



**HAL**  
open science

# L'ergonomie au coeur de l'industrie 4.0 : développement d'interfaces humain-machine multimodales utiles, utilisables et acceptables de capture-transmission du savoir-faire expert dans l'industrie

Charly Pécoste

## ► To cite this version:

Charly Pécoste. L'ergonomie au coeur de l'industrie 4.0 : développement d'interfaces humain-machine multimodales utiles, utilisables et acceptables de capture-transmission du savoir-faire expert dans l'industrie. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2020. Français. NNT : 2020TOU20055 . tel-03576662

**HAL Id: tel-03576662**

**<https://theses.hal.science/tel-03576662>**

Submitted on 16 Feb 2022

**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.



# THÈSE

**En vue de l'obtention du  
DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE**

**Délivré par l'Université Toulouse 2 - Jean Jaurès**

---

**Présentée et soutenue par**

**Charly PECOSTE**

Le 30 octobre 2020

**L'ergonomie au coeur de l'industrie 4.0 : développement  
d'interfaces humain/machine multimodales utiles, utilisables et  
acceptables de capture/transmission du savoir-faire expert dans  
l'industrie**

---

Ecole doctorale : **CLESCO - Comportement, Langage, Education, Socialisation,  
Cognition**

Spécialité : **Ergonomie**

Unité de recherche :

**CLLE - Unité Cognition, Langues, Langage, Ergonomie**

Thèse dirigée par  
**Céline LEMERCIER**

Jury

**M. André TRICOT, Rapporteur**

**Mme Emilie LOUP-ESCANDE, Rapporteur**

**M. Jean-Claude SAGOT, Examineur**

**Mme Valérie LE FLOCH, Examinatrice**

**Mme Céline LEMERCIER, Directrice de thèse**



---

# Remerciements

---

Mes premiers remerciements vont à l'équipe du projet MIMIKS. Leny Turmel, chef de projet, et Gabriel Boileau, ingénieur informaticien. Mener une thèse n'est pas facile tous les jours, mais quand on se lève pour travailler avec des gens aussi sympathiques et compétents alors tout est plus facile.

Bien sûr je remercie ma Directrice de thèse Céline Lemercier qui m'a constamment poussé à me dépasser. Sans sa rigueur et sa bienveillance cette thèse n'aurait jamais pu aboutir telle quelle. Je vois le doctorat comme une formation, je pense maintenant avoir compris l'exigence d'un travail de recherche.

Merci à Continental Automotive Toulouse et à tous les collaborateurs avec qui j'ai pu travailler : André Goncalves bien sûr. Mais aussi toutes les personnes que je ne peux mentionner par soucis d'anonymat. Sans leur investissement ce travail aurait été impossible.

Merci aux collaborateurs de l'Institut de Recherche Technologique Saint Exupery pour avoir su créer un climat aussi convivial et stimulant propice à un travail scientifique de qualité.

Merci aux doctorants de l'école doctorale du Clesco avec qui j'ai pu échanger et qui m'ont aidé à prendre du recul sur mon travail.

Je remercie aussi les rapporteurs, examinateurs et toutes les personnes qui s'intéresseront à mon travail. Sans partage, sans relecture, sans critique, alors ce processus scientifique n'aurait finalement que peu d'intérêt.

Pour finir je remercie aussi mon entourage, qui m'a supporté quand j'en avais besoin, encouragé dans les moments importants, et arrosé quand il a fallu fêter les réussites.



---

# Résumé

---

Le savoir-faire est un facteur de différenciation permettant de remplir des objectifs de qualité et de productivité. La conservation d'un "capital savoir-faire" est donc un enjeu stratégique pour toute industrie souhaitant rester compétitive. Face à ce besoin, Simsoft Industry, Continental Automotive Toulouse, le laboratoire CLLE et l'Institut de Recherche Technologique Saint Exupéry ont collaboré afin d'initier le projet MIMIKS (Multimodal Interactive Knowledge System), projet dans lequel s'inscrit cette thèse.

L'objectif de cette thèse était donc de développer des interfaces humain/machine multimodales de capture/transmission du savoir-faire expert utile, utilisable et acceptable. Le projet MIMIKS comporte deux sous objectifs principaux, à savoir (1) le développement d'un outil pour la capture du savoir-faire expert et (2) le développement d'un outil favorisant la transmission du savoir-faire à destination des novices.

Les enjeux sont doubles. Premièrement il s'agit d'identifier comment accéder à des connaissances expertes qui sont par nature tacites. Deuxièmement il s'agit d'identifier les besoins et les contraintes des utilisateurs afin de créer une interface qui soit utile, utilisable et acceptable.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons commencé par réaliser une revue de littérature sur le fonctionnement des connaissances des experts. Nous avons ensuite étudié les outils et méthodes existant pour la capture et la transmission du savoir-faire. Par ailleurs, nous avons mis en place une démarche de conception centrée utilisateur qui, de l'analyse de l'activité aux tests utilisateurs, permettait d'intégrer l'utilisateur et ses besoins tout au long du projet.

Cette thèse, dans le cadre du projet MIMIKS, a permis d'aboutir à la conception de deux outils principaux pour la capture et la transmission du savoir-faire expert dans l'industrie. Les résultats montrent une acceptabilité importante des solutions et une augmentation des performances de capture du savoir-faire expert.

L'apport théorique principal est la pertinence de la multimodalité pour la capture du savoir-faire, et tout particulièrement de l'utilisation de l'oculométrie pour l'identification des étapes impliquant une charge cognitive importante ou des contrôles visuels primordiaux pour l'activité experte.



---

# Abstract

---

Know-how is a differentiating factor enabling quality and productivity objectives to be met. Maintaining "know-how capital" is therefore a strategic issue for any industry wishing to remain competitive. Faced with this need, Simsoft Industry, Continental Automotive Toulouse, the CLLE laboratory and the Saint Exupery Technological Research Institute collaborated to initiate the MIMIKS project (Multimodal Interactive Knowledge System), the project in which this thesis is written. The objective of this thesis was therefore to develop human / multimodal machine interfaces for capturing / transmitting useful, useful and acceptable expert know-how. We have two main sub-objectives, namely (1) the development of a tool for capturing expert know-how and (2) the development of a tool facilitating the transmission of know-how to novices.

The stakes are twofold. Firstly, it is a question of identifying how to access expert knowledge which is inherently tacit. Secondly, it is a question of identifying the needs and constraints of the users in order to create an interface that is useful, usable and acceptable.

To achieve our objectives, we started by carrying out a literature review on the functioning of expert knowledge. Then we studied the existing tools and methods for capturing and transmitting know-how. In addition, we implemented a user-centered design approach which, from the analysis of the activity to the user tests, made it possible to integrate the user and his needs throughout the project. This thesis, as part of the MIMIKS project, led to the design of two main tools for capturing and transmitting expert know-how in the industry. The results show a significant acceptability of the solutions and an increase in the capture performance of expert know-how.

The main theoretical contribution is the relevance of multimodality for the capture of know-how, and especially the use of eye tracking for the identification of stages involving a significant cognitive load or visual controls essential for the activity expert.





---

# Table des matières

---

Remerciements	iii
Résumé	v
Abstract	vii
Table des matières	xii
Figures	xiv
Tableaux	xiv
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
0.1 Préambule	1
0.2 L'industrie 4.0 et les projets Usine du Futur	3
0.3 L'Institut de Recherche Technologique Saint Exupery	5
0.4 Le projet MIMIKS	6
0.4.1 La demande	6
0.4.2 Enjeux industriels	8
0.4.3 Enjeux scientifiques	8
0.4.4 Enjeux méthodologiques	9
0.5 La thèse dans le projet MIMIKS	10
<b>1 Mémoire, connaissance procédurale et expertise</b>	<b>13</b>
1.1 Du savoir-faire aux connaissances procédurales	14
1.1.1 Le lien entre savoir, savoir-faire et mémoire	14
1.1.2 Les modèles de la mémoire	15
1.2 La manifestation du savoir-faire chez l'expert	22
1.2.1 La particularité des connaissances chez l'expert	22
1.2.1.1 Les experts disposent d'une quantité plus importante de connaissances que les novices	23
1.2.1.2 Les connaissances des experts sont structurées en fonction de l'activité pour laquelle ils ont acquis une expertise	23
1.2.1.3 Les connaissances des experts sont idiosyncratiques	25
1.2.1.4 Les connaissances des experts sont organisés en schémas fonctionnels	25
1.2.1.5 les connaissances des experts sont flexibles	27
1.2.2 Les stratégies cognitives chez l'expert	27
1.2.2.1 Jugement et prise de décision	28

1.2.2.2	La résolution de problème . . . . .	28
1.2.2.3	Le raisonnement . . . . .	29
1.2.3	La métacognition chez l'expert . . . . .	30
1.3	Le développement de l'expertise . . . . .	31
1.4	A retenir . . . . .	34
<b>2</b>	<b>Favoriser la modélisation et la transmission des connaissances procédurales via une IHM</b>	<b>37</b>
2.1	Transfert d'expertise : définition et enjeux . . . . .	39
2.2	La capture du savoir-faire . . . . .	41
2.2.1	Les méthodes/mesures issues de l'ergonomie . . . . .	42
2.2.2	Les techniques de verbalisation/élicitation . . . . .	43
2.2.3	La combinaison caméra/technique d'élicitation . . . . .	44
2.2.4	Point sur la capture du savoir-faire . . . . .	46
2.3	La transmission du savoir-faire . . . . .	46
2.3.1	L'outil de transmission : adapter un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) . . . . .	46
2.3.2	Des exemples d'Environnement Informatique pour L'Apprentissage Humain avec Système Tuteurs Intelligents (EIAH) . . . . .	49
2.3.3	Environnement Informatique pour L'Apprentissage Humain et Système Tuteur Intelligent : limites intrinsèques . . . . .	52
2.3.4	S'inspirer des méthodes d'apprentissages traditionnelles pour l'amélioration des EIAH . . . . .	53
2.4	A retenir . . . . .	55
<b>3</b>	<b>Créer une IHM utile, utilisable et acceptable via une démarche de conception centrée utilisateur</b>	<b>57</b>
3.1	Concevoir une Interface Homme/Machine utile, utilisable et acceptable . . . . .	58
3.2	La démarche de conception centrée utilisateur . . . . .	66
3.2.1	Analyse . . . . .	67
3.2.2	Conception . . . . .	68
3.2.3	Evaluation . . . . .	70
3.3	A retenir . . . . .	76
<b>4</b>	<b>Phase expérimentale : plan global</b>	<b>77</b>
4.1	Introduction . . . . .	78
4.2	Analyse . . . . .	78
4.3	Conception . . . . .	79
4.4	Evaluation . . . . .	79
4.5	A retenir . . . . .	80
<b>5</b>	<b>Analyse d'activité – partie 1 : le cadre de l'étude et l'activité des experts</b>	<b>81</b>
5.1	Introduction . . . . .	82
5.2	Participants . . . . .	84
5.3	Matériel et procédure . . . . .	85
5.4	Résultats . . . . .	87
5.4.1	Le cadre de l'étude : Continental Automotive Toulouse . . . . .	87
5.4.1.1	Domaine de production . . . . .	87

5.4.1.2	Les grandes étapes de fabrication d'un produit . . . . .	89
5.4.1.3	Organisation de la fabrication . . . . .	90
5.4.2	L'activité des participants . . . . .	92
5.4.3	Participant 1 : Julien PU . . . . .	92
5.4.3.1	Profil . . . . .	92
5.4.3.2	Responsabilités, tâches et savoir-faire . . . . .	93
5.4.4	Participants 2 : Florent Vision . . . . .	98
5.4.4.1	Profil . . . . .	98
5.4.4.2	Responsabilités, tâches et savoir-faire . . . . .	98
5.4.5	Analyse comparative des deux profils experts : points communs et émergence de premières préconisations pour l'outil MIMIKS . . . . .	103
5.5	Conclusion . . . . .	105
<b>6</b>	<b>Analyse d'activité – partie 2 : la modélisation et la transmission des connaissances procédurales chez Continental Automotive Toulouse</b>	<b>107</b>
6.1	Introduction . . . . .	108
6.2	Participants . . . . .	109
6.3	Matériel et procédure . . . . .	109
6.4	Résultats . . . . .	110
6.4.1	Informations générales sur la formation chez Continental Automot- ive Toulouse . . . . .	111
6.4.2	La formation en binome . . . . .	111
6.4.3	La formation en salle . . . . .	113
6.4.4	L'outil de transmission sur ligne . . . . .	116
6.5	Discussion . . . . .	117
<b>7</b>	<b>Conception des outils de capture et de transmission des connaissances procédurales</b>	<b>119</b>
7.1	Objectifs . . . . .	120
7.2	Outil de capture des connaissances procédurales MIMIKS . . . . .	120
7.3	Outil de transmission des connaissances procédurales : le K-Player . . . . .	133
7.4	Conclusion . . . . .	138
<b>8</b>	<b>Evaluation : les expériences menées tout au long de la thèse</b>	<b>139</b>
8.1	Evaluation de l'outil de capture MIMIKS . . . . .	140
8.1.1	Objectifs . . . . .	140
8.1.2	Rappel introductif . . . . .	140
8.1.3	Participants . . . . .	143
8.1.4	Matériel et procédure . . . . .	143
8.1.5	Résultats . . . . .	146
8.1.5.1	Itération 1 : éditeur vidéo . . . . .	147
8.1.5.2	incitation par les icônes d'informations . . . . .	149
8.1.5.3	système de suggestions . . . . .	152
8.1.5.4	Itération 4 (1/2) : enregistrement avec l'oculomètre . . . . .	154
8.1.5.5	Itération 4 (2/2) : l'oculométrie pour l'élicitation . . . . .	156
8.1.6	Synthèse des résultats . . . . .	158
8.1.7	Préconisations . . . . .	161

