Garza et Weill-Fassina (2000), nous serions potentiellement dans une collaboration. L'opérateur et le cobot poursuivent un même but, effectuent des opérations différentes qui s'articulent entre elles, avec un but commun à court terme.

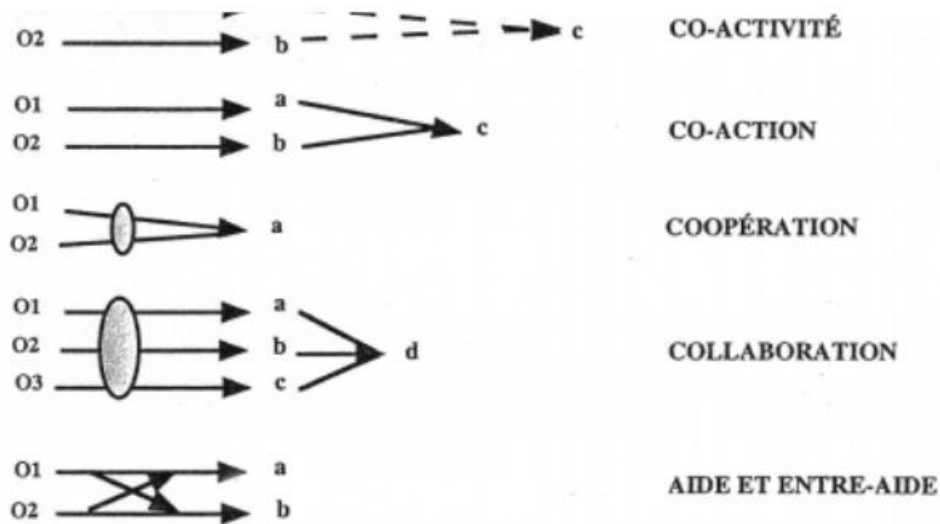


Figure 65. Classification des interactions, proposée par De la Garza et Weill-Fassina (2000).

Maintenant que ces différentes classifications nous sont familières, nous pouvons étendre cette réflexion aux autres technologies émergentes étudiées. Selon ces types de classifications nous obtenons le tableau suivant :

Tableau 17. Classification, par auteurs, des types d'interactions entre la technologie émergente étudiée et l'humain.

Classifications des types d'interactions entre 2 entités selon les différents auteurs							
Technologie émergente	Jansen et al. (2018)	Morais (2018)	Bdiwi et al. (2017)	Kolbeinsson et al. (2018)	Barthe et Queinnec (1999)	De la Garza et Weill-Fassina (2000)	
Cobot (Yumi, cas A – étude 1)	Coopération	Niveau 2	Niveau 2	Coopération	Coopération distribuée	Collaboration	
Lunettes RA (HoloLens 1, cas B – étude 1)	Collaboration	Niveau 4	Niveau 4	Collaboration	Collaboration	Coopération	
Exosquelette (IP-12, cas C – étude 1)	Collaboration	Niveau 4	Niveau 4	Collaboration	Collaboration	Coopération	
Cobot (PANDA du groupe 1, étude 2)	Coopération	Niveau 3	Niveau 2	Coopération	Coopération distribuée	Collaboration	

Cobot (PANDA du groupe 2, étude 2)	Coopération	Niveau 3	Niveau 2	Coopération	Coopération distribuée	Collaboration	
Lunettes (HoloLens version « forte intensité d'ECS », étude 3)	RA 2	Collaboration	Niveau 4	Niveau 4	Collaboration	Collaboration	Coopération
Lunettes (HoloLens version « faible intensité d'ECS », étude 3)	RA 2	Collaboration	Niveau 4	Niveau 4	Collaboration	Collaboration	Coopération

Cette nouvelle interrogation des résultats, à la lumière de ces différentes classifications, nous permet de souligner que, conformément à ce que nous pouvons observer en industrie (Compan et al., 2021a ; Compan et al., 2021b ; Compan et al., sous presse), nous ne constatons pas de réelle collaboration entre l'humain et le cobot (hormis selon la classification de De la Garza et Weill-Fassina (2000), qui semble à la marge dans ce qu'elle nomme collaboration). Les cobots, de par leurs conditions d'implémentations ont un faible niveau d'interaction, et peuvent même être utilisés de manière autonome, le couple Humain-Machine s'en trouve donc affaibli. En revanche, le constat est plus mitigé en ce qui concerne les autres technologies émergentes étudiées (RA et exosquelette) où les sous buts immédiats communs (Barthe & Queinnec, 1999) et le contact (Bdiwi et al., 2017 ; Jansen et al., 2018 ; Kolbeinsson et al., 2018 ; Morais, 2018) semblent favoriser la collaboration. Cependant, la classification de La Garza et Weill-Fassina (2000) semble divergente car on y observe de la coopération. Il est donc possible que ce niveau d'interaction entre la technologie émergente et l'humain soit, en partie, favorisé par certaines technologies.

De plus, l'intensité de l'ECS ne semble avoir aucun impact sur le niveau d'interaction entre l'humain et la technologie. En effet, dans les études 2 et 3 nous disposons de plusieurs manières d'appréhender une situation de production simulée dont la technologie émergente est similaire, ce qui autorise quelques comparaisons. Selon les différentes classifications, le cobot (étude 2) du groupe 1 et celui du groupe 2 disposent du même niveau d'interaction avec l'humain dans les deux sections du poste de travail. Le constat est identique en ce qui concerne les lunettes RA, de l'étude 3, dans la situation avec une « forte intensité d'ECS » et dans la situation avec

une « faible intensité d'ECS ». Nous pouvons donc en déduire que l'intensité de l'ECS n'influencerait pas significativement le niveau d'interaction entre l'homme et la technologie émergente. L'ECS caractériserait donc des possibilités d'action pour le sujet, essentiellement organisées autour des possibilités d'instrumentalisation, qui semblent relativement indépendantes du type d'interaction.

Deux possibilités semblent apparaître pour expliquer ce point. Soit le niveau d'interaction est davantage technodépendant que dépendant de l'intensité de l'ECS, soit les classifications utilisées ne conviennent pas. Il sera donc utile, à l'avenir, d'investiguer plus précisément cet impact de l'ECS sur les niveaux d'interaction entre l'homme et la technologie émergente.

Chapitre 12 : l'ECS et la conduite du changement

La conduite du changement est un facteur clé conditionnant la qualité d'une ECS. Au cours des différents cas, nous avons pu voir des conduites du changement très différentes, ce qui peut nous interroger sur plusieurs points par rapport à la mise en place d'une ECS. Nous aborderons donc ci-dessous ces différents points concernant l'interaction entre les critères d'une ECS et la conduite du changement, ainsi que la potentielle place de la conduite du changement au sein de l'ECS.

1. Concernant le premier critère de l'ECS lié à l'apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante et au maintien de cet apprentissage

Notre second et notre troisième cas de l'étude de cas multiples illustrent le caractère décisif de ce critère. Il semblerait que, si la technologie émergente n'est pas considérée comme utile, alors celle-ci n'est pas utilisée, indépendamment de son type.

Nous pouvons aussi souligner que l'amélioration effective de la performance semble souvent être le critère premier d'une implémentation technologique (illustré dans le cas B de l'étude 1 mais aussi dans l'étude 2).

Nous observons également que, dans l'étude 2, le maintien de l'amélioration de la performance est abordé d'une manière réductrice et non située par les quatre groupes « externes ». Ils ont abordé les solutions pour l'augmentation de la performance d'un point de vue technocentré, sur les outils, et jamais d'un point de vue organisationnel. Or, comme nous avons pu le souligner précédemment, la performance est aussi socio-technique. Il est classiquement question de mesure de vitesse ou de taux d'erreur mais pas des dynamiques collectives ou organisationnelles. Il est possible, pour l'étude 2, que si les étudiants avaient eu plus de temps afin de mettre en place les modifications prévues, nous aurions pu constater une meilleure interaction entre le cobot et l'opérateur et donc une meilleure performance. De plus, si on remplace ce poste de travail prototypé dans un scénario de production, on pourrait défendre à certaines conditions, que les étudiants auraient pu produire une situation davantage performante

(la performance est également sociale) et plus capacitante du point de vue de la collaboration (tâches combinées, adaptabilité et personnalisation du cobot, etc.).

En ce qui concerne l'étude 3, une intensité d'ECS plus élevée ne semble pas améliorer de manière significative la performance globale des participants ni même leur sentiment de performance. Nous faisons le même constat concernant la facilité d'utilisation ou l'utilité du dispositif. Ceci pourrait également être conditionné par les limites d'une situation de travail expérimentale. De plus, sur la base des analyses des verbatims regroupés selon les groupes sociodémographiques, nous n'observons pas de différences qui semblent qualitativement significatives, par rapport aux analyses principales. Cependant, bien que les résultats ne soient pas significatifs, dans notre étude, une ECS avec une intensité plus élevée tend à favoriser l'intention d'utilisation et à améliorer la satisfaction générale. Les participants semblent donc percevoir des intérêts diffus pour la technologie, mais ceux-ci ne seraient pas suffisamment intenses pour s'exprimer de manière significative.

D'un point de vue plus micro, le sentiment de satisfaction globale semble être très lié au sentiment de performance (statistiquement ainsi que qualitativement). Ce sont les mêmes types de verbatims que l'on retrouve dans G1' et G1'', notamment la rapidité et la simplicité/facilité de travail avec le dispositif de réalité augmentée.

2. Concernant le second critère de l'ECS lié aux possibilités et manières de faire disponibles

Dans l'étude 1, nous n'observons pas un accroissement des possibilités et manières de faire mais plutôt une réduction (potentielle ou effective). Au sein du cas A, cette MMS ne semble pas avoir évolué lors de l'implémentation du cobot. Celle-ci reste insuffisante car l'opérateur ne dispose que d'une seule manière d'effectuer ses tâches (malgré quelques régulations improvisées). Le cas B et le cas C sont un peu plus contrastés car nous n'observons pas de perte de MMS. Les possibilités et manières de faire sont très dépendantes, ici, de l'usage pour le cas B (selon l'intervention et le scénario) ou de l'évolution des situations (cas C). Il est donc possible que ces possibilités de manières de faire soient inchangées ou diminuées par rapport à la situation de référence.

Dans l'étude 2, en ce qui concerne les groupes « externes », ce second critère de l'ECS est mitigé. Certaines solutions techniques, comme les outils des groupes 3 et 4, peuvent

potentiellement être problématiques. Si nous prenons l'exemple du casque anti bruit proposé par le groupe 4, celui-ci pourrait ne pas permettre aux experts d'écouter des bruits pertinents. Nous aurions pu imaginer d'autres solutions techniques comme des bouchons d'oreilles filtrant les sons. Les solutions techniques ne sont pas coconstruites et peuvent donc passer à côté d'informations pertinentes des différents acteurs de terrain. Enfin, le groupe 2 ne propose que des solutions génériques et non personnalisables.

Dans l'étude 2, en ce qui concerne les groupes suivis, l'accompagnement via les critères de l'ECS a bien permis aux groupes de se saisir de cet aspect. Bien que notre étude de cas multiples et le suivi des groupes « externes » montrent que ce second critère de l'ECS n'est pas pris en compte spontanément par les concepteurs des situations de travail, nos groupes suivis ont respecté ce critère. Le groupe 1 conçoit une situation qui présente plusieurs positionnements et conditionnements possibles de la mallette. Le groupe 2, a plutôt automatisé la partie gravure mais la partie nettoyage présente l'idée d'un crochet modulable qui permettrait plusieurs manières d'agir.

Dans l'étude 3, la MMS est perçue comme significativement supérieure en G1'' qu'en G1'. La perception de l'évolution de la MMS est également significativement supérieure en G1'' comparé à G1'. Le point notable est que dans G1', la MMS semble avoir diminué (-0,565) par rapport à G1, alors que dans G1'', elle a nettement augmenté (5,21), toujours par rapport à G1. Ainsi, les participants ont clairement ressenti l'augmentation de leur MMS en lien avec l'augmentation de l'intensité d'une ECS. Cependant, l'augmentation de la MMS n'est perçue qu'entre G1 et G1''. Cela signifie que la perte potentielle de MMS entre G1 et G1' ne peut être démontrée. Une faible MMS peut avoir des conséquences diverses. La réduction très forte de la MMS (Coutarel et al., 2015) conduit à des situations où il est impossible d'atteindre les objectifs, même au prix d'une mobilisation coûteuse. Notre étude 3 apporte une amélioration de cette MMS en donnant aux sujets un choix lors de certaines étapes clés du mode opératoire. Selon Coutarel et al. (2015), une faible MMS peut conduire à une détérioration du collectif de travail et/ou à une baisse de la performance.

Se pose également la question du rapport entre l'expertise et la MMS. Il est possible que les novices préfèrent une situation avec une faible MMS et que ce n'est qu'une fois la situation de travail maîtrisée que les MMS dévoilent le plus leur avantage. Concernant l'étude 3, il aurait pu être envisageable que les lunettes puissent potentiellement indiquer des passages conseillés que les experts pourraient contourner en fonction du contexte.

Nos 2 premières études nous permettent de constater que l'ECS fournit des critères de conception exigeants (comme l'élargissement des manières de faire disponibles) qui sont spontanément laissés de côté par les concepteurs. Pourtant, les acteurs que nous avons pu interroger ont une perception globale positive de ces projets. Plusieurs interprétations sont envisageables. Il se pourrait que ce second critère de l'ECS, issu de la littérature scientifique sur la marge de manœuvre, ne soit pas pertinent dans ce contexte. Il se pourrait également que ce critère soit plus difficile à rencontrer dans le management de projets actuels ou encore que les opérateurs concernés n'aient pas vécu négativement l'absence de cet accroissement de leurs possibilités et manières de faire. Les différents acteurs, notamment les opérateurs, pourraient s'être habitués à ce qu'on ne leur propose pas ce degré de liberté. De plus, le remplacement fréquent au poste (par exemple, le turn-over du cas A), pourrait ne pas permettre aux opérateurs d'entrevoir les aspects négatifs d'un déficit de MMS.

3. Concernant le troisième critère de l'ECS lié à l'ajustement des attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps.

En ce qui concerne la transparence opérative (Rabardel, 1995), nécessaire à la CCU, les résultats de la seconde étude nous montrent que celle-ci est travaillée par des modalités qui ne sont pas portées par le robot mais par des dispositifs externes (fascicule, formation, etc.) qui représentent donc un coût supplémentaire pour l'utilisateur. Ce constat semble également présent dans le premier cas de l'étude 1 (les cas B et C n'ont pas illustré de défaillance sur cette transparence opérative). Des solutions pourraient être envisagées directement sur le cobot. Il est, par exemple, possible que la transmission d'informations soit permise en situation grâce à un système de synthétisation vocale ou encore grâce à des éléments visuels clairs sur le cobot (texte, code couleur, etc.). Ce type de solutions pourrait émerger en favorisant les espaces de discussion et les pratiques réflexives (Falzon, 2005) et un accompagnement plus prescriptif par l'ergonome. La présence d'un facilitateur (Schoville, 2015) pourrait également favoriser cette transparence. Les solutions techniques proposées (crochet, rails, etc.) ne sont pas non plus discutées avec les acteurs de terrain. Toujours dans notre étude 2, en ce qui concerne les groupes « externes » : le troisième critère est faiblement pris en compte du point de vue de la transparence opérative (la moitié des groupes). Lorsque la notion de transparence opérative est abordée, celle-ci, à l'image des groupes de notre étude, porte sur des assistances externes

(notices, affiches, etc.) et donc peut potentiellement représenter un coût supplémentaire pour l'opérateur. En ce qui concerne l'étude 3, le constat est mitigé pour la transparence opérative. La différence n'a été perçue que sur la perceptibilité des informations transmises par les lunettes (comme le chemin interdit, par exemple, en G1'', qui n'apparaît pas en G1'). Cela inclut que cette amélioration n'a pas été perçue dans la partie compréhension et accessibilité de la transparence opérative. L'étude 2, tout comme les résultats de l'étude 3, illustre donc à quel point cette transparence opérative peut être difficile à manipuler.

À propos de la CCU, les groupes « externes » de notre seconde étude ne prennent globalement pas en compte spontanément cette dimension, même du point de vue individuel. L'étude 3 nous permet aussi d'illustrer certaines lacunes. Bien que nous ayons une condition respectant davantage les critères de l'ECS, certains textes étaient tout de même difficiles d'accès car affichés au-dessus du poste de travail ce qui impliquait que les sujets devaient régulièrement lever la tête pour les lire. Cela impliquait que l'information était absente du champ de vision principal du sujet et pouvait l'amener à développer des postures contraignantes. Une CCU permettant de déplacer les encarts de texte à la guise de l'opérateur aurait été une solution à ce problème. Ceci illustre en partie l'idée que nos critères de l'ECS ne sont pas « respectés » ou « non respectés » mais se situent plutôt sur un continuum de « insatisfaisant » (« très faible intensité de l'ECS ») à « très satisfaisant » (« très forte intensité de l'ECS »). Il conviendra d'affiner ces appellations que nous nommons pour le moment « balance insatisfaisante », « balance mitigée » et « balance satisfaisante ». Toujours au sein de l'étude 3, G1'' perçoit bien qu'ils ont davantage de possibilités de CCU par rapport à G1'. Tout comme la MMS et la transparence opérative, nous pouvons penser que ces facteurs seraient davantage perçus dans une situation plus écologique. Par ailleurs, il est probable que nos résultats mitigés soient le fruit d'une intensité limitée de l'ECS. En effet, les changements apportés, de par des restrictions techniques, ne sont pas très importants. Les résultats seraient alors, peut-être, davantage convaincants si nous disposions d'une technologie émergente (et d'une connaissance suffisante associée) qui permettrait de mieux suivre les caractéristiques de l'ECS (notamment en ce qui concerne le dispositif et son réglage).

Cependant, lorsque la CCU n'est pas envisageable directement par l'opérateur, des conditions organisationnelles et/ou collectives sont nécessaires afin de pouvoir modifier la situation de travail (notamment la technologie émergente) afin qu'elle convienne mieux à l'activité. Il est donc nécessaire de favoriser des temps de régulation et de débat sur le travail (Clot, 2012 ;

Falzon, 2005 ; Rocha et al., 2017) qui permettent notamment de lutter contre le « silence organisationnel » (Rocha et al., 2017). Malheureusement, de par la nature des expérimentations, il n'a pas été possible de mesurer les aspects collectifs et organisationnels de ce critère pour les études 2 et 3. L'étude 1 est donc notre principale source d'informations concernant cet aspect du troisième critère de l'ECS. Dans les trois cas analysés, nous ne percevons pas, en marche courante, de temps formels d'échanges avec les services supports, notamment avec les ingénieurs (spécialistes de la technologie émergente). Cette équipe Méthodes (cas A) et ces intégrateurs (cas B) sont difficilement mobilisables (mais cela reste envisageable) bien que les retours pourraient ne pas être toujours écoutés pour le cas A. En revanche, les concepteurs et spécialistes de l'exosquelette (cas C) ne sont pas accessibles. L'importance de la facilité de sollicitation et de réactivité des services supports n'est plus à prouver, notamment lorsque les transformations désirées ne sont pas ou ne peuvent pas être directement portées par les utilisateurs. Ces difficultés impactent négativement les possibilités de genèse instrumentale.

4. Concernant la conduite du changement favorable à l'ECS

De par la nature des expérimentations, il n'a pas été possible de mesurer les critères concernant la conduite de projet, au cours des études 2 et 3.

En ce qui concerne la première étude, le cas B illustre ce que pourrait être une conduite du changement satisfaisante (hormis du point de vue de l'évaluation précoce de l'utilité de la technologie émergente). Pourtant, la situation analysée dans le cas A semble être plus favorable que dans le cas B et le cas C. Le contexte pondère alors l'impact de certains facteurs au détriment d'autres. Bien que les acteurs des 3 cas soient satisfaits du projet, la faible utilité du dispositif pour le cas B et le cas C paraît déterminante en ce qui concerne la non adoption du dispositif dans un temps court. Les situations de travail dans les cas B et C sont donc davantage défavorables que celle du cas A. Cet écart semble indépendant de la conduite du changement, dans son ensemble (favorable dans le cas B et défavorable dans le cas C), et pourrait être expliqué par l'importance de l'expertise des opérateurs pour le cas B et l'inadéquation de la technologie émergente pour le cas C (l'exosquelette essayé ne convient pas à cette situation). Nos analyses concernant la conduite du changement du cas B et du cas C soulignent une faiblesse dans l'évaluation précoce de l'utilité du futur dispositif. Ces deux cas pourraient être

considérés comme une étude d'opportunité ou d'utilité bien que le cas B soit un peu différent car la technologie émergente est réellement déployée, pour usage. Ces cas semblent analogues aux résultats de Lafeuillade et al. (2021, p. 125) concernant les intentions des managers lors d'un investissement technologique : « clarifier les possibilités technologiques des robots collaboratifs ». Au sein de cette conduite du changement, les investissements sont mobilisés pour « voir », pour ne pas être en retard dans l'investissement d'une technologie qui pourrait être décisive (et dont son utilité n'est pas prouvée). Ces conduites du changement sont alors largement de type « techno-push ». Selon nous, ces motivations sont insuffisamment précises pour guider la conception des situations d'usage. Dans ces projets, la technologie émergente est toujours considérée comme utile théoriquement, mais n'est pas adaptée au milieu spécifique que ce soit lié à l'expertise pour le cas B ou aux différentes contraintes (notamment environnementales) pour le cas C. La technologie émergente, non adaptée, n'est alors pas utile selon les critères de performance mobilisés par les différents acteurs (vitesse, taux d'erreur, ...). En revanche, le contexte du cas A illustre un projet industriel calculé et évalué (même s'il y a une conduite du changement insatisfaisante). Le contexte, mis en avant par les travaux portant sur la recherche évaluative concernant les interventions (Albert et al., 2018 ; Nielsen & Randall, 2013), apparaît être un élément décisif en ce qui concerne la prise en compte des critères d'une ECS mais également pour la prise en compte de la conduite du changement. Si l'on considère qu'un projet d'implémentation d'une technologie émergente est proche d'une intervention, de futurs travaux pourraient explorer l'intérêt des acquis concernant la recherche évaluative pour analyser ces projets. L'objectif serait alors de voir s'il est possible de lier les conditions de contexte qui, au vu de l'interprétation que nous pouvons faire de nos résultats, semblent importantes aux conditions de résultats de l'évaluation de l'ECS et du processus de conduite du changement. Selon Albert et al. (2018), il est pertinent que l'évaluation permette de préciser comment le contexte influence l'intervention et les effets obtenus. Nos résultats semblent indiquer que, si les conditions de conduite du changement restent importantes, elles peuvent ne pas suffire à expliquer, par exemple, les critères précis relatifs à la performance future présents dans l'ECS.

Chapitre 13 : limites, apports et perspectives de l'ECS

Les différents résultats exposés précédemment autorisent quelques clarifications à propos de l'ECS. Ces clarifications concernent les aspects collectifs et organisationnels qui n'ont pu être évalués dans l'étude 2 et 3, le caractère situé de l'ECS, les difficultés d'accès au terrain et les conditions minimales d'évaluation de l'ECS, la question du dépassement par l'ECS de la simple perception de la satisfaction et, enfin, les modalités de transmission des différents critères de l'ECS.

1. L'ECS s'évalue aussi en fonction des aspects collectifs et organisationnels et avec une situation de référence

L'évaluation produite grâce à une ECS est située. Cette appréciation est nécessairement évolutive tout comme le sont les différents acteurs et les situations de travail elles-mêmes. Une situation avec une forte intensité d'ECS pourrait être vécue différemment par la suite, selon les différentes évolutions (technologiques, de l'opérateur, de l'environnement, des attentes de l'organisation, ...).

Cet aspect dynamique des situations confère à l'ECS une validité en tant qu'outil pour accompagner une organisation au sein d'une amélioration continue. Tôt ou tard, l'évolution de la situation de travail conduira à la nécessité de changements. Ces changements définiront un nouvel horizon pour une nouvelle ECS (dont les critères seront d'autant plus respectés). Ces évolutions se situent dans la lignée de la CCU (Folcher & Rabardel, 2004). Intégrée dans une organisation, une conduite du changement capacitante (favorisant donc la conception continuée d'une ECS) pourrait constituer un « cycle de conception capacitante », s'appuyant sur les processus de genèse instrumentale, soutenus localement par le management de proximité à l'échelle de l'opérateur, et parfois plus institutionnellement par la possibilité de solliciter les services compétents (quand les évolutions souhaitables dépassent le champ d'action de l'opérateur et de son équipe). Il est possible que cette sollicitation puisse conduire à concevoir vraiment différemment l'artefact technologique, ce qui engagerait un nouveau cycle de conception (Rabardel, 1995). A ce titre, la question de l'intégration des critères de conduite du changement dans notre modélisation de l'ECS se pose. Le développement professionnel suppose parfois une transformation majeure de l'organisation et/ou de l'artefact. Une ECS

pourrait intégrer des critères relatifs aux conditions de son propre dépassement, et non plus uniquement ceux relatifs à l'évolution de la situation de référence devenue insuffisamment capacitante.

Malheureusement, de par la nature expérimentale de la seconde et de la troisième étude, seuls certains aspects de l'ECS ont pu être testés. Toujours avec cet objectif d'observer les dynamiques collectives et organisationnelles et ainsi mesurer la capacité de l'organisation à se renouveler elle-même, il aurait pu être intéressant de mesurer comment peut être reçue l'ECS (par les concepteurs comme le propose l'étude 2 et par les opérateurs comme le propose l'étude 3) en situation écologique.

Enfin, lors de la mise en place d'une ECS, sur le terrain, il est essentiel d'étudier le type de gestion ainsi que les possibilités de CCU à long terme, celles qui nécessitent l'intervention du collectif ou de l'organisation. En effet, afin de permettre formellement les possibilités d'expression de l'opérateur, il est nécessaire de mettre en place des espaces de débat sur le travail et/ou des temps de régulation collective (Clot, 2012 ; Falzon, 2005 ; Hon et al., 2014). Ces aspects, difficilement étudiables en conditions expérimentales sont en partie compensés grâce à notre étude de cas multiples (étude 1) au cours de laquelle il est possible d'étudier ces points importants de l'ECS (Compan et al., 2021a ; Compan et al., 2021b ; Compan et al., sous presse), bien que nous ne puissions les manipuler. C'est pour cela, et parce que les différentes méthodes de recueil de données n'autorisent pas les mêmes résultats, que nous privilégions les méthodes mixtes qui offrent une complémentarité entre expérimentations et études de terrain.

2. Difficultés d'accès au terrain et conditions minimales d'évaluation de l'ECS

Il sera nécessaire, ultérieurement, de produire d'autres résultats afin d'enrichir ces résultats initiaux. Ceci a été brièvement décrit en introduction mais la portée de nos investigations sur le terrain a été réduite, notamment en ce qui concerne l'étude de cas multiples (crise sanitaire liée au COVID 19). Cela a impacté la méthodologie (voir tableau 3). Nos données de l'étude de cas multiples ont été construites grâce aux mêmes techniques (voir section : « 3. Techniques de recueil de données et traitement associé »), auxquelles s'ajoutent, lorsque cela est possible des

techniques complémentaires telles que le focus group pour le cas B ou encore les questionnaires pour le cas C. Ces ajouts permettent d'affiner les résultats mais la base d'évaluation commune entre nos cas reste identique. Dans notre recherche, et après vérification, l'ensemble des données obtenues par ces ajouts sont complémentaires et dans la lignée des résultats obtenus via nos techniques transversales. Ces différentes méthodologies (temps d'accès au terrain et ajouts de matériaux lorsque cela était possible) ne semblent donc pas avoir pesé significativement sur les matériaux nécessaires à l'appréciation de l'ECS.

En revanche, de futurs travaux devront investiguer une caractérisation précise des conditions minimales et suffisantes d'accès au terrain et des outils pour évaluer une ECS. Nous pensons, par exemple, que la connaissance du milieu ainsi que la connaissance fine des caractéristiques de l'ECS sont des éléments facilitants. Nous pensons également que les analyses ergonomiques du travail, produites dans le cas B et le cas C, nous ont permis d'obtenir des résultats intéressants pour l'entreprise (cas B) et le cabinet d'ergonomie (cas C), qui dépassent largement les données nécessaires pour qualifier l'ECS. De ce fait, le travail nécessaire au chercheur, dépendant de sa singularité, devra être mieux caractérisé. Le constat est identique pour la caractérisation des différences entre une analyse ergonomique du travail et l'appréciation de l'ECS, ces différences devront être affinées.

3. L'ECS permet une évaluation fine de la situation et du projet, au-delà de la satisfaction

L'ECS autorise une évaluation plus précise que celle de la satisfaction des personnes concernant les projets. Le ressenti global positif des acteurs cache souvent des différences significatives sur plusieurs critères qui nous apparaissent majeurs. Les différents acteurs d'un projet en livrent une opinion positive (ce qui est le cas pour l'ensemble de nos cas), même si nous ne constatons pas d'amélioration évidente de la situation de travail. Ceci pourrait être expliqué par l'effet Hawthorne (McCarney et al., 2007), notamment pour le cas B et le cas C. C'est-à-dire que cela pourrait être dû au fait que les sujets ont conscience de participer à une expérimentation, ce qui induit une plus grande motivation. En outre, l'implémentation des lunettes de réalité augmentée dans le cas B ne semble pas être une amélioration suffisante du point de vue de la performance des opérateurs concernés (experts). C'est également le cas pour l'implémentation de l'exosquelette dans le cas C.

Les regroupements par type d'acteurs nous permettent également de souligner que chaque type d'acteurs ne semble pas souligner les mêmes problématiques et n'explique pas les mêmes avis/critères sur le projet. Le cas A, classique en industrie, illustre ceci. L'objectif affiché de l'implémentation technologique était de réduire largement les tâches répétitives et les contraintes associées. Nous avons relevé des déclarations du responsable de haut niveau telles que : « on veut utiliser l'humain pour son cerveau », qui expriment une volonté affichée d'utiliser le cobot pour réduire les tâches pénibles et ainsi prioriser pour l'humain les tâches à « forte valeur ajoutée ». Or, nos résultats à travers l'étude de l'ECS nous montrent que l'opérateur ne construit pas de nouvelles compétences et n'est pas non plus davantage valorisé dans la nouvelle situation. Les étudiants-concepteurs de l'étude 2 semblent satisfaits de leur projet et en dépeignent un portrait très positif. Bien que ce portrait positif puisse être induit par l'évaluation, il semblerait que les étudiants soient convaincus de leurs modifications car ils sont dans la capacité de les argumenter et les trouvent suffisantes. Des nuances peuvent être apportées, notamment sur la transparence opérative qui aurait pu être davantage améliorée à travers un travail de conception sur le cobot lui-même. Bien que les critères de l'ECS soient bien pris en charge, il y a donc des voies d'amélioration. Le manque d'expérience des étudiants-concepteurs (pour rappel en deuxième année d'école d'ingénieur) construit probablement un biais important. Dès le départ, par manque d'expérience, les problèmes techniques étaient importants (gestion de projet, utilisation du cobot, etc.).

Enfin, la notion de satisfaction elle-même nous semble discutable pour l'appréciation d'un projet. Il est assez classique, lors de changements profonds (tels que développementaux, par exemple), d'assister à une rupture dans les représentations, à des coûts nouveaux d'apprentissage, etc. Cette crise est donc souvent vécue douloureusement par les sujets, bien que pouvant être positive à moyen/long terme. La satisfaction des différents acteurs envers un projet n'est donc pas suffisante pour apprécier un éventuel déploiement de l'activité des opérateurs. Au sein des trois cas composant notre étude de cas multiples et de l'étude 2, les acteurs se sont montrés globalement satisfaits alors que, dans les faits, leurs capacités effectives d'action (mesurées à travers l'ECS), ne présentent pas d'évolution positive. L'ECS semble donc autoriser un renseignement des dimensions importantes pour analyser la situation de travail mais également pour guider la conception de manière exigeante vers des situations davantage capacitanes.

4. Modalités de transmission des critères de l'ECS.

L'ECS, bien qu'a priori théoriquement pertinente, a pour visée d'être opérationnelle et d'être un outil pour accompagner les concepteurs dans la conception et l'évaluation des situations de travail. Pour cela, il a été nécessaire de mesurer comment notre proposition de l'ECS est perçue par les concepteurs et les opérateurs.

4.1. Du point de vue des concepteurs

L'étude 2 est notre principale source d'information en ce qui concerne la perception de l'ECS par les concepteurs. Nous avons investigué plusieurs formes de transmission afin qu'ils puissent s'approprier les différents critères (études exploratoires et étude 2). En ce qui concerne le cahier des charges contenant les critères de l'ECS, il a été nécessaire de le négocier avec les porteurs de projet (étude 2). Initialement, celui-ci comportait des indications très spécifiques sur chaque critère de l'ECS ainsi que sur des projections organisationnelles et de conduite du changement. Selon les porteurs de projet, ce cahier des charges initial (présent en annexe 18) était trop conséquent pour des étudiants-concepteurs. Nous avons donc abouti à un cahier des charges simplifié (présent en annexe 17) dont les aspects collectifs, organisationnels et de conduite du changement ont été retirés. L'un des groupes suivis a dépassé le cahier des charges simplifié sur certains aspects du critère 3 de l'ECS. Par exemple, le groupe 1 aborde la possibilité de réunions régulières et semble s'être saisi de la dimension temporelle d'une implémentation technologique. Maintenant que nous savons qu'avec l'accompagnement d'un ergonome les étudiants-concepteurs peuvent tenir compte significativement du cahier des charges simplifié, il serait peut-être pertinent de l'étoffer avec des éléments présents sur le cahier des charges initial. Les aspects collectifs, organisationnels et la conduite du changement, qui étaient absents du cahier des charges simplifié, sont notamment concernés. Nous pourrions également ajouter des éléments opérationnels sur la conduite de projet en lui-même, comme l'obligation de simuler l'activité avec des sujets extérieurs (opérateurs ou volontaires) qui ne soient pas les concepteurs eux-mêmes, dans des conditions les plus écologiques possible.

Les modalités de présentation du cahier des charges peuvent également être discutées, le cahier des charges utilisé étant simplifié, il était possible de présenter l'ensemble des éléments, dès le début, aux étudiants-concepteurs. Il serait envisageable, avec un cahier des charges plus

conséquent, de présenter d'abord les éléments de conduite de projet, puis ceux de l'ECS « simplifiée » et enfin ajouter les éléments collectifs et organisationnels selon le degré de maturité du projet. Cela permettrait aux étudiants-concepteurs de s'imprégner progressivement des différents critères et de les mettre progressivement en place au fur et à mesure de l'avancée du projet, une fois les différents éléments techniques propres à l'utilisation du cobot, dépassés (ceux-ci ont pris beaucoup de place dans le projet de conception lors de l'étude 2).

Les résultats montrent que les critères d'une ECS peuvent être saisis par les étudiants-concepteurs et qu'avec un accompagnement par un ergonomiste, ceux-ci peuvent plus ou moins s'exprimer dans les projets de conception. Il convient donc de définir ce que serait un accompagnement approprié et comment optimiser cet accompagnement. Les études exploratoires montrent qu'il est difficile pour les étudiants-concepteurs de se saisir de ces critères s'ils ne sont pas accompagnés. La seconde étude met en évidence la saisie partielle des critères par les étudiants-concepteurs. Il n'est certes pas possible de définir si la situation serait davantage capacitante mais nous pouvons noter que les critères d'une ECS ont bien fait écho et que la conception du dispositif est orientée en fonction de ceux-ci. Nous avons pu le mentionner mais les étudiants-concepteurs ont une vision technocentrée du dispositif et ne simulent pas l'activité (malgré des projections théoriques). L'accompagnement de ce projet se voulait le moins directif possible. L'ergonomiste n'orientait pas les prises de décision et ne fournissait aucune indication opérationnelle. Celui-ci était présent comme support afin de préciser les différents points du cahier des charges et répondre aux éventuelles questions. Il serait probablement intéressant de reproduire ce type d'expérience avec une posture différente de la part de l'intervenant. L'ergonomiste pourrait être davantage prescriptif plutôt qu'accompagnant, et donc imposer certains choix, tels que la simulation de l'activité d'opérateur (pas les concepteurs) avec le dispositif prototypé. La mise en situation sur un cas pourrait apporter beaucoup d'informations sur la performance et l'appropriation du dispositif par l'opérateur. L'ergonomiste plus prescriptif pourrait donc organiser des espaces de conception en dialoguant avec les opérateurs et les concepteurs tout en favorisant le dialogue et en orientant le projet vers la direction du déploiement de l'activité de l'opérateur.

L'expérience qui a été effectuée par nos collègues de projet (Baslé, 2022) et que nous n'avons pas accompagnée autrement qu'en fournissant et détaillant les critères de l'ECS, semble illustrer que ceux-ci peuvent être saisis par des concepteurs (qui sont déjà des professionnels). En effet, ils ont pu reproduire expérimentalement une situation de travail assistée par des

lunettes de réalité augmentée (figure 66). Au sein de l'expérimentation, cette situation de travail pouvait davantage favoriser les critères de l'ECS (figure 67).

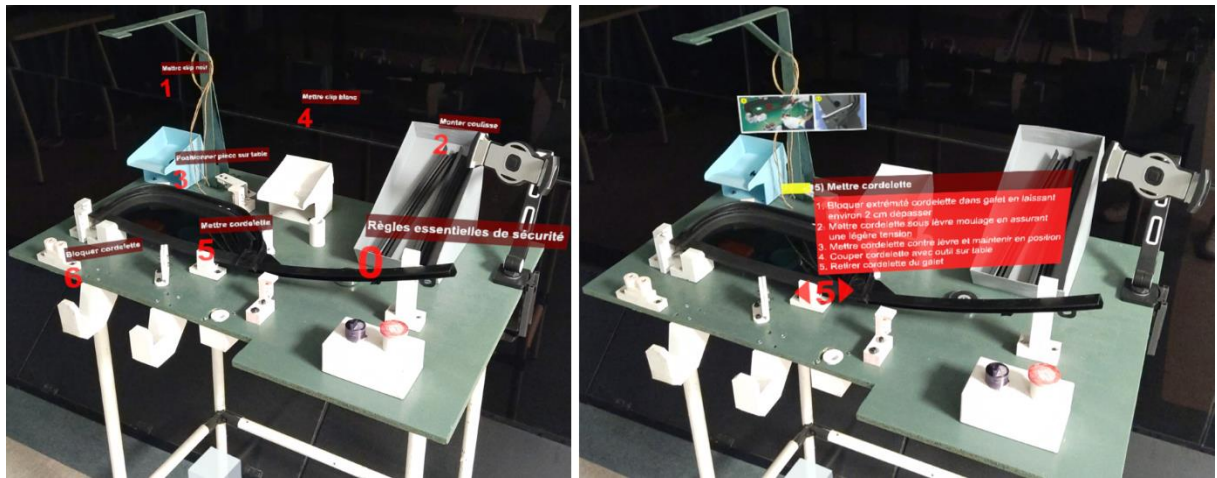


Figure 66. Situation de travail expérimentale initiale.

Les différentes caractéristiques de l'ECS ont été traduites, à travers la modification d'une IHM, comme ceci :

- Le premier critère de l'ECS a été traduit par différents éléments. Ils ont mesuré la performance, l'utilisabilité et les aspects hédoniques de l'expérience utilisateur.
- Pour le second critère de l'ECS, ils ont manipulé la MMS en laissant le choix de l'ordre des étapes à certaines phases clés du protocole.
- Le troisième critère de l'ECS a été mesuré par ce qu'ils dénomment « instrumentalisation » (proche de la CCU) et par la transparence opérative. Afin d'améliorer les possibilités d'« instrumentalisation » (figure 67), ils ont donc autorisé les participants à modifier l'interface présente dans les lunettes de réalité augmentée (ajout ou suppression de pistes audio, de photos, de textes, d'animations 3D, etc.). En ce qui concerne la transparence opérative (figure 67), ils ont ajouté la photo de chaque pièce avec le nom associé (car dans la situation initiale, les termes techniques peuvent être difficiles à retenir). Ils ont également « simplifié les instructions » et rendu la calibration plus intuitive (notamment avec une barre de chargement qui indique à l'utilisateur qu'il effectue la bonne action).



Figure 67. Visualisation de l'interface respectant davantage les critères de l'ECS (à droite se trouve le panneau de configuration permettant de personnaliser différents éléments).

Dans l'étude 2, les étudiants-concepteurs se sont basés sur des enregistrements de l'activité et n'ont jamais été en contact avec les opérateurs. De plus, l'ergonome étant peu prescriptif car accompagnant, cela explique l'aspect largement technocentré de la démarche des étudiants-concepteurs (bien que ce projet ait eu lieu au sein d'un enseignement d'ergonomie). La méthode de coconception (Bobillier-Chaumon, 2017) et d'espace de débat sur le travail (Clot, 2012 ; Rocha et al., 2017) permet de nourrir et d'étayer les réflexions du collectif, par les analyses d'activité, ce qui serait bénéfique lors de la conception de ces postes de travail. Enfin, la mise en place de méthodes de simulation (Van Belleghem, 2012), telles que le prototypage de l'étude 2, permet d'éprouver et d'affiner les solutions esquissées.

Enfin, il serait également pertinent de mesurer la prise en compte de l'ECS par les concepteurs en situation écologique. La méthode expérimentale ne nous permet pas d'éprouver de potentiels dynamiques et enjeux organisationnels et collectifs. Ces dynamiques pourraient largement influencer la prise en compte de nos critères. De prochains travaux devront donc se pencher sur la prise en compte, plus écologique, de l'ECS par des concepteurs.

4.2. Du point de vue des opérateurs

L'étude 3 nous a montré que les critères de l'ECS peuvent être ressentis par les opérateurs sans nécessairement qu'ils en perçoivent le bienfait, ce qui nous amène à réfléchir à propos de la réception des caractéristiques de l'ECS. Les activités sont toujours situées, il paraît alors impossible, à terme, de saisir ou de comprendre dans son intégralité le potentiel d'une ECS en dehors d'une utilisation écologique. L'expérimentation que nous avons pu mettre en place lors de l'étude 3 nous permet d'isoler certaines variables afin de les étudier précisément. En outre, les coûts d'une étude écologique sont très importants pour la mise en oeuvre, le test et la validation des choix. Ces mesures en situation réelle sont difficiles à réaliser et coûteuses car cela oblige à aller très loin dans l'implémentation de la technologie émergente afin de valider et mesurer le résultat. Cependant, bien qu'elle mette en place des conditions visant à rapprocher le sujet d'une situation aussi réelle que possible, il semble tout de même difficile de prétendre que nos sujets aient pu vivre la situation telle qu'elle aurait pu être vécue en immersion sur le terrain. De plus, de la même manière que pour les concepteurs, une évaluation écologique de la prise en compte de l'ECS par les opérateurs permettrait de mieux saisir les dynamiques collectives et organisationnelles face à la mise en place d'une ECS. Ces dynamiques pourraient également, tout comme pour les concepteurs, largement influencer la prise en compte de nos critères par les opérateurs. De prochains travaux devront donc se pencher sur la prise en compte, écologique, de l'ECS par les opérateurs, par exemple en expérimentant l'accompagnement d'acteurs et de projets, en privilégiant l'aspect longitudinal de l'expérimentation plutôt que le nombre de sujets.

La différence entre G1' et G1'', bien que perçue par les sujets, n'est pas perçue comme significative pour améliorer l'expérience globale. Chaque critère porté par l'ECS est défendu par des aspects de la littérature scientifique. Outre les considérations techniques, nous pouvons nous interroger sur la visibilité et l'accessibilité de ces améliorations. Il semble cohérent que les participants ne comprennent ou ne réalisent pas la portée et l'implication des améliorations proposées dont ils ont bénéficié en G1'' (« forte » ECS). Le caractère simulé de la situation de travail qui est donc sans conséquences réelles et dont la durée est limitée, influence sans doute cet effet. La réflexion sur le futur (Colin et al., 2021) pourrait être très difficile. Il est probable qu'il y aurait une forme de seuil à partir duquel l'amélioration des caractéristiques de l'ECS puisse se traduire par une amélioration de certains critères, tels que la perception de l'utilité ou

de l'acceptabilité. Au vu des résultats, nous pourrions envisager une forme d'accompagnement au changement qui serait spécifique, non à l'implémentation de la technologie (ce qui est déjà proposé dans la conduite du changement favorable à une ECS), mais bien à la mesure de l'intérêt d'une ECS. Nous pourrions envisager des formes de débat sur le travail, qui illustreraient à partir des questions/problématiques des opérateurs, l'intérêt des caractéristiques d'une ECS. En effet, certaines fois, il semble difficile pour un opérateur de se saisir de l'intérêt d'une ECS, ceci peut dépendre des caractéristiques des opérateurs (ancienneté, expertise, etc.). Nos sujets ont bien relevé les différences entre les situations, cependant ils ne ressentent pas l'intérêt de ces améliorations. Il est donc bien important que les opérateurs eux-mêmes soient intégrés dans la conception du futur système (Garrigou et al., 1995), ce qui conditionne la qualité d'une future ECS.

4.3. Du point de vue des ergonomes

Malheureusement, la réception de l'ECS par les ergonomes n'a pu être étudiée. Il pourrait être très intéressant de former les ergonomes à l'ECS (tout comme ce que nous avons effectué avec les concepteurs) afin de mesurer à quel point ils se saisissent de ces critères et la manière dont ils peuvent les mobiliser. Il est envisageable que plusieurs études soient nécessaires afin de limiter la perte d'informations entre l'expert de l'ECS et les ergonomes, comme nous l'avons mis en place avec les concepteurs. L'objectif pourrait donc être d'accompagner des ergonomes, d'effectuer différentes modalités de présentation et d'accompagnement à l'ECS. Il s'agirait par la suite de mesurer pour chacun de ces groupes (une modalité d'accompagnement/présentation de l'ECS correspondrait à un groupe) la qualité de restitution des critères de l'ECS, aux ingénieurs, dans un premier temps. Dans un second temps, il serait intéressant de mesurer la qualité de restitution des différents critères de l'ECS (lors de la conception d'un poste de travail ou de manière plus expérimentale), par les concepteurs qui ont eu la formation par les différents groupes d'ergonomes. Nous pourrions aussi, potentiellement, penser à mesurer l'usage de l'ECS, par les ergonomes, dans leurs propres activités de conception. Ainsi, nous pourrions relever comment les ergonomes reçoivent, expérimentent, l'ECS.

Certains critères de L'ECS ne semblent pas nécessairement abordés en profondeur dans la majorité des cursus d'enseignement en ergonomie qui nous sont connus, car ce ne serait pas

nécessairement pertinent dans le cadre d'une formation initiale à l'ergonomie. Après discussions avec plusieurs ergonomes, on peut constater que le premier critère est largement abordé dans les différentes universités mais que le second critère de l'ECS est traité inégalement. La marge de manœuvre est un concept classique en ergonomie et on peut constater que certaines universités y consacrent davantage de moyens (temporels et d'apprentissage) que d'autres. Quant au troisième critère, il semble vraiment novateur par rapport à ce qui est enseigné. Il semble assez peu courant que les ergonomes soient formés, en profondeur, en ce qui concerne la CCU et la transparence opérative (qui sont les aspects principaux de notre troisième critère de l'ECS). L'ECS présente donc un intérêt pour les ergonomes et dépasse les enjeux classiques étudiés en interaction humain-machine tels que l'acceptabilité, l'utilisabilité, etc.

Synthèse de la partie VI (Discussion concernant l'intérêt de l'ECS)

Les différents résultats de chaque étude nous amènent à discuter différents sujets (synthétisés dans le tableau 18). Nous avons segmenté cette discussion en trois parties (cette segmentation est également présente dans le tableau 18 récapitulatif ci-dessous). La première section (chapitre 12) aborde les technologies émergentes et la transversalité de l'ECS ainsi que les différentes formes d'interaction entre l'humain et la technologie. La seconde section (chapitre 13) aborde les différents critères de l'ECS et la conduite du changement associée. Enfin, la dernière section (chapitre 14) aborde les limites et les apports de l'ECS ainsi que les différentes perspectives. L'objectif de cette synthèse est de citer chaque élément de notre discussion et d'effectuer une synthèse de notre propos ainsi que les pistes de réflexion abordées.

Tableau 18. Points de discussion abordés et pistes de réflexion associées.

Section	Propos	Constat/questionnement	Pistes de réflexion abordées
Rapport entre l'ECS, les technologies émergentes et émergentes et les formes d'interaction entre l'humain et la technologie	Technologies émergentes et transversalité de l'ECS	Est-ce que la nature de la technologie émergente peut influencer (favoriser ou défavoriser) la mise en place d'une ECS ?	Notre proposition théorique autour de l'ECS semble pertinente indépendamment du type de technologie émergente étudiée. Les critères de l'ECS, qui concernent le soutien au déploiement de l'activité des opérateurs, abordent bien des dimensions transversales qui ne sont qu'en partie indexées à la nature des technologies émergente.
Impact de l'ECS sur les formes d'interaction humain-technologie émergente	Impact de l'ECS sur les formes d'interaction humain-technologie émergente	La collaboration est souvent annoncée ou visée lors de l'implémentation d'une technologie émergente. Nos résultats nous interrogent sur l'existence de cette collaboration et sur l'impact que pourrait avoir le niveau de cette interaction (entre l'homme et la technologie émergente) sur l'ECS.	Nous avons utilisé 6 classifications afin d'évaluer le niveau d'interaction entre l'humain et la technologie émergente dans nos différentes études. Bien que non exhaustives ces classifications (4 classifications sur les interactions humain-robot et 2 sur les interactions humain-humain) sont représentatives et reconnues dans leurs différents champs et ont l'intérêt d'illustrer notre propos. Le tableau 17 résume ces différentes évaluations. Ces comparaisons nous permettent de constater que les interactions humain-cobot semblent se différencier des autres types de technologie et nous n'observons pas de réelle collaboration. Le constat est plus mitigé en ce qui concerne les autres technologies émergentes étudiées. Il est donc possible que ce niveau d'interaction entre la technologie émergente et l'humain, soit en partie technodépendant. De plus, l'intensité de l'ECS ne semble avoir aucun impact sur le niveau d'interaction entre l'humain et la technologie. Deux possibilités semblent émerger pour expliquer ce point. Soit le niveau d'interaction est davantage technodépendant que dépendant de l'ECS, soit les classifications utilisées ne conviennent pas.
L'ECS et la conduite du changement	Concernant le premier critère de l'ECS	Quels sont les constats que nous pouvons tirer concernant ce premier critère de l'ECS, que ce soit grâce à ce que nous avons pu observer sur le terrain (étude 1), ainsi que du point	Notre second et notre troisième cas de l'étude 1 illustrent le caractère décisif de ce critère. Il semblerait que si l'utilité de la technologie ne soit pas effective, la situation n'est pas viable, l'amélioration de la performance étant souvent le premier critère de l'implémentation technologique. La performance n'est jamais abordée d'un point de vue collectif ou organisationnel. En ce qui concerne l'étude 3, une intensité d'ECS plus élevée ne semble pas améliorer de manière significative la performance globale des participants ni même leur sentiment de performance.

	de vue des opérateurs (étude 3) et des concepteurs (étude 2) ?	Les participants semblent percevoir des améliorations (grâce à une plus « forte » intensité d'ECS), mais n'en ressentent pas l'intérêt.
Concernant le second critère de l'ECS	Quels sont les constats que nous pouvons tirer concernant ce second critère de l'ECS, que ce soit grâce à ce que nous avons pu observer sur le terrain (étude 1), ainsi que du point de vue des opérateurs (étude 3) et des concepteurs (étude 2) ?	Nous n'observons pas, sur le terrain (étude 1) d'amélioration des MMS grâce à l'implémentation technologique. Les groupes « externes » de l'étude 2 ne proposent pas, non plus, spontanément d'amélioration de la situation qui satisfasse ce second critère de l'ECS. Les groupes suivis, avec l'accompagnement via les critères de l'ECS (étude 2) se sont bien saisis de cet aspect. Dans l'étude 3, en G1', la MMS semble avoir diminuée (-0,565) par rapport à G1, alors que dans G1", elle a nettement augmenté (5,21), toujours par rapport à G1. Ainsi, les participants ont clairement senti l'augmentation de leur MMS en lien avec l'augmentation de l'intensité d'une ECS. Cette augmentation de la MMS ne s'est pas reportée sur la satisfaction générale ou l'acceptabilité de la technologie. Il pourrait être possible que les novices préfèrent une situation avec une faible MMS et que ce n'est qu'une fois la situation de travail maîtrisée que les MMS dévoilent le plus leur avantage. Nos 2 premières études semblent indiquer que ce critère est spontanément laissé de côté par les concepteurs. Plusieurs interprétations sont envisageables. Il se pourrait que ce second critère de l'ECS, issu de la littérature scientifique, ne soit pas pertinent dans ce contexte. Il se pourrait également que ce critère soit plus difficile à rencontrer dans le management de projets actuels. Les différents acteurs, notamment les opérateurs, pourraient s'être habitués à ce qu'on ne leur propose pas ce degré de liberté (ils sont souvent satisfaits du projet). De plus, le remplacement fréquent au poste (par exemple, le turnover du cas A), ne permet pas aux opérateurs d'entrevoir les aspects négatifs d'un déficit de MMS.
Concernant le troisième critère de l'ECS	Quels sont les constats que nous pouvons tirer concernant ce troisième critère de l'ECS, que ce soit grâce à ce que nous avons pu observer sur le terrain (étude 1), ainsi que du point de vue des	En ce qui concerne la transparence opérative (Rabardel, 1995), celle-ci semble difficile à manipuler. Elle est souvent portée par des dispositifs externes (fascicule, formation, etc.) qui représentent donc un coût supplémentaire pour l'utilisateur (cas A et étude 2). D'autres types de solution pourraient émerger en favorisant les espaces de discussion et les pratiques réflexives (Falzon, 2005) et un accompagnement plus prescriptif par l'ergonome. La présence d'un facilitateur (Schoville, 2015) pourrait également favoriser cette transparence. En ce qui concerne l'étude 3, l'amélioration de la transparence opérative n'a été perçue que sur la perceptibilité (et non la

opérateurs (étude 3) et des concepteurs (étude 2) ?

compréhension et l'accessibilité) des informations transmises par les lunettes de réalité augmentée. À propos de la CCU, les groupes « externes » de notre seconde étude ne prennent globalement pas en compte spontanément cette dimension. Au sein de l'étude 3, les participants de G1'' perçoivent bien qu'ils ont davantage de possibilités de CCU par rapport à G1'. Par ailleurs, il est probable que nos résultats mitigés (la perception ne se traduit pas par une amélioration de la satisfaction ou de l'acceptation) soient le fruit d'une intensité limitée de l'ECS, notamment de par des restrictions techniques. Nos critères de l'ECS ne sont pas « respectés » ou « non respectés » mais se situent plutôt sur un continuum de « insatisfaisant » (« très faible ECS ») à « très satisfaisant » (« très forte ECS »). Il conviendra d'affiner ces appellations. Dans les trois cas analysés de l'étude 1, nous ne percevons pas, en marche courante, de temps formels d'échange avec les services supports, notamment avec les ingénieurs (spécialistes de la technologie émergente). La facilité de sollicitation et de réactivité des services supports semble confirmer sa pertinence, notamment lorsque les transformations désirées ne sont pas ou ne peuvent pas être directement portées par les utilisateurs. Ces difficultés impactent négativement les possibilités de genèse instrumentale.

Concernant la conduite du changement du terrain (étude 1) ?