8.1.7.1	Explication des champs de saisie . . . . .	161
8.1.7.2	Changement du curseur de l'oculomètre . . . . .	162
8.1.7.3	Synchronisation entre la navigation et l'image affichée . . . . .	162
8.1.7.4	Outils d'édition de vidéo . . . . .	163
8.1.7.5	La gestion des cas déviants/cas particuliers . . . . .	163
8.2	Evaluation du K-Player . . . . .	164
8.2.0.1	Objectifs . . . . .	164
8.2.0.2	Introduction . . . . .	164
8.2.1	Participants . . . . .	167
8.2.2	Matériel et procédure . . . . .	167
8.2.3	Résultats . . . . .	170
8.2.3.1	Performances . . . . .	170
8.2.3.2	Verbalisation durant verbalisation . . . . .	173
8.2.3.3	Acceptabilité du K-Player . . . . .	174
8.2.3.4	Oculométrie . . . . .	177
8.2.4	Synthèse des résultats . . . . .	177
8.2.5	Préconisations . . . . .	180
<b>Conclusion et Perspectives</b>		<b>185</b>
8.3	L'outil MIMIKS : l'outil d'aide à la récupération et à la modélisation des connaissances procédurales des experts dans un contexte industriel . . . . .	185
8.4	Le K-Player : l'outil de transmission des connaissances procédurales expertes à destination des novices . . . . .	189
8.5	Les outils complémentaires . . . . .	195
8.5.0.1	Assistant pour l'édition de graphes . . . . .	196
8.5.0.2	Outil d'aide au diagnostic . . . . .	199
8.6	Conclusion . . . . .	202
<b>9</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>203</b>

---

# Table des figures

---

1	Développement de l'industrialisation. . . . .	3
2	Illustration du positionnement de l'IRT Saint Exupery sur l'échelle "Technology Readiness Level". . . . .	5
1.1	Les registres de mémoire selon Atkinson et Shiffrin (1968) . . . . .	15
1.2	La mémoire de travail selon Baddeley et Hitch (1974) . . . . .	18
1.3	Les sous sections de la mémoire à long terme selon Tulving (1972) . . . . .	20
1.4	Modèle ACT R (Anderson, 2004) . . . . .	21
2.1	Illustration des composantes d'un Système Tuteur Intelligent (STI) . . . . .	47
2.2	Apprentissage en fonction du système . . . . .	52
3.1	Modèle d'acceptabilité de Nielsen (1993) . . . . .	58
3.2	Schéma du Modèle d'Acceptation des Technologies (Technology Acceptance Model, TAM), Davis (1989) . . . . .	60
3.3	Schéma de la théorie de l'action planifiée, Ajzen (1991) . . . . .	61
3.4	Modèle d'Acceptation des Technologies 2 (Davis & Venkatesh, 2000) . . . . .	62
3.5	Modèle d'Acceptation des Technologies (Venkatesh & Bala, 2008) . . . . .	64
3.6	Le fonctionnement d'une démarche itérative de conception centrée utilisateur . . . . .	66
3.7	Le modèle du fonctionnement cognitif humain adapté à l'apprentissage multimédia (Mayer, 2001) . . . . .	69
3.8	Synthèse des mesures et critères pour l'évaluation d'un EIAH . . . . .	71
3.9	Evaluation de l'utilisabilité des jeux d'apprentissages (Jelil, 2014) . . . . .	72
3.10	Evaluation de l'utilité des jeux d'apprentissage (Jelil, 2014) . . . . .	72
3.11	Evaluation de l'acceptabilité des jeux d'apprentissage (Jelil, 2014) . . . . .	73
3.12	Synthèse des indicateurs oculométriques selon le niveau de charge mentale . . . . .	74
4.1	Articulation des objectifs de chaque phase de notre démarche de conception centrée utilisateur . . . . .	78
5.1	Les différentes divisions de Continental.© Continental . . . . .	88
5.2	Capteurs de pression (a), badges (b) et calculateur (c) . . . . .	88
5.3	Plan usine Continental © Continental . . . . .	89
5.4	Les différents niveaux de fabrication . . . . .	91
5.5	Exemple d'une journée de travail de Julien PU . . . . .	93
5.6	Etape de résolution de problème sur ligne . . . . .	94
5.7	Exemple d'une journée de travail de Florent Vision . . . . .	100
5.8	Etape de résolution de problème sur ligne . . . . .	101
6.1	salle de formation . . . . .	114

6.2	Extrait d'une gamme Continental Toulouse . . . . .	116
7.1	Vidéo et commentaire pour le recueil des connaissances procédurales . . . . .	123
7.2	Illustrations des différentes catégories . . . . .	124
7.3	Catégorie astuce . . . . .	125
7.4	Catégorie point de vigilance . . . . .	126
7.5	Catégorie outils . . . . .	126
7.6	Catégorie pièce jointe . . . . .	127
7.7	Catégorie contact . . . . .	128
7.8	Illustration des suggestions dans l'outil MIMIKS . . . . .	129
7.9	Illustration de l'oculomètre utilisé . . . . .	131
7.10	Illustration du curseur visuel orange dans la vidéo . . . . .	131
7.11	Illustration d'une suggestion basé sur l'oculométrie . . . . .	132
7.12	le modèle du fonctionnement cognitif humain adapté à l'apprentissage mul- timédia (Mayer, 2001) . . . . .	133
7.13	Les pré requis sur le Kplayer . . . . .	135
7.14	interface du Kplayer . . . . .	136
7.15	point de vigilance sur le Kplayer . . . . .	137
8.1	Interface de l'outil MIMIKS V1 avec système d'annotations simples . . . . .	147
8.2	Evolution apportée grâce à l'itération 1 . . . . .	148
8.3	Interface de l'outil MIMIKS V2 avec système d'annotations enrichies . . . . .	149
8.4	performance avec outil standard . . . . .	151
8.5	performance avec outil MIMIKS . . . . .	151
8.6	Interface de l'outil MIMIKS V3 avec suggestions . . . . .	152
8.7	performance avec outil standard . . . . .	154
8.8	performance avec outil MIMIKS . . . . .	154
8.9	illustration de la gêne occasionnée par le curseur de l'oculomètre . . . . .	162
8.10	Portail principal du K-Player . . . . .	181
8.11	Illustration des tests intégrés au K-Player . . . . .	182
8.12	Illustration des tests intégrés au K-Player . . . . .	183
8.13	Portail principal du K-Player . . . . .	192
8.14	Illustration des tests intégrés au K-Player . . . . .	194
8.15	Illustration des tests intégrés au K-Player . . . . .	194
8.16	Exemple d'un extrait de fiche d'autodiagnostic . . . . .	196
8.17	Illustration de l'assistant pour l'édition de graphe . . . . .	197
8.18	Ecran de navigation de l'outil d'aide au diagnostic . . . . .	199
8.19	Ouverture média . . . . .	200
8.20	Ecran avec question . . . . .	200
8.21	Vision d'ensemble . . . . .	201
9.1	Grille d'entretien semi directif destinée à une première compréhension de l'activité des experts . . . . .	213
9.2	Grille d'observation destinée à l'analyse de l'activité des experts . . . . .	214
9.3	Grille d'observation de l'activité de formation . . . . .	215
9.4	Illustration de l'oculomètre . . . . .	216
9.5	Caractéristiques techniques de l'oculomètre . . . . .	217
9.6	Questionnaire d'évaluation de l'acceptabilité du Kplayer . . . . .	236

---

# Liste des tableaux

---

2.1	Méthodes ergonomiques pour l'analyse de l'activité (liste non exhaustive)	42
2.2	Caméras utilisées par Le Bellu (2010)	45
3.1	Outils ergonomiques pour l'analyse de l'activité	67
7.1	Liste de suggestions	130
8.1	répartition des participants à travers les quatre itérations	143
8.2	Fonctionnalité testée par itération	145
8.3	scores d'acceptabilité de la première itération (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable)	147
8.4	scores d'acceptabilité de la deuxième itération (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable)	149
8.5	performance d'élicitation du savoir-faire (nombre d'informations spécifiques énoncées par catégorie) de la deuxième itération	150
8.6	scores d'acceptabilité de la troisième itération (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable)	152
8.7	performance d'élicitation du savoir-faire (nombre d'informations spécifiques énoncées par catégorie) de la troisième itération	153
8.8	synthèse des retours d'expériences issus de la phase d'enregistrement avec l'oculomètre	155
8.9	scores d'acceptabilité de la quatrième itération (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable)	156
8.10	nombre de suggestions basées sur les données oculométriques par participant et nombre d'informations ajoutées	156
8.11	scores d'acceptabilité (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable) et performance à retenir par itération	158
8.12	proposition d'aide à la compréhension des champs de saisie	161
8.13	synthèse des mesures et critères pour l'évaluation d'un EIAH	165
8.14	synthèse des indicateurs selon le niveau de charge mentale	166
8.15	grille d'analyse de performance en fonction du type d'apprentissage	170
8.16	le détail des erreurs lors du test K-Player	171
8.17	Astuce oublié (conséquences associées entre parenthèses)	172
8.18	les verbalisation lors du test K-Player	173
8.19	résultats au questionnaire d'utilité en fonction du support (allant de 1 "pas du tout en accord" à 7 "complètement en accord") et commentaire associé	174
8.20	résultats au questionnaire d'utilisabilité en fonction du support (allant de 1 "pas du tout en accord" à 7 "complètement en accord") et commentaire associé	175



8.21	résultats au questionnaire d'acceptabilité en fonction du support (allant de 1 "pas du tout en accord" à 7 "complètement en accord") et commentaire associé . . . . .	176
8.22	nombre et durée de fixations par seconde selon l'outil testé . . . . .	177
9.1	performace d'élicitation du savoir-faire (nombre d'informations spécifiques énoncées par catégorie) de la deuxième itération . . . . .	217

---

# Introduction

---

## 0.1 Préambule

Cette thèse s'inscrit dans un projet industriel de recherche et développement : le projet MIMIKS (Multimodal Interactive Knowledge capture System). Celui-ci est issu de la collaboration entre l'Institut de Recherche Technologique Saint Exupery (IRT), Continental Automotive Toulouse, Simsoft Industry et le laboratoire CLLE. Ce projet portait initialement sur la conception d'un système de "capture du savoir-faire". Par la suite, il s'est étendu à la "transmission du savoir-faire".

Le savoir-faire est une dimension importante pour une industrie comme Continental Automotive Toulouse. Il est un facteur de différenciation permettant de remplir des objectifs de qualité et de productivité. La conservation d'un "capital savoir-faire" est donc un enjeu stratégique. Continental Automotive Toulouse s'est inscrit dans ce projet afin de bénéficier d'un système permettant de créer une base de données des savoir-faire. L'objectif est d'éviter la perte des savoir-faire suite à des départs, notamment en retraite.

Simsoft Industry est une start up spécialisée dans le développement de système pour la gestion des connaissances. Après plusieurs expériences dans la conception d'outils visant à modéliser les connaissances, une difficulté est apparue concernant le savoir-faire des experts. Les retours d'expérience ont montré que les connaissances modélisées étaient souvent incomplètes. Les experts présentent des difficultés à éliciter leur savoir-faire, celui-ci est tacite et difficilement accessible. Pour Simsoft Industry le projet MIMIKS devait apporter des solutions à ce problème.

Pour répondre à cette demande, le laboratoire CLLE a été intégré au projet MIMIKS afin d'apporter une expertise en ergonomie et en psychologie cognitive. Cet apport s'est concrétisé par l'embauche d'un ingénieur en ergonomie encadré par Céline Lemercier, enseignante-chercheuse au sein du laboratoire CLLE. Le rôle de l'ergonome était de définir le savoir-faire des experts, d'identifier des leviers pour sa capture et sa transmission et

de piloter la démarche de conception centrée utilisateur (analyse, conception, évaluation). A mi projet, c'est à dire un an et demi après son commencement, l'ergonome s'est inscrit en thèse. Cette thèse a pour objectif de traduire les travaux réalisés durant le projet de recherche et développement.