Le contexte semble pondérer l'impact de certains facteurs au détriment d'autres. Les conduites du changement de l'étude 1 sont largement de type « techno-push ». Selon nous, ces motivations sont insuffisamment précises pour guider la conception des situations d'usage. Nos résultats semblent indiquer que si les conditions de conduite du changement restent importantes, elles peuvent ne pas suffire à expliquer les critères précis relatifs à la performance future, par exemple, présents dans l'ECS. De futurs travaux devront lier les conditions de contexte, qui semblent importantes au vu de l'interprétation que nous pouvons faire de nos résultats, aux conditions des résultats de l'évaluation de l'ECS et du processus de conduite du changement.

Limites, apports et perspectives de l'ECS

L'EC s'évalue aussi en fonction des aspects collectifs et

Que pouvons-nous dire du caractère dynamique de l'ECS et des aspects collectifs et organisationnels ?

L'évaluation produite grâce à une ECS est située. Cette appréciation est nécessairement évolutive tout comme le sont les différents acteurs et les situations de travail elles-mêmes. Cet aspect dynamique des situations confère à l'ECS une validité en tant qu'outil pour accompagner une organisation au sein d'une amélioration continue. Intégrée dans une organisation, une conduite du changement capacitante (favorisant donc la conception continuée d'une ECS) pourrait constituer un « cycle de conception capacitante », s'appuyant sur les processus de genèse instrumentale, soutenus localement par le management de proximité à l'échelle de l'opérateur, et parfois plus

organisationnelle et avec une situation de référence		institutionnellement par la possibilité de solliciter les services compétents. À ce titre, la question de l'intégration des critères de conduite du changement dans notre modélisation de l'ECS se pose. L'étude 1 nous a permis d'étudier ces points importants de l'ECS (Compan et al., 2021a ; Compan et al., 2021b ; Compan et al., sous presse), bien que nous ne puissions les manipuler.
Difficultés d'accès au terrain et conditions minimales d'évaluation de l'ECS	En quoi les différences méthodologiques, parfois imposées (temps d'accès au terrain) et parfois choisies (utilisation de certains outils), ont pu influencer nos résultats ?	Nos données de l'étude 1 sont obtenues grâce aux mêmes techniques (voir section : « 3. Techniques de recueil de données et traitement associé »), auxquelles s'ajoutent, lorsque cela est possible, des techniques complémentaires (focus group, questionnaires., etc.). Ces ajouts affinent nos résultats et produisent des résultats intéressants pour les entreprises (cas B et C) qui dépassent largement les données nécessaires pour qualifier l'ECS. De futurs travaux devront investiguer une caractérisation précise des conditions minimales (et suffisantes) d'accès au terrain et des outils pour évaluer une ECS. Le travail nécessaire au chercheur pour évaluer une ECS, qui dépend de sa singularité (connaissance du milieu, de l'ECS, etc.), devra être mieux caractérisé. Le constat est identique pour la caractérisation des différences entre une analyse ergonomique du travail et l'appréciation de l'ECS, ces différences devront être affinées.
L'ECS permet une évaluation fine de la situation et du projet, au-delà de la satisfaction	La satisfaction des acteurs ne semble pas être un bon indicateur pour évaluer la qualité d'une situation d'une implémentation technologique.	Dans les situations analysées, les acteurs sont satisfaits des projets alors que nous ne constatons pas d'amélioration évidente de la situation de travail. Ceci pourrait être expliqué du fait que les sujets ont conscience de participer à une expérimentation, ce qui induit une plus grande motivation (effet Hawthorne (McCarney et al., 2007)). Il convient de la part de l'ergonome de pondérer et d'apporter des nuances. De plus, la satisfaction n'est pas toujours souhaitable. Il est assez classique lors de changements profonds (tels que développementaux, par exemple) d'assister à une rupture dans les représentations, potentiellement douloureuse pour le sujet.
Modalités de transmission des critères de l'ECS	La transmission de l'ECS ne semble pas aussi évidente que nous aurions pu le penser de prime abord.	Du point de vue des concepteurs, maintenant que nous savons qu'avec l'accompagnement d'un ergonome les étudiants-concepteurs peuvent tenir compte significativement d'un cahier des charges simplifié, il serait peut-être pertinent de l'étoffer avec des éléments présents sur le cahier des charges initial (peut-être amenés au fur et à mesure de l'évolution du projet), d'autant que l'un des groupes a dépassé les éléments du cahier des charges fourni

(critère 3). L'expérience menée par nos collègues de projet (Baslé, 2022) illustre la prise en compte de l'ECS par des concepteurs davantage expérimentés. L'accompagnement de ce projet (étude 2) ne se voulait pas prescripteur mais plutôt comme un support, un accompagnement. Cependant, l'ergonome pourrait être davantage prescriptif et donc imposer certains choix, tels que la simulation de l'activité d'opérateur et la co-conception du dispositif prototypé. Enfin, il serait également pertinent de mesurer la prise en compte de l'ECS par les concepteurs en situation écologique afin d'éprouver de potentielles dynamiques et enjeux organisationnels/collectifs.

Du point de vue des opérateurs, l'étude 3 nous a montré que les critères de l'ECS peuvent être ressentis par les opérateurs sans nécessairement qu'ils en perçoivent le bienfait (probablement car la situation était simulée et/ou que l'intensité de l'ECS n'était pas suffisante). Au vu des résultats nous pourrions envisager une forme d'accompagnement au changement (comprenant des formes de débat sur le travail) qui serait spécifique, non à l'implémentation de la technologie, mais bien à la mesure de l'intérêt d'une ECS, à partir des questionnements des opérateurs. De la même manière que pour les concepteurs, une évaluation écologique de la prise en compte de l'ECS par les opérateurs permettrait de mieux saisir les dynamiques collectives et organisationnelles face à la mise en place d'une ECS.

Du point de vue des ergonomes, la réception de l'ECS n'a pu être mesurée. Il pourrait être intéressant de former les ergonomes à l'ECS afin de mesurer à quel point ils se saisissent de ces critères et comment est-ce qu'ils peuvent les restituer. Le troisième critère de l'ECS nous paraît novateur par rapport aux formations en ergonomie. Il semble assez peu courant que les ergonomes soient formés, en profondeur, en ce qui concerne la CCU et la transparence opérative (qui sont les aspects principaux de notre troisième critère de l'ECS).

Conclusion générale et perspectives

L'usine du futur et ses technologies émergentes associées sont des opportunités, parce que vectrices de changements. Des propositions autour de l'industrie 5.0 semblent émerger dans la littérature avec un recentrage sur l'humain par rapport au 4.0 (Akundi et al., 2022 ; Maddikunta et al., 2022 ; Nahavandi, 2019 ; etc.). L'industrie 5.0 permettrait une « réconciliation entre les humains et les machines » (Akundi et al., 2022, p. 1), la machine étant perçue comme un partenaire de l'humain et non à mettre en concurrence avec celui-ci (Nahavandi, 2019). L'ECS semble être alors une manière de répondre, en partie, aux ambitions portées par l'industrie 5.0. L'ECS concentre l'analyse sur le couple humain-technologie. À cette échelle, l'ECS et ses prolongements futurs pourraient favoriser la conception de postes de travail où les technologies émergentes sont propices à des genèses instrumentales, notamment à des stades de développement où les futurs utilisateurs ne sont pas identifiés ou mobilisables. L'ECS n'épuise pas les critères de conception : certains critères relevés lors de l'analyse de la littérature sur le FH, tels que la sécurité ou encore l'utilisabilité, par exemple, restent des critères importants par ailleurs. L'ECS tente de porter une exigence nouvelle et complémentaire aux concepteurs, contribuant à répondre aux difficultés d'acceptation des technologies émergentes. Il s'agit de faire en sorte que l'implémentation d'une technologie émergente puisse soutenir l'activité effective. Les critères de l'ECS et de la conduite du changement associée n'étant pas pris en compte « spontanément sur le terrain », notre objectif est d'orienter l'activité des concepteurs des futurs artefacts technologiques, en leur fournissant des repères de conception précis et exigeants. Certains concepteurs peuvent alors s'en saisir pour améliorer les situations de travail (Baslé et al., 2021 ; Baslé et al., 2022).

La mise en place de ces différentes études complémentaires nous a permis de souligner l'impact des critères d'une ECS que ce soit du point de vue des opérateurs ou des concepteurs. Ces études nous permettent de souligner que l'ECS est une proposition applicable qui peut concrètement améliorer la situation de travail du point de vue de l'opérateur. Les résultats de l'étude 3 nous montrent également que la mise en place d'une ECS, tout en favorisant le déploiement de l'activité des opérateurs, pourrait ne pas impacter négativement la performance. L'implémentation d'une technologie émergente est donc l'occasion de reconcevoir le poste de travail, de repenser la situation. Concrètement, il s'agit de proposer aux opérateurs différentes manières d'agir, cela peut être sur l'ordre des étapes du mode opératoire, par exemple. Il s'agit

également de proposer à l'opérateur des possibilités de personnalisation de la technologie émergente. Pour cela, l'opérateur doit comprendre, a minima, la technologie pour pouvoir l'ajuster (in situ ou avec l'aide du collectif et/ou de l'organisation). Cela peut être des modifications d'interface pour les lunettes RA (ajout/suppression d'informations selon les besoins, ...) ou encore modifier les modes d'interaction avec le cobot (pression, vocal, ...) ou encore ajuster les caractéristiques de l'exosquelette selon les besoins (protection contre la pluie, porte outils, ...). Ce sont ces choix de personnalisation qui vont permettre le processus de genèse instrumentale et plus précisément l'instrumentalisation que l'ECS vise à soutenir.

Plusieurs perspectives s'offrent à nous pour poursuivre ces travaux. Dans un premier temps, il semble indispensable de reproduire les expérimentations de l'étude 2 et de l'étude 3 en environnement écologique et avec des sujets plus représentatifs (dans leur environnement réel de travail). La mise en place d'une ECS, dans un atelier par exemple, permettrait de percevoir les dynamiques collectives et organisationnelles qui ne peuvent être étudiées en situation expérimentale. Il est possible que les opérateurs perçoivent davantage l'intérêt de l'ECS dans leur propre situation de travail, ce qui pourrait changer radicalement leur relation de collaboration avec la technologie émergente. Nous pourrions potentiellement assister à l'émergence de relations symbiotiques (Brangier et al., 2010 ; Gerber et al., 2020 ; Hammes-Adelé, 2011 ; Pacaux-Lemoine & Trentesaux, 2019) entre les humains et les technologies émergentes, ce qui conduirait à une meilleure acceptation de la technologie, voire à une dépendance à celle-ci (à l'image de la relation que nous entretenons avec nos smartphones). Dans un second temps, il serait pertinent d'étudier l'accompagnement en lui-même, que ce soit envers les opérateurs ou les concepteurs. Les opérateurs ne semblant pas saisir d'emblée les avantages de l'ECS, nous pourrions alors imaginer la mise en place d'ateliers qui, en partant des questionnements/raisonnements des opérateurs, permettraient d'illustrer la pertinence de l'ECS. L'étude de l'accompagnement des concepteurs serait aussi pertinente à analyser de façon plus complète car, dans notre étude 2, cet accompagnement a été mis en place par un ergonome expert de l'ECS. Enfin, il serait également pertinent d'analyser le processus de formation des ergonomes à ces critères de l'ECS afin d'étudier de quelle manière ils s'en saisissent pour mesurer, à terme, comment ils peuvent les transmettre aux concepteurs.

Les trois études qui composent ce parcours doctoral sont un premier pas vers une meilleure compréhension de l'ECS et nous ont permis d'orienter les potentielles futures recherches. L'ECS apparaît comme une alternative de support crédible et bénéfique pour l'évaluation des situations de travail et un repère exigeant permettant de guider la conception de nouveaux postes

de travail favorables à des situations de collaboration humain-technologie, dans lesquels l'opérateur peut s'appropriier la technologie émergente et déployer son activité.

Bibliographie

- Ahearne, M., Mathieu, J., & Rapp, A. (2005). To empower or not to empower your sales force? An empirical examination of the influence of leadership empowerment behavior on customer satisfaction and performance. *Journal of Applied psychology*, 90(5), 945.
- Ahmed Yahia, N. (2019). *Promouvoir le leadership habilitant du supérieur pour contrer les méfaits du stress au travail et optimiser l'innovation et la performance* [Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke].
- Ajzen, I. (2006). *Behavioral interventions based on the theory of planned behavior*. Umass. Consulté le 6 juin 2019 sur <http://people.umass.edu/aizen/pdf/tpb.intervention.pdf>
- Akundi, A., Euresti, D., Luna, S., Ankobiah, W., Lopes, A., & Edinbarough, I. (2022). State of Industry 5.0—Analysis and Identification of Current Research Trends. *Applied System Innovation*, 5(1), 27. <https://doi.org/10.3390/asi5010027>
- Albert, V., Vézina, N., Bilodeau, H., & Coutarel, F. (2018). Évaluation des processus : comprendre comment le contexte des entreprises influence le déroulement des premières étapes d'interventions ergonomiques. *Activités*, 15(2).
- Alexandre, M. (2013). La rigueur scientifique du dispositif méthodologique d'une étude de cas multiple. *Recherches Qualitatives*, 32(1), 26-56.
- Amalberti, R. (2013). *Piloter la sécurité : théories et pratiques sur les compromis et les arbitrages nécessaires*. Springer.
- Arène, V. (2020). *Covid-19 : Un coup d'accélérateur à la numérisation des emplois*. [Lemondeinformatique.fr](http://lemondeinformatique.fr). Consulté le 5 mai 2022 sur <https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-covid-19-un-coup-d-accelerateur-a-la-numerisation-des-emplois-79934.html>
- Arnoud, J. (2013). *Conception organisationnelle : pour des interventions capacitanes*. [Habilitation à Diriger des Recherches, Cnam Paris].

- Arnoud, J. & Falzon, P. (2013) La co-analyse constructive des pratiques. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie constructive* (pp.223-236). PUF.
- Autissier, D., & Moutot, J. M. (2003). *Pratiques de la conduite du changement: Comment passer du discours à l'action*. Dunod.
- Autissier, D., & Moutot, J. M. (2016). *Méthode de conduite du changement-4e éd.: Diagnostic, Accompagnement, Performance*. Dunod.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775-779.
- Baker, L. (2006). Observation: A complex research method. *Library trends*, 55(1), 171-189.
- Barcellini, F. (2015). *Développer des interventions capacitanes en conduite du changement : comprendre le travail collectif de conception, agir sur la conception collective du travail* [Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bordeaux].
- Barcellini, F. (2017). Intervention Ergonomique Capacitante: bilan des connaissances actuelles et perspectives de développement. *Activités*, 14(2).
- Barcellini, F. (2020). Quelles conceptions de la coopération humains-robots collaboratifs?. Une expérience de participation au projet de conception d'un démonstrateur de robotique collaborative. *Activités*, 17(1).
- Barthe, B., & Queinnec, Y. (1999). Terminologie et perspectives d'analyse du travail collectif en ergonomie. *L'Année psychologique*, 99(4), 663-686.
- Baslé, D., Noël, F., Brissaud, D., & Rocchi, V. (2021). Improving design of enabling collaborative situation based on augmented reality devices. *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, 433-446. Springer, Cham.
- Baslé, D. (2022). *Interactions Homme-Machine dans un environnement cyber-physique augmenté : Vers une heuristique de conception d'environnements collaboratifs capacitanes pour l'industrie du futur* [Thèse de doctorat non publiée]. Université Grenoble Alpes, Grenoble.

- Bdiwi, M., Pfeifer, M., & Sterzing, A. (2017). A new strategy for ensuring human safety during various levels of interaction with industrial robots. *CIRP Annals*, 66(1), 453-456.
- Béguin, P. (2004). Conception, développement et monde commun. *Bulletin de Psychologie*.
- Bens, I., Picard, D., & Tornatore, C. (2012). *Facilitation at a Glance!: Your Pocket Guide to Facilitation*. GOAL/QPC.
- Bigot, L., Fouquereau, E., Lafrenière, M. A. K., Gimenes, G., Becker, C., & Gillet, N. (2014). Analyse préliminaire des qualités psychométriques d'une version française du Work Design Questionnaire. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 20(2), 203-232.
- Bobillier-Chaumon, M. E. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : Premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 22(1), 4-21. <https://doi.org/10.1016/j.pto.2016.01.001>
- Bobillier-Chaumon, M. E. (2017). Du rôle des TIC dans la transformation digitale de l'activité et de la santé au travail. *La Revue des conditions de travail*, (6), 16-24.
- Bobillier-Chaumon, M. E. (2021a). *Digital transformations in the challenge of activity and work: Understanding and supporting technological changes*. John Wiley & Sons.
- Bobillier-Chaumon, M. E. (2021b). Technologies émergentes et transformations digitales de l'activité: enjeux pour l'activité et la santé au travail. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 27(1), 17-32.
- Bobillier-Chaumon, M. E., Barville, N., & Crouzat, P. (2019). Les technologies émergentes au travail. *Le Journal des psychologues*, 367(5), 16-21.
- Bobillier-Chaumon, M. E., & Clot, Y. (2016). Clinique de l'usage: Les artefacts technologiques comme développement de l'activité. Synthèse Introductive au dossier. *Activités*, 13(2).
- Bobillier-Chaumon, M. E., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle: quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation?. *Le travail humain*, 72(4), 355-382.

- Bourgeois-Bougrine, S., & Brangier, É (2021). Performance organisationnelle. Dans É. Brangier, & G. Valléry (dirs.), *Ergonomie : 150 notions clés* (pp. 389-393). Dunod
- Boyatzis, R. E. (1998). *Transforming qualitative information: Thematic analysis and code development*. Sage.
- Brangier, É., Dufresne, A., & Hammes-Adelé, S. (2009). Approche symbiotique de la relation humain-technologie: perspectives pour l'ergonomie informatique. *Le travail humain*, 72(4), 333-353.
- Cam, E., Durand, D., Valadié, V., & Vandevyver, B. (2013). *Fiche pratique de sécurité*. INRS.fr. Consulté le 3 mars 2019 sur <https://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-79/ed79.pdf>
- Canguilhem, G. (1966). *Le Normal et le Pathologique*. PUF.
- Canguilhem, G. (2001). The living and its milieu. *Grey Room* (3), 7-31.
- Cenfetelli, R. T. (2004). Inhibitors and enablers as dual factor concepts in technology usage. *Journal of the Association for Information Systems*, 5(11), 16.
- Champion, Y. (2021). *Les robots ne vont pas vous voler votre travail*. Slate.fr. Consulté le 6 mai 2022 sur <http://www.slate.fr/story/207101/robots-voler-travail-emploi-automatisation-machines-chomage-mckinsey-etats-unis>
- Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma. When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Harvard Business School Press.
- Claverie, B., Blanc, B. L., & Fouillat, P. (2013). La cobotique. La robotique soumise. *Communication et organisation. Revue scientifique francophone en Communication organisationnelle*, (44), 203-214. <https://doi.org/10.4000/communicationorganisation.4425>
- Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. PUF.
- Clot, Y. (2012). Le travail soigné, ressort pour une nouvelle entreprise. *La nouvelle revue du travail*, 1.

- Colin, C., Martin, A., Bonneviot, F., & Brangier, E. (2021). Unravelling future thinking: a valuable concept for prospective ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 23(3), 347-373.
- Compan, N., Coutarel, F., Brissaud, D., & Rix-Lièvre, G. (2021a). Contribution de l'ergonomie à la conception de nouvelles technologies dans l'industrie 4.0: vers la conception de situations capacitantes. Dans *55ème Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française*. 330-334.
- Compan, N., Coutarel, F., Brissaud, D., & Rix-Lièvre, G. (2021b). Enabling collaborative situations in 4.0 industry: Multiple case study. Dans N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (dirs.), *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)* (pp. 614-620). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74614-8_76
- Compan, N., Coutarel, F., Brissaud, D., & Rix-Lièvre, G. (sous presse). Les situations de collaboration capacitante (ECS) : intérêt pour l'analyse des collaborations humain-technologie de l'industrie contemporaine. *Le Travail Humain*.
- Coutarel, F., Aublet-Cuvelier, A., Caroly, S., Vézina, N., Roquelaure, Y., Cuny-Guerrier, A., Norval, M., & Compan, N. (2022). Marge de manœuvre et prévention des troubles musculo-squelettiques: quelles perspectives?. *Le Travail Humain*, 85(1), 3-31.
- Coutarel, F. & Beaujouan, J. (2021). Diversité et variabilité des situations. Dans E. Brangier, & G. Valléry (dirs.), *Ergonomie : 150 notions clés* (pp. 155-157). Dunod.
- Coutarel, F., Caroly, S., Vézina, N., & Daniellou, F. (2015). Marge de manœuvre situationnelle et pouvoir d'agir : Des concepts à l'intervention ergonomique. *Le Travail Humain*, 78(1), 9-29. <https://doi.org/10.3917/th.781.0009>
- Coutarel, F., & Petit, J. (2013). Prévention des TMS et développement du pouvoir d'agir. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie constructive* (pp. 175-190). PUF.
- Coutarel, F., Pueyo, V., Lacomblez, M., Delgoulet, C., & Barthe, B. (2021). La crise sanitaire comme crise du travail. Quels enseignements pour intervenir et former en santé au

travail demain ? *Education, Santé, Sociétés*, 7(2). 103-124.
<https://doi.org/10.17184/eac.4671>

- Cuvelier, L., & Caroly, S. (2011). Transformation du travail, transformation du métier: quels impacts sur la santé des opérateurs et sur l'activité collective?. *Perspectives Interdisciplinaires Sur le Travail Et la Santé*, 13(1). <https://doi.org/10.4000/pistes.1732>
- Daniellou, F., & Rabardel, P. (2005). Activity-oriented approaches to ergonomics: some traditions and communities. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(5), 353-357.
- Danneels, E. (2004). Disruptive technology reconsidered: A critique and research agenda. *Journal of product innovation management*, 21(4), 246-258.
- Darses, F., & Reuzeau, F. (2004). Participation des utilisateurs à la conception des systèmes et dispositifs de travail. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie* (pp. 405-420).
- Davis, F. D. (1985). *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results*. [Thèse de doctorat, Massachusetts Institute of Technology].
- Davis, F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340.
- De Keyser, V. (2002). *Qui a peur de l'erreur humaine ?* Labor.
- De la Garza, C., & Weill-Fassina, A. (2000). Régulations horizontales et verticales du risque. Dans T.H. Benchekroun & A. Weill-Fassina (dirs.), *Le travail collectif. Perspectives actuelles en ergonomie* (pp 217-234). Octarès Edition.
- Dujarier, M-A., Gaudart, C., Gillet, A., & Lénéel, P. (2016). *L'activité en théories. Regards croisés sur le travail* (Tome I). Octarès Edition.
- Dujarier, M-A., Gillet, A., & Lénéel, P. (2021). *L'activité en théories. Regards croisés sur le travail* (Tome II). Octarès Edition.
- Durrive, L. (2010). L'activité humaine, à la fois intellectuelle et vitale. *Travail et apprentissages*, 6(2), 25-45.

- Falaix, L., & Récopé, M. (2014). « La sensibilité à... » et « l'intime » dans les interactions asymétriques : Une approche par les concepts d'énacter et d'habiter. 12. hal-01898046
- Falzon, P. (2005, 10-12 décembre). *Ergonomics, knowledge development and the design of enabling environments* [Conférence]. Proceedings of the Humanizing Work and Work Environment HWWE'2005 Conference, Inde.
- Falzon, P. (2014). Enabling environments, enabling organizations. Dans O. Broberg, N. Fallentin, P. Hasle, P. L. Jensen, A. Kabel, M. E. Larsen, & T. Weller (dirs.), *Proceedings of 11th International Symposium on Human Factors in Organisational Design and Management (ODAM'14)*, (pp. 17-20).
- Falzon, P., Di Cioccio, A., Mollo, V., & Nascimento, A. (2013). Qualité réglée, qualité gérée. halshs-00869623
- Famien, O. (2017). *McKinsey rapporte que l'automatisation supprimera 400 à 800 millions d'emplois d'ici 2030*. Developpez.com. Consulté le 6 mai 2022 sur <https://www.developpez.com/actu/176438/McKinsey-rapporte-que-l-automatisation-supprimera-400-a-800-millions-d-emplois-d-ici-2030-et-375-millions-de-travailleurs-devront-se-reconvertir/>
- Feagin, J. R., Orum, A. M., & Sjoberg, G. (1991). *A case for the case study*. UNC Press Books.
- Fernagu Oudet, S. (2012). Favoriser un environnement «capacitant» dans les organisations. Dans E. Bourgeois, & M. Durand (dirs.), *Former pour le travail* (pp. 201-213). PUF.
- Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). Hommes, artefacts, activités : perspective instrumentale. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie* (pp. 251-268). PUF.
- Friedmann, G. (1964). *Le travail en miettes*. Gallimard.
- Garrigou, A., Daniellou, F., Carballeda, G., & Ruaud, S. (1995). Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15 (5), 311-327.
- Gazzaneo, L., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Designing smart operator 4.0 for human values: a value sensitive design approach. *Procedia Manufacturing*, 42, 219-226.

- Gerber, A., Derckx, P., Döppner, D. A., & Schoder, D. (2020). Conceptualization of the human-machine symbiosis—A literature review. *Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 3, 289-298.
- Guérin, F., Pueyo, V., Béguin, P., Garrigou, A., Hubault, F., Maline, J., & Morlet, T. (2021). Concevoir le travail, le défi de l'ergonomie. *Relations industrielles/Industrial Relations*, 76(4), 822-824
- Goodrich, M. A., & Schultz, A. C. (2007). Human–robot interaction: a survey. *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, 1(3), 203-275.
- Hammes-Adelé, S. (2011). *Traduction temporelle de la relation humain-technologie-organisation. Validation et perspectives autour de la symbiose* [Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine].
- Hart, S. G. (2006). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, 50(9), 904-908.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, 52, 139-183
- Hassenzahl, M. (2003). The Thing and I: Understanding the relationship between the user and the product. Dans M. A. Blythe, A. F. Monk, K. Overbeeke, & P. Wright (dirs.), *Funology : From usability to enjoyment* (pp. 31-42). Kluwer Academic Publishers Netherlands.
- Hon, A. H., Bloom, M., & Crant, J. M. (2014). Overcoming resistance to change and enhancing creative performance. *Journal of Management*, 40(3), 919-941.
- Hubault, F. (2021). Travailler, c'est autre chose que faire quelque chose. Dans M-A. Dujarier, A. Gillet, P. Lénéel (dirs.), *L'activité en théories, Tome II* (pp.217-238), Octarès Edition.
- Intelligence artificielle et recrutement : l'IA au service des RH*. (2021). Scoptalent.com. Consulté le 5 mai 2022 sur <https://scoptalent.com/intelligence-artificielle-recrutement/>

- Jansen, A., Beek, D., Cremers, A., Neerincx, M., & Van Middelaar, J. (2018). Emergent risks to workplace safety ; working in the same space as a cobot. *Ministry of Social Affairs and Employment*. 79.
- Kearns, B. (2004). *Technology and change management*. Consulté le 20 février 2019 sur <https://citeseerx.ist.psu.edu/>
- Kolbeinsson, A., Lagerstedt, E., & Lindblom, J. (2018). Classification of collaboration levels for human-robot cooperation in manufacturing. Dans P. Thorvald, & K. Case (dirs.), *Advances in manufacturing technology XXXII: Proceedings of the 16th international conference on manufacturing research, incorporating the 33rd National Conference on Manufacturing Research*, (pp. 151-156). IOS Press.
- Lafeuillade, A. C., Barcellini, F., Buchmann, W., & Benchekroun, T. H. (2021). Integrating collaborative robotics into work situations: The intentions of SME managers in the digital transformation of their companies. Dans M. E. Bobillier-Chaumon (dir.), *Digital Transformations in the Challenge of Activity and Work: Understanding and Supporting Technological Changes* (pp. 115-127). ISTE.
- Lallemand, C., & Gronier, G. (2017). *Méthodes de design UX: 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs*. Editions Eyrolles.
- Lapointe, L., & Rivard, S. (2005). A multilevel model of resistance to information technology implementation. *MIS quarterly*, 461-491.
- Laumer, S., & Eckhardt, A. (2012). Why do people reject technologies: a review of user resistance theories. *Information systems theory*, 63-86.
- Leplat, J. (1977). Les facteurs déterminant la charge de travail Rapport introductif. *Le travail humain*, 195-202.
- Les espaces de discussion sur le travail*. (2017). Has-sante.fr. Consulté le 3 mars 2019 sur https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2017-09/qvt_fiche_outil_edd.pdf
- Loup-Escande, E., & Loup, G. (2021). Designing acceptable emerging technologies: what contribution from ergonomics? *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 22(5), 581-602.

- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>
- Major, M. E., & Vézina, N. (2011). Élaboration d'un cadre de référence pour l'étude des stratégies : Analyse de l'activité et étude de cas multiples dans deux usines de crabe. *Perspectives Interdisciplinaires Sur le Travail Et la Santé*, 13(2). <http://pistes.revues.org/1843>
- Martinko, M. J., Zmud, R. W., & Henry, J. W. (1996). An attributional explanation of individual resistance to the introduction of information technologies in the workplace. *Behaviour & Information Technology*, 15(5), 313-330.
- Mauss, M. (1936). Les techniques du corps. *Journal de psychologie*, 32(3-4), 271-293.
- McCarney, R., Warner, J., Iliffe, S., Van Haselen, R., Griffin, M., & Fisher, P. (2007). The Hawthorne Effect: a randomised, controlled trial. *BMC medical research methodology*, 7(1), 1-8.
- Merriam, S. (1998). *Qualitative research and case study applications in education. Revised and expanded from "Case study research in education.* Jossey-Bass.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Mitre, P. (2003). *Pratiques de la conduite du changement.* Lirsa.cnam.fr. Consulté le 11 septembre 2019 sur https://lirsa.cnam.fr/medias/fichier/pratiquesconduite__1262879367792.pdf
- Mollo, V., & Falzon, P. (2004). Auto-and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied ergonomics*, 35(6), 531-540.
- Mollo, V., & Nascimento, A. (2013). Pratiques réflexives et développement des individus, des collectifs et des organisations. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie constructive* (pp. 207-222). PUF

- Monéger, F. (2018). *Conception d'un service de transport par navettes autonomes acceptable et sécurisé: approche ergonomique par l'analyse des expériences vécues et des valeurs en acte*. [Thèse de doctorat, Université Clermont Auvergne]. Theses.fr. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02066935>
- Morais, A. (2018, 18 mai). *Impact sur les conditions de travail de l'utilisation de la robotique dans l'industrie automobile [Conférence]*. Journée d'étude Activités le 18 mai 2018 IA, robotique, automatisation : Quelles évolutions pour l'activité humaine ?, CNAM Paris.
- Morgeson, F. P., & Humphrey, S. E. (2006). The Work Design Questionnaire (WDQ): developing and validating a comprehensive measure for assessing job design and the nature of work. *Journal of applied psychology, 91*(6), 1321.
- Moulières-Seban, T., Bitonneau, D., Salotti, J. M., Thibault, J. F., & Claverie, B. (2017). Human factors issues for the design of a cobotic system. Dans P. Savage-Knepshield, & J. Chen (dirs.), *Advances in intelligent systems and computing. Presented at the advances in human factors in robots and unmanned systems* (pp. 375–385). Springer, Cham.
- Mucchielli, A. (2007). Les processus intellectuels fondamentaux sous-jacents aux techniques et méthodes qualitatives. *Recherches qualitatives, 3*(3), 1-27.
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability, 11*(16), 4371. <https://doi.org/10.3390/su11164371>
- Naville, P. (1961). L'évolution des techniques et ses incidences. Dans G. Friedmann, & P. Naville (Dirs.), *Traité de sociologie du travail, I*. (pp. 347-370). Armand Colin.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- Nielsen, K., & Randall, R. (2013). Opening the black box: Presenting a model for evaluating organizational-level interventions. *European Journal of Work and Organizational Psychology, 22*(5), 601-617.
- Norval, M., Zare, M., Brunet, R., Coutarel, F., & Roquelaure, Y. (2019). Intérêt de la marge de manœuvre situationnelle pour le ciblage des situations à risque de troubles

- musculosquelettiques : Étude de cas dans une industrie de la métallurgie. *Activités*, 16(2). <https://doi.org/10.4000/activites.4588>
- Numérisation et marché du travail : une évolution qui a des conséquences sur l'emploi !*. (2021). Monde-economique.ch. Consulté le 6 mai 2022 sur <https://www.monde-economique.ch/numerisation-et-marche-du-travail-une-evolution-qui-a-des-consequences-sur-lemploi/>
- Pacaux-Lemoine, M. P., & Trentesaux, D. (2019). Ethical risks of human-machine symbiosis in industry 4.0: Insights from the human-machine cooperation approach. *IFAC-PapersOnLine*, 52(19), 19-24.
- Pardini, B. (2017). La numérisation et l'automatisation responsables d'une destruction massive d'emplois ?. *defi-metiers.fr*. Consulté le 6 mai 2022 sur <https://www.defi-metiers.fr/breves/la-numerisation-et-lautomatisation-responsables-dune-destruction-massive-demplois>
- Peshkin, M., & Colgate, J. E. (1999). Cobots. *Industrial Robot: An International Journal*. 26(5), 335-341.
- Petit, J., Querelle, L., & Daniellou, F. (2007). Quelles données pour la recherche sur la pratique de l'ergonome ?. *Le Travail Humain*, 70(4), 391-411.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Rabardel, P. (2002). *People and technology—a cognitive approach to contemporary instruments*. Université paris 8. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01020705/document>
- Rabardel, P. (2005). Instrument, activité et développement du pouvoir d'agir. Dans R. Teulier, & P. Lorino (dirs.), *Entre connaissance et organisation : l'activité collective* (pp. 251-265). La Découverte.
- Rabardel, P., & Béguin, P. (2005). Instrument mediated activity: from subject development to anthropocentric design. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(5), 429-461.

- Rabardel, P., & Pastré, P. (2005). *Modèles du sujet pour la conception : dialectiques, activités, développement*. Octarès Edition.
- Rabiee, F. (2004). Focus-group interview and data analysis. *Proceedings of the nutrition society*, 63(4), 655-660.
- Récopé, M. (2019). Sens, sensibilité et compétence. Dans P. Lièvre, M. Aubry et G. Garel (Dirs.), *Management des Situations Extrêmes : des expéditions polaires aux organisations orientées exploration* (pp. 217-230). Londres : ISTE Editions. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02330307>
- Récopé, M. & Barbier, D. (2015). Œuvrer au développement professionnel des enseignants afin que les élèves apprennent mieux. Les méandres de la sensibilité. Dans G. Carlier (dir.), *L'apprentissage en situation de travail. Itinéraires du développement professionnel des enseignants d'éducation physique*, (pp. 17-46). PUL.
- Récopé, M., Fache, H., & Rix-Lièvre, G. (2019). La sensibilité, vecteur de l'expertise: le cas des joueurs de volley-ball. *Revue Internationale de Psychosociologie et de gestion des Comportements Organisationnels*, 25(63), 75-96.
- Rocha, R. (2014). *Du silence organisationnel au développement du débat structuré sur le travail : les effets sur la sécurité et sur l'organisation* [Thèse de doctorat, Université de Bordeaux]
- Rocha, R., Mollo, V., & Daniellou, F. (2017). Le débat sur le travail fondé sur la subsidiarité : Un outil pour développer un environnement capacitant. *Activités*, 14(2). <https://doi.org/10.4000/activites.2999>
- Roy, S. N. (2009). L'étude de cas. Dans B. Gauthier (dir.), *Recherche sociale. De la problématique à la collecte de données* (pp.199-225). Presses de l'Université du Québec.
- Salotti, J. M., Ferreri, E., Ly, O., & Daney, D. (2018). Classification des systèmes cobotiques. *Ingénierie cognitive*, 1(1). hal-01943946
- Schoville, R. R. (2017). Discovery of implementation factors that lead to technology adoption in long-term care. *Journal of gerontological nursing*, 43(10), 21-26.

- Schoville, R. R., & Titler, M. G. (2015). Guiding healthcare technology implementation : A new Integrated Technology Implementation Model. *CIN: Computers, Informatics, Nursing*, 33(3), 99-107. <https://doi.org/10.1097/CIN.0000000000000130>
- Schwartz, Y. (2007). Un bref aperçu de l’histoire culturelle du concept d’activité. *Activités*, 4(4-2)
- Schwartz, Y. (2010). Quel sujet pour quelle expérience?. *Travail et apprentissages*, 6(2), 11-24.
- Sen, A. (1999). *Development as freedom*. Oxford University Press.
- Sen, A. (2004). Elements of a theory of human rights. *Philosophy & public affairs*, 32(4), 315-356.
- Simonet, P., Caroly, S., & Clot, Y. (2011). Méthodes d’observation de l’activité de travail et prévention durable des TMS. Action et discussion interdisciplinaire entre clinique de l’activité et ergonomie. *Activités*, 8(1).
- Srivastava, A., Bartol, K. M., & Locke, E. A. (2006). Empowering leadership in management teams: Effects on knowledge sharing, efficacy, and performance. *Academy of management journal*, 49(6), 1239-1251.
- Strauch, B. (2017). The automation-by-expertise-by-training interaction: Why automation-related accidents continue to occur in sociotechnical systems. *Human Factors*, 59(2), 204–228.
- Sperandio, J. C. (1972). Charge de travail et régulation des processus opératoires. *Le travail humain*, 85-98.
- St-Vincent, M., Vézina, N., Bellemare, M., Denis, D., Ledoux, É., & Imbeau, D. (2011). *L’intervention en ergonomie*. Editions MultiMondes.
- Supiot, A. (2019). *Le travail au XXIe siècle*. Editions de l'Atelier.
- Tellis, W. (1997). Application of a case study methodology. *The qualitative report*, 3(3), 1-19.

- Terrade, F., Pasquier, H., Reerinck-Boulanger, J., Guingouain, G., & Somat, A. (2009). L'acceptabilité sociale: la prise en compte des déterminants sociaux dans l'analyse de l'acceptabilité des systèmes technologiques. *Le travail humain*, 72(4), 383-395.
- Thévenet, M. (2015). *La culture d'entreprise* (Que sais-je ?, 2756). PUF.
- Travail : Définition. (2012). CNRTL.fr. Consulté le 4 mai 2022 sur <https://www.cnrtl.fr/definition/travail>
- Tricot, A., Plécat-Soutjis, F., Camps, J. F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité: interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. *Environnement informatique pour l'apprentissage humain EIAH*, 391-402. <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000154/document>
- Trischler, J., Dietrich, T., & Rundle-Thiele, S. (2019). Co-design: from expert-to user-driven ideas in public service design. *Public Management Review*, 21(11), 1595-1619.
- Trischler, J., Kristensson, P., & Scott, D. (2018). Team diversity and its management in a co-design team. *Journal of Service Management*, 29(1), 120-145.
- Trouche, L. (2004). Managing the complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: Guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for mathematical learning*, 9(3), 281-307.
- Van Belleghem, L. (2012). Simulation organisationnelle : innovation ergonomique pour innovation sociale. Dans M. F. Dessaigne, V. Pueyo & P. Béguin (dirs.), *Innovation et Travail : Sens et valeurs du changement, Actes du 42e Congrès de la SELF, 05-07 Septembre, Lyon, France*.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). *The Embodied Mind : Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press.
- Vecchio, R. P., Justin, J. E., & Pearce, C. L. (2010). Empowering leadership: An examination of mediating mechanisms within a hierarchical structure. *The Leadership Quarterly*, 21(3), 530-542.

- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology : Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Vergnaud, G. (2006). Rabardel Pierre & Pastré Pierre (dir.). Modèles du sujet pour la conception : dialectiques, activités, développement. *Revue française de pédagogie*, 1(154), 219-222. DOI : 10.4000/rfp.205
- Wisner, A. (1997). Aspects psychologiques de l'anthropotechnologie. *Le Travail Humain*, 60(3), 229-254.
- Yin, R. K. (2013). Validity and generalization in future case study evaluations. *Evaluation*, 19(3), 321-332.

Annexe 1 : Glossaire du cas A

Pour des raisons de confidentialité, les noms ont été anonymisés. Vous trouverez ci-dessous les correspondances des initiales utilisées dans le texte.

BS = Société industrielle française à dimension internationale, elle fabrique principalement des produits pour la fixation dans les domaines de l'automobile, de la santé, des énergies renouvelables et de l'industrie.

Ce = Centre d'expertise mécanique.

ABB = Fournisseur du cobot.

RT = Société spécialisée dans l'intégration du cobot.

YUMI = Modèle du cobot (cobot à 2 bras).

Monsieur P : Notre contact au sein de BS, membre de l'équipe Méthodes et ancien membre de RT.

Annexe 2 : Glossaire du cas B

Pour des raisons de confidentialité, les noms ont été anonymisés. Vous trouverez ci-dessous les correspondances des initiales utilisées dans le texte.

MA = Société à dimension internationale initiatrice et porteuse du projet.

SP = Start-up chargée du développement technologique et de l'intégration du dispositif de réalité augmentée.

D = Ergonome Group.

PP = « Initiative leader », initiateur du projet chez MA.

P = Responsable travaux, désigné comme « ambassadeur » par SP.

PR = Chef d'équipe.

Il est également à noter que les techniciens sont les utilisateurs finaux du dispositif de réalité augmentée.

Annexe 3 : Glossaire du cas C

Pour des raisons de confidentialité, les noms ont été anonymisés. Vous trouverez ci-dessous les correspondances des initiales utilisées dans le texte.

Fi = Association régionale qui regroupe et fédère la filière bois.

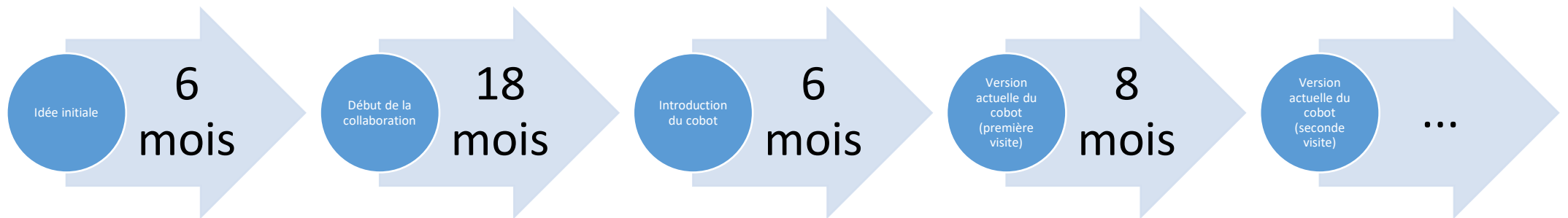
Oc = Organisme qui assure la couverture sociale des sylviculteurs.

Ik = Entreprise de location d'exosquelettes.

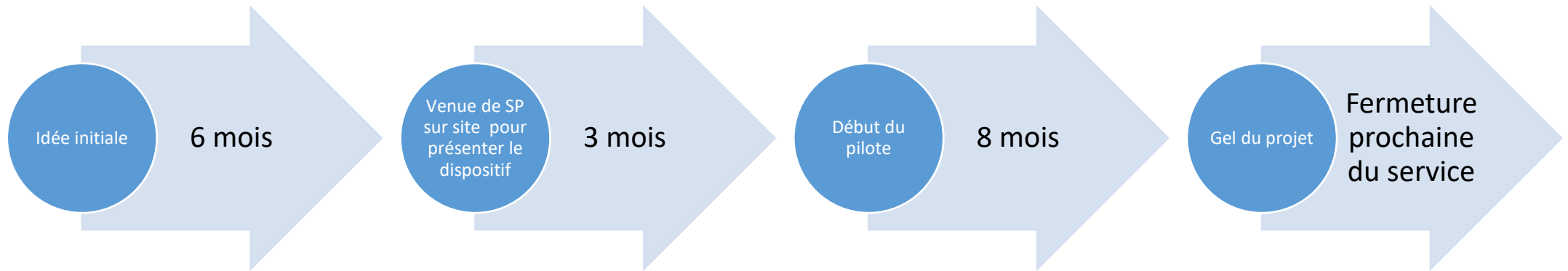
Erg = Cabinet de conseil en ergonomie.

Af = Une association des métiers de la forêt.

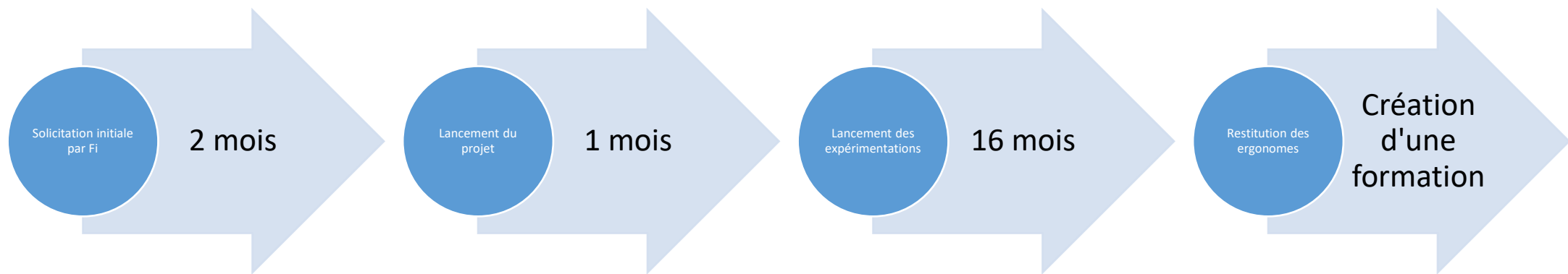
Annexe 4 : Frise chronologique du cas A



Annexe 5 : Frise chronologique du cas B



Annexe 6 : Frise chronologique du cas C



Annexe 7 : Résultats du questionnaire sociodémographique de la seconde étude

Âge :

S1 G2	S2 G2	S3 G2	S1 G1	S2 G1	S3 G1
Gravure	Gravure	Gravure	Rangement	Rangement	Rangement
21	21	23	22	21	22

Sexe :

S1 G2	S2 G2	S3 G2	S1 G1	S2 G1	S3 G1
Gravure	Gravure	Gravure	Rangement	Rangement	Rangement
Féminin	Féminin	Masculin	Féminin	Féminin	Féminin

Langue maternelle :

S1 G2	S2 G2	S3 G2	S1 G1	S2 G1	S3 G1
Gravure	Gravure	Gravure	Rangement	Rangement	Rangement
Français	Français	Français	Français	Français	Français

Formation initiale (Classe préparatoire, IUT en ..., licence en ...) :

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
Prépa	Prépa MP	Prépa	CPGE PCSI- PC	Prépa MPSI/MP	Prépa PCSI/PSI

Niveau d'études :

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
Bac +4	Bac +4	Bac +4	Bac +4	Bac +4	Bac +4

Qu'est-ce qui vous a amené à venir à GI initialement :

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
Attrait pour l'ambiance de l'école + la diversité des matières enseignées.	Les cours proposés, la ville.	Oraux.	Filière IDP.	La volonté de découvrir un domaine nouveau différent de l'enseignement théorique (maths/physique).	La multidisciplinarité des enseignements.

Comment avez-vous perçu le cours d'ergonomie de première année :

1 2 3 4 5 6 7

Peu enthousiaste

Très enthousiaste

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
3	4	4	4	4	5

Veillez décrire votre stage de 1ère année (entreprise, secteur, votre poste, vos missions...):

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
Stage opérateur chez Mtshirt – Start-up/PME dans le textile. Opératrice sur la chaîne d’expédition => rassemblement des différents produits des commandes/conditionnement des produits/préparation des colis/ expédition.	Stage dans une ferme agricole, poste : peinture, mise en sac du blé, etc.	Stage ouvrier dans une entreprise du BTP spécialisée dans la couverture /étanchéité des bâtiments industriels .	Stage annulé à cause du COVID, mais aide sur un chantier participatif à la rénovation d’une grange (tri des débris, reconstruction...).	Stage opérateur effectué chez Alpro Sajinal, Issenheim. France au service logistique à l’accueil des chauffeurs.	Mon stage de 1ère année était dans une entreprise de mode qui a développé des masques réutilisables pour la crise du COVID. J’ai pu participer à la production des masques.

À quel point avez-vous trouvé votre stage pénible/difficile :

1 2 3 4 5 6 7

Peu pénible

Très pénible

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
3	5	3	1	5	1

Est-ce que cette option était votre premier choix :

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui

Est-ce que ce terrain était votre premier choix :

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
Non	Non	Non	Non	Non	Non

Qu'est-ce qui vous a décidé/motivé, à prendre cette option d'ergonomie :

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
Je ne voulais pas vraiment prendre ce cours.	Le fait qu'on puisse aller sur le terrain.	Être sur le terrain.	Étude de terrain non trouvée.	Entreprise non trouvée ; proposition de l'enseignant.	Le fait qu'il y ait un terrain.

Quel est votre degré d'enthousiasme à travailler sur ce cas avec le cobot :

1 2 3 4 5 6 7

Peu enthousiaste

Très enthousiaste

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
4	5	5	5	4	5

À quel point considérez-vous que cette matière est utile à votre cursus :

1 2 3 4 5 6 7

Peu utile

Très utile

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
5	5	4	5	5	5

À quel point cette matière impacte votre moyenne générale (gros coefficient, petit coefficient, etc.) :

1 2 3 4 5 6 7

Peu impactante

Très impactante

S1 G2 Gravure	S2 G2 Gravure	S3 G2 Gravure	S1 G1 Rangement	S2 G1 Rangement	S3 G1 Rangement
4 (je ne sais pas vraiment)	6	4	3	4	4

Aviez-vous déjà utilisé un cobot ? Si oui, dans quelle mesure (quel dispositif, dans quel contexte...) ?

S1 G2	S2 G2	S3 G2	S1 G1	S2 G1	S3 G1
Gravure	Gravure	Gravure	Rangement	Rangement	Rangement
Non	Non	Non	Non	Non	Non

Au début de ce travail sur ce cas, votre vision envers la cobotique était-elle plutôt (entourez la bonne réponse)

1 Complètement Négative 2 Quelque peu Négative 3 Légèrement Négative 4 Neutre 5 Légèrement Positive 6 Quelque peu Positive 7 Complètement Positive

S1 G2	S2 G2	S3 G2	S1 G1	S2 G1	S3 G1
Gravure	Gravure	Gravure	Rangement	Rangement	Rangement
4 (je ne connaissais pas)	6	6	4	4	7

Votre vision actuelle envers la cobotique est-elle plutôt (entourez la bonne réponse) :

1 Complètement Négative 2 Quelque peu Négative 3 Légèrement Négative 4 Neutre 5 Légèrement Positive 6 Quelque peu Positive 7 Complètement Positive

S1 G2	S2 G2	S3 G2	S1 G1	S2 G1	S3 G1
Gravure	Gravure	Gravure	Rangement	Rangement	Rangement
6	7	5	6	6	7

Veillez vous positionner sur cette marguerite de compétences en donnant un score de 1 à 10 (notez directement sur le schéma) selon votre niveau estimé dans cette compétence :



Catégories en sens horaire (score sur 10)	S1	G2	S2	G2	S3	G2	S1	G1	S2	G1	S3	G1
Évaluer une situation	8-5-7		8-6-6		7-6-8		10-6-7		7-8-8		8-8-8	

Innover et concevoir	6-6-7	5-6-7	7-7-5	10-7-7	6-6-7	7-8-7
Décider et planifier	7-7	6-7	7-8	7-8	5-6	9-9
Piloter	8-7-7	6-6-4	9-7-6	8-5-6	7-5-5	10-8-9
Agir en professionnel responsable	6-6-6	6-5-6	6-6-8	9-9-8	9-8-8	9-9-8

Annexe 8 : Questionnaire NASA-TLX

Exigence mentale

1. Quelle a été l'importance de l'activité mentale et intellectuelle requise (ex. réflexion, décision, calcul, mémorisation, observation, recherche etc.) ? La tâche vous a-t-elle paru simple, nécessitant peu d'attention (faible) ou complexe, nécessitant beaucoup d'attention (élevée) ?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Faible

Élevé

Exigence physique

2. Est-ce que cette activité a été physiquement éprouvante ? La tâche vous a-t-elle paru facile, peu fatigante, calme (faible) ou pénible, fatigante, active (élevée)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Faible

Élevé

Performance

3. Quelle réussite pensez-vous avoir eu dans l'accomplissement de votre tâche ? Comment pensez-vous avoir atteint les objectifs déterminés par l'exercice ?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Mauvais

Bonne

Effort

4. Quel degré d'effort avez-vous dû fournir pour exécuter la tâche demandée, (mentalement et physiquement) ?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Faible

Élevé

Frustration

5. Pendant l'exécution du travail vous êtes-vous senti satisfait, relaxé, sûr de vous (niveau de frustration faible), ou plutôt découragé, irrité, stressé, sans assurance (niveau de frustration élevé) ?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Faible

Élevé

Exigence temporelle

6. Vous êtes-vous senti pressé par le temps ? Était-ce un rythme lent et tranquille (faible) ou rapide et précipité (élevé) ?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Faible

Élevé

Annexe 9 : Questionnaire TAM

Exosquelette

J'ai l'intention d'utiliser l'**exosquelette** dans mon travail s'il y est déployé.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait									
d'accord								d'accord									
<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>																	

J'essaierai d'utiliser l'**exosquelette** dans mon travail dans les mois qui suivront son déploiement.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait									
d'accord								d'accord									
<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>																	

Je prévois d'utiliser l'**exosquelette** dans mon travail dans les mois qui suivront son déploiement.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait									
d'accord								d'accord									
<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>																	

Je suis fermement décidé à utiliser l'**exosquelette** dans mon travail dans les mois qui suivront son déploiement.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait									
d'accord								d'accord									
<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>																	

Apprendre à utiliser **l'exosquelette** sera facile pour moi

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait
d'accord								d'accord

Ma prise en main de **l'exosquelette** sera facile.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait
d'accord								d'accord

Je vais trouver facile le fait de devenir compétent dans l'utilisation de **l'exosquelette**.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait
d'accord								d'accord

Je vais trouver simple d'obtenir l'aide dont j'ai besoin à l'aide de **l'exosquelette**.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait
d'accord								d'accord

Utiliser **l'exosquelette** dans mon travail va me permettre d'effectuer le travail demandé plus rapidement.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait
d'accord								d'accord

Utiliser l'**exosquelette** dans mon travail va augmenter l'efficacité de mon travail.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait
d'accord								d'accord

Utiliser l'**exosquelette** dans mon travail va rendre mon travail plus facile.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait
d'accord								d'accord

Utiliser l'**exosquelette** dans mon travail va améliorer la qualité de mon travail.

Pas du tout	1	2	3	4	5	6	7	Tout à fait
d'accord								d'accord

Annexe 10 : Questionnaire des caractéristiques perçues du travail

CARACTÉRISTIQUES DE MON TRAVAIL EN SYLVICULTURE

Ce travail me permet de m'organiser comme je le souhaite.

Fortement en désaccord	1	2	3	4	5	6	7	Fortement en accord

Ce travail me permet de décider dans quel ordre les tâches doivent être réalisées.

Fortement en désaccord	1	2	3	4	5	6	7	Fortement en accord

Ce travail me permet de planifier ce que j'ai à faire.

Fortement en désaccord	1	2	3	4	5	6	7	Fortement en accord

Ce travail me donne l'occasion de faire preuve d'initiative personnelle dans la réalisation des tâches professionnelles.

Fortement en désaccord	1	2	3	4	5	6	7	Fortement en accord

Ce travail me permet de prendre de nombreuses décisions par moi-même

Fortement en désaccord	1	2	3	4	5	6	7	Fortement en accord

Ce travail me donne une grande autonomie dans la prise de décisions.

Fortement	1	2	3	4	5	6	7	Fortement
en								en accord
désaccord								

Le travail en lui-même me fournit un retour sur ma performance.