Ce projet, et par extension cette thèse, est l'aboutissement d'une logique de recherche initiée par le gouvernement français. Plusieurs niveaux d'imbrication sont à présenter, partant de la politique du gouvernement en passant par l'Institut de recherche Technologique pour arriver au projet MIMIKS, projet dans lequel s'inscrit cette thèse.

## 0.2 L'industrie 4.0 et les projets Usine du Futur

En septembre 2013, le gouvernement français initie « Nouvelle France Industrielle ». Après avoir lancé la Banque publique d'investissement et le crédit d'impôt pour la compétitivité et l'emploi, le gouvernement a fait le constat qu'il était impossible de gagner la bataille de la compétitivité en se basant uniquement sur le coût du travail. Le levier alors mis en avant fut l'innovation pour moderniser l'industrie française et lui permettre de se différencier sur le marché mondial.

De ce mouvement émerge en avril 2015 l'Alliance pour l'industrie du futur. L'objectif de ce plan est de rassembler les industriels, les universités, les centres de recherches et les régions autour de projets innovants permettant à l'industrie française d'entrer dans l'ère du 4.0.

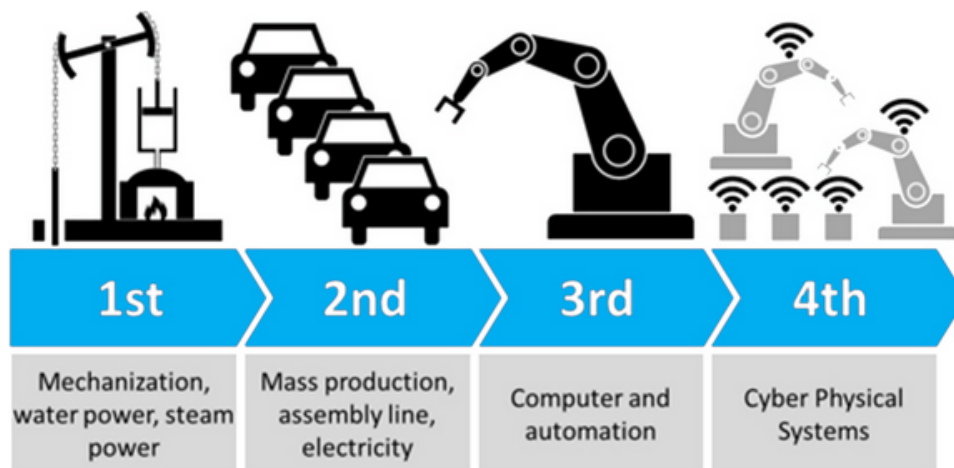


FIGURE 1 – Développement de l'industrialisation.

L'industrie 3.0 a introduit l'informatique et l'automatisation des lignes. D'après Kohler et Weisz (2016), l'industrie 4.0 sera focalisée sur la révolution du numérique et sur l'intégration des systèmes cyber physiques connectés (Cf figure 1). Initiée en Allemagne, cette révolution représente un défi technologique dont le but principal est de pouvoir présenter une production modulable, intelligente et réactive basée sur le numérique et le tout connecté. Par exemple, elle rend possible la production de séries de taille 1<sup>1</sup> à des coûts

---

1. Les séries de taille 1 renvoient à la production de pièces sur mesure à un rythme équivalent à une production classique. Les projets de recherche sur le big data et la fabrication additive (impression 3D) vont dans ce sens.

équivalents à de la production de masse.

Dans l'optique d'entrer dans l'industrie 4.0, le gouvernement a alors défini 9 axes de recherches :

- L'économie des données : créer de la valeur en exploitant la quantité importante de données que nous avons maintenant à disposition
- Les objets intelligents : positionner la France en leader des objets intelligents et améliorer le quotidien des Français en développant de nouveaux usages
- La confiance numérique : renforcer le réseau et la cyber sécurité
- L'alimentation intelligente : développer une alimentation soutenable, compétitive et saine, conforme aux attentes des consommateurs
- Les nouvelles ressources : favoriser l'émergence de nouveaux matériaux, de ressources renouvelables et la valorisation des déchets
- La ville durable : répondre aux enjeux environnementaux, numériques et démographiques de la ville demain
- Mobilité écologique : transformer le transport pour le rendre plus écologique, moins coûteux et moins subi
- Les transports de demain : transformer le transport de personnes et de marchandises pour le rendre plus compétitif
- La médecine du futur : soigner mieux et de manière plus individualisée

Comme nous le verrons ci-après, le projet MIMIKS s'intègre dans l'axe de recherche "économie des données" car il consiste à créer et valoriser une base de données des savoir-faire.

Afin de promouvoir l'innovation autour de ces 9 axes, le gouvernement a prévu 5 milliards d'euros d'aides fiscales entre avril 2015 et avril 2017, mais aussi 2,9 milliards d'euros de prêts « industrie du futur » et 1,1 milliard supplémentaire prévu pour 2018.

### 0.3 L’Institut de Recherche Technologique Saint Exupery

La création de l’Institut de Recherche Technologique Saint Exupery (IRT) en 2013 s’inscrit dans cette logique "Nouvelle France Industrielle". Cet institut, domicilié à Toulouse, a pour vocation de rassembler des acteurs du monde de l’industrie avec des laboratoires et des universités afin de mener des projets innovants permettant à l’industrie française de rester compétitive. De ce fait il bénéficie aussi des « Investissements d’avenir » (PIA) mis en place par le gouvernement afin de stimuler la recherche.

Pour appréhender les recherches menées à l’IRT, nous nous baserons sur l’échelle de "Technology Readiness Level" (Mankins, J. C., 1995), aussi appelée échelle TRL.

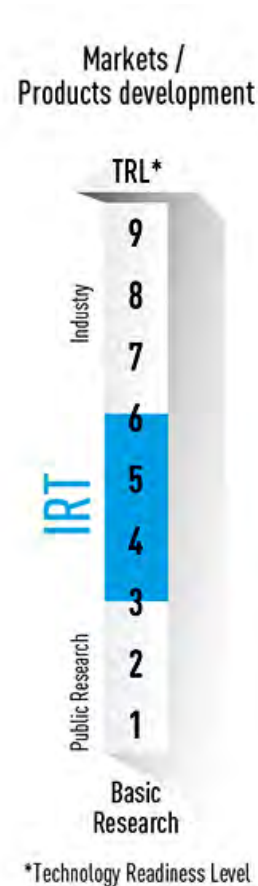


FIGURE 2 – Illustration du positionnement de l’IRT Saint Exupery sur l’échelle "Technology Readiness Level".

L’échelle TRL (Cf figure 2) s’étend sur 9 niveaux de maturité, le niveau 1 représentant les premières constatations d’un principe théorique et le niveau 9 l’aboutissement d’une

technologie prête à être utilisée (Mankins, J. C., 1995). Le cœur d'expertise de l'IRT est de monter en maturité des technologies du niveau 3 au niveau 6 sur l'échelle de « Technology Readiness Level » (TRL). Ces niveaux de recherches vont de la preuve de concept (POC, proof of concept) à la production de premiers prototypes testés en situations artificielles. L'IRT Saint Exupéry articule son activité autour de 3 axes principaux de recherche. Premièrement les **aéronefs plus électriques** dont le but principal est d'embarquer davantage d'électronique dans les avions. Deuxièmement les **matériaux innovants** dont l'application et encore une fois essentiellement aéronautique. Le dernier axe, **systèmes embarqués**, renvoie à toute recherche portant sur le développement de technologies, de méthodes et d'outils s'intégrant à un système pré établi. Ce système peut être un avion mais aussi un système de production industriel.

Le projet MIMIKS s'inscrit dans cet axe de recherche de l'IRT Saint Exupéry, et porte sur le développement d'un système embarqué interfacé à destination des opérateurs sur chaîne de production.

## 0.4 Le projet MIMIKS

### 0.4.1 La demande

Le projet IRT Saint Exupéry MIMIKS est né de la collaboration entre plusieurs acteurs : Continental Automotive Toulouse, usine de production spécialisée dans les pièces électroniques pour les automobiles ; Simsoft Industry, start up spécialisée dans le développement d'outils informatiques pour la capitalisation des connaissances ; Le laboratoire CLLE équipe LTC, unité du CNRS spécialiste en ergonomie cognitive et dans l'acceptabilité des Interface Homme/machine.

Initialement, le projet MIMIKS avait pour objet d'augmenter la maturité d'une solution logicielle innovante dédiée au recueil de savoir-faire industriel en production (fabrication, maintenance, assemblage). En d'autres termes, il s'agissait de concevoir une interface permettant la récupération et la modélisation des connaissances procédurales des experts en contexte de production industrielle. Les membres du projet ont intégré un objectif complémentaire : il était impératif que la solution logicielle réponde aux critères d'utilité,

utilisabilité et d'utilité (Bastien & Scapin, 1993) afin de faciliter son intégration auprès des utilisateurs.

Pour se faire, une équipe pluridisciplinaire a été instaurée. Celle-ci était composée d'un chef de projet issu de l'entreprise Simsoft Industry et expert en développement informatique, notamment sur les questions de dialogue homme/machine en langage naturel. Le développement logiciel était assuré par un ingénieur mis à disposition par Simsoft Industry. Ce dernier était supervisé dans sa tâche par le chef de projet. J'ai été recruté pour apporter les compétences d'un ingénieur d'étude en ergonomie spécialisé dans la conception d'interfaces homme/machine. Mon rôle était de diriger la démarche de conception centrée utilisateur. Mon activité était supervisée par Céline Lemercier, Professeur des universités en psychologie cognitive et ergonomique, du laboratoire CLLE. Les membres de l'atelier Continental Toulouse sont intervenus à plusieurs niveaux. Le chef d'atelier et le responsable « Usine du Futur » ont participé aux réunions de réflexions autour des outils développés. Des membres de l'atelier, futurs utilisateurs, ont participé au projet en permettant une analyse de leur activité et en participant à la démarche itérative de conception (maquettage, tests, discussion...).

Le projet était initialement prévu sur deux ans, cependant les résultats obtenus ont dépassé les espérances des membres à tous les niveaux (financeurs, experts, utilisateurs). L'ensemble des acteurs du projet a alors décidé d'étendre l'étude de la capture de l'expertise métier à l'étude de la transmission de l'expertise métier. La décision de prolongement du projet a été validée dans l'année qui a suivi. Le projet ayant pris de l'envergure, j'ai alors décidé de saisir cette opportunité pour mener à bien une réflexion plus profonde tant théorique que méthodologique, réflexion qui m'a conduit à réaliser ce travail de thèse. Bien qu'une partie des études expérimentales aient été réalisées avant cette décision, impactant notamment la méthodologie mise en place, leurs résultats m'ont paru pertinents pour nourrir une réflexion autour de la capture et la transmission du savoir-faire des experts dans un contexte industriel.



### 0.4.2 Enjeux industriels

L'enjeu industriel principal consiste à permettre aux ateliers de fabrication de conserver l'expertise et le savoir-faire comme une variable de différenciation permettant une production qualitative et fiable. L'expertise permet aux ateliers de production de maintenir un rendement important et un taux de défauts maîtrisé. Elle permet aussi d'éviter au maximum les pannes et d'intervenir au plus vite si un problème survient. Pour atteindre ces objectifs, l'expertise et le savoir-faire doivent être au plus près des machines de fabrication. La transmission du savoir-faire des experts vers les novices, constamment présent sur lignes, est donc un enjeu primordial. Celle-ci est déjà existante à travers des formations et des conseils sur ligne. Pourtant, les novices sont parfois démunis face à certaines tâches, ce qui peut perturber la production et engendrer un mal-être au travail chez l'opérateur. De plus, lorsque les novices se trouvent dans une impasse, ils sollicitent les experts afin de les aider. Les experts se trouvent parfois dans des situations de sur-sollicitation ne laissant plus de place à leurs activités principales (e.g. la recherche pour l'amélioration continue des machines de fabrication). A long terme, un défaut de transmission du savoir-faire peut être problématique lors de départs à la retraite ou de départs anticipés. L'atelier peut se retrouver orphelin d'une compétence clef au bon fonctionnement de l'atelier. Nous constatons donc que la difficulté de la transmission du savoir-faire entraîne des répercussions multiples.

### 0.4.3 Enjeux scientifiques

L'objet initial du projet était le recueil du savoir-faire. D'un point de vue scientifique il soulève plusieurs questions auxquelles il a fallu répondre. Premièrement nous avons pris soin de comprendre quelles notions sont en jeu derrière ce terme « savoir-faire ». Comme nous le verrons dans le chapitre 1, le savoir-faire implique des notions complexes relevant de la mémoire, de son fonctionnement et de la spécificité des connaissances des experts. Cette investigation devait aussi permettre de comprendre pourquoi il est difficile d'accéder aux connaissances procédurales. Une fois cette problématique ciblée, l'enjeu était d'identifier des leviers permettant de faciliter le recueil puis la transmission du savoir-faire. Tout au long de ce projet, une attention complémentaire était portée sur l'acceptabilité des

solutions proposées.

### 0.4.4 Enjeux méthodologiques

De par la nature du projet et son historique, le cadre méthodologique de cette thèse est atypique. Les experts disponibles pour collaborer dans ce projet étaient rares. Nous avons ainsi disposé de deux participants experts sur la première partie du projet, auxquels un troisième s'est ajouté dans la deuxième partie. L'enjeu était double : produire des connaissances sur la base d'un échantillon très faible et s'attacher à ne pas perdre l'adhésion des participants tout au long des trois ans de recherche. Cette raison nous a poussés à nous tourner vers une étude de cas, plus propice à l'étude exploratoire que nous voulions mener.

A cette difficulté s'est ajouté le contexte en flux tendu de l'activité des experts. En effet il est difficile pour les experts d'anticiper les urgences sur ligne (pannes notamment...). Les rendez-vous prévus pouvaient s'en retrouver écourtés sans possibilité de les réaliser ultérieurement. En effet les exigences du projet et les faibles délais nous contraignaient à avancer dans le développement des outils sans avoir toujours la possibilité de tester comme nous l'avions programmé les solutions. Nous avons donc dû faire des compromis afin d'aboutir à une solution qui réponde aux besoins et contraintes des opérateurs en trouvant des alternatives nous assurant de leur concours dans le temps qu'ils pouvaient donner au projet. Cela a permis de nous assurer de la validité de nos résultats malgré la discontinuité apparente dans les tests réalisés tout au long du projet. Cette discontinuité invite à une prudence dans l'analyse longitudinale des résultats.

La discontinuité est aussi présente de par l'historique du projet. La prolongation d'un an a changé la nature de mon travail. Initialement prévu comme une expertise pour mettre en place une démarche de conception centrée utilisateur, mon apport s'est transformé à travail de recherche approfondi d'un doctorant. Les premières expérimentations ont été menées sans anticiper la prolongation du projet. Il est envisageable que celles-ci eut été différentes si le projet avait été dimensionné sur trois ans dès le départ. Une continuité et une cohérence longitudinale aurait été davantage recherché.

Pour résumer, nous pouvons dire que les enjeux méthodologiques auront été de répondre

aux exigences de chacun des membres : les « clients » (Continental, Simsoft Industry) et leurs besoins, l'équipe de développement et le rythme de conception, les utilisateurs et leurs contraintes, la rigueur de la recherche scientifique.

## 0.5 La thèse dans le projet MIMIKS

L'objet de cette thèse est indissociable du projet R&D « Usine du futur » MIMIKS. Elle s'y inscrit pleinement dans ses objectifs comme dans ses moyens. S'il s'agit d'un travail de recherche, le rôle de l'ingénieur d'étude en ergonomie était avant tout de mener une démarche de conception. L'intitulé de la thèse est « L'ergonomie au coeur de l'industrie 4.0 : développement d'interfaces humain/machine multimodales utile, utilisable et acceptable de capture/transmission du savoir-faire expert dans l'industrie ». Comme nous l'avons précédemment évoqué, il faut distinguer deux parties dans cette thèse, à savoir le recueil et la transmission des connaissances procédurales. Ces dernières sont néanmoins liées par un objet central : les connaissances procédurales.

En effet le premier objectif de cette thèse est de faire le point sur le savoir-faire. Pour cela il sera nécessaire de réaliser un rappel sur les modèles de la mémoire afin de comprendre la spécificité de ces connaissances. Puis nous nous attacherons à étudier la spécificité de ses connaissances chez les experts. Cette première partie nous permettra de comprendre la problématique du recueil du savoir-faire et pourquoi les experts rencontrent des difficultés à les modéliser.

La partie suivante visera à identifier des leviers, technologiques s'ils existent, pour le recueil puis la transmission des connaissances procédurales. Nous commencerons par la partie « capture » du savoir-faire. Du à l'absence de technologie dédiée, nous nous intéresserons aux méthodes et techniques utilisées en ergonomie pour aider les experts à analyser leur activité et donc, leur savoir-faire. Ces informations nous donnerons des idées pour notre outil de capture du savoir-faire. Dans la partie « transmission » nous ferons le point sur les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH). Il s'agit d'interfaces numériques permettant la transmission des informations, soit l'objectif que nous poursuivons. Nous étudierons aussi les méthodes d'apprentissages traditionnelles. Cette

démarche vise une fois de plus à enrichir notre réflexion autour de la conception de notre outil de transmission.

La dernière partie de la revue de littérature porte sur les notions d'acceptabilité, l'utilité et l'utilisabilité. Nous présenterons plusieurs modèles avant de fixer un modèle de référence qui a été le nôtre durant cette thèse. Cela nous permettra d'introduire la démarche de conception centrée utilisateur et les différentes étapes que nous avons suivies tout au long du projet et de cette thèse.

Les chapitres suivants sont les études réalisées durant cette thèse. Nous commencerons par l'analyse d'activité des experts. Cette analyse sera divisée en deux parties. La première porte sur l'analyse de leur activité au quotidien. L'analyse a été réalisée avec deux participants experts volontaires pour participer au projet. L'objectif était d'appréhender le contexte de nos utilisateurs d'une part, et d'identifier la manifestation de leur savoir-faire d'autre part. La deuxième partie de l'analyse d'activité se concentre davantage sur les moyens mis en œuvre chez Continental Automotive Toulouse pour transmettre le savoir-faire, des formations aux outils sur ligne. Globalement, la partie analyse d'activité permettait d'appréhender le contexte des utilisateurs, d'identifier leurs besoins, leurs contraintes, mais aussi de donner des premières pistes pour la conception de nos outils.

Le chapitre suivant présente la conception des outils. Nous croiserons ainsi les informations issues de la revue de littérature avec les éléments tirés de l'analyse d'activité. Nous présenterons ainsi les outils en détaillant et argumentant les choix que nous avons réalisés. Il est important de rappeler que si ce chapitre présente les outils de façon unifié, ils sont en réalité issus d'une démarche itérative, ponctué de tests utilisateurs qui ont orienté chacune des décisions.

La dernière partie vise à présenter les tests utilisateurs qui ont été réalisés tout au long du projet MIMIKS. Nous présenterons distinctement les études réalisées sur l'outil de recueil et celle sur l'outil de transmission.

Cette thèse se terminera par une conclusion qui nous permettra de discuter nos résultats. Nous évoquerons les limites et les perspectives liées à cette recherche. Nous évoquerons aussi des projets périphériques au projet MIMIKS. En effet des outils complémentaires ont pu être testés. Ces derniers n'ont pas été intégrés au déroulement principal de cette thèse car ils n'ont pas bénéficié d'un temps et d'un approfondissement aussi important

que les deux outils principaux. Il reste intéressant de les discuter car ils peuvent combler certaines limites que nous aurons identifiées.

---

# Mémoire, connaissance procédurale et expertise

---

**Résumé**

*Dans ce chapitre nous définirons l'objet de recherche principal : le savoir-faire des experts. Pour cela nous procéderons en trois étapes. Nous commencerons par situer le savoir-faire dans le système mnésique en analysant les modèles de la mémoire. Par la suite nous présenterons les spécificités du savoir-faire des experts. Pour finir nous retranscrivons les processus d'acquisition de l'expertise. Ce chapitre nous permettra de comprendre quels sont les processus permettant aux experts d'être plus performants. De plus révélera en quoi les connaissances expertes sont difficilement accessibles pour la modélisation.*

**Sommaire**

---

<b>1.1 Du savoir-faire aux connaissances procédurales</b>	<b>14</b>
1.1.1 Le lien entre savoir, savoir-faire et mémoire	14
1.1.2 Les modèles de la mémoire	15
<b>1.2 La manifestation du savoir-faire chez l'expert</b>	<b>22</b>
1.2.1 La particularité des connaissances chez l'expert	22
1.2.2 Les stratégies cognitives chez l'expert	27
1.2.3 La métacognition chez l'expert	30
<b>1.3 Le développement de l'expertise</b>	<b>31</b>
<b>1.4 A retenir</b>	<b>34</b>

---

## 1.1 Du savoir-faire aux connaissances procédurales

Dans ce chapitre nous définirons l'objet de recherche principal : le savoir-faire des experts. Pour cela nous procéderons en trois étapes.

Nous commencerons par situer le savoir-faire dans le système mnésique. Pour cela nous procéderons à une revue des modèles fondateurs permettant de comprendre le fonctionnement du système mnésique. Nous finirons par nous centrer sur le modèle ACT-R (Anderson, 2004) qui est particulièrement intéressant pour aborder le savoir-faire des experts. Par la suite nous présenterons les spécificités du savoir-faire des experts. Pour finir nous retranscrirons le processus d'acquisition de l'expertise.

Ce chapitre nous permettra de comprendre quels sont les processus permettant aux experts d'être plus performants. De plus il révélera en quoi les connaissances expertes sont difficilement accessibles pour la modélisation.

### 1.1.1 Le lien entre savoir, savoir-faire et mémoire

D'après l'édition 2018 du Larousse, le savoir-faire est une « compétence acquise par l'expérience dans les problèmes pratiques, dans l'exercice d'un métier ». Le savoir serait ainsi « avoir appris quelque chose, et pouvoir le dire, le connaître, le répéter ». Mais le Larousse dit aussi que le savoir est « avoir la capacité, après étude et apprentissage, de pratiquer, d'exercer une activité » et « avoir des connaissances étendues, approfondies, avoir une grande expérience ». Ces définitions se recoupent parfois. Dans les deux cas on parle d'expérience, d'exercer une activité, de pratiquer. En psychologie cognitive le savoir-faire est abordé à travers le prisme de la mémoire. La définition posée par Moscovitch (2007) illustre ce lien entre savoir-faire et mémoire.

Moscovitch (2007) définit la mémoire comme une représentation interne, persistante d'un événement passé ou d'une expérience qui se reflète dans la pensée ou dans le comportement. Selon lui la mémoire n'existe pas jusqu'à ce que le souvenir soit recouvert. Cette

définition est intéressante car elle pose plusieurs distinctions. Premièrement la mémoire renvoie à une pensée, verbalisable, mais aussi à un comportement. Nous recouvrons donc bien le savoir et le savoir-faire. Deuxièmement la mémoire ne renvoie pas seulement à la trace mnésique mais aussi à la récupération de cette information. Ainsi une information peut être existante sans pour autant y avoir accès. C'est la problématique même de notre projet où des experts peuvent mettre en œuvre des éléments en mémoire (savoir-faire) et ne pas parvenir à récupérer ces informations lorsqu'ils souhaitent les modéliser. A ce stade nous comprenons le lien entre savoir, savoir-faire et mémoire. Pour bien distinguer savoir et savoir-faire, nous étudierons les modèles de la mémoire.

### 1.1.2 Les modèles de la mémoire

Nous aborderons ici les différents modèles de la mémoire. Dans une logique historique, nous commencerons par aborder le modèle structural d'Atkinson et Shiffrin (1968) puis nous exposerons la conception fonctionnelle développée par Craik et Lockhart (1975). Notre réflexion nous mènera jusqu'au modèle d'Anderson (2004) qui nous permettra dans la partie suivante de comprendre la spécificité du savoir-faire des experts.

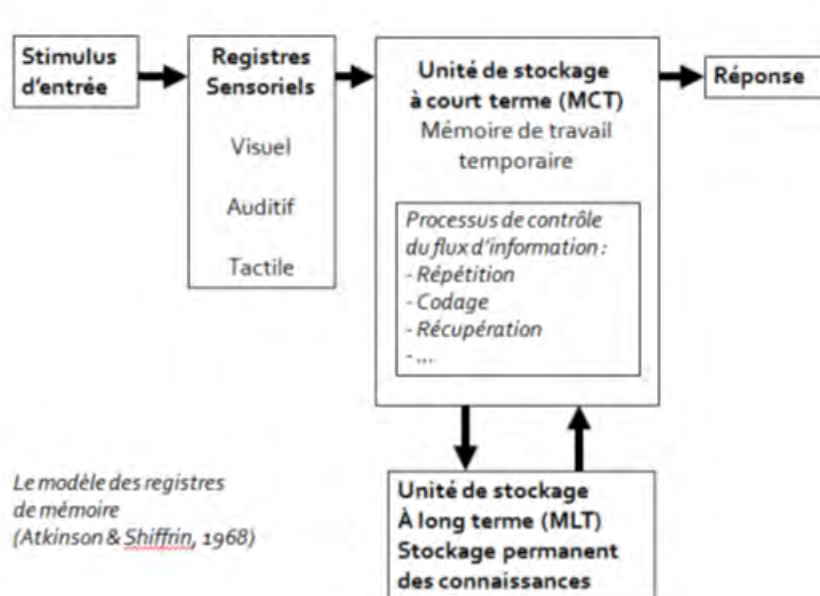


FIGURE 1.1 – Les registres de mémoire selon Atkinson et Shiffrin (1968)



Le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968) a permis de distinguer plusieurs types de mémoire (Cf figure 1.1). Nous retrouvons le registre sensoriel qui va contenir de façon très brève les informations que nous percevons dans notre environnement.