Fortement	1	2	3	4	5	6	7	Fortement
en								en accord
désaccord								

Mes activités professionnelles me fournissent des informations directes et claires (en termes de qualité et de quantité) sur mon efficacité au travail.

Fortement	1	2	3	4	5	6	7	Fortement
en								en accord
désaccord								

Le travail en lui-même me fournit des informations concernant ma performance.

Fortement	1	2	3	4	5	6	7	Fortement
en								en accord
désaccord								

Ce travail me demande beaucoup de réflexion.

Fortement	1	2	3	4	5	6	7	Fortement
en								en accord
désaccord								

Ce travail nécessite que j'analyse beaucoup d'informations.

Fortement	1	2	3	4	5	6	7	Fortement
en								en accord
désaccord								

Ce travail m'oblige à contrôler un grand nombre d'informations.

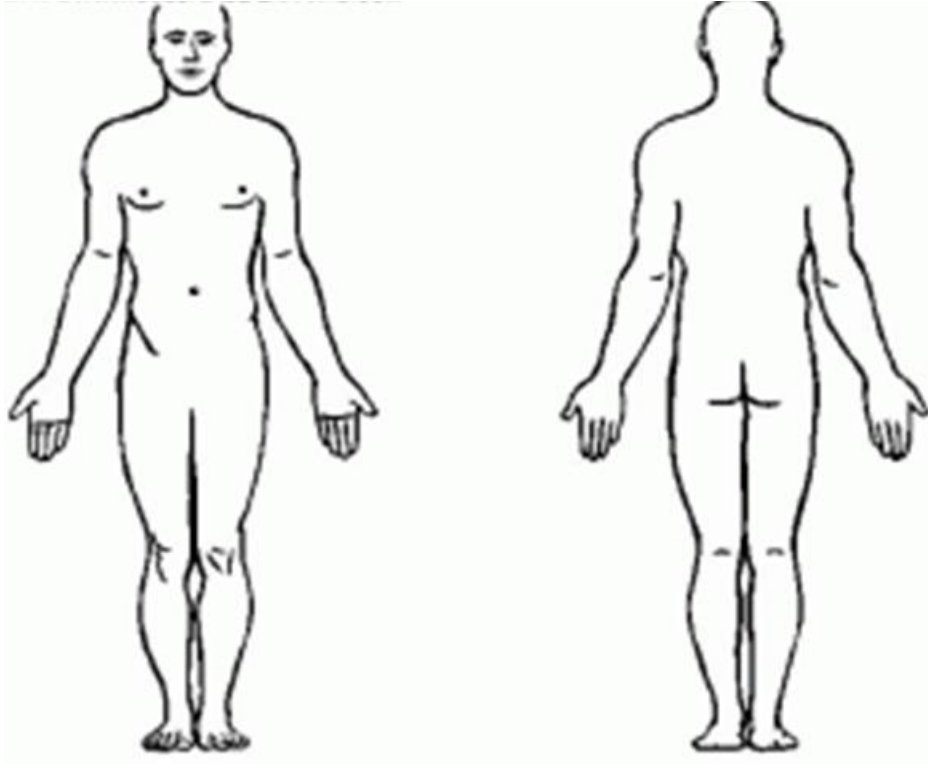
Fortement	1	2	3	4	5	6	7	Fortement
en								en accord
désaccord								

Ce travail m'oblige à suivre plus d'une chose à la fois.

Fortement	1	2	3	4	5	6	7	Fortement
en								en accord
désaccord								

Annexe 11 : Questionnaire d'évaluation des douleurs musculo-squelettiques au travail

Indicateurs santé - sécurité (TMS / RPS / AT)



Accidentologie (avec exosquelette) :

Douleurs (depuis l'exosquelette) :

Stress (avec exosquelette) :

Organisation de travail (avec exosquelette) :

Facteurs protecteurs vis-à-vis de la santé - sécurité :

Sens au travail (avec exosquelette) :

Autonomie (avec exosquelette) :

Quels sont les types de contraintes auxquelles vous pouvez être confronté (avec l'exosquelette) ?

Est-ce que vous avez plusieurs possibilités pour faire votre travail ? Est-ce que vous avez différentes manières de travailler ? Quelles sont vos stratégies (opératoires) (liées, ou non, aux variabilités et à l'exosquelette) ?

Annexe 12 : Exemple de traitement des analyses thématiques

Phase 1 codage de l'entretien :

Les sections **rouges** représentent les occurrences jugées significatives. Les ajouts **[bleus]** (non présents dans l'entretien) représentent les catégories thématiques provisoires.

Interviewer : Est-ce que vous avez eu le sentiment d'être plus performant que la première fois ?

Interviewé : Ouais !

Interviewer : D'accord... Est-ce que vous pouvez me noter votre niveau de sentiment de performance sur cette activité entre 0 : « je n'ai pas du tout été performant » et 10 : « j'ai été extrêmement performant » ?

Interviewé : Je mettrais 8.

Interviewer : Super, et du coup pourquoi ?

Interviewé : J'ai pas eu **le temps de retourner... J'ai pas fait d'allers-retours inutiles** **[Moins d'allers-retours (positif)]**. Euh... Après j'ai pas mis 10 parce que **je me suis posé... Justement pour les vanes là... Les questions. Donc ça veut dire... Euh... Il y a peut-être juste encore un peu à... Être plus clair** **[Questionnements (négatif)]**. Et... Voilà. **Bon après le fait de faire facilement, de pas me tromper sur... Les lettres sur l'écran... [Erreurs (positif)]** Voilà.

Interviewer : Super, parfait. Est-ce que vous considérez que les lunettes sont un dispositif utile ? Plutôt oui ou plutôt non ?

Interviewé : Ouais.

Interviewer : D'accord. Est-ce que vous pouvez noter le niveau d'utilité du dispositif au cours de votre activité entre 0 : « pas du tout utile » et 10 : « extrêmement utile » ?

Interviewé : Pour de la consignation ?

Interviewer : Ouais, tout à fait.

Interviewé : Euh... Je mettrais... Je mettrais... Euh... Je mettrais 9, ouais.

Interviewer : Super, et du coup pourquoi ? Même si c'est un peu répétitif.

Interviewé : Alors moi il y a deux choses que je vois déjà. Il y a déjà l'aspect où... **On est sûr de rien oublier** **[Mémorisation (positif)]**. **Il y a un aspect chronologie et le fait de valider les étapes, déjà c'est**

bien parce que en fonction de la consignation, euh... Ça permet souvent, vraiment de... On essaye souvent aussi de faire des procédures à clé où on est obligé d'aller jusqu'au bout. Là ça permet quand même de faire... On peut pas aller jusqu'au bout de la procédure si on n'a pas validé toutes les étapes donc ça c'est plutôt... C'est plutôt positif. Ça peut éviter de la vérification [Erreurs (positif)]. Après ça permet de... Effectivement quand il y a des installations qui sont un peu conséquentes de guider... Euh... L'opérateur. On sait où on va... [Guide (positif)] Euh... Et puis de se focaliser un petit peu plus sur l'environnement [Cécité attentionnelle (positif)]. Puis de faire ça ben... Je sais pas si on peut dire du stress mais euh... Des fois on peut avoir de l'agacement parce qu'on cherche, on trouve pas et là effectivement on est un peu plus serein [Facilité].

Interviewer : Ok. [...]

Phase 2 : regroupement thématique :

Il s'agit de regrouper les catégories thématiques (par exemple les occurrences : « vitesse », « rapidité » et « gain de temps » sont regroupées sous l'appellation « rapidité »), une barre représentant une occurrence. Le classement des thèmes est effectué, au final, en fonction du nombre d'occurrences.

- Performance réelle/Utilité : pourquoi ?

Rapidité (positif) : IIIIIIIIII	Moins d'allers-retours (positif) : IIIIII
Moins/pas de doutes/questionnements/hésitations : IIIII	
Cécité attentionnelle (négatif) : IIIII	Absence/Peu d'erreurs : IIII
Cécité attentionnelle (positif) : III	
Toutes les tâches : II	Aide/Assistance (moins mémoriser, les étapes, etc...) (positif) : II
Erreurs (négatif) : I	Aller-retour (négatif) : I
Mur rouge (positif) : I	
Instruction à portée (positif) : I	
Facilité pour trouver les informations : I	
Moins besoin de mémoriser (positif) : I	Plus facile : I
Sécurité (positif) : I	
Problème PC : I	Consignes précises (positif) : I
Questionnements (négatif) : I	

Utilité du dispositif : Pourquoi ?

Allégé cognitivement/Mémorisation (positif) : IIIII

Aide/guide (positif) : IIIII Rapidité : IIII Instruction à portée (positif) : IIII

Évite les erreurs : III

Cécité attentionnelle (négatif) : II Intuitif/facile (positif) : II Efficacité (positif) : II

Cécité attentionnelle (positif) : II

Bugs (lacunes dans le guidage, etc...) : I Rend la zone interdite plus visible : I

On pourrait s'en passer (négatif) : I Évite les allers-retours : I Orientation (positif) : I

Évite les oublis : I Rassurance (positif) : I Suivi du travail (positif) : I

Consignes précises (positif) : I Champ de vision : I Pas adapté à tous les environnements : I

Annexe 13 : Tableau illustrant le type de traitement intermédiaire par type d'acteur pour les différents cas (ici le cas C)

Le tableau ci-dessous illustre notre synthèse des données obtenues après l'analyse des entretiens (différenciée par type d'acteur), il s'agit de regroupements et d'interprétations issus de l'appréciation subjective des différents acteurs. Ces données sont, par la suite, pondérées par nos observations et autres méthodes employées (focus group, questionnaires, chronique d'activité, etc.).

<i>Thématique</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Question</i>	<i>Loueur de l'exosquelette</i>	<i>Ergonome</i>	<i>Conseillère en prévention + médecin</i>	<i>Sylviculteurs (4)</i>
		Préambule	Conditions du recueil de données : Entretien téléphonique après le premier essai d'exosquelette. La communication était mauvaise, il était difficile d'entendre clairement tous les propos.	Conditions du recueil de données : Entretien par téléphone après le test de l'exosquelette auprès des deux premiers sylviculteurs.	Conditions du recueil des données : entretiens téléphoniques	Durée d'utilisation variable : 3 sylviculteurs l'ont utilisé entre 1 et 2 jours (entre 1/2j et 1j d'affilée), le 4ème sylviculteur l'a utilisé sur une semaine (3 jours consécutifs) Conditions de recueil des données : 2 par entretien téléphonique, 2 en présentiel

		Question ouverte	Il trouve la méthodologie intéressante. Notamment les « 2 profils différents » : « quelqu'un de plus jeune » et un deuxième profil plus vieux (douleurs le soir) plus intéressant pour l'exosquelette	<p>Orienté projet : projet "intéressant", "pertinent", qui "mériterait d'aller plus loin". Qui "a pu être anticipé" et "réfléchi en amont"</p> <p>Orienté techno : avait "quelques doutes". Bien qu'elle estime que le métier testé ne soit pas le "meilleur exemple", et que la technologie est "encore améliorable", elle pense que la techno va devenir incontournable et "peut avoir un intérêt particulier dans certains corps de métier"</p>	<p>Conseillère en prévention MSA : au départ, elle avait des réserves quant à l'utilisabilité de l'exosquelette en agriculture, craignant qu'il gêne les mouvements. Finalement, "c'est pas si gênant que ça", "les retours sont pas si négatifs que ça".</p> <p>Son enjeu en tant que préventeur, "c'est l'introduction de ce truc-là [...] dans une logique de prévention et pas dans une logique d'augmentation [de la productivité]", "améliorer [les] conditions de travail".</p> <p>Médecin MSA : elle pense que la tâche ciblée n'était pas la plus appropriée, doute du fait que les sylviculteurs "adoptent [l'exosquelette] sur du long terme", et semble sceptique quant à la capacité du loueur à "apporter un accompagnement comme il faudrait dans le temps".</p>	Les 4 sylviculteurs s'accordent sur le fait que l'exosquelette peut être utile et intéressant (« c'est un bon projet » ; « l'intention est bonne » ; « ça peut être ultra intéressant ») en réponse à la pénibilité, pour préserver les corps, mais pour d'autres métiers que le leur (ex : « peintres ou plâtriers ») car « travailler les bras levés [...] c'est vraiment une petite part de [leur] travail ». « Soulagement des bras typiquement pour les tâches qu'on fait, ça nous sert pas ». Donc question de l'utilité réelle de l'outil.
--	--	------------------	---	--	---	---

Contexte		Origine et enjeux du projet ?		Initiative de Fibois, qui souhaite "apporter une amélioration" "des conditions de travail" "notamment pour les sylviculteurs". Ils se sont rapprochés de la MSA pour pouvoir être "accompagnés" et "conseillés". "Ils avaient [...] vu déjà et entendu parler de l'exosquelette". Puis la MSA a lancé l'appel d'offre auprès des cabinets d'ergonomie.	Le projet est né de la sollicitation de la MSA par Fibois pour le financement de la location d'un exosquelette pour un essai. Ce qui a été l'occasion de réaliser une étude ergonomique de ce type de dispositif, et de pouvoir élaborer une méthodologie d'accompagnement ou d'évaluation qui soit rapide et reproductible, dans un contexte de demandes croissantes pour des aides financières pour des exosquelettes : "On voulait avoir une méthode qu'on pourrait utiliser quand on aurait une demande d'un exploitant qui voudrait acheter un exo pour pouvoir l'accompagner dans cette démarche-là avant qu'il en achète un, voire avoir une méthode d'évaluation s'il en a déjà acheté un". La médecin MSA évoque aussi l'enjeu pour la filière bois de "rendre [...] plus attractif le métier" en travaillant sur la réduction de la pénibilité : "pour assister les tâches et les rendre moins pénibles".	MSA à l'origine du projet d'après 1 sylviculteur. Enjeu de pénibilité pour 2. 2 sylviculteurs relatent qu'on leur a proposé de tester l'exosquelette (Douglas Martin et en fin de formation).
		Qui porte ? Finance ? Qui prend le risque ?		Projet financé et porté par la MSA	Financement MSA. La médecin s'interroge sur une éventuelle contribution de Fibois.	Pour 3 des sylviculteurs le porteur du projet est la MSA. 2 mentionnent Fibois et notamment Nicolas.
		Quels partenaires ? Histoire des collaborations ? Ressources ?	Première expérience pour lui. La situation la plus proche qu'il ait pu avoir concerne l'élitage.	Pas de partenariat antérieur avec Fibois, en revanche APHOS a l'habitude d'intervenir avec la MSA, mais ne connaissait pas spécifiquement ces actrices-là (Hélène et Sandrine)	Parties prenantes du projet : MSA/Fibois et exploitants/APHOS/Kiloutou. La MSA a déjà travaillé avec Fibois. Premier partenariat en revanche avec APHOS.	2 sylviculteurs ne savent pas trop répondre. Les 2 autres citent MSA/Fibois/APHOS/sylviculteurs. L'un des 2 ajoute Kiloutou et potentiellement l'Ardef.

	Quels objectifs ?	"Donner de la visibilité" aux exosquelettes, et promouvoir le fait que Kiloutou en loue et s'engage dans "une démarche de réduction des pénibilités"	"Mettre en place une intervention, un accompagnement ergonomique, dans l'objectif [...] de dire si [...] l'exosquelette pouvait être [ou non] une solution technologique [...] pour améliorer les conditions de travail des sylviculteurs"	Conseillère en prévention et médecin MSA s'accordent sur leur objectif de prévention/conseil dans ce projet. La médecin ajoute : "et en même temps nous-mêmes nous former à la démarche d'implantation des exosquelettes en entreprise". L'objectif pour Fibois selon la médecin était une revalorisation de la filière.	Les sylviculteurs sont unanimes sur un point : la réduction de la pénibilité. 2 d'entre eux avancent d'autres enjeux : l'attractivité du métier et la rentabilité.
	Quels partis pris ?		Côté cabinet ergo : évaluer la rentabilité d'achat d'un exosquelette au regard des enjeux de santé et performance : "évaluer la rentabilité d'achat d'un tel dispositif par rapport aux objectifs de productivité des sylviculteurs, aux objectifs de qualité de leur travail [...] et bien évidemment [...] aux objectifs de préservation et de développement de la santé" Côté MSA : donner de la visibilité à leur capacité de conseils auprès de leurs adhérents, notamment pour limiter les investissements inopportuns	La conseillère en prévention explique qu'il s'agissait de tester si l'exosquelette pouvait "s'adapter à la filière bois, et de trouver une méthodologie [ad hoc]".	
	Quel type de collaboration souhaitez-vous obtenir entre l'opérateur et le robot sur le poste de travail (partage d'espace, développement ...) ?	De l'assistance : "nous on est sur la réduction de pénibilité"	Ils ont plutôt "pointé des premières vigilances"	Collaboration d'assistance entre l'opérateur et le robot (conseillère en prévention)	Ne savent pas.

	Culture d'innovation /projet, culture d'entreprise ...	<i>Prise en compte de l'histoire de l'entreprise et des collectifs</i>		Selon elle les sylviculteurs impliqués n'étaient "pas forcément réfractaires au changement". Pour autant cela reste un milieu où l'assistance technologique est culturellement plutôt mal vue	Les réponses des 2 représentantes de la MSA se rejoignent : contrairement à la vision a priori technophobe des forestiers, une culture de mécanisation, d'innovation technologique se développe chez les sylviculteurs, en particulier chez la jeune génération : "a priori plutôt réfractaires de la nouvelle techno, [...] mais en fait [...] au niveau de leurs EPI, ils sont toujours entre guillemets à la pointe de la technologie" (conseillère en prévention). "Il y a toute une génération qui commence vraiment à s'intéresser aux technologies" (médecin).	Pour 2 sylviculteurs, c'est le début de la culture d'innovation ; l'un explique cela en lien avec le départ à la retraite de l'ancienne génération ; pour le second c'est potentiellement par souci de rentabilité. Pour les 2 autres, la filière est plutôt technophile, les enjeux étant la réduction de la pénibilité et la rapidité d'exécution ("Les gens sont aussi à l'écoute de la technologie pour pouvoir au moins se faciliter la vie" ; "on essaie de mécaniser un maximum pour pouvoir faire le boulot [...] pour aller plus vite").
Organisation industrielle		Type de management				3 répondants/4 sont indépendants ou équivalent. L'un parle de "totale liberté", un autre insiste sur la confiance que les clients (réguliers et occasionnels) lui accordent, le dernier met l'accent de son côté sur la confiance et l'entraide entre pairs ("je travaille avec les collègues aussi, on s'arrange entre nous").
		Organisation				1 est salarié, les autres semblent être indépendants.
		Hiérarchie				
Processus		Durée		Environ 1 an. Lancement de l'appel d'offre en novembre 2020, le cabinet ergo y a répondu en décembre	Les 2 actrices s'accordent sur la temporalité du projet : sollicitation par Fibois en novembre 2020 ; fin du projet au moment de la restitution.	2 répondants/4 : 1 mois en moyenne (3 semaines-1 mois et demi)
		Arbitrage en cours de projet, par qui, quels critères ?	Négociation sur la durée de la location ? Sinon peu d'arbitrages. "Rôle de facilitateur" auprès de ses 2 clients (MSA et Fibois) : "On	Arbitrage au début du projet sur l'aspect financier. Et côté cabinet ergo des "régulations chaudes" "sur une partie du protocole"	Arbitrages par la MSA, sur le critère du budget et sur la pertinence des partenaires (conseillère en prévention). La MSA a essayé d'impulser une démarche centrée sur l'activité (médecin).	Ne savent pas.

			s'inscrit au service de la réussite du projet"			
Utilité	Quelle évaluation de l'utilité ?			« pour moi, non » « on savait déjà ce qu'on allait mettre à l'essai avant même d'avoir fait les analyses ».		2 répondants/4 : plutôt techno-push que besoin : "ils se sont peut-être pas posé les bonnes questions pour avoir quelque chose qui nous aide" car "les bras au-dessus des épaules, c'est assez rare dans notre métier".
	Quand apparaissent, dans le projet, les premiers questionnements sur le travail humain (avec/autour de la technologie) ?			Dès le début du projet par la volonté de la MSA de faire intervenir un cabinet ergo : "Dès l'instant où nous cabinet d'ergonomie, on a été inclus dans le projet [...] pour moi c'est ce qui a mis les questions du facteur humain au centre"	Les 2 s'accordent sur la prise en compte précoce du travail humain dans le projet, bien que la demande initiale ait été plutôt technocentrée. Le moment de cette prise en compte diverge toutefois : "dès le montage du projet avec l'appel pour les ergonomes" pour la conseillère en prévention ; "au Copil, lors de la réunion" pour la médecin.	
Accompagnement au changement et coconception	Participants aux simulations, expérimentations, place des utilisateurs finaux (moments et types de sollicitations), travail sur les représentations. Précocité des confrontations aux utilisateurs finaux dans le processus ? Leur place dans les arbitrages ?	L'accompagnement au changement ne semble pas être une démarche institutionnalisée chez Kiloutou, mais le représentant de l'entreprise impliqué dans l'expérience s'en soucie à titre personnel : « moi, salarié Kiloutou, pouvoir aider personnellement un projet, c'est quelque chose qui est important ». Il valorise l'importance d'un « relais local » et la mise en place de réunions avec toutes les parties prenantes, pour « donner du sens à		Selon l'ergonome « l'accompagnement au changement a été facilité par [leur] présence ». Elle ne pense pas pour la coconception.	La médecin MSA estime que l'accompagnement n'a pas été suffisant, et qu'un peu plus d'observation du travail réel (<i>de la part de Kiloutou ?</i>) aurait permis d'avoir de meilleurs réglages de l'exosquelette.	3 répondants/4. Ils semblent satisfaits de l'accompagnement au changement : "c'était clair et concis" ; "c'était suffisant" ; "ça a été nickel". 2 pensent avoir un poids dans la coconception.

			<p>l'ensemble de la démarche ».</p> <p>En matière de coconception, il explique que les retours d'expériences sont remontés « aux gens en charge de l'innovation nationale chez Kiloutou [...] qui eux peuvent faire remonter directement au fabricant ». En agence les collaborateurs auraient également des contacts directs avec les fabricants.</p>			
Sécurité, normes...	Limites technologiques ou légales et choix associés ?	Ne sait pas, ne se sent "pas pertinent pour répondre"	<p>Le fait que l'exosquelette n'aille pas sous la ligne de cœur.</p> <p>"Une des solutions peut être de repenser les outils de travail avant de repenser comment on va aider l'Homme à les porter"</p>	<p>La conseillère en prévention omet de parler du fait que l'exosquelette n'aide qu'à partir de la ligne de cœur.</p> <p>La médecin évoque de son côté le fait que le robot n'est à ce stade pas capable d'assister sur des articulations complexes. Elle craint par ailleurs que sous prétexte d'être assisté par un robot, le port de charge par exemple soit augmenté : "c'est 80 kg, c'est bon, avec l'exosquelette je peux le faire. Mais pour moi une charge reste une charge [...], c'est porté ailleurs".</p>	Un seul voit une limite de l'exosquelette, limite au niveau sécurité : une gêne sur les branches, qui peut être dangereuse si "besoin de reculer en urgence".	

	Singularité individuelle /conception continuée dans l'usage	Le poste est-il aménagé pour convenir à un ouvrier en particulier ou plutôt générique ? Est-ce que les remontées d'informations (en cas de soucis...) sont entendues et les dispositions prises ?		L'ergonome pense que dans l'absolu l'exosquelette aurait "besoin d'être optimisé sur les capacités de réglages". Néanmoins il ne lui semble pas que le dispositif soit vraiment utile aux sylviculteurs. Elle doute que les remontées d'informations sur l'exosquelette soient prises en compte.	Point de vue divergent en ce qui concerne la possibilité de réglages de l'exosquelette : "il y a l'air d'avoir pas mal de réglages possibles" (conseillère en prévention) ; "sur ce modèle, je dirais pas suffisamment" (médecin, s'agissant notamment de l'angle d'assistance). Concernant la prise en compte des remontées d'informations, l'une comme l'autre ne savent pas si c'est le cas, mais l'espèrent.	Dans l'ensemble les sylviculteurs semblent plutôt satisfaits des réglages de l'exosquelette, même si c'est perfectible ("ça peut toujours être mieux"). 2 ont testé des modifications.
	Facilitateur	Présence d'une personne ressource qui a assisté au moment de l'implémentation ?	A été facilitateur bien que cette démarche ne soit pas processée, pas standardisée chez Kiloutou. Démarche personnelle	Présence d'un facilitateur mais qui selon elle n'a pas adapté sa présentation à "la spécificité du travail des personnes en face de lui"	La conseillère en prévention estime que la présence/la participation du facilitateur était insuffisante : "un truc auquel je m'attendais et qu'il a pas fait [...] : qu'il les rassure vachement sur la dureté du truc et la résistance du truc".	2 répondants/4. Plutôt satisfaits de la participation du facilitateur et de son travail sur l'implémentation. L'un s'interroge toutefois sur son poids dans la remontée d'informations : "quand il est revenu, il a été assez discret sur ces questions".
		Anticipation et gestion des trajectoires des personnes impactées par l'implantation technologique ?	Il reste sur la réduction de pénibilité : « Ce soir il aura moins mal aux épaules »	"Oui la question s'est posée dès le début » « ce processus [...] aurait pu être encore plus optimisé ».	Selon la MSA, pas d'anticipation ni de réflexion à long terme, hormis sur l'attractivité du métier.	1 ne sait pas répondre. Un autre répond en termes d'amélioration de la qualité ("pouvoir faire mieux c'est valorisant"). Le troisième n'imaginait pas que l'exosquelette lui permettrait de faire davantage. Pour le dernier l'exosquelette est en soi un bon outil mais pas utile pour les sylviculteurs ("Pour nous, notre domaine, il aura pas d'utilité").
	Leaders habilitants	Est-ce que le supérieur utilise des techniques de management tel que l'empowering leadership		Elle pense que oui, "en tout cas pour les deux avec qui on a travaillé"		1 répondant/4. Il parle de travail en confiance, confiance réciproque : "Il y a de la confiance des 2 côtés".

		(autonomie, soutien, confiance...)?				
	Supportive coworkers	Les pairs sont-ils propices à l'entraide, au partage des connaissances (amicaux)?		Elle pense que oui, "malgré tout ça mériterait peut-être [...] d'être [...] approfondi"	La conseillère en prévention affirme l'existence d'entraide entre sylviculteurs, pour faire face notamment à la concurrence de l'ONF, et insiste sur l'importance du rôle fédérateur de Fibois : "Il y a des rassemblements qui fait qu'ils se connaissent, ils savent où ils bossent, ils savent comment ils bossent et il y a de l'entraide".	Tous les sylviculteurs partagent ce sentiment d'entraide entre pairs et de bonne entente : "Ils sont toujours à donner des conseils" ; "On s'entraide régulièrement [...], on fait appel aux uns aux autres" ; "Quand on a des conseils [...] partage de techniques, de connaissances".
	Marge de manœuvre et pouvoir d'agir	Est-ce qu'il est possible d'organiser son travail de la façon qui paraît la plus appropriée à l'opérateur (binômes, groupes de travail...)? Est-ce que toutes les ressources sont disponibles pour mener à bien les tâches? Est-il possible de varier les tâches confiées? ...		Elle pense que oui, puisque ce sont des indépendants.		L'exosquelette ne semble pas avoir changé le travail des sylviculteurs selon eux : "J'aurais fait la même chose sans l'avoir" ; "Ca m'a pas changé grand chose". Pas d'impact sur les MMS, qui sont à la base importantes pour l'un d'eux. Un autre évoque les contraintes naturelles de l'environnement ("pentes, végétation [...] arbres").

	EDT, temps de régulation collectif et temps de réflexion individuelle	Existe-t-il un temps dédié à la communication, qu'il soit individuel ou collectif (supérieur hiérarchique, pairs...), où il est possible de réfléchir sur les activités de travail ? Problèmes rencontrés, comment s'améliorer...		Les temps d'échanges sur la pratique ne semblent pas prescrits, mais l'organisation associative de Fibois peut les permettre, de manière informelle. « Surtout du temps informel pour pouvoir finalement se retrouver »		Pour l'ensemble des sylviculteurs, il n'y a pas de temps ou d'espaces formels pour échanger sur les pratiques : "quand on travaille", "quand on boit l'apéro [...] ou directement sur le chantier". Pour 2 d'entre eux, l'ARDEF favorise les temps de rencontres et d'échanges : "Ce genre d'association c'est bien pour pouvoir au moins se connaître, échanger et surtout savoir l'évolution au niveau réglementaire".
	Charge mentale et physique	Les charges de travail sont-elles gérables ?		Charge physique et cognitive acceptable : « J'ai pas eu l'impression que ça les ait handicapés ». Mais selon elle "le gain physique est trop faible"		Les avis sont plutôt partagés : pour l'un d'eux la cadence de travail lors de l'essai n'était pas représentative du travail réel, un autre sylviculteur dit avoir très vite oublié qu'il portait l'exosquelette, les 2 derniers n'ont pas vu de différence dans la charge de travail avec l'exosquelette, mais ont ressenti une gêne (au début ou au bout d'un certain temps).
	Prescription de tâches, buts clairs et appropriés	Quelle est la forme des instructions de travail ?		« Je trouve que c'est clair et approprié de par les marges de manœuvre et le pouvoir d'agir qu'ils ont »		2 répondants/4. Pour l'un les prescriptions sont "assez bien définies" même si parfois ("2 fois sur 10") il estime que "c'est pas toujours approprié par rapport à ce que [lui] aurait fait". L'autre sylviculteur met l'accent sur la pédagogie dont il doit faire preuve avec les clients propriétaires privés. Il distingue en effet 2 types de clientèle : "ceux qui savent ce qu'est la forêt et les autres".

	Utilisabilité	Quelle est l'utilisabilité du nouveau dispositif ?	Un nouveau système d'attache des manchettes sur cette version de l'exosquelette a permis de résoudre des problèmes. Pour la première fois des retours ont été faits sur le scratch en ventral, "le fait qu'il y ait pas mal de sciure", et sur la durée de port de l'exosquelette.	Elle ne pense pas que les sylviculteurs aient rencontré de problèmes majeurs, hormis des « difficultés de réglage peut-être ».	D'après les représentantes de la MSA, l'exosquelette est plutôt facilement utilisable. Mais des améliorations pourraient être apportées sur certains réglages : encrassement des scratches, sangle, manchette. La conseillère en prévention émet une autre réserve : "mais quand même il y avait des gestes en plus" (retirer les branches, etc.). "A la longue, je sais pas s'ils le garderaient tant que ça".	Tous les sylviculteurs reconnaissent l'utilisabilité de l'exosquelette, 2 semblent même plutôt surpris : "Je m'attendais à quelque chose de plus contraignant au niveau de la mobilité" ; "Il est quand même léger". Un a eu un souci avec un brassart.
	Transparence	L'opérateur peut-il comprendre, approximativement, le fonctionnement de la machine ?	Selon lui c'est "assez simple à prendre en main", avec "les repères sur l'exosquelette" et "toute la documentation technique livrée avec"	Transparence pour un niveau d'usage basique ou premier niveau d'usage, mais peut-être pas pour des réglages spécifiques : « après dans la finesse je suis pas sûr »	Les 2 intervenantes de la MSA s'accordent sur la clarté de compréhension du fonctionnement de l'exosquelette.	Tous les sylviculteurs sont d'accord sur la facilité d'utilisation et de compréhension de la machine. L'un d'eux précise pour autant ne pas avoir cherché à modifier les réglages.
	Sensibilité : acceptabilité, UX, affects	Que pense l'opérateur de son poste de travail, que ressent-il en l'utilisant ?	Selon lui, une majorité des personnes trouvent cela a priori intéressant ("70%"). Une partie des réticents ou indifférents au début est convaincue à la fin. Ceux qui restent insatisfaits ("10%") le sont car l'exosquelette n'était pas adapté à leur poste.	Selon l'ergonome, utiliser l'exosquelette n'est "pas quelque chose de très compliqué", donc si le dispositif s'avère être vraiment utile pour les sylviculteurs, ils vont davantage l'accepter.		3 sylviculteurs expriment un sentiment plutôt positif de curiosité et d'enthousiasme au début ("j'étais surtout curieux de savoir comment ça pouvait se comporter" ; "j'ai ressenti un petit peu d'enthousiasme"), pas de gêne ou contrainte dans le port de l'exosquelette ("c'est pas quelque chose qui m'a gêné dans mon quotidien" ; "ça n'a pas été une contrainte donc c'est déjà quelque chose de positif"), puis de la frustration ou déception face au manque d'utilité du dispositif dans leur activité ("frustration que ça serve pas pour nous" ; "je vais pas dire de la frustration mais un peu déçu que ce soit pas plus efficace"). Pour le dernier sylviculteur l'expérience est "neutre".

		Acceptabilité sociale ?	Parle d'"effet terminator" qu'il observe à chaque fois. En travaillant sur l'accompagnement au changement, il dit observer ensuite un effet "jalousie" : "pourquoi lui il l'a et moi je l'ai pas".	Selon elle, cette "culture de métier où il faut [...] encaisser, il faut en chier" rend "difficile [l'implémentation de] ce type de technologie qui a pour vocation d'être une assistance au travail".	Selon la conseillère en prévention, l'utilisation d'exosquelettes pourrait "créer de l'attractivité autour des métiers".	2 sylviculteurs évoquent la méconnaissance de leur métier de la part du grand public en lien avec un manque de communication ("C'est rare quand on entend parler de notre profession"). Un autre trouve que les médias en parlent de plus en plus. Pour 2 sylviculteurs, leur métier est perçu négativement par une majorité, comme de la destruction de forêts. Un souligne son sentiment de reconnaissance par les pairs : "Quelque part c'est valorisant parce que [...] les gens du métier connaissent ce qu'on fait". Le regard social porté sur le recours aux exosquelettes dans leur métier est sinon neutre plutôt positif : "Quand on en parle les gens sont plutôt curieux".
Résultats		Satisfaction/déception des parties prenantes du projet ?	Satisfait d'avoir appris des choses, d'avoir pu "tester [leur] matériel dans un univers qui était inconnu". Selon lui, ce sont des premiers résultats ; il faut poursuivre les tests	Selon elle, déception quant à l'exosquelette, de la part de Fibois, de la MSA et des sylviculteurs "parce qu'il y avait beaucoup d'attentes". Sur le projet en lui-même : "très positif", "il va leur permettre de prendre la décision, qui était l'objectif initial, de acheter ou pas acheter".	Les représentantes de la MSA semblent assez peu satisfaites/un peu déçues de la performance de l'exosquelette pour l'activité des sylviculteurs, la conseillère en prévention estimant que "le gain ne vaut pas l'investissement". En revanche elles sont satisfaites du projet et de la collaboration, qui permet selon la médecin "d'apporter une vision qu'on n'a pas" : "la réalité du terrain".	3 sylviculteurs se disent satisfaits du projet ; le 4ème est déçu : "déçu parce que ça nous apporte rien". Concernant l'exosquelette, l'ensemble des sylviculteurs estime qu'il n'est pas adapté à leurs besoins, à leur activité : "il apporte pas ce que j'attends" ; "ça va pas prendre l'amplitude de notre travail" ; "c'est un bon produit mais pas pour notre utilisation".

		Performances obtenues/espérées ? critères mobilisés : rendement, qualité, fiabilité, sécurité, impact sur les activités humaines autour (enrichissement/appauvrissement), vécu du travail (sens, etc.) ?	Il se déclare satisfait de la performance de l'outil sur ce projet, en référence aux retours des sylviculteurs, notamment le « retour qualitatif du porteur plus âgé » : « quand je travaille c'est mieux », « et surtout quand j'enlève tout le soir, [...] eh ben j'ai moins mal »	Dans l'ensemble l'exosquelette ne peut pas répondre aux grosses contraintes de l'activité. « Malgré tout l'accompagnement au-dessus de la ligne de cœur, pour l'un des sylviculteurs [...] lui permet de faire du meilleur travail pour lui ».	La conseillère en prévention estime que la performance de l'exosquelette est décevante ("un peu déçue de la performance"). Selon la médecin, l'exosquelette "est performant dans ce qu'il annonce" (bras en l'air), mais cette position correspond peu à l'activité des sylviculteurs. De plus, elle alerte : "il y a quand même une crainte s'il est mal réglé, c'est qu'ils doivent forcer contre le système, ça, ça peut être gênant, médicalement parlant".	Pour 3 sylviculteurs le sentiment est plutôt négatif en raison de la faible utilité de l'exosquelette pour leur activité : "il y avait que le fait de lever les bras où ça nous a aidés". Pour le dernier sylviculteur le résultat est "neutre".
		Les activités humaines de travail sont-elles changées, comment ? Le changement technologique est-il une opportunité de développement des compétences, l'occasion de gérer des tâches plus complexes et donc valorisantes, de développer sa capacité de décision sur son propre travail... ?	Répond surtout sur la pénibilité du travail, avoir moins de douleurs. Et la montée en compétences : "monter en compétences parce qu'on découvre quelque chose de nouveau"	Activités changées, de fait, par l'intégration d'un nouvel outil, « ne serait-ce qu'au niveau de leurs schèmes moteurs ». Pour autant, pour « 90% de leur situation de travail, ça ne change rien » (hormis pour le sylviculteur qui peut élaguer plus haut)	Selon les intervenantes MSA, l'exosquelette modifie peu l'activité des sylviculteurs : "ça change pas trop leurs habitudes", "ça ne change pas trop leur activité et leur mode de travail". En revanche, il peut leur permettre de gagner en qualité : "pour un des deux [...] faire mieux son travail" (2m de haut). Le conseil du médecin : "Ne pas lutter contre l'exosquelette et ne pas le régler pour lutter contre".	Pour les 4 sylviculteurs, l'utilisation de l'exosquelette ne change pas leur activité.

		Quels sont les écarts par rapport à ce qui était prévu ?	Pas d'écart car n'avait pas pour objectif de faire signer des contrats de location	Elle pense que l'écart "est plutôt positif". Ça montre vraiment l'importance de s'intéresser aux situations de travail avant même de s'intéresser aux outils". "Potentiellement ça peut amener à dupliquer [...] ce type d'accompagnement".	La médecin explique qu'initialement il devait y avoir davantage de terrains, ce qui aurait permis d'avoir des données plus robustes.	3 semblent plutôt déçus car cela ciblait une situation qu'ils rencontrent peu : "ça reste quand même une utilisation assez restreinte".
--	--	--	--	--	--	---

Annexe 14 : Critères de la situation de collaboration capacitante pour la première étude exploratoire

CRITÈRES	TOLÉRANCE (si énoncé)
a) Investiguer une situation analogue sur le terrain afin d'étudier l'activité au contact des différents acteurs (organisation, opérateurs, etc.).	
b) Coconstruire les critères (augmentation de la performance et non-dégradation de celle-ci) avec les acteurs du projet et les données recueillies sur le terrain avec les utilisateurs finaux. Effectuer une évaluation précoce de l'utilité du dispositif technologique en fonction des critères de performance (et de non-dégradation de celle-ci).	
b.1 Définir les critères de la performance au poste	Nb de critères (donner un nombre et expliciter le critère) & tolérances à l'appréciation des concepteurs
b.2 Définir les critères de non-dégradation de la performance au poste <u>dans le temps</u>	Nb de critères (donner un nombre et expliciter le critère) & tolérances à l'appréciation des concepteurs
c) Permettre plusieurs agencements des étapes du processus	2 0/+1
d) Permettre à l'opérateur de	

<p>réagencer les étapes du processus</p>	
<p>e) Mettre en place 3 entretiens individuels de la technologie (et si possible une prise en main du système par les futurs utilisateurs). Le premier entretien concerne les manières qui ont conduit à la décision du changement. Le second entretien s'attache aux modalités de réalisation du changement. Enfin, le troisième entretien porte sur l'exploitation et le suivi du changement.</p>	
<p>f) Permettre à l'opérateur d'adapter les propriétés du dispositif de RA à ses besoins (à son initiative).</p>	
<p>g) Laisser du temps à l'opérateur (non dédié), lors de son activité, pour réfléchir à son activité (comment l'améliorer, etc.).(takt time processus : X)</p>	<p>X +a/-b</p>
<p>h) Permettre à l'opérateur de comprendre le dispositif de RA, ce que fait le dispositif et ce qu'il attend de lui</p>	<p>Critères et tolérances à définir par les concepteurs</p>

<p>i) Permettre à l'opérateur de connaître et comprendre la cause de mise en défaut du système de RA et lui permettre de résoudre le problème (interface accessible à un néophyte) par lui-même ou via une personne dédiée (résolution de pb via RA avec un expert présent virtuellement ; personne dédiée présente en prod.).</p>	<p>Critères et tolérances à définir par les concepteurs</p>
<p>j) Permettre à l'opérateur de comprendre la capacité du système à répondre à ses besoins et donc à juger lorsqu'il n'a plus besoin de lui.</p>	

Consignes :

- Nous préconisons en tant que maîtrise d'ouvrage que vous vous positionniez en tant qu'expert (concepteur du poste de travail) du domaine, pour recommander les espaces débat-travail, la co-conception, le management et les facilitateurs (voir ci-dessous).

k)	Étudier le type de management des futurs utilisateurs finaux sur le poste afin de favoriser la responsabilisation, l'autonomie, la confiance, etc.	
l)	Un accompagnateur doit former l'opérateur au poste pendant un temps suffisant pour que l'opérateur s'approprie le dispositif	

m)	Permettre un espace et un temps dédiés pour des régulations collectives (opérateurs, management, ingénieurs).	F1 (la présence de tous les acteurs n'est pas nécessaire à chaque réunion) Au moins X fois par mois avec tous les acteurs.
----	---	---

n)	Permettre de réunir (a minima) les concepteurs, les décideurs et les utilisateurs finaux (ou opérateurs dans une situation analogue) pour discuter du futur dispositif. (Au moins 1 fois dans le projet)	
----	--	--

Annexe 15 : Présentation des critères de la situation de collaboration capacitante pour la seconde étude exploratoire



How to improve work situations ? The importance of human factors

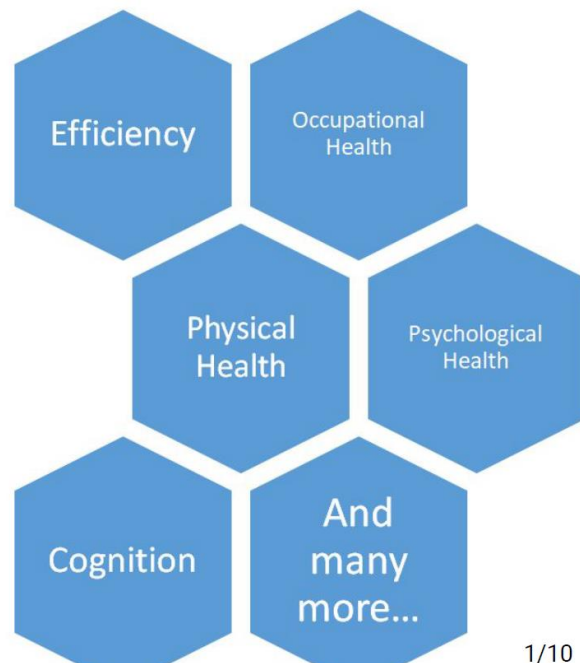
Contact :

nathan.compan@uca.fr

Nathan Compan 23/11/2020

Who am I ?

- Activity ergonomist and psychologist
- PHD student in ergonomy :
"collaborative enabling situations in 4.0 industry"
- My job is to study "**human factors**" in all their aspects to **improve** work situations.



1/10

How to design better work situations in 3 steps ?

It is not uncommon to find technologies that interact only little with humans, or technologies that perform tasks that operators considered to be of high added value and therefore of which they are deprived, to see their activity reduced to simple and repetitive tasks.

It happens that some technologies are implemented in "technopush" mode, without careful study of the implementation environment, which may explain the mixed results of projects with a high technological value.

- 1) Learn a way to do things more performant
- 2) Increasing the possibilities and ways of doing things available
- 3) Adjust the Human-Machine couple attributes according to the situation

2/10

Industrial maintenance service assisted by augmented reality



3/10

1) Learn a new way to do things more performant



For example :
- Less error rate
- Better quality
- More rapidity
- More and better information transmission

4/10

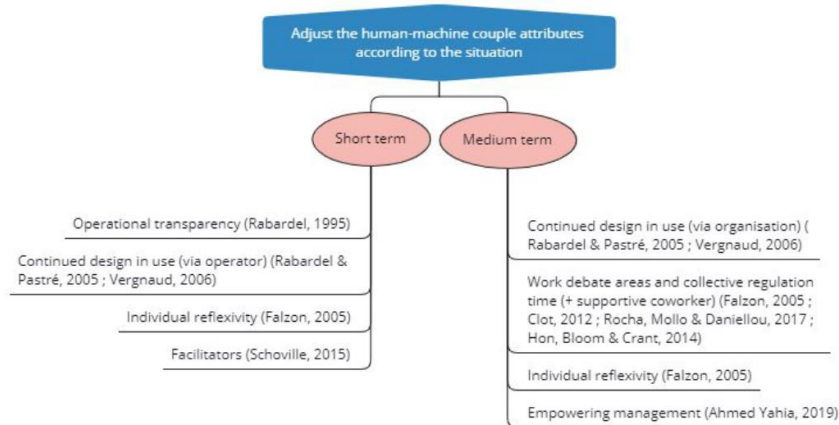
2) Increasing the possibilities and ways of doing things available



For example : Augmented reality system should allow technicians to make decisions based on their expertise. For example, by providing a checklist.

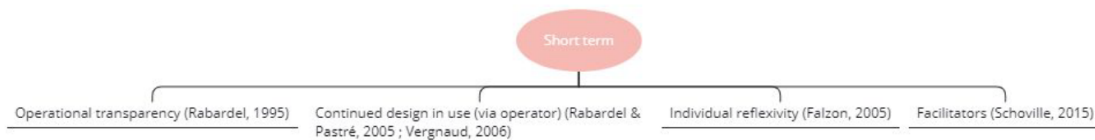
5/10

3) Adjust the Human-Machine couple attributes according to the situation



6/10

3) Short term (via worker's own means)



The operational transparency is the minimal understanding of how the machine works, as opposed to a black box.
Example : If technicians does not understand the behavior of the system and cannot anticipate his own future actions.

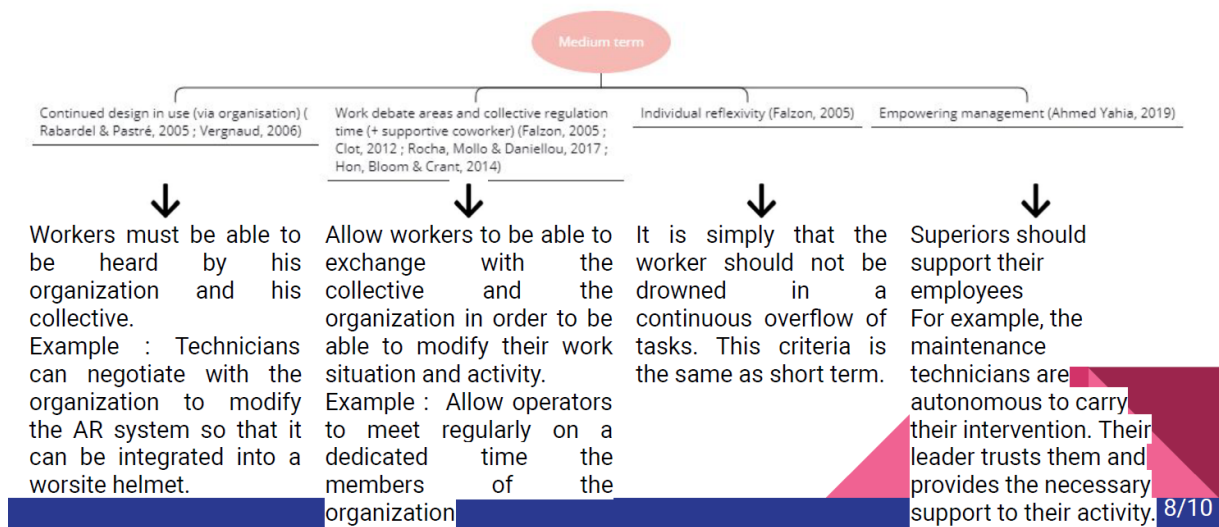
Preferably the worker should have the skills to directly modify the technology to suit the situation in order to improve his activity.
Example : For example, technicians can add some advices or indications inside the intervention script of the augmented reality system.

The worker should not be drowned in a continuous overflow of tasks. The worker must, during his activity, have the time to take his work as an object of analysis to find possible improvements.

The facilitator's role is to help, to facilitate, the implementation of the innovation.
Example : A designer of the augmented reality device explains its use and how its work to the technicians.

7/10

3) Medium term (via the collective and the organization)



Questions ?

Your presentation



Briefly describe your usecase and the advantages of the new technology in this case.

How do you plan to :

- 1) Learn a new way to do things more performant
- 2) Increase the possibilities and ways of doing things available
- 3) Adjust the Human-Machine couple attributes according to the situation

10/10

Annexe 16 : Résultats de la seconde étude exploratoire

Le tableau ci-dessous synthétise les données obtenues après avoir assisté à la soutenance des étudiants et avoir analysé le support. Pour certains étudiants (en bleu), il a été nécessaire d'obtenir des précisions par mail.

V	Le point abordé est satisfaisant.
XV	Le point abordé est mitigé.
X	Le point abordé est insatisfaisant.
	Résultats abordés à posteriori.

Étudiants	Présentation du capacitant	Semaine de soutenance	Diapositive sur le facteur humain dans la présentation	Critère 1 (l'intégralité des participants a respecté l'idée d'augmenter la performance, car c'était le but de l'UE)	Critère 2	Critère 3
R C	Non	1	Non			

M H	Non	1	Non			
A C	Non	1	Non			
S L	Non	2	Non			
K P	Non	2	Non			- On note une idée sur la transparence grâce à la technologie « The workflow transparency and efficiency ».
S M	Non	2	Non			
Y M	Non	2	Non			
L A	Oui	1	Oui		- Nous trouvons l'idée que l'humain puisse reprendre le contrôle sur la technologie s'il n'est pas d'accord avec les suggestions de la machine. Par exemple, si l'opérateur est plus expert. La machine permet donc plusieurs manières d'agir.	- Il ajoute une notion d'acceptabilité en expliquant, en communiquant et en justifiant la technologie. - Nous avons l'idée de la transparence : « it is necessary that the employee understand every suggestion of the

						application used, every action requested. »
V J	Oui	1	Oui	- « Ask operators what they expect from an augmented reality device »	- « Pay attention to not lose the operationally ways of the operators »	- Give the opportunity to customize the interface
S B	Oui	1	Oui		- Présence de plusieurs modes selon l'expertise. La machine permet donc potentiellement plusieurs manières d'agir.	- Présence d'un mode « customisable » - On retrouve des idées de management comme « respect » et « trust » ainsi que « workers aren't watched »
R F	Oui	1	Oui	- « Design to be more performant »	- « Increasing the possibilities and ways of doing things »	- « Adjust the Human-Machine couple attributes

					- « The device should not restrain the user »	<p>according to the situation »</p> <ul style="list-style-type: none"> - « Device should adapt » - « Ideal case : user have the skills to modify the system by themselves » - « Allow user to customise the interface » - « Allow user to choose which functionalities to activate »
S M	Oui	2	Non		- L'opérateur aura le choix entre choisir un dispositif ou l'autre, ce qui va donc potentiellement augmenter ses manières de faire disponibles	<ul style="list-style-type: none"> - « each operator will have their own account which will allow for preference adaptability » - « will offer the user privacy during use » (management)
K E	Oui	2	Non			
A S	Oui	2	Non			- Présence de facilitateurs

						<ul style="list-style-type: none"> - Transparence opérative « with the new technology, every worker will be aware of what he/she is working on, and not just doing his/her part without knowing the final product, this raising awareness and commitment of people (no more « black box »)
--	--	--	--	--	--	---

Notes :

- La notation sur le tableau ci-dessus est assez permissive. Aucun étudiant n’a su se saisir totalement des critères de l’ECS. Nous considérons que si les étudiants ont fait des efforts (les éléments sont rappelés dans le tableau) envers une catégorie du capacitant, alors celle-ci sera notée en jaune. Si aucun effort n’est présent dans une des catégories, celle-ci sera notée en rouge. En ce qui concerne la première catégorie, tous les étudiants sont en vert, car il y a bien eu une prise en compte de l’utilité de l’implémentation d’une nouvelle technologie (c’était l’objectif de l’UE). Afin de simplifier la présentation des critères en anglais, le maintien de la performance dans le temps n’a pas été présenté tout comme le critère de sensibilité (dans le premier critère) qui était très difficile à évaluer dans ce contexte, nous n’en avons donc pas tenu compte.

- Notre population a été sélectionnée sur la base de processus industriels (ou comparables). Nous avons également sélectionné des projets seulement liés à la réalité augmentée ou à la réalité virtuelle.
- Nous avons, bien sûr, évalué les intentions des étudiants dans leur projet. Il n'était pas possible d'évaluer un travail réel ou encore un plan d'action précis.
- Certains étudiants (en bleu dans le tableau) ont présenté le facteur humain de manière sous-jacente, il n'y a pas eu de diapositive dédiée, nous avons donc envoyé un mail afin d'avoir des précisions. Ce sont ces précisions que nous évaluons dans le tableau.
- K E répond dans son mail qu'elle a pris en compte les facteurs humains, notamment dans la question qu'on a pu lui poser sur les conséquences de la technologie sur l'opérateur. Cependant, selon elle, les conséquences sont négligeables, car sinon la technologie ne serait pas aussi « efficace ».

Annexe 17 : Cahier des charges simplifié

CRITÈRES	CONSIGNES
<p>Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante et maintenir cet apprentissage</p>	<p>Étudiez, sur le terrain dans la situation actuelle, des moyens pour améliorer ou a minima maintenir la performance. Étudiez également des moyens pour maintenir cette amélioration de la performance.</p>
<p>Accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations de collaboration</p>	<p>Faites en sorte que l'opérateur ait plusieurs manières de travailler (modes opératoires) pour accomplir ses tâches.</p>
<p>Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation (dans l'usage immédiat de la technologie)</p>	<p>Faites en sorte que la technologie soit compréhensible pour l'opérateur (fonctionnement, état, processus, etc...).</p> <p>Faites en sorte que l'opérateur (seul ou accompagné) puisse modifier directement la technologie (ajustements, modifications, etc...).</p>

Annexe 18 : Cahier des charges initial

Les fonctions ne correspondant pas directement au poste de travail mais à l'organisation et au collectif sont surlignées **en bleu**.

CRITÈRES DU CAPACITANT (situation et conduite du changement)	FONCTIONS	INDICATEURS	CONSIGNES
<p>Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante et maintenir cet apprentissage</p>	<p>L'opérateur doit apprendre une nouvelle manière de faire plus performante (ou au moins aussi performante) et maintenir cet apprentissage.</p> <p>Exemple :</p> <p>Chez BS, l'opérateur qui interagit avec le cobot doit obtenir une performance supérieure que ce</p>	<p>Les indicateurs de performance peuvent être multiples (par exemple : qualité, rendement, consommation énergétique, impact environnemental, etc.).</p> <p>Les indicateurs de maintien à l'apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante peuvent également être multiples (par exemple : à travers des temps de pause et le contrôle du bruit ambiant pour minimiser la fatigue mentale</p>	<p>Étudiez, sur le terrain dans la situation actuelle, des moyens pour améliorer ou a minima maintenir la performance. Étudiez également des moyens pour maintenir cette amélioration de la performance.</p>

	soit en termes de rendement, qualité, etc.	ou physique qui nuirait à la performance de l'opérateur. La maîtrise de la fiabilité du cobot est également un indicateur pertinent qui pourrait, s'il n'est pas respecté, nuire à la performance du couple dans le temps). La charge de travail de l'opérateur doit donc être raisonnable. Cela peut passer par l'autorisation des interruptions ou ralentissements de l'activité pour opérer des ajustements, réfléchir à un problème, chercher une solution, etc.	
Accroître les possibilités et les manières de faire disponibles dans les situations de collaboration	Les opérateurs doivent disposer de plus de manières d'agir (accroître leur marge de manœuvre) dans les situations de collaboration. L'activité de l'opérateur gagne en intérêt s'il élargit ses capacités d'action,	Permettre à l'opérateur en activité de disposer/mettre en oeuvre plusieurs modes opératoires possibles (2 voir 3), de préférence davantage que la situation précédente. L'opérateur doit avoir la possibilité de plusieurs agencements des étapes du processus. Il doit pour cela éventuellement disposer de marges de	Faites en sorte que l'opérateur ait plusieurs manières de travailler (modes opératoires) pour accomplir ses tâches.