Vient ensuite l'unité de stockage à court terme (MCT) qui permet de stocker l'information un peu plus longtemps (20 secondes environ) mais dont la capacité est limitée. La capacité de la mémoire à court terme serait de 7 chunks plus ou moins 2 (Miller, 1956). Cette capacité est mesurée principalement avec des tâches d'empan mnésique qui consiste à demander à des participants de rappeler une série d'items dans l'ordre. Un chunk est défini comme une unité d'information. Celle-ci peut être plus ou moins complexe. Par exemple, si l'on retient indépendamment quatre chiffres : 1, 9, 4, et 5, alors on stocke en MCT quatre chunks. Mais si l'on retient la date 1945 alors il ne s'agit que d'un seul chunk d'information. Cette distinction est importante, car si la mémoire à court terme n'est pas extensible, les concepts manipulables eux le sont. Peterson et Peterson (1959) se sont intéressés à la durée de rétention de l'information en MCT. Il était demandé aux participants de retenir une série de lettres. Après cela ils devaient compter à rebours à partir de 100. Le délai avant cette tâche de compte à rebours variait de 3 à 18 secondes selon les groupes. Ils ont alors montré que la durée de rétention en MCT était de 18s. Passé ce délai, le nombre d'informations rappelé était pratiquement nul.

Pour finir vient la mémoire à long terme dont la capacité est illimitée (ou presque tant en quantité d'informations stockées qu'en durée de stockage). Le passage de la mémoire à court terme à la mémoire à long terme se fait principalement par auto-répétition. Ce processus a été mis en avant par des tests de rappels de série d'items. Cela a donné lieu à la démonstration des effets sériels en mémoire. Lorsqu'il était demandé à des participants de faire le rappel, les premiers et les derniers items encodés (dans une liste de mots) étaient mieux rappelés. Le meilleur rappel des premiers items encodés serait dû à l'effet de primauté, les items ayant bénéficié d'une répétition importante en MCT, ils seraient alors passés en MLT. Le meilleur rappel des derniers items encodés serait dû à l'effet de récence, les items étant les derniers présentés, ils seraient encore en MCT au moment du rappel (Ebbinghaus, 1885; Murdock, 1962). Cette hypothèse est renforcée par l'expérience de Murdock (1962) qui, manipulant la cadence de présentation des mots joués sur la capacité des participants à répéter mentalement les items à rappeler. En accord

avec son hypothèse, il montre que plus la cadence était importante moins le rappel des premiers mots et des mots médians était bon. Cependant l'effet de récence était conservé. A contrario, lorsque l'on augmente le délai entre la présentation des items et le rappel, l'effet de primauté n'est pas altéré, alors que l'effet de récence diminue, ce qui témoigne du stockage en mémoire à court terme de ces mots.

Cette distinction entre mémoire à court terme et mémoire à long terme a été corroborée par une étude de cas en neuro psychologie concernant le patient Henry Gustav Molaison. Il s'agit d'un patient opéré en 1953 du lobe temporal et de l'hippocampe. Cette opération l'a privé de sa mémoire à long terme mais il était toujours capable d'utiliser sa mémoire à court terme telle qu'elle est décrite ici. Il pouvait donc retenir brièvement des informations, bénéficiait de l'effet de récence mais pas de l'effet de primauté.

Ce modèle est intéressant car il pose trois processus clés dans la compréhension de la mémoire : l'encodage, le stockage et la récupération. Une information serait donc perçue par le registre sensoriel, encodée à travers la mémoire à court terme puis récupérée afin d'être mobilisée. Nous verrons que ces processus sont centraux dans cette thèse, et vont différer selon la nature des connaissances.

Des critiques ont cependant été apportées à ce modèle : nous aborderons en premier la remise en question de la mémoire à court terme telle qu'elle est définie dans ce modèle. Puis nous évoquerons la complexification de la mémoire à long terme avec la distinctions de plusieurs sous registres.

En 1974, Baddeley et Hitch développent le concept de mémoire de travail. Ce concept se substitue au concept de mémoire à court terme, considéré comme une instance passive ne reflétant pas la réalité des opérations mnésiques à court terme. La mémoire de travail est une instance tri-partite, constituée d'un administrateur central, d'un calepin visuo spatiale et d'une boucle phonologique (Cf figure 1.2).

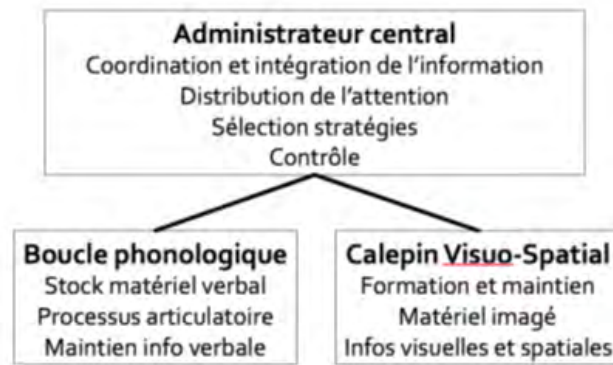


FIGURE 1.2 – La mémoire de travail selon Baddeley et Hitch (1974)

La boucle phonologique permet de gérer les informations de nature verbale. Elle cherche à donner du sens aux informations et à les articuler entre elles.

Le calepin visuo-spatial est un système qui forme et maintient les images visuelles et spatiales. Il est important de noter que des informations présentées sous forme verbale peuvent être encodées sous forme d'images. C'est qui peut arriver par exemple lorsque l'on lit la description d'un environnement dans un livre.

L'administrateur central est au centre du système, il permet de traiter activement l'information. Cette gestion passe par la coordination entre la mémoire à long terme et les informations en entrée, issues de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial. L'administrateur central est donc le module qui gère le flux des informations ainsi que leur traitement.

Cette façon d'aborder la mémoire de travail comme un espace où les informations transigent est primordial pour comprendre les modèles suivants. Il permet notamment de renforcer le lien entre la mémoire de travail, l'encodage, le stockage et récupération.

La théorie de la profondeur de traitement de Craik et Lockhart (1975) permet de comprendre le lien entre encodage et récupération. Celle-ci stipule que plusieurs types de traitement de l'information sont possibles. Ces traitements vont du traitement superficiel au traitement profond. Le traitement superficiel renvoie à des caractères physiques ou phonologiques du stimulus. Nous sommes là à un niveau très descriptif, de surface : «

à quoi ressemble l'objet, comment sonne le mot... ». L'analyse profonde renvoie à un traitement sémantique de l'objet. On cherche à donner du sens, à articuler l'information autour de ce que l'on sait déjà : « quelle est l'utilité de cet objet, à quelle famille d'objet appartient-il, comment puis-je l'utiliser ? ». Les auteurs ont testé leur théorie en induisant un traitement de surface sur une liste de mots dans un groupe, et un traitement en profondeur d'une liste de mots dans l'autre. Ce traitement était induit par le type de question associé au mot (e.g. combien ce mot comporte-t-il de lettre ? VS Ce mot est-il un outil de bricolage?). De cette façon ils ont pu démontrer que plus l'analyse est profonde, meilleure est la récupération.

Dans une même visée fonctionnelle de la mémoire, Tulving (1975) a aussi mis en avant un effet particulièrement intéressant pour comprendre la difficulté des experts à modéliser leur savoir-faire. C'est ce qu'il appelle la spécificité de l'encodage. Cette théorie stipule que la récupération des informations est favorisée lorsque les conditions de récupération sont similaires avec les conditions dans lesquelles les informations ont été encodées. Cet effet a été testé par Geiselman et Glenny (1997). Ils ont présenté une liste de mots à deux groupes. Le premier groupe devait lire la liste en imaginant une voix de femme, et le deuxième en imaginant une voix d'homme. Puis une liste de mots étendus était lue aux participants, soit avec une voix de femme, soit avec une voix d'homme. Ces derniers devaient reconnaître les mots qu'ils avaient eus dans leur liste. Leur performance était largement supérieure lorsque la voix correspondait avec celle qu'ils avaient imaginée dans leur tête. La spécificité de l'encodage ne porte pas uniquement sur les conditions environnementales, mais peuvent aussi renvoyer des états internes, comme les émotions. Cette étude nous permet de commencer à comprendre les difficultés que peuvent rencontrer les experts qui doivent modéliser leur savoir-faire. Alors qu'ils le mettent en œuvre dans l'atelier, ils doivent le récupérer en mémoire dans leur bureau pour le décrire. Ils ne peuvent pas bénéficier de la spécificité de l'encodage.

Ces modèles nous ont permis de comprendre le fonctionnement basique de la mémoire. Avec ces deux unités centrales que sont la mémoire de travail et la mémoire à long terme. Nous avons vu que l'encodage, le stockage et la récupération étaient fonctionnellement

liés. Nous pouvons aller plus loin en inspectant les distinctions qui ont été apportées par la suite à l'intérieur de la mémoire à long terme. Nous verrons que celle-ci possède plusieurs sous sections, qui présenteront elles-mêmes des spécificités quand à ce triptyque encodage, stockage, récupération.

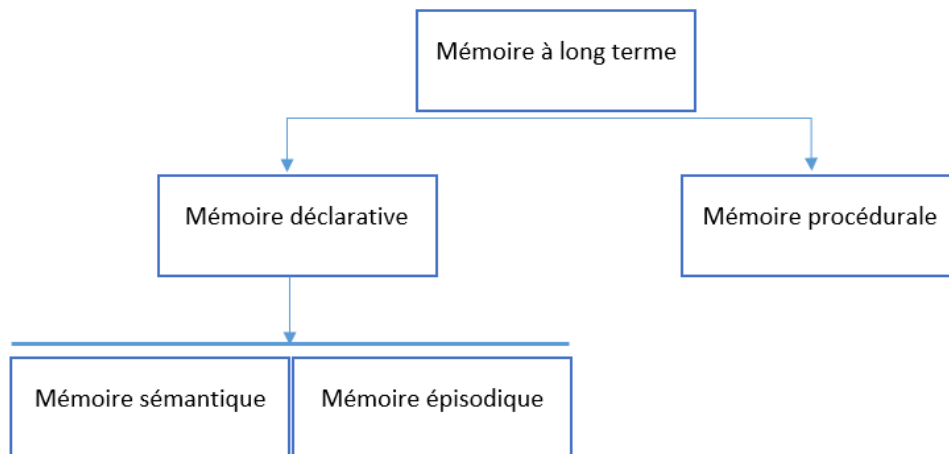


FIGURE 1.3 – Les sous sections de la mémoire à long terme selon Tulving (1972)

Tulving (1972 ; 1987) a décomposé la mémoire à long terme en plusieurs sous systèmes (Cf figure 1.3). Il distingue la mémoire déclarative de la mémoire procédurale.

La **mémoire déclarative** est composée de la mémoire sémantique et de la mémoire épisodique (1972). La mémoire sémantique renvoie aux connaissances, ce sont les savoirs, aux concepts que nous manipulons pour comprendre notre environnement. Les connaissances épisodiques renvoient aux expériences vécues. Ce sont les souvenirs que nous gardons d'épisodes, d'événements, elles sont situées, spatialisées, elles s'inscrivent dans le parcours de vie. Ce sont des expériences sensorielles.

L'autre sous système est la **mémoire procédurale** (Tulving, 1987). La mémoire procédurale nous permet de mettre en œuvre des actions dans même y penser. Elle est composée de savoir-faire. Sa nature tacite, inconsciente la rend très difficile à verbaliser. La mémoire procédurale renvoie donc précisément aux connaissances que nous cherchons à investiguer dans cette thèse et dans le projet MIMIKS. Anderson (2004) va apporter une meilleure compréhension du fonctionnement de ces connaissances procédurales, de leurs acquisitions et de leurs récupérations.

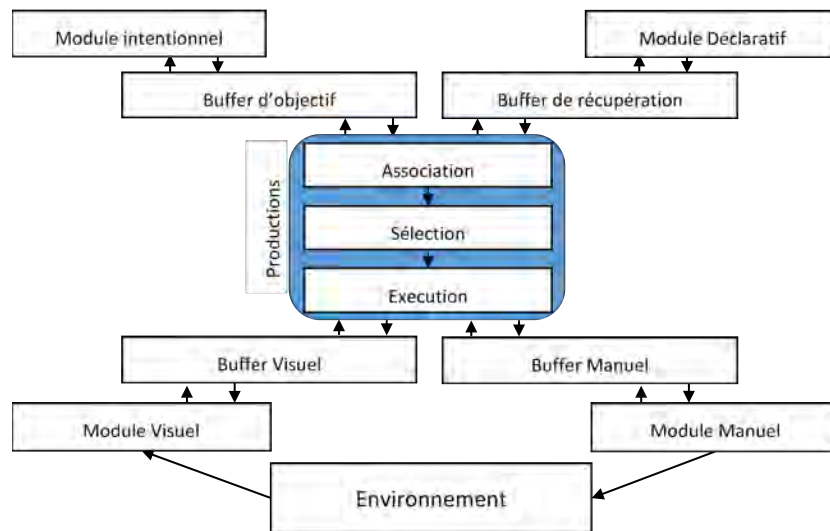


FIGURE 1.4 – Modèle ACT R (Anderson, 2004)

ACT-R (Cf Figure 1.4) est une théorie unifiée du comportement humain (Anderson, 2004), c'est-à-dire qui vise à modéliser les processus cognitifs mis en œuvre par les individus quand ils interagissent avec leur environnement.