	<p>donc le panel des stratégies opératoires possibles.</p> <p>Exemple :</p> <p>Les opérateurs doivent pouvoir ajuster leur travail réel. Par exemple, chez BS, les opérateurs peuvent concevoir plusieurs pièces d'affilée, pour prendre de l'avance, avant d'alimenter le cobot.</p>	<p>manœuvre organisationnelles concernant sa tâche, temporelles pour gérer son activité, spatiales pour se déplacer quand cela est nécessaire...</p>	
<p>Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation (dans l'usage immédiat de la technologie)</p>	<p>Les opérateurs doivent pouvoir comprendre, suffisamment, le fonctionnement de la technologie.</p> <p>Exemple :</p>	<p>Permettre à l'opérateur de suivre l'avancée des tâches effectuées par le cobot en fonctionnement (visibilité du cobot, réalisation des tâches, cadence, vitesse, visibilité de son état, visibilité du degré d'accomplissement de la tâche, etc.).</p> <p>Permettre à l'opérateur de connaître et comprendre la cause de mise en défaut du</p>	<p>Faites en sorte que la technologie soit compréhensible pour l'opérateur (fonctionnement, état, processus, etc.).</p>

<p>L'objectif est que l'opérateur puisse comprendre, dans l'ensemble, le fonctionnement de la machine. Chez BS, les opérateurs comprennent en partie le fonctionnement du cobot, notamment car celui-ci est dans une cage en verre et qu'ils peuvent donc le voir agir en temps réel.</p>	<p>cobot et lui permettre de résoudre le problème (interface accessible à un néophyte) par lui-même ou via une personne dédiée (par exemple : résolution de problèmes via réalité augmentée avec un expert présent virtuellement ou encore une personne dédiée présente en production).</p>	
<p>Les opérateurs doivent pouvoir, dans l'usage immédiat, modifier la technologie.</p> <p>Exemple :</p> <p>Les remontées d'informations doivent être écoutées afin de</p>	<p>Permettre à l'opérateur d'adapter les propriétés du cobot à ses besoins ou ses propres compétences aux nécessités du cobot. La conception du cobot dans le temps, lors de son utilisation, peut être effectuée directement par l'opérateur s'il dispose des compétences adéquates ou alors</p>	<p>Faites en sorte que l'opérateur (seul ou accompagné) puisse modifier directement la technologie (ajustements, modifications, etc.).</p>

	<p>modifier le cobot, rapidement, en conséquence (voire que l'opérateur le fasse lui-même si possible). Chez BS, les opérateurs peuvent contacter le service Méthodes directement ou passer par le leader, à court terme. Cela n'est, en revanche, pas immédiat.</p>	<p>par un tiers si l'intervention est rapide (dans la journée par exemple).</p> <p>Il est donc important de prendre en compte que la sollicitation globale de l'opérateur doit lui permettre de résoudre par lui-même des difficultés ou encore d'innover. L'opérateur ne doit donc pas être noyé sous un débordement continu de tâches.</p>	
<p>Ajuster les attributs du couple en fonction de la situation (dans le fonctionnement courant de l'organisation)</p>	<p>Les opérateurs doivent disposer d'autonomie, être responsabilisés, etc. par un management adéquat. Les opérateurs doivent, également, avoir la possibilité de discuter et d'échanger sur leur travail avec les différents représentants de l'organisation.</p>	<p>Permettre à l'opérateur d'être autonome, responsabilisé, etc. Favoriser la mise en place d'un management adapté. Permettre à l'opérateur de participer ou construire des temps dédiés dans le process pour des régulations et réflexions collectives (opérateurs, management, ingénieurs) afin de partager sur les difficultés rencontrées, les réponses envisagées, les résultats de tests, etc.</p>	<p>Faites en sorte, via l'organisation que :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'opérateur partage régulièrement sur le travail et l'usage de la technologie (avec des pairs, le management, l'équipe méthodes, etc.) - l'opérateur dispose d'autonomie - l'opérateur soit responsabilisé.

Exemple :

L'opérateur doit avoir, via son chef d'équipe, de l'autonomie, être responsabilisé, etc. Chez BS, le mode de management semble s'approcher de ces caractéristiques. Toujours chez BS, il existe de petites réunions journalières en présence des opérateurs et du leader. Cependant cela ne peut être considéré comme un vrai EDT car l'équipe méthodes est absente de ces réunions.

	<p>Les opérateurs doivent pouvoir, via l'organisation et/ou le collectif, modifier la technologie.</p> <p>Exemple :</p> <p>Chez BS, les opérateurs peuvent soumettre leurs propositions de modifications de la technologie par un système de boîte à idées. Les remontées d'informations doivent être écoutées afin de modifier le cobot en conséquence (par l'organisation et/ou le collectif, à moyen ou long terme).</p>	<p>Permettre à l'opérateur d'adapter les propriétés du cobot à ses besoins dans le temps. La conception continuée dans l'usage peut être soutenue par l'organisation effective des temps de travail, des missions allouées aux encadrants, etc. Des projets concrets sont mis en œuvre suite à des remontées des opérateurs vers l'organisation quant à des changements souhaitables.</p>	<p>Faites en sorte que l'opérateur puisse modifier la technologie en passant par les voies classiques de l'organisation.</p>
<p>Conduite du changement</p>	<p>Les opérateurs doivent pouvoir, avec les différents acteurs,</p>	<p>Permettre aux utilisateurs finaux (ou d'autres opérateurs dans une situation analogue) de se réunir, a minima, avec les</p>	<p>Organisez des espaces de coconstruction de la technologie. L'opérateur doit pouvoir donner son</p>

	<p>éprouver, esquisser et affiner le futur dispositif technologique.</p> <p>Exemple :</p> <p>L'objectif est que les opérateurs (utilisateurs finaux) soient réunis avec les concepteurs (chez BS, l'équipe méthodes) afin de discuter du futur poste de travail. Dans notre exemple, l'équipe méthodes a effectué ce travail de conception seule et certains opérateurs voient des améliorations qui auraient pu être pensées dès le départ (par exemple un bac de récupération de pièces, pour celles qui tombent, sous le cobot). L'équipe méthodes, seule, a notamment essayé de calculer et simuler</p>	<p>concepteurs et les décideurs pour discuter du futur dispositif. L'objectif est de discuter des différents aspects du poste de travail (existant et futur) afin d'esquisser la technologie et donc de participer à des phases très précoces de la conception du dispositif.</p> <p>Il convient notamment d'évaluer précocement, avec l'opérateur, l'utilité de la technologie dans la situation. Pour cela, l'opérateur peut être interrogé sur sa probable utilisation du futur dispositif et mesurer en quoi la nouvelle manière de faire devrait être plus performante. L'idée est d'éprouver le futur dispositif technologique et donc de le tester en situation réelle ou analogue (très proche de la situation réelle) Enfin, les opérateurs doivent pouvoir, avec les différents acteurs, affiner le nouveau dispositif et donc effectuer les derniers</p>	<p>avis et contribuer à concevoir la future situation de travail.</p>
--	--	---	---

	<p>l'efficacité du cobot (rendement, qualité des pièces produites, etc.)</p>	<p>ajustements lors de la fin de la conception préliminaire (avant implémentation). Il est important que les opérateurs soient de réels acteurs du processus de conception.</p>	
	<p>Les opérateurs doivent être accompagnés au changement. Il est nécessaire que les opérateurs comprennent le changement, ses fondements et enjeux ainsi que leur rôle dans ce changement et dans la conception du futur dispositif. Les opérateurs doivent également pouvoir s'approprier le dispositif technologique, lors de son introduction (accompagnement par un facilitateur).</p>	<p>Permettre aux utilisateurs finaux de comprendre le changement, ses causes et ses objectifs. Il est également utile de permettre aux utilisateurs finaux d'avoir un premier contact avec la technologie. La participation des opérateurs doit être précoce afin de favoriser leur acceptation du dispositif ainsi que le travail collectif autour de la future situation. Il est possible, par exemple, de mettre en place plusieurs entretiens à propos de la technologie (et si possible une prise en main du système par les futurs utilisateurs). Lors de ces entretiens peuvent être abordés les raisons et le processus qui ont conduit à la décision du</p>	<p>Avant l'implémentation de la technologie, mettez en place les différents entretiens et prises en main. Lors de l'introduction de la technologie, accompagnez l'opérateur par un habitué de celle-ci.</p>

<p>Exemple :</p> <p>Dans le cas de BS, les opérateurs qui ont été présents lors du changement n'ont eu qu'une seule présentation du cobot, 1 an avant son introduction, au cours d'une journée de découverte. De plus, l'opérateur est accompagné d'un facilitateur (cela peut être le leader, un membre de l'équipe méthodes ou un pair), lors de la prise de poste, qui lui explique le fonctionnement du poste de travail et du cobot.</p>	<p>changement, les modalités de réalisation du changement et l'exploitation et le suivi du changement.</p> <p>Il convient aussi de permettre à l'opérateur d'être accompagné et formé au poste (via un facilitateur) pendant un temps suffisant pour qu'il puisse s'approprier le dispositif.</p>	
---	---	--

Annexe 19 : Résultats du critère 1 de la seconde étude

Analyse du livrable final :

Groupe 1	Groupe 2
<ul style="list-style-type: none"> - Le groupe déclare que cette fonction a « largement été respectée », car bien que le cobot soit plutôt lent dans la réalisation de ses tâches, cela laisse le temps à l'opérateur de remplir d'autres mallettes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le groupe souhaite un cobot « fiable ». - Le groupe a établi une solution qui permet « d'éviter une fatigue physique et d'éventuels TMS pour l'opérateur ». - Le cobot prend en charge la partie gravure « de manière autonome » (pour le premier scénario) ou de manière « mixte » (pour le second scénario), ce qui permet, selon eux, d'améliorer l'efficacité au poste (pour le scénario 1). Dans le scénario 1 l'opérateur peut effectuer d'autres tâches en simultané et dans le scénario 2, l'opérateur agit avec le cobot. - Le groupe a conscience que « les deux scénarios présentés [...] sont plus longs que le scénario dans lequel le cobot n'existe pas » .

Observations :

Groupe 1	Groupe 2
<ul style="list-style-type: none"> - La situation de travail présentée par le groupe est encore à l'état de prototype. La vitesse du cobot, de par des limitations techniques, est encore nettement améliorable. En revanche, nous observons une situation de travail qui fonctionne et 	<ul style="list-style-type: none"> - Seule la partie gravure a pu être observée. Nous avons pu observer un cobot très lent pour réaliser ses tâches. - Bien que dans le scénario 1, l'opérateur soit libre de ses mouvements, il n'est pas certain

<p>qui correspond majoritairement à celle décrite dans le rapport final.</p> <ul style="list-style-type: none"> - En revanche, la phase où le cobot doit poser la mallette dans le carton n'est pas aboutie. Elle est décrite dans le rapport, mais aucun test « réel » ne semble confirmer que la méthode fonctionne. 	<p>que celui-ci dispose d'assez de tâches pour attendre toute la durée de la gravure par le cobot.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le scénario 2 (gravure) ne semble pas intéressant, car l'opérateur doit agir avec le cobot. Il ne peut donc pas effectuer de tâche en parallèle et la procédure reste plus lente que sans le cobot.
---	--

Entretiens :

Groupe 1	Groupe 2
<ul style="list-style-type: none"> - La nouvelle situation de travail permettra à terme d'améliorer la cadence, elle permettra également de diminuer les TMS, car les opérateurs n'auront « plus mal au dos » et la facilité d'utilisation devrait être présente, car ce groupe ne veut pas qu'un opérateur ait à se déplacer jusqu'à un ordinateur. Le groupe a remarqué que le cobot pouvait, à terme, abîmer la mallette avec ses pinces. Mais vu que la mallette ne sera soulevée qu'une fois, le groupe n'est pas certain que ce soit un souci, d'autant plus que l'option de poussée permet de diminuer « l'usure du cobot ». Le groupe n'a pas observé d'autres problèmes (bug ou autres), hormis le fait que certaines fois le cobot se 	<ul style="list-style-type: none"> - La nouvelle situation de travail aura une performance dégradée en termes de cadence. De par les limitations technologiques du cobot et le poids de la cloueuse, celui-ci est très lent. Le groupe reconnaît avoir des « problèmes sur la vitesse ». - Ils ont autonomisé la partie gravure (« il a plus rien à faire ») ce qui permet de diminuer les contraintes physiques et d'utiliser ce temps pour « autre chose ». La situation devrait donc permettre à l'opérateur de porter moins de poids et de potentiellement avoir des temps

<p>bloque (probablement parce qu'il est instable sur la table).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le groupe a tout de même eu la volonté de « recréer la situation réelle avec les moyens du bord », notamment en simulant le rôle d'un opérateur. - En ce qui concerne la stabilité de la situation dans le temps, la situation ne devrait pas se dégrader en marche courante et s'il y a des erreurs l'opérateur peut « appeler quelqu'un » ou réagir par lui-même. 	<p>de pause. L'opérateur va moins se fatiguer et donc « ça sera plus performant », « sur le long terme, il pourra ptet travailler plus longtemps, avoir moins de ralentissement sur son travail... ». En revanche le groupe ne semble pas être allé en profondeur sur les tâches que pouvait exécuter l'opérateur pendant ce temps. De plus, ils ne voient pas la variabilité de l'opérateur comme une ressource « c'est plus performant si c'est fait par un cobot que par un humain, qui lui a des variabilités, comme la fatigue... ». Selon eux, le cobot permet d'éviter des « erreurs » que l'opérateur pourrait faire à cause des « gestes répétés » comme l'oubli « d'appuyer pour lancer la graveuse ».</p> <ul style="list-style-type: none"> - La motivation de l'opérateur pourrait être augmentée, mais ils ne savent pas trop comment. On peut soupçonner un effet nouveauté. - Ça peut aussi améliorer la « qualité », le groupe cite
--	--

	<p>l'exemple d'un opérateur qui pourrait cogner la cloueuse en la manipulant.</p> <ul style="list-style-type: none">- « Niveau sécurité aussi [...] ça améliore la performance », car le cobot se met en erreur. - Le groupe souhaite, pour que les améliorations soient stables dans le temps, que les opérateurs puissent modifier les réglages du cobot, plutôt facilement. En ce qui concerne la durabilité des améliorations, ils ont conscience que les technologies ne cessent d'évoluer, mais aussi qu'en « entreprise, ce sera davantage automatisé avec des capteurs ». Ils suggèrent également une formation, car « pour que ça dure dans le temps, il faut que l'opérateur soit d'accord [...] si l'opérateur comprend pas pourquoi on utilise le cobot [...] ça va ralentir le processus ».
--	---

Annexe 20 : Résultats du critère 2 de la seconde étude

Analyse du livrable final :

Groupe 1	Groupe 2
<ul style="list-style-type: none"> - Le groupe est parti d'une observation de l'activité pour observer les variabilités chez les opérateurs. Ils ont donc observé deux manières de fermer la mallette avec celle-ci à « l'horizontal » ou à la « verticale ». - 2 programmes conçus : mallette verticale et mallette horizontale. <div style="text-align: center;">  <p>Figure 5.2.3 : Mallette horizontale</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Figure 5.2.4 : Mallette verticale</p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> - Le groupe est parti d'une observation de l'activité pour analyser les actions des opérateurs. Ils ont repéré des variabilités. « L'ordre des tâches n'est pas strict et est modifiable d'opérateur en opérateur. ». - Selon eux, il est nécessaire de conserver « l'autonomie de l'opérateur » et « ne pas les rendre dépendants ». - Pour la partie nettoyage, le groupe a pensé à un crochet modulable « ce qui permettrait à l'opérateur de prendre la cloueuse dans le sens qu'il souhaite et de la nettoyer de la manière la plus adaptée pour lui ». <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> - Le cobot est autonome sur la partie gravure, ce qui laisse le choix à l'opérateur de s'organiser sur le reste de son activité. <p>Scénario 1 rangement :</p>

- On observe également deux manières de faire pour le dépôt dans le carton « si l'opérateur ne veut pas utiliser le cobot pour faire cette étape et la réaliser lui-même, il peut tourner le chariot élévateur de façon à ce que l'ouverture du carton soit comme avant (elle ne fait plus face au plan de travail). »
- Le groupe a également prévu une autre configuration technique pour le fonctionnement du cobot qui peut « pousser la mallette » ou alors il « soulève la mallette ».
- Selon le groupe : « l'opérateur sera autonome pour utiliser le cobot »

Contraintes : la mallette doit être placée à un endroit précis : « par non-respect de cette condition le robot se bloque et un message d'erreur apparaît sur l'écran ».
Deuxième point, « L'opérateur devra impérativement placer son plan de travail et la table du cobot à la même hauteur ».

ETAPE 1

Le cobot récupère la cloueuse dans le bac en l'attrapant par le crochet métallique



ETAPE 2

Il transporte la cloueuse jusqu'à la graveuse



ETAPE 3

La cloueuse est déposée debout dans la graveuse



ETAPE 4

Le cobot change sa prise sur la cloueuse ; il pince le crochet métallique pour pouvoir disposer la cloueuse en position couchée dans la graveuse

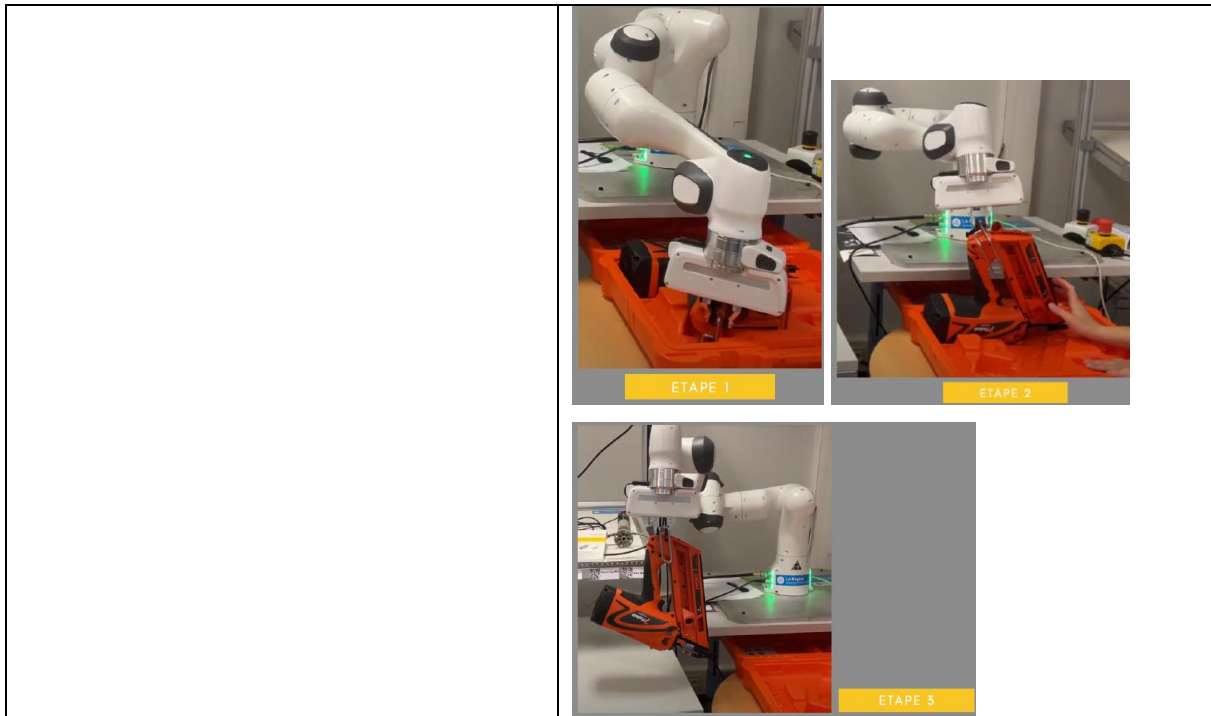


ETAPE 5

Le cobot applique une dernière pression sur la cloueuse afin de la placer correctement



Scénario 1 sortie mallette :



Observations :

Groupe 1	Groupe 2
<ul style="list-style-type: none"> - Les différentes modalités d'interaction avec le cobot (PC et tactile) fonctionnent et ont été vérifiées en situation simulée. - Les différents modes du cobot (mallette verticale et horizontale) sont bien fonctionnels dans la situation prototypée. - Attention, l'augmentation de la marge de manœuvre et de l'autonomie au poste est quelque chose de déjà valorisée par le cours initial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Seule la partie gravure a été prototypée nous n'avons donc pas pu observer la partie nettoyage. En ce qui concerne la partie gravure, l'opérateur, dans le scénario 1, gagne bien de la marge de manœuvre, car bien que le cobot soit très lent, cela lui laisse du temps pour effectuer d'autres tâches.

Entretiens :

Groupe 1	Groupe 2
<ul style="list-style-type: none"> - « Oui, parce qu'on a réussi à trouver trois manières pour que le cobot puisse [...] livrer la mallette ». Dans leur idée c'est à l'opérateur de choisir cette méthode (potentiellement, préalablement à l'activité si le cobot peut enregistrer le profil de l'opérateur). Selon le groupe : « on va fournir des vidéos qui montrent les possibilités de modes opératoires dont ils (les opérateurs) disposent et aussi les programmes adaptés à chaque opérateur ». L'opérateur pourra donc choisir « son programme », car le groupe a constaté de la variabilité en analysant les vidéos initiales. « Sur 5 opérateurs, je crois qu'il y en avait 2 ou 3 qui faisaient d'une façon et, les autres, ils faisaient d'une autre façon ». - « On a créé une nouvelle manière dans le sens où on fait que la mallette, elle est poussée par le cobot », « pour donner une autre situation possible », « c'est pas forcément une situation qui sera exploitable parce qu'il faudrait rajouter des équipements en + pour amener la mallette dans le carton ». 	<ul style="list-style-type: none"> - « Dans ce que nous on a imaginé, c'est que l'opérateur ait plus du tout à intervenir sur la partie : mettre la cloueuse dans la graveuse. Sur ça, [...] après, il serait libre de s'organiser comme il veut ». Le groupe a donc automatisé le processus, l'opérateur peut donc « faire des tâches [...] en parallèle des tâches effectuées par le cobot ». - Sur la partie suivante (nettoyage), le cobot tiendrait la cloueuse (« c'est adaptable », « l'opérateur peut décider »). L'opérateur « aura le choix » « dans un sens ou dans l'autre », le cobot « sera programmé pour détecter dans quel sens est le rail et pour bien venir mettre la cloueuse ». « L'opérateur peut tourner ça dans tous les sens qu'il veut », ce qui lui enlève « tout effort » et il peut se concentrer sur la tâche de nettoyage. Le groupe signale également que la chaîne serait ajustable en longueur.

Annexe 21 : Résultats du critère 3 de la seconde étude

Analyse du livrable final :

Groupe 1	Groupe 2
<p>Transparence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réalisation d'un fascicule « simple » (voir annexe 22), car le mode d'emploi original était en anglais et comprenait 180 pages. - Réalisation d'une vidéo qui sera montrée à l'opérateur avant de manipuler le cobot, « pour le voir en mouvement et qu'il (l'opérateur) ne soit pas surpris la première fois ». - Le groupe prévoit une formation pour « comprendre le cobot », elle sera effectuée par « une personne qualifiée » (que nous pouvons rapprocher d'un facilitateur). Il est à noter qu'une formation classique (« jours de formation précédant l'installation du cobot ») sera complétée de « réunions et/ou mises en pratique de « rappel » pour s'assurer que la technologie est toujours comprise ». <p>Conception continuée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le groupe a bien conscience de la variabilité des opérateurs et cherche donc 	<p>Transparence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Selon les étudiants il faut contrôler l'impact du cobot sur les « signaux et informations ». Il y a un souhait de conserver « un poste clair » et de « regrouper tous les signaux et établir des signaux clairs ». - Ils souhaitent un « plan de formation précis ». Selon eux la formation servira d'accompagnement au changement et favorisera l'acceptabilité du dispositif. - Ils proposent des fiches de « management visuel » <p>Conception continuée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le groupe a essayé de penser à la personnalisation de la situation de travail pour l'opérateur, il pourra notamment « régler la hauteur du crochet en fonction de sa taille », mais aussi « faire tourner le crochet à sa guise afin de pouvoir nettoyer la cloueuse sans être gêné par l'orientation de celle-ci ». - Le groupe propose une formation et un service de maintenance pour que

à personnaliser le poste de travail : « l'opérateur devra s'accorder le temps de régler le cobot et modifier son environnement de travail pour que la collaboration soit efficace ». Le groupe veut « proposer des programmes personnalisés ». Pour cela il préconise plusieurs étapes : observation de l'activité, entretien avec l'opérateur, tests et réglages et réaménagement du poste de travail. L'idée est que l'opérateur puisse « créer avec des formateurs plusieurs programmes adaptés à son fonctionnement qu'il pourra changer tout au long de la journée : programme mallette verticale, horizontale, pour le début de la journée, fin de la journée... ». Cette personnalisation peut se faire via une clé USB où les différents programmes seront enregistrés et nommés.



Figure 5.2.6 : Représentation des programmes sur l'interface

- Les modalités d'interaction avec le cobot peuvent également être paramétrables : « il est également possible de proposer à

l'opérateur puisse manipuler le cobot. « Nous proposons alors de le former (l'opérateur) à cette application ou alors, si cela est vraiment trop compliqué pour lui, nous proposons de mettre en place un service maintenance pouvant intervenir sur le cobot en cas de problème ».

<p>l'opérateur de lancer le cobot en effectuant une pression sur la tête de ce dernier ».</p> <ul style="list-style-type: none"> - Il est prévu des « réunions et/ou mises en pratique » afin que l'opérateur puisse « anticiper des changements ». - Selon le groupe, l'opérateur pourra « modifier les mouvements du cobot via l'interface hors du poste de travail ». 	
--	--

Observations :

<p>Groupe 1</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - On peut constater que le fascicule conçu par le groupe afin de permettre la transparence opérative est visuel (beaucoup de photos), pratique (prévu en parties et sous-parties) et complémentaire avec une formation (il reste assez théorique et ne dispose pas d'exemples concrets). - Il semblerait que le groupe ait vraiment saisi la dimension temporelle d'une implémentation technologique. En effet, nous pouvons lire dans le rapport des phrases comme : « l'implémentation d'une nouvelle technologie ne s'arrête pas au moment où cette dernière a été mise en place dans l'atelier, mais se réalise sur le long terme ». Ou encore : « Les 	<ul style="list-style-type: none"> - Il est difficile d'évaluer la partie nettoyage, celle où l'opérateur doit avoir le plus la main sur le cobot car celle-ci n'a pas été prototypée. - Les fiches de « management visuel » sont intéressantes, mais peu nombreuses.