Ce modèle est composé de différents modules qui communiquent entre eux. Le module intentionnel hiérarchise et sélectionne le ou les buts à atteindre. Le module déclaratif contient les connaissances déclaratives.

Le module visuel est à l'interface entre l'environnement et le système cognitif. Les informations qui transitent par ce module peuvent être entrante ou sortante. En sortie le système cognitif va diriger l'attention vers les éléments visuels qui lui semblent être les plus pertinents. En entrée ce module va capturer les informations nécessaires dans l'environnement. Le module manuel représente le côté moteur de l'action.

Au centre de l'interaction se trouve le module « production ». Ce module contient les connaissances procédurales. Son rôle est de rassembler les informations issues des différents modules, de sélectionner l'action à réaliser, puis d'envoyer cette action aux modules sensori-moteur afin de l'exécuter. Les règles de production de ce système sont de type action-condition (si... alors...). C'est-à-dire qu'une situation, qu'une condition particulière va entraîner une série d'actions à réaliser en conséquence. Ces règles sont par nature inconscientes et automatisées.

Tous les modules communiquent entre eux via des buffers (tampon en français). Ces buf-

fers représentent la mémoire de travail et permettent de transmettre ce que l'on appelle des chunks.

Anderson (2004) présente un modèle intéressant de la mémoire car il est particulièrement complet. Nous retiendrons ce modèle car il nous permettra, après avoir défini l'expertise, de comprendre comment un individu acquiert des connaissances, notamment procédurales, et fini par devenir un expert.

## 1.2 La manifestation du savoir-faire chez l'expert

Un expert est défini par Caverni (1988) comme une personne qui, dans un domaine particulier, produit des performances supérieures à la moyenne grâce à des connaissances spécifiques. Cette définition introduit trois composantes : (1) une composante observable, c'est à dire la performance, relié à (2) un domaine spécifique et permise grâce à des (3) caractéristiques propres. Hoffman (1998) définit l'expert comme un individu reconnu socialement, possédant des compétences lui permettant d'être plus performant tout en réalisant moins d'efforts. Cet auteur ajoute ainsi une quatrième composante importante à savoir (4) la dimension sociale de l'expertise.

Au-delà de la définition de l'expertise, les auteurs se sont davantage intéressés aux caractéristiques des experts qui leurs permettent d'être plus performants. Au fil du temps, un consensus a émergé autour de plusieurs invariants que nous présenterons ci-dessous : (1) les connaissances des experts, (2) les stratégies cognitives, (3) la métacognition.

### 1.2.1 La particularité des connaissances chez l'expert

Lorsque nous comparons les novices et les experts, nous constatons que les connaissances de chacun diffèrent à plusieurs niveaux.

### 1.2.1.1 Les experts disposent d'une quantité plus importante de connaissances que les novices

De Groot (1965) puis Chase et Simon (1973) se sont intéressés à l'expertise chez les joueurs d'échecs. Une des conclusions porte sur la spécificité des connaissances déclaratives chez les experts. Ces connaissances sont spécifiques et non transposables à un autre domaine. Ce postulat est aussi soutenu par Glaser et Chi (1988). Les connaissances dans le domaine de spécialité sont plus nombreuses et différenciées chez les experts que chez les novices (e.g. les experts en jeu d'échecs identifient un nombre plus importants de configuration de pièces sur l'échiquier).

Une nuance peut être apportée. S'il est admis que la plupart des connaissances sont spécifiques au domaine, certains auteurs précisent que des connaissances peuvent être transférables (Chi et al., 1988). La lecture ou l'écriture en sont des exemples, ces connaissances sont nécessaires dans plusieurs domaines et sont en interaction avec les autres connaissances plus spécifiques à un domaine (Scardamalia & Bereiter, 1991).

Glaser et Chi (1988) spécifient que cet avantage quantitatif existe seulement pour les informations pertinentes permettant de mettre en œuvre l'activité de l'expert. Les novices mémorisent aussi bien les informations de surface non significantes pour l'action que les experts, si ce n'est mieux. Zeitz (1994) a ainsi demandé à deux groupes, un composé d'experts en littérature et l'autre de novices, de réaliser des tâches de rappel après avoir étudié un texte. Il a montré que les experts en littérature obtenaient de meilleures performances quand il s'agissait de réaliser un rappel au niveau conceptuel. A contrario les novices étaient meilleurs quand il s'agissait de réaliser un rappel de surface (« du verbatim ») des textes littéraires. Les experts sont ainsi plus habiles pour retenir et manipuler les informations pertinentes pour réaliser leur activité.

### 1.2.1.2 Les connaissances des experts sont structurées en fonction de l'activité pour laquelle ils ont acquis une expertise

Bédard et Chi (1992) avancent que l'expert dispose d'une quantité supérieure de connaissances déclaratives mais aussi que celles-ci sont organisées différemment. Elles



sont ainsi davantage connectées entre elles et selon des critères significatifs pour l'activité. Pour investiguer cet aspect et identifier l'organisation des connaissances en fonction de l'expertise, les auteurs ont mis en place un dispositif expérimental de choix de cartes (« card-sorting test »). Ce dispositif consiste à présenter un ensemble de cartes sur lesquelles des items sont écrits. La consigne est alors de demander aux participants de trier les cartes en catégories distinctes. Il s'est avéré que les novices trient les informations en fonction de critères de surfaces, comme la forme des objets par exemple. Les experts eux trient les informations en fonction de leur utilité pour résoudre un problème. Cette organisation permet aux experts d'être plus opérationnels. Ils exercent un traitement en profondeur des informations (Craik & Lockhart, 1975). De plus les connaissances des experts sont bien plus connectées entre elles, ce qui leur permet d'avoir accès à des chunks de connaissances bien plus complexes. Si on met en lien cette théorie avec le principe de mémoire de travail limitée à environ 7 chunks, alors les experts présentent un avantage considérable pour mettre en œuvre des actions complexes et appréhender leur environnement : ils "contournent" la limite en mémoire de travail en manipulant des chunks d'informations plus complexes et plus opérationnels leur permettant d'être plus performants, tant pour percevoir leur environnement que pour solliciter des connaissances.

Cet avantage a été corroboré par l'étude de Bisseret (1995) qui a montré que l'organisation des connaissances des experts leur permet d'être aussi plus performants en mémoire à court terme. Cet auteur a demandé à des participants experts de retenir des positions d'avions. Les positions étaient présentées une à une. La présentation était interrompue de façon inopinée pour demander aux participants de réaliser une tâche de rappel. Les experts arrivaient alors à rappeler en moyenne 30 positions. Ce nombre est élevé si l'on considère que les limites généralement admises de la mémoire à court terme sont de 7 plus ou moins 2 items. Bisseret (1995) avance que ce résultat est possible par un re-encodage opérationnel des items. Les experts regroupent ainsi plusieurs items en chunks d'informations. Cela leur permet de retenir davantage d'informations.

Deux éléments primordiaux sont à retenir de cette sous partie : (1) les experts structurent différemment leurs connaissances, elles sont orientées vers un but, (2) cela induit

un traitement des informations différents qui sera opérationnel et non de surface. Il y a un lien étroit entre connaissances, stratégie de structuration et activité de travail. Comme les connaissances, ces stratégies ne sont pas transposables d'un domaine à un autre (Ericsson & Lehmann, 1996).

Le lien entre structure des connaissances et activité est déterminant. D'après Bédard et Chi (1992) ces connaissances influencent la perception et les procédures mises en œuvre.

### 1.2.1.3 Les connaissances des experts sont idiosyncratiques

Par connaissances idiosyncratiques nous entendons que dans un domaine donné, les connaissances peuvent varier d'un expert à un autre (Ericsson & Charness, 1997). Ericsson et Lehmann (1996) ont ainsi montré que les consensus entre les experts diminuent avec leur expérience dans le domaine. Shanteau (2001) rapporte que l'accord entre les diagnostics posés par des médecins est très faible avec une corrélation de 0.40 à 0.55. Ces différences interindividuelles dans le contenu des connaissances peuvent être expliquées par ce que nous avons évoqué précédemment : les experts constituent leurs connaissances à travers leur activité. Plus un expert dispose d'expérience, plus il se détachera des ouvrages théoriques et se basera sur sa propre expérience (Schmidt et al., 1990). Cela entraîne des conséquences. D'après Shanteau (2001), le consensus entre pairs est plus difficile entre experts qu'entre novices. L'hypothèse serait que, chacun ayant une expérience différente, un parcours professionnel autre impliquant des cas d'usages variés et spécifique, il est difficile à tous de s'accorder. Ce manque de consensus n'est pas présenté comme un défaut dans la mesure où il entraîne des confrontations de point de vue permettant la production de nouvelles connaissances.

### 1.2.1.4 Les connaissances des experts sont organisés en schémas fonctionnels

Nous avons vu précédemment que les connaissances expertes étaient structurées en fonction d'un but dans l'activité. Les experts présentent aussi une particularité qui les rend plus efficaces : la procéduralisation des connaissances.

D'après Bisseret (1995), la structuration des connaissances des experts est propice à leurs procéduralisation. La structuration des connaissances des experts, dirigé vers un but, a pour conséquence que les éléments propres aux procédures sont mieux mémorisés car plus pertinents.

Anderson (2004) a expliqué le déroulement de l'acquisition des connaissances procédurales. Ce processus serait en trois stades. Le premier est le **stade cognitif**. Lors de cette étape l'individu structure les nouvelles informations et formalise les procédures à mettre en œuvre pour réaliser une tâche. La difficulté pour l'individu est alors de comprendre et de donner un sens aux informations qu'il doit assimiler. Le second est le *stade associatif*. Lors de cette étape l'individu va peu à peu passer d'un mode de fonctionnement déclaratif à un mode plus opératoire où des situations vont susciter des actions. Il n'est plus dans un processus de construction mais de mise en application et de consolidation. Le *stade autonome* est le dernier stade : à force de répétition, l'individu automatise son savoir-faire. C'est-à-dire qu'il n'a plus besoin d'y penser pour le mettre en œuvre. On dit qu'il devient tacite. La conduite automobile est un exemple parlant de ce phénomène. Un apprenant commence par décomposer et formaliser les étapes à réaliser. il va par exemple s'attacher au compteur de tours/minutes pour savoir quand passer les vitesses. Il s'agit du stade cognitif. Avec l'expérience, il arrive à identifier quand passer les vitesses mais reste concentré sur le geste à réaliser. Il est alors au stade associatif. Après des centaines de répétitions, il change de vitesse sans même y penser, ce qui lui permet d'allouer ses ressources à d'autres tâches (une meilleure attention par exemple). Il a alors atteint le stade autonome.

Il est à noter que les connaissances déclaratives ne disparaissent pas complètement. L'expert a en effet besoin de conserver une compréhension des éléments qui constituent son environnement de travail. Par exemple, s'il manie des matériaux pour la construction d'une pièce, il reste pertinent pour lui de connaître leurs caractéristiques. Ces connaissances déclaratives sont fortement associées aux procédures à mettre en œuvre dans l'activité mais restent accessibles.

Cette procéduralisation des connaissances permet de mettre en œuvre des actions sans

les conscientiser. Mais cela rend ces connaissances procédurales tacites. Elles sont donc plus difficilement explicites. Cette difficulté est accrue par ce que nous avons mentionné précédemment : les connaissances procédurales sont contextualisées (un expert va solliciter une procédure dans un contexte donné pour atteindre un but spécifique). Ces éléments nous permettent de comprendre les difficultés rencontrées par les experts lorsqu'ils souhaitent décrire la réalisation d'une tâche dans un document à destination des novices. La procéduralisation des connaissances est ce qui permet aux experts d'être plus performants mais aussi ce qui entrave la transmission de leurs savoir-faire.

### 1.2.1.5 les connaissances des experts sont flexibles

La procéduralisation des connaissances pourrait laisser penser que les experts s'enferment dans des schémas rigides dont il est difficile de s'extraire. D'après Feltovitch (1997), ce n'est pas le cas. Les experts sont capables de s'adapter à des situations nouvelles. Schmidt et Boshuizen (1993) nous expliquent que les connaissances déclaratives, pourtant fortement associées aux schémas procéduraux préconstruits, restent mobilisables par les experts en dehors de ces schémas. Lorsqu'un schéma d'action n'est pas adapté à une situation, les experts sont capables de s'en extraire et de puiser dans leurs connaissances déclaratives afin d'analyser la situation et de s'adapter. Nous explorerons davantage cet aspect dans la partie suivante qui porte sur les stratégies cognitives associées à l'expertise.