<p>variabilités individuelles, organisationnelles peuvent par exemple être une cause pour modifier la technologie. Ainsi il est important de réaliser régulièrement (tous les 4 à 6 mois) des enquêtes de satisfaction auprès de chaque opérateur afin de vérifier la correspondance aux critères du cahier des charges. De plus, des observations de l'activité pourront être à nouveau réalisées pour s'assurer du bon fonctionnement de la technologie sur le terrain tout comme des entretiens individuels avec les opérateurs, 3 et 6 mois après l'implémentation de la technologie. ».</p>	
--	--

Entretiens et livrables intermédiaires :

Groupe 1	Groupe 2
<p>Transparence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le premier groupe distingue un opérateur avec ou sans formation, « en l'état je pense pas ». Pour le groupe, il est indispensable que l'opérateur ait une formation en amont : « nous déjà on a galéré alors qu'on a l'habitude » et en continu. Le groupe mentionne des « petites mises à niveau » régulièrement « tous les ans ou tous les 6 mois ». On trouve également dans 	<p>Transparence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le second groupe distingue également un opérateur avec ou sans formation, ils déclarent : « ça passe par la formation qu'il y aura quand le robot sera installé. ». L'idée est donc de proposer une formation même si l'opérateur « n'aura pas forcément besoin lui-même de programmer le cobot », selon eux : « faut qu'il sache comment s'en servir pour

<p>l'entretien l'idée de travailler sur le terrain « retravailler avec le cobot sur place et voir comment il fonctionne, s'ils ont des questions... » et donc de ne pas se contenter d'attendre les remontées d'informations.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le groupe songe à faire des modes opératoires en « vidéo » ou « très visuels » notamment sous forme de fascicules assez courts. - Le groupe pense à la possibilité de modifier l'interface pour qu'il soit plus clair pour l'opérateur (« plus compréhensible et qu'il soit pris en main plus rapidement »). Par exemple, un opérateur ne saura pas ce que représente un newton (en termes de valeur) ou encore des mètres par seconde (qu'il est difficile de visualiser). Dans l'idéal le groupe veut supprimer l'interface (ils ont passé du temps sur cette idée) et si ce n'est pas possible, le rendre plus abordable pour l'opérateur. - En ce qui concerne les mouvements du cobot, le groupe déclare « on a essayé de faire les actions les plus simples possibles », « on a fait des mouvements qui sont logiques et qui partent pas dans tous les sens » bien que « la première utilisation fait peur ». Le groupe a donc 	<p>régler [...] les problèmes [...] des manipulations simples qu'il doit connaître. »</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le groupe pense également à « mettre du management visuel ou des modes opératoires assez simplifiés à côté du cobot ». À propos de l'utilisation, le groupe déclare « il est compréhensible dans une certaine mesure », « pour l'utilisation en elle-même [...] c'est assez compréhensible, c'est assez clair » ou encore « il y a des voyants quand il est en état de marche » et pense donc à « par exemple, on pourrait mettre une légende à côté du cobot ». Le groupe utilise donc un « management visuel » « pour expliquer la signification de chaque voyant et expliquer/résumer les procédures d'urgence », l'idée est que ce soit « très visible et accessible pour l'opérateur [...] rapidement ». - En ce qui concerne les mouvements du cobot « une fois qu'il est bien programmé les mouvements sont les mêmes et ils sont ultra prévisibles », de plus : « il y a des sécurités pour veiller à ce qu'il ne fasse pas n'importe quoi ». <p>Conception continuée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le second groupe déclare que « de ce qu'on a vu, il y a pas 1000 erreurs
--	---

<p>prévu des « vidéos sur comment fonctionne le cobot avant une première utilisation ».</p> <p>Conception continuée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le premier groupe n'a pas encore pensé à la gestion des erreurs. - La question de l'appropriation du cobot par l'opérateur semble encore un peu éloignée pour le groupe 1. Notamment parce que selon eux : « on sait pas comment ça se passe quand il n'y a que le cobot sans l'ordinateur. ». Pour le moment c'est « la personne qui est en train de manipuler le cobot qui arrive à fixer les positions toute seule ». En revanche, pour citer un exemple, la valeur de « vitesse » est invisible pour l'opérateur (sans ordinateur). Le groupe cherche à supprimer l'interface, mais ils n'ont pas « appris à se débrouiller sans l'ordinateur et avec du sans fil ». Le groupe ne sait pas non plus comment allumer le cobot sans ordinateur. - L'objectif est vraiment de « proposer à l'opérateur de créer son propre programme », « en étudiant sa façon de faire ». En revanche il faut toujours que le cobot soit à la « même hauteur » et après 	<p>possibles », ce serait « souvent c'est à cause d'un choc qu'il se bloque », mais « c'est très simple de le remettre ». Ils songent donc à « des manipulations assez simples que l'opérateur pourrait faire pour le débloquer et reprendre la marche normale » telles que « on pourrait mettre des modes opératoires assez simples avec des images, c'est deux trois boutons à cliquer pour remettre en marche normale ». L'opérateur doit être « formé » pour « être capable de réagir lui-même » en cas de « petites erreurs » sinon il faudrait « mettre en place un service que l'opérateur puisse appeler simplement, qu'il puisse intervenir rapidement ». En ce qui concerne l'opérateur « tout ce qui est urgent, il devrait pouvoir le faire, pour réagir rapidement ».</p> <ul style="list-style-type: none"> - En ce qui concerne les paramètres que l'opérateur pourrait modifier pour s'approprier la technologie, ils ont déclaré : « je ne pense pas que ce soit une bonne idée de laisser la main aux opérateurs de façon complète », « je vois bien un truc : ils peuvent régler certains paramètres, mais sans rentrer dans le cœur du programme ». Ils ont donc pensé à plusieurs paramètres tels que : <ul style="list-style-type: none"> • Ajustement de la cadence : « l'opérateur pourrait ajuster la vitesse du cobot s'il le
---	--

le « programme c'est bon, normalement il devrait tourner ».

souhaite, mais dans une certaine mesure pour pas que le cobot se mette en erreur, par exemple. » en ajoutant l'idée d'adaptation « s'il a de l'avance ou du retard ».

- Ajustement de la hauteur : position de la cloueuse lorsque le cobot la tient.
- Ajustement de la manière d'agir du cobot, avec par exemple : « le temps pendant lequel le cobot tient la cloueuse », en précisant « ils mettent pas tous le même temps à nettoyer la cloueuse et ils commencent pas [...] par le même côté. » donc « ils pourraient choisir [...] de quel côté le cobot tient la cloueuse en l'air pour qu'ils puissent nettoyer de la manière qu'ils préfèrent et combien de temps ils la tiennent pour qu'ils aient le temps [...] de faire son travail comme il faut. »
- Un des étudiants envisage aussi de pouvoir modifier la force de préhension du cobot, notamment s'il y a plusieurs modèles de cloueuse.
- Il est prévu que l'opérateur puisse choisir la « hauteur de l'établi ».
- En ce qui concerne la conception continuée dans l'usage, ce groupe penche plutôt pour des modifications dans la marche courante de l'organisation : « c'est pas lui qui va le faire tout seul, il va en parler au bureau maintenance, [...] c'est que c'est pas urgent. ». « le but c'est

	<p>pas non plus de perdre l'opérateur [...] il est pas là pour faire de la programmation [...] faut qu'il sache les bases pour pouvoir travailler avec et qu'il comprenne comment ça marche ».</p>
--	--

Annexe 22 : Extrait des formes d'assistance visuelle du groupe 1 pour le critère 3 de la seconde étude

- **JOINT MOTION**

Cette fonction enregistre les mouvements d'un point à un autre du cobot.



Figure 2.8 : Fonction Joint Motion

Les valeurs à entrer pour la fonction JOINT MOTION

'Motion' enregistre le mouvement du cobot.

1/ Speed (vitesse)

Une vitesse de 45% est bien : ni trop longue ni trop rapide. Mais c'est à l'opérateur d'adapter la vitesse du cobot à sa manière de travailler.

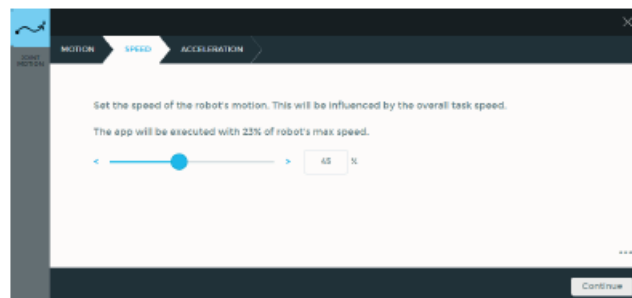


Figure 2.9 : Régler la vitesse du Joint Motion

2/ Accélération

La vitesse de travail du cobot dépend et est décidée en fonction de la vitesse de votre travail : il faut l'adapter. Néanmoins, une vitesse de 45% est bien : ni trop rapide ni trop lente.

Annexe 23 : Extrait des formes d'assistance visuelle du groupe 2 pour le critère 3 de la seconde étude



ARRÊT URGENCE

Engendre l'arrêt immédiat de tout processus
A n'utiliser qu'en cas d'urgence immédiate



MODE MANNUEL

Sert à faire des réglages "à la main" via l'interface
de contrôle du cobot



APPEL MAINTENANCE

Permet d'alerter le service maintenance en cas de
problème survenant sur le cobot

Annexe 24 : Statistiques des entretiens (G1 vs G1' et G1 vs G1'')⁹ de la troisième étude

Variable étudiée		Statistique	Groupe	Moyenne	Écart- type	P	Taille d'effet ¹⁰
Sentiment de satisfaction générale (sur 10)	Student's t	4.45	G1	6.35	0.35	<.001	0.93
	t		G1'	8.17	0.22		
	Student's t	6.20	G1	5.96	2.07	<.001	1.27
	t		G1''	8.71	0.91		
Sentiment de performance (sur 10)	Wilcoxon W	2.50	G1	6.09	1.59	<.001	0.97
	W		G1'	8.09	1.08		
	Student's t	7.26	G1	5.83	1.49	<.001	1.48
	t		G1''	8.13	0.74		
MMS (sur 10)	Wilcoxon W	74	G1	3.96	1.94	.43	0.23
	W		G1'	3.65	1.87		
	Student's t	5.04	G1	4.04	1.81	<.001	1.03
	t		G1''	6.25	1.85		
Transparence opérative de la procédure (perception) (sur 10)	Student's t	2.77	G1	7.39	1.95	.01	0.58
	t		G1'	8.83	1.27		
	Student's t	1.74	G1	7.83	1.79	.10	0.35
	t		G1''	8.46	1.74		
Transparence opérative de la procédure (accessibilité) (sur 10)	Student's t	4.67	G1	5.83	2.41	<.001	0.97
	t		G1'	8.61	2.19		
	Student's t	4.33	G1	6.67	2.35	<.001	0.88
	t		G1''	9.17	1.09		
Transparence opérative de la	Student's t	2.08	G1	8.35	1.64	.05	0.43
	t		G1'	9.04	1.02		

⁹ Certains sujets n'ont pas répondu à toutes les questions, donc le N peut varier.

¹⁰ Cohen's d pour le Student's t et Rank biserial correlation pour le Wilcoxon W

procédure (compréhensibilité) (sur 10)	Student's t	0.27	G1 G1''	8.38 8.46	1.35 1.44	.79	0.05
Transparence opérative de la procédure (moyenne des 3 dimensions) (sur 10)	Student's t	4.95	G1 G1'	7.19 8.83	1.48 1.03	<.001	1.03
	Wilcoxon W	29.50	G1 G1''	7.63 8.69	1.24 0.96	<.001	0.80

Variable étudiée (McNemar)		G1	G1'	χ^2	N	P
		Yes	No			
CCU	Yes	N = 0	N = 0	1	23	.32
	No	N = 1	N = 22			
Passage par le chemin interdit (avis)	Yes	N = 9	N = 0	9	20	.003
	No	N = 9	N = 2			
Représentativité de l'étude	Yes	N = 20	N = 1	0	23	1
Variable étudiée (McNemar)	No	G1 N = 1	G1'' N = 1	χ^2	N	P
		Yes	No			
CCU	Yes	N = 1	N = 0	21	24	<.001
	No	N = 21	N = 2			
Passage par le chemin interdit (avis)	Yes	N = 6	N = 5	2.88	24	.09
	No	N = 12	N = 1			
Représentativité de l'étude	Yes	N = 14	N = 3	0.5	24	.48
	No	N = 5	N = 2			

Annexe 25 : Statistiques des entretiens (G1' vs G1'')¹¹ de la troisième étude

Variable étudiée	Statistique	Groupe	Moyenne	Écart-type	P	Taille d'effet ¹²
Sentiment de satisfaction générale (sur 10)	Student's t	G1'	8.17	1.03	.065 (forte tendance)	0.55
		G1''	7.71	0.91		
Performance perçue (sur 10)	Mann-Whitney U	G1'	8.09	1.8	.91	0.02
		G1''	8.13	0.7		
Utilité perçue de la technologie (sur 10)	Mann-Whitney U	G1'	8.04	1.49	.11	0.27
		G1''	8.71	1.12		
MMS (sur 10)	Mann-Whitney U	G1'	3.65	1.87	<.001	0.69
		G1''	6.25	1.85		
Perception de l'évolution de la MMS (de -10 à 10)	Mann-Whitney U	G1'	-0.57	4	<.001	0.73
		G1''	5.21	2.86		
Transparence opérative de la procédure (perception) (sur 10)	Mann-Whitney U	G1'	8.83	1.27	.62	0.08
		G1''	8.46	1.74		
Transparence opérative de la procédure	Mann-Whitney U	G1'	8.61	2.19	.49	0.11
		G1''	9.17	1.09		

¹¹ Certains sujets n'ont pas répondu à toutes les questions, donc le N peut varier.

¹² Cohen's d pour le Student's t et Rank biserial correlation pour le Mann-Whitney U

(accessibilité)							
(sur 10)							
Transparence	Mann-	215	G1'	9.04	1.02	.18	0.22
opérative de la	Whitney		G1''	8.46	1.44		
procédure	U						
(compréhensibilité) (sur 10)							
Transparence	Mann-	251	G1'	8.83	1.03	.6	0.09
opérative de la	Whitney		G1''	8.69	0.96		
procédure	U						
(moyenne des 3 dimensions) (sur 10)							
Évaluation de la	Student's	2.09	G1'	7.130	1.890	.043	0.6083
perceptibilité de	t		G1''	8.08	1.176		
l'information							
transmise par la							
technologie							
(sur 10)							
Évaluation de	Mann-	272.5	G1'	8.96	1.15	.95	0.01
l'accessibilité de	Whitney		G1''	9.04	0.86		
la technologie	U						
(sur 10)							
Évaluation de la	Mann-	249	G1'	9.17	1.07	.53	0.10
compréhensibilité	Whitney		G1''	9.33	0.96		
de la	U						
technologie							
(sur 10)							
Évaluation de la	Student's	1.61	G1'	8.42	0.97	.11	0.47
transparence	t		G1''	8.82	0.72		
opérative de la							
technologie							

(moyenne des 3 dimensions) (sur 10)							
Sentiment de prise en main de la technologie	Mann-Whitney U	236	G1'	8.7	1.26	.38	0.14
			G1''	9.04	1.08		
Évaluation de l'ajustabilité de la technologie (sur 10)	Student's t	3.40	G1'	5.26	1.94	.001	0.99
			G1''	6.96	1.46		

Variable étudiée (Chi2)		G1'	G1''	χ^2	N	p
Intention comportementale	Yes	N = 22	N = 23	9.46e-4	47	0.975
	No	N = 1	N = 1			
Performance perçue	Yes	N = 22	N = 27	1.07	47	0.30
	No	N = 1	N = 0			
Perception de l'utilité de la technologie	Yes	N = 23	N = 23	0.98	47	0.32
	No	N = 0	N = 1			
Passage par le chemin interdit (avis)	Yes	N = 19	N = 18	1.84	45	0.18
	No	N = 2	N = 6			
Perception de la variation de la MMS	Yes	N = 3	N = 21	26.1	47	<.001
	No	N = 20	N = 3			
Évolution des stratégies opératoires	Yes	N = 9	N = 16	3.19	44	.074 (forte tendance)
	No	N = 12	N = 7			

CCU	Yes	N = 1	N = 22	35.8	47	<.001
	No	N = 22	N = 2			
Sentiment d'implication dans le développement de la technologie	Yes	N = 22	N = 24	1.07	47	0.3
	No	N = 1	N = 0			
Représentativité de l'étude	Yes	N = 21	N = 19	1.37	47	0.24
	No	N = 2	N = 5			

Annexe 26 : Statistiques du raw NASA-TLX (G1 vs G1' et G1 vs G1'') de la troisième étude

Variable étudiée	Statistique	Groupe	Moyenne	Écart- type	P	Taille d'effet ¹³
Charge de travail (Moyenne sur 20 du raw NASA-TLX)	Student's t	G1	9.92	2.43	.007	0.62
		G1'	8.37	2.83		
	Student's t	G1	10.67	2.62	<.001	1.44
		G1''	7.22	1.56		
Charge mentale (item du raw NASA-TLX) (sur 20)	Wilcoxon W	G1	12.13	3.57	<.001	0.85
		G1'	7.52	4.18		
	Wilcoxon W	G1	13.81	4.36	<.001	0.97
		G1''	6.60	3.14		
Charge physique (item du raw NASA-TLX) (sur 20)	Student's t	G1	4.91	3.78	.18	0.29
		G1'	6	4.49		
	Student's t	G1	4.58	3.89	.39	0.08
		G1''	4.23	2.39		
Performance (item du raw NASA- TLX) (sur 20)	Student's t	G1	12.43	4.02	<.001	1.09
		G1'	16.39	2.74		
	Student's t	G1	12.6	4.78	<.001	0.86
		G1''	16.21	2.19		
Effort (item du raw NASA-TLX) (sur 20)	Student's t	G1	9.87	4.09	.01	0.6
		G1'	7.70	4.37		
	Student's t	G1	12.17	4.49	<.001	1.51
		G1''	5.92	3.31		
Niveau de frustration (item du raw NASA-TLX) (sur 20)	Wilcoxon W	G1	10.11	4.11	.003	0.74
		G1'	6.57	4.87		
	Student's t	G1	11.25	4.8	<.001	1.48
		G1''	4.13	2.17		

¹³ Cohen's d pour le Student's t et Rank biserial correlation pour le Wilcoxon W

Exigence	Student's	3.15	G1	10.04	4.49	.005	0.66
temporelle (item du	t		G1'	6.04	4.98		
raw NASA-TLX)	Wilcoxon	204	G1	9.63	4.25	.012	0.61
(sur 20)	W		G1''	6.21	3.51		

Annexe 27 : Statistiques du raw NASA-TLX (G1' vs G1'')

de la troisième étude

Studied variable		Statistic	Groups	Mean	SD	P	Effect Size ¹⁴
Charge de travail (Moyenne sur 20 du raw NASA-TLX)	Mann-	211	G1'	8.37	2.83	.17	0.24
	Whitney U		G1''	7.22	1.56		
Charge mentale (item du raw NASA-TLX) (sur 20)	Student's	0.853	G1'	7.52	4.18	.4	0.25
	t		G1''	6.6	3.14		
Charge physique (item du raw NASA-TLX) (sur 20)	Mann-	226	G1'	6	4.49	.29	0.18
	Whitney U		G1''	4.23	2.39		
Performance (item du raw NASA-TLX) (sur 20)	Mann-	246	G1'	16.39	2.74	.53	0.11
	Whitney U		G1''	16.21	2.19		
Effort (item du raw NASA- TLX) (sur 20)	Mann-	214	G1'	7.7	4.37	.19	0.23
	Whitney U		G1''	5.92	3.31		
Niveau de frustration (item du raw NASA- TLX) (sur 20)	Mann-	201	G1'	6.57	4.87	.11	0.27
	Whitney U		G1''	4.13	2.17		
Exigence temporelle (item du raw NASA- TLX) (sur 20)	Mann-	244	G1'	6.04	4.98	.49	0.12
	Whitney U		G1''	6.21	3.51		

¹⁴ Cohen's d pour le Student's t et Rank biserial correlation pour le Mann-Whitney

Annexe 28 : Statistiques du TAM (G1' vs G1'') de la troisième étude

Variable étudiée	Statistique	Groupe	Moyenne	Écart-type	P	Taille d'effet ¹⁵
Acceptabilité (moyenne sur 7 du TAM)	Student's t	G1' G1''	5.64 5.97	0.79 0.76	.17	0.42
Intention d'usage (TAM) (moyenne sur 7 aux 4 questions sur l'intention d'usage)	Mann-Whitney U	G1' G1''	5.57 6.08	1.11 1.05	.055 (forte tendance)	0.34
Perception de la facilité d'utilisation (TAM) (moyenne sur 7 aux 4 questions sur la perception de la facilité d'utilisation)	Student's t	G1' G1''	5.65 5.97	0.76 0.84	.2	0.4
Utilité perçue (TAM) (moyenne sur 7 aux 4 questions sur la perception de l'utilité)	Student's t	G1' G1''	5.72 5.86	0.91 0.74	.56	0.18

Statistiques de fiabilité des échelles (Intention d'usage)

Cronbach's α

¹⁵ Cohen's d pour le Student's t et Rank biserial correlation pour le Mann-Whitney U

échelle	0.88
---------	------

Statistiques de fiabilité des échelles (perception de la facilité
d'utilisation)

Cronbach's α	
échelle	0.68

Statistiques de fiabilité des échelles (utilité perçue)

Cronbach's α	
échelle	0.868

Annexe 29 : Statistiques de la performance (G1' vs G1'') de la troisième étude

Variable étudiée		Statistique	Groupe	Moyenne	Écart-type	P	Taille d'effet ¹⁶
Nombre d'erreurs (omission et action supplémentaire)	Mann-Whitney U	214	G1'	1.33	1.24	.11	0.26
			G1''	1.23	2.05		
Nombre de passages dans le chemin interdit	Mann-Whitney U	259	G1'	0.21	0.42	.63	0.06
			G1''	0.35	0.71		
Temps utilisé pour effectuer l'ensemble de la procédure	Mann-Whitney U	237	G1'	537.83	138.41	.29	0.18
			G1''	585.21	163.77		

¹⁶ Cohen's d pour le Student's t et Rank biserial correlation pour le Mann-Whitney U

Annexe 30 : Vérification de la représentativité de la troisième étude

Proportions – G1

Niveau ¹⁷		Compte	χ^2	p
1	Observé	38	16.3	<.001
	Attendu	24		
2	Observé	10		
	Attendu	24		

Proportions – G1'

Niveau		Compte	χ^2	p
1	Observé	21	15.7	<.001
	Attendu	11.5		
2	Observé	2		
	Attendu	11.5		

Proportions – G1''

Niveau		Compte	χ^2	p
1	Observé	19	8.17	0.004
	Attendu	12		
2	Observé	5		
	Attendu	12		

Proportions – G1 à G1'

Niveau		Compte	χ^2	p
1	Observé	21	15.7	<.001
	Attendu	11.5		
2	Observé	2		
	Attendu	11.5		

Proportions – G1 à G1''

¹⁷ Pour la colonne « niveau », 1 = oui et 2 à non

Niveau		Compte	χ^2	p
1	Observé	17	4.17	.041
	Attendu	12		
2	Observé	7		
	Attendu	12		

Résumé

L'implémentation des dernières technologies émergentes, notamment en milieu industriel, est l'occasion d'une reconception des situations de travail. Le « facteur humain » et sa prise en compte englobent des aspects très différents dans la littérature scientifique et dans le discours des industriels. Afin de remettre le déploiement des capacités d'action de l'opérateur au centre de la situation de travail, nous défendons une proposition théorique autour de la situation de collaboration capacitante (ECS, pour Enabling Collaborative Situation). L'ECS est composée de 3 critères : l'apprentissage d'une nouvelle manière de faire plus performante et le maintien de cet apprentissage ; l'accroissement des possibilités et des manières de faire ; l'ajustement des attributs du couple (humain-machine) en fonction de l'évolution des situations dans le temps. Afin d'analyser le potentiel d'une ECS, nous avons mis en place 3 études complémentaires. La première est une étude de cas multiples dont l'objectif était de situer la prise en compte de l'humain dans les processus d'implémentation de dispositifs technologiques émergents (implémentation d'un robot collaboratif sur une ligne de production, d'un dispositif de réalité augmentée auprès de techniciens de maintenance et d'exosquelettes auprès de sylviculteurs). Cette étude nous montre que les critères de l'ECS ne sont pas toujours pris « spontanément » en compte. Notre seconde étude consistait à accompagner, longitudinalement, des étudiants-concepteurs afin de mesurer s'ils sont sensibles aux critères de l'ECS et comment cela se traduit dans leurs propositions d'amélioration d'un poste de travail assisté d'un robot collaboratif. Cet accompagnement nous montre qu'ils peuvent tenir compte des critères de l'ECS de manière satisfaisante pour orienter leur projet, bien que les résultats soient certaines fois hétérogènes. Enfin, notre troisième étude consistait en une expérimentation simulant l'activité de techniciens de maintenance assistés de lunettes de réalité augmentée dans une situation de travail où nous faisons varier l'intensité de l'ECS. Nous avons pu constater qu'avec une « forte » ECS, les participants percevaient bien les améliorations mais qu'ils n'en ressentaient pas les avantages. La dernière partie de ce travail de thèse consiste à discuter de ces différents résultats, notamment autour du rapport entre l'ECS, les technologies émergentes et les formes d'interaction entre l'humain et la technologie mais aussi autour de l'ECS (et la conduite du changement associée) en tant que proposition théorique. Enfin, nous abordons les limites, apports et perspectives de l'ECS et des modalités de sa transmission. Les trois études qui composent ce parcours doctoral sont un premier pas vers une meilleure compréhension de l'ECS. L'ECS apparaît comme une alternative de support crédible et bénéfique pour l'évaluation des situations de travail et un repère exigeant permettant de guider la conception de nouveaux postes de travail favorables à des situations de collaboration humain-technologie dans lesquels l'opérateur peut s'approprier la technologie émergente et déployer son activité.

Mots-clés : nouvelles technologies, technologies émergentes, industrie 5.0, ECS, Situation de collaboration capacitante.

Abstract

The implementation of the latest emerging technologies, particularly in the industrial environment, is an opportunity to redesign work situations. The "human factor" and its consideration encompass very different aspects in the scientific literature and in the discourse of industrialists. In order to put the deployment of the operator's capacities of action back at the center of the work situation, we defend a theoretical proposal around the Enabling Collaborative Situation (ECS). The ECS is composed of 3 criteria: the learning of a new and more efficient way of doing things and the maintenance of this learning; the increase of the possibilities and ways of doing things; the adjustment of the couple (human-machine attributes) according to the evolution of the situations over time. In order to analyze the potential of an ECS, we set up 3 complementary studies. The first one is a multiple case study whose objective was to situate the consideration of the human in the implementation processes of emerging technological devices (implementation of a collaborative robot on a production line, of an augmented reality device with maintenance technicians and of exoskeletons with foresters). This study shows us that ECS criteria are not always taken into account "spontaneously". Our second study consisted in accompanying, longitudinally, student-designers in order to measure if they are sensitive to the ECS criteria and how this translates into their proposals for improving a workstation assisted by a collaborative robot. This accompaniment shows us that they can take into account the ECS criteria in a satisfactory way to orient their project, although the results are sometimes heterogeneous. Finally, our third study consisted in an experiment simulating the activity of maintenance technicians assisted by augmented reality glasses in a work situation where we varied the intensity of the ECS. We were able to observe that with a "strong" ECS, the participants well perceived the improvements but did not feel the benefits. The last part of this work consists in discussing these different results, in particular around the relationship between ECS, emerging technologies and the forms of interaction between humans and technology, but also around ECS (and the associated change management) as a theoretical proposition. Finally, we address the limits, contributions and perspectives of an ECS and the modalities of its transmission. The three studies that make up this work are a first step towards a better understanding of an ECS. The ECS appears as a credible and useful support alternative for the evaluation of work situations and a demanding benchmark to guide the design of new workstations favorable to human-technology collaboration situations in which the operator can appropriate the emerging technology and deploy his activity.

Keywords : new technologies, emerging technologies, industry 5.0, ECS, Enabling Collaborative Situation.