## 1.2.2 Les stratégies cognitives chez l'expert

Nous avons constaté que les connaissances déclaratives et procédurales jouent un rôle important dans l'expertise. Nous avons aussi compris que celles-ci sont corrélées avec des stratégies cognitives spécifiques (Ericsson & Lehmann, 1996). Dans cette partie nous aborderons ces différentes stratégies.

Nous commencerons par décrire les stratégies de jugement et de prise de décision. Autrement dit, il s'agira ici de comprendre comment l'expert appréhende son environnement afin de décider de ses actions lorsqu'il débute une tâche. Suite à cela nous aborderons les stratégies expertes en situation de résolution de problème qui consiste à identifier

comment agir face à une situation nouvelle. Pour finir nous détaillerons le raisonnement expert qui permet de comprendre comment un expert génère de nouvelles connaissances. Dans un souci de compréhension nous présenterons ces stratégies de façon dissociées. En réalité nous pensons que ces processus sont parfois co-dépendants. A titre d'exemple, si les stratégies de jugements, de prise de décision et de raisonnement peuvent être mobilisées unitairement, elles sont aussi impliquées dans une situation de résolution de problème.

### 1.2.2.1 Jugement et prise de décision

Le jugement et la prise de décision renvoient aux étapes préalables à toute action. Il s'agit de la phase de compréhension de la situation qui va entraîner une procédure, permettre un diagnostic ou initier une résolution de problème lorsqu'aucune action connue n'est adaptée à la situation.

Lipshitz et Shaud (1997) ont montré que les experts répertoriaient davantage d'informations, plus variées et de sources différentes, que les novices. D'après Serfaty, MacMillan et Entin (1997), les experts récupèrent plus d'informations pertinentes même lorsqu'ils sont contraints au même nombre de questions. A travers leurs questions, ils cherchent davantage à multiplier les points de vue sur la situation. La pertinence de ses questions est permise grâce aux connaissances qui sont plus nombreuses chez les experts mais aussi plus opérationnelles.

Une fois les informations recueillies, la prise de décision dépend des schémas d'actions existants chez les experts. S'ils disposent de connaissances leurs permettant de réaliser la tâche alors ils exécuteront la procédure connue. Dans le cas contraire, ils pourront initier une résolution de problème.

### 1.2.2.2 La résolution de problème

Nous considérons qu'une situation est un problème quand un individu ne dispose pas de schéma d'action préétabli pour atteindre son but (Richard, 1995). Les experts sont généralement beaucoup plus rapides pour résoudre les problèmes que les novices. Une étude

avec des physiciens a montré que des experts résolvaient un problème quatre fois plus rapidement que les novices (Larkin & al. 1980). Ce constat est appuyé par Anderson (2004).

Larkin, McDermott et Simon (1980) permettent de comprendre ce qui permet aux experts d'être plus performants. les experts accordent une importance particulière à la phase d'analyse du problème. L'étude réalisée sur les physiciens a montré que face à un problème les novices tentaient immédiatement d'appliquer des équations sans prendre le temps d'analyser les données du problème. A contrario les experts prenaient du temps pour tenter de comprendre le problème, c'est-à-dire identifier les différents éléments qui le composent. Cette analyse serait notamment permise par un « encodage sélectif » et une « combinaison sélective » des informations (Sternberg, 1997). L'encodage sélectif consiste à évaluer la pertinence des éléments qui composent un problème afin d'en retenir les plus utiles à sa résolution. La combinaison renvoie à la mise en relation de ses informations entre elles, mais aussi avec celles en mémoire à long terme. L'avantage des experts dans la résolution des problèmes résiderait fortement dans cette capacité à reformuler les problèmes et dans la sollicitation des connaissances opérationnelles (Ermerod et al. 1999). Cela est permis par leur quantité de connaissances (Glaser, 1986), leur flexibilité (Feltovic et al. 1997) et leur structure.

### 1.2.2.3 Le raisonnement

Le raisonnement renvoie à la production d'inférences à partir d'informations répertoriées par un individu. Le raisonnement possède systématiquement une finalité et une direction. La finalité peut être la compréhension ou l'élaboration d'actions pour le diagnostic. La direction peut être la production d'informations plus générales que les informations initiales (généralisation) ou au contraire plus spécifiques (particularisation) (Richard, 1995). On parle respectivement de raisonnement inductif et de raisonnement déductif. D'après Larkin, McDermott et Simon (1980), en situation de problèmes les novices utilisent une stratégie « fins-moyens » pour raisonner. Comme son nom l'indique, il s'agit de décider d'une fin hypothétique et de confronter les informations connues afin de voir si celles-ci concordent. A contrario les experts utilisent une stratégie s'appuyant sur les

données connues afin de produire une hypothèse (Schmidt et al. 1990). Par exemple, face à une panne de machine de production, un novice va faire une hypothèse de cause et réaliser des opérations afin de confronter les symptômes. L'expert va analyser les symptômes pour produire une hypothèse. Il va ensuite réaliser des opérations pour tester son hypothèse. Cette stratégie permet aux experts d'être bien plus efficaces tout en économisant des ressources cognitives. Cette stratégie demande deux prédispositions. Premièrement posséder des connaissances relevant de la logique causale applicables aux données des problèmes rencontrés. Autrement dit l'expert, de par son expérience, a créé des patterns de résolutions de problèmes permettant d'inférer des solutions au regard des prémisses fournis par la situation analysée (Chi et al. 1982). Deuxièmement il est nécessaire de pouvoir sélectionner les informations composant le problème les plus pertinentes (Sternberg, 1997).

Les stratégies que nous venons d'aborder, corrélées avec les connaissances des experts, expliquent la supériorité de ces derniers sur les novices. Un dernier aspect est déterminant pour expliquer leurs performances, notamment lorsqu'ils sont confrontés à des imprévus dans leur activité : la métacognition.

### 1.2.3 La métacognition chez l'expert

La métacognition est définie par Flavell (1985) comme « la cognition de la cognition ». Il s'agit pour lui des différents processus qui visent à surveiller le bon déroulement de la réalisation d'une tâche. Noël (1997) définit ainsi la métacognition comme un processus mental dont l'objet est soit une activité cognitive, soit un ensemble d'activités cognitives que le sujet vient d'effectuer ou est en train d'effectuer, soit un produit mental de ces activités cognitives. La métacognition peut aboutir à un jugement (habituellement non exprimé) sur la qualité des activités mentales en question ou de leur produit et éventuellement à une décision de modifier l'activité cognitive, son produit ou même la situation qui l'a suscitée.

On distingue principalement trois processus métacognitifs. La **planification**, d'abord, consiste à établir, en amont de la réalisation d'une tâche, l'ensemble de la procédure à réaliser pour la résoudre. Le **contrôle**, ensuite, porte sur le bon déroulement de la tâche

et de ce qui en résulte. Cela permet notamment d'anticiper un problème avant qu'il ne survienne. La **régulation**, enfin, permet à un individu, en fonction du contrôle, d'ajuster la procédure afin de pouvoir atteindre son but. Si l'écart au but est trop important l'individu peut aussi modifier le but pour se fixer un objectif réalisable.

Pour Veenman et al. (1999) les experts mettent d'avantage en œuvre de compétences métacognitives que les novices. La planification leur permet d'être plus efficace, le contrôle d'identifier toute anomalie et la régulation de s'adapter et de réagir rapidement pour corriger un éventuel problème. Il faut cependant noter que ces processus sont automatisés, les experts réalisent des contrôles sans même y penser. Il est donc difficile pour eux de verbaliser ces compétences-là.

### 1.3 Le développement de l'expertise

Il nous semble important de faire un point sur le développement de l'expertise afin de ne pas tomber dans l'écueil de classer les individus de façon binaire : les novices d'une part et les experts d'autre part. Le développement de l'expertise est long et laborieux. D'après Ericsson et al (1993), il faudrait en moyenne dix ans pour devenir expert dans un domaine. Cependant, l'expérience ne suffit pas à atteindre l'expertise. Des individus peuvent être médiocres dans une tâche qu'ils réalisent quotidiennement, la conduite automobile en est un bon exemple (Duncan, Wailliams et Brown, 1991). Ce constat se retrouve dans des domaines professionnels comme la médecine, la comptabilité ou la finance (Ericsson & Lehmann, 1996). Si l'expérience ne suffit pas, il est donc légitime de se poser la question sur la façon dont se développe l'expertise.

Tout d'abord, il convient d'aller à l'encontre de ce qui pourrait être une idée reçue : il n'y a pas de lien direct entre prédispositions innées et expertise. Ainsi, les joueurs d'échecs ont développé des habiletés pour retenir en mémoire des configurations de pièces mais ne présentent aucune différence significative lorsqu'il s'agit de retenir des configurations extérieures à leur domaine (Ericsson & Charness, 1994). De même, la relation entre quotient



intellectuel général et performance des experts est faible dans de nombreux domaines. A titre d'exemple, les scientifiques et les ingénieurs présentent une corrélation entre quotient intellectuel et succès professionnel de seulement 0.2. Cette corrélation ne rend compte que de 4% de la variance observée (Ericsson et al. 1993).

L'augmentation des performances serait principalement due à ce que l'on appelle la « pratique délibérée » (Ericsson et al. 1993). Il s'agit de pratiquer une activité avec la volonté de s'améliorer. Pour cela il est nécessaire de bénéficier de feedback sur les actions réalisées afin de répertorier les erreurs et les succès. Ainsi toutes les activités ne sont pas propices à la « pratique délibérée », notamment celles présentant un hasard important et aucun retour sur le produit de l'activité. Ainsi, l'expérience est importante mais l'important est de maintenir une volonté et une motivation pour s'améliorer dans l'activité (Hrimech, 1998).

La « pratique délibérée » permet de procéduraliser les connaissances. Nous avons déjà vu précédemment qu'Anderson (2004) avait proposé trois stades de procéduralisation des connaissances : cognitif, associatif et autonome. Pour rappel le premier stade renvoie à la conscientisation de l'action à réaliser et des éléments qui la compose. Le stade suivant renvoie à la construction de schémas d'actions conditionnels. Une fois au dernier stade les individus appliquent les schémas d'actions de façon automatisée.

Bien que plus ancien, il nous paraît important de revenir sur le modèle de Dreyfus et Dreyfus (1986) qui propose une distinction plus fine encore des différents stades de l'expertise. Ils proposent ainsi cinq stades dans le développement de l'expertise.

Le premier est le **stade de novice**. Durant ce stade la difficulté de l'individu est de confronter les règles et les actions prescrites avec la réalité de l'activité. Il doit alors se construire des représentations et des règles applicables dans son contexte. Une personne jeune diplômée est un bon exemple de ce stade, elle dispose de connaissances qu'elle doit appliquer en conditions réelles. Il faut donc les adapter pour qu'elles correspondent aux besoins et contraintes de l'activité.

Le stade suivant est celui de **débutant avancé**. A ce stade l'individu est capable de réaliser des actions plus complexes. Cependant il reste difficile pour lui d'établir une hié-

rarchie d'importance entre les différents éléments qui composent ses actions. Ainsi si un imprévu se présente il lui sera difficile de s'adapter et d'agir en fonction de ce qui est le plus pertinent dans un contexte précis.

Le troisième stade est celui de **l'individu compétent**. A ce stade la personne acquiert un sentiment de responsabilité et de compétence accrue. Elle est capable de construire et de hiérarchiser des buts dans son activité. Elle n'est pas encore aussi performante qu'au stade suivant mais a construit un sentiment de confiance.

Vient ensuite le **stade performant**. A partir de là l'individu se détache des connaissances et des règles pour construire des schémas d'actions contextualisés et opérants. Il devient plus performant pour identifier les différents types de situations et pour initier les schémas d'actions pertinents.

Pour finir vient le *stade expert*. L'individu est alors capable de discriminer finement les situations qu'il rencontre. Ses schémas d'actions sont automatisés et les connaissances sont tacites. En découle des difficultés à expliquer les raisonnements implicites légitimant les actions.

## 1.4 A retenir

Ce chapitre visait à définir le savoir-faire, sa spécificité chez les experts, et son acquisition. Nous avons ainsi adopté une démarche en compréhension à travers trois sous parties qui ont chacune apporté des enseignements pour cette thèse. Les éléments les plus importants sont les suivants.

Premièrement, nous avons compris comment se traduisait le savoir-faire dans le système mnésique. Celui-ci renvoie aux connaissances procédurales. **Ces connaissances sont tacites et contextualisées.** L'individu a besoin de conditions particulières pour les manifester. Nous comprenons ainsi pourquoi **il est difficile de les modéliser de façon décontextualisée.** Pour la suite de cette thèse, nous retiendrons le modèle ACT-R (Anderson, 2004) qui accorde une attention particulière aux connaissances procédurales et à leur acquisition.

Deuxièmement, nous avons étudié la spécificité du savoir-faire des experts. Trois axes sont à prendre en considération quand il s'agit de définir l'expertise : les connaissances, les stratégies cognitives et la métacognition. Si chaque axe regroupe plusieurs caractéristiques, notre intérêt se porte tout particulièrement sur les éléments modélisables. Concernant les connaissances, nous retiendrons que le savoir-faire (les connaissances procédurales) est indissociable du savoir (les connaissances déclaratives). Comme nous le verrons par la suite, cet enseignement permettra **d'éviter de tomber dans l'écueil de se restreindre à la modélisation du savoir-faire. Il est important de toujours y associer le savoir afin de donner du sens aux actions modélisées.** Concernant les stratégies cognitives et la métacognition, nous retiendrons l'importance de l'interaction entre l'expert et son environnement. Quand l'expert débute une nouvelle tâche il analyse son environnement pour identifier les éléments importants à la réalisation de la tâche. De même, pendant qu'il met en œuvre des actions, il contrôle son environnement afin de s'assurer qu'aucune anomalie ne se présente. **Lorsque nous concevrons notre outil de modélisation, nous nous tenterons de rendre compte des inspections visuelles qui peuvent être réalisées dans l'activité experte.**

Troisièmement, nous avons décrit le processus d'acquisition de l'expertise. Nous retiendrons qu'il convient **d'éviter une distinction binaire novice/expert.** Un individu acquiert progressivement les connaissances, les stratégies cognitives et la métacognition

propres aux experts. Cela nous a aussi permis de comprendre que **plus un individu est expert plus ses connaissances sont procéduralisées et tacites, renforçant la difficulté pour l'expert de modéliser son activité et donc, d'en capturer les tenants et les aboutissants utiles pour sa transmission à des individus novices qui souhaiteraient l'exercer.**

Ce chapitre a permis de définir ce que revêt l'expertise et de comprendre en quoi il est difficilement modélisable. Le chapitre suivant visera à réaliser un état de l'art sur les méthodes et outils permettant de modéliser le savoir-faire d'une part et de le transmettre d'autre part.



---

# Favoriser la modélisation et la transmission des connaissances procédurales via une IHM

---

## Résumé

*Le chapitre précédent nous a permis de définir le savoir-faire des experts au travail. Dans ce chapitre, nous discuterons des moyens permettant de capturer le savoir-faire d'une part, et de ceux permettant de le transmettre d'autre part. Cette analyse sera réalisée en deux temps. Si des outils technologiques existent, nous les analyserons afin d'en identifier les avantages et les inconvénients. Dans un deuxième temps nous évoquerons des modèles théoriques qui nous permettront d'étudier les méthodes "traditionnelles" permettant de favoriser la capture et la transmission (e.g. méthodes d'enseignements...). L'objectif global de ce chapitre est de nourrir une réflexion sur les choix de conception à réaliser dans le cadre du projet MIMIKS.*

## Sommaire

<b>2.1</b>	<b>Transfert d'expertise : définition et enjeux</b>	<b>39</b>
<b>2.2</b>	<b>La capture du savoir-faire</b>	<b>41</b>
2.2.1	Les méthodes/mesures issues de l'ergonomie	42
2.2.2	Les techniques de verbalisation/élicitation	43
2.2.3	La combinaison caméra/technique d'élicitation	44
2.2.4	Point sur la capture du savoir-faire	46
<b>2.3</b>	<b>La transmission du savoir-faire</b>	<b>46</b>
2.3.1	L'outil de transmission : adapter un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH)	46
2.3.2	Des exemples d'Environnement Informatique pour L'Apprentissage Humain avec Système Tuteurs Intelligents (EIAH)	49
2.3.3	Environnement Informatique pour L'Apprentissage Humain et Système Tuteur Intelligent : limites intrinsèques	52
2.3.4	S'inspirer des méthodes d'apprentissages traditionnelles pour l'amélioration des EIAH	53

---

2.4 A retenir . . . . .	55
-------------------------	----

---

## 2.1 Transfert d'expertise : définition et enjeux

D'après Basque (2004) le transfert d'expertise renvoie aux stratégies de gestion des connaissances d'une organisation permettant de conserver ce que l'on appelle un capital intellectuel. On parle alors de "knowledge management". Grundstein (2002) définit la gestion des connaissances comme l'interaction des activités et de processus destinés à amplifier l'utilisation et la création de connaissances individuelles et collectives dans l'entreprise. Il définit quatre catégories d'activité.

Le repérage (1) des connaissances stratégiques et essentielles pour l'entreprise. La préservation des connaissances (2) à travers la modélisation et la formalisation des connaissances explicites et tacites. Vient ensuite la valorisation des connaissances (3) visant à partager les connaissances d'une part, mais aussi à les mobiliser pour créer des connaissances nouvelles dans le cadre de l'innovation. Pour finir vient l'actualisation des connaissances (4) dont le but principal est la mise à jour de la base de données des connaissances.

Hinds et Pfeffer (2003) ont mis en avant les difficultés du partage d'expertise au sein des organisations. Une enquête menée auprès de 431 organisations européennes et américaines montre que seulement 13% des répondants pensent que le transfert d'expertise est adéquat (Ruggles, 1998).

La difficulté principale réside dans le caractère tacite des connaissances de l'expert. Comme nous l'avons vu précédemment, les connaissances expertes sont fortement procéduralisées (Anderson, 2004). Elles sont ancrées dans un contexte, dans l'action et orientée vers un but. Il est donc difficile pour eux de les verbaliser de façon décontextualisée. De plus, les organisations cherchent parfois à créer des bases de connaissances générales, ce qui va à l'encontre du fonctionnement contextualisé des connaissances expertes. Il faut aussi se rappeler que les connaissances déclaratives, sont "encapsulées" dans les procédures d'action et sont donc parfois sous-jacentes. Les experts s'appuient sur celles-ci pour réaliser leur activité mais ils peuvent aussi oublier de les mentionner quand ils modélisent leurs savoir-faire. En résulte une incompréhension des procédures de la part des apprenants.



Langer et Imber (1979) ont montré que les listes de composantes d'une tâche réalisée par des experts comprennent moins d'éléments que celles produites par des non experts. La représentation d'une tâche serait plus abstraite chez un expert que chez un novice, car cela leur suffit pour réaliser leur activité. Cette abstraction a été confirmée par une étude de Hinds, Patterson et Pfeffer (2001). Cette étude visait à demander à plusieurs participants d'enseigner à des novices comment compléter un circuit électronique. L'étude a montré que plus un participant est expert plus ses explications sont abstraites. Cette abstraction a pour conséquence d'entraver la capacité à partager le savoir-faire.

Les experts ont aussi tendance à sous-estimer le temps de réalisation des tâches (Hinds, 1999). Pour cause, il leur est difficile de se souvenir du temps dont ils avaient besoin pour réaliser la tâche avant qu'il ne la maîtrise. De même, ils ont tendance à sous-estimer la difficulté de la tâche.

Pour finir, Sternberg (1999) stipule que plusieurs raisons liées à l'organisation d'une entreprise peuvent entraver l'explicitation des connaissances tacites :

- les connaissances entrent en conflit avec les codes de déontologie
- la contextualisation des connaissances expertes qui ne correspond pas à une formalisation qui ne convient pas aux attentes de production de connaissances générales
- la confusion entre les connaissances expertes et les connaissances techniques
- la tendance à dénigrer les connaissances acquises sur le terrain

De notre point de vue il peut être pertinent de considérer comme un frein potentiel la pression des tâches prescrites qui empêche les experts de dévier des procédures pré-établies.

Cette partie nous a permis de comprendre pourquoi il est difficile pour les experts de transmettre leurs connaissances. Nous nous intéresserons ci-après aux pistes de solutions permettant l'élicitation de celles-ci.

## 2.2 La capture du savoir-faire

Cette partie a pour but de repérer des techniques permettant de rendre explicites des connaissances automatisées et donc tacites. Rappelons que notre volonté est d'identifier un outil utilisable en toute autonomie par un expert. Il ne doit pas être accompagné d'un ingénieur (ou d'un knowledge manager<sup>1</sup>). Dans notre benchmark, nous n'avons identifié aucun outil permettant la modélisation des connaissances procédurales. Il existe bien des outils à disposition des knowledge manager pour modéliser des procédures, mais ces derniers ne sont pas utilisables par des personnes non initiées. De plus ils n'intègrent pas de fonctionnalité favorisant l'accès aux connaissances procédurales. Nous nous sommes alors orienté vers les méthodes issues de la démarche ergonomique afin d'analyser le savoir-faire. Nous verrons par la suite que nous nous sommes inspirés de ces méthodes pour développer notre outil de modélisation des connaissances.

---

1. Le Knowledge Manager est le professionnel qui met en place les méthodes et les techniques permettant d'identifier, récupérer, organiser, redistribuer les connaissances au sein de l'entreprise. Cela pourrait être traduit par "responsable des connaissances".

### 2.2.1 Les méthodes/mesures issues de l'ergonomie

Le tableau 2.1 vise à dresser un panorama des différentes méthodes pratiquées par les ergonomes dans le cadre des analyses d'activité qu'ils peuvent réaliser auprès d'experts au travail.

TABLEAU 2.1 – Méthodes ergonomiques pour l'analyse de l'activité (liste non exhaustive)

Méthode	Résumé et intérêt
Entretien	Il en existe plusieurs types qui correspondent à plusieurs visées : <u>Exploratoire</u> : ceux-ci surviennent en début de démarche. Ils permettent de recueillir des informations (sur l'utilisateur lui-même, sur le fonctionnement de son entreprise, sur son activité. . . ) sans se restreindre et ainsi ne rien occulter. <u>Semi directif</u> : permet d'investiguer des thèmes sans enfermer l'utilisateur dans une trame pré construite. <u>Directif</u> : liste de questions à suivre de façon rigoureuse. Permet de confirmer ou d'infirmer une information.
Observation	<u>Ouvertes</u> : surviennent en début de démarche, permettent d'identifier les différentes tâches que réalisent l'utilisateur et de resserrer le spectre de l'analyse. <u>Dirigées</u> : observation avec grille qui permet de quantifier certain comportement dans le but d'infirmer ou de confirmer une hypothèse. Exemple : l'utilisateur est souvent interrompu dans son activité.
Mesures diverses	Les mesures permettent de quantifier certaines contraintes auxquelles un individu peut être confronté : temps, bruit, température, humidité. . .
Oculométrie	L'oculométrie vise à comprendre comment les utilisateurs portent leur attention. Cette méthode survient en fin de démarche lorsque l'on veut confirmer une hypothèse. Exemple : quand l'utilisateur résout un problème de panne sur machine, il regarde d'abord une pièce précise pour voir si celle-ci en est la cause.

Trois catégories peuvent être distinguées. Les observations qui permettent d'identifier les gestes, déplacements, et interactions avec l'environnement que l'expert peut réaliser. Les entretiens, compléments idéals des observations, et qui permettent de recueillir des informations sur les raisonnements (pourquoi, dans quel but. . . ) mis en place par les experts lors de la réalisation de leur activité. Ils sont particulièrement importants pour donner du sens et rendre intelligible l'activité des experts, c'est pourquoi ils seront développés dans la partie suivante. Pour finir les mesures sont utilisées pour, d'une part, identifier les contraintes inhérentes à l'activité, et d'autre part, obtenir des informations infaillibles sur la façon dont l'expert dirige son attention. Cela peut être déterminant, notamment dans

une situation de résolution de problème. Les mesures sont généralement utilisées pour confirmer une hypothèse.

## **2.2.2 Les techniques de verbalisation/élicitation**

Trois grandes catégories de techniques de verbalisation sont distinguables : anticipée (en amont de l'activité), simultanée (pendant) et consécutive (après). Chacune possède ses avantages et ses inconvénients. Ces différentes techniques ont été élaborées par différents auteurs qui seront abordés ci-dessous, et ont été rassemblées par Le Bellu (2011).

Les **verbalisations anticipées** pour l'analyse de l'activité sont les données verbales issues des entretiens. Le caractère décontextualisé de cette technique rend difficile l'élicitation de connaissances automatisées et inconscientes. Cependant il est intéressant de noter que celle-ci permet de construire une première représentation des différentes tâches que l'individu doit réaliser au cours de son activité de travail. Dans un outil de capture de l'expertise, un entretien anticipé permet de créer une première structure de connaissances à alimenter par la suite.

Le raisonnement à voix haute (Theureau, 1992) est à la base des techniques de **verbalisation simultanée**. Il faut ici distinguer les méthodes descriptives et introspectives. La verbalisation libre, méthode descriptive, consiste à demander à l'individu d'expliquer les procédures qu'il met en œuvre durant son activité de travail (et cela pendant qu'il l'effectue). Cette consigne de base varie ensuite suivant trois niveaux d'exigences. Le premier niveau est le moins exigeant, l'individu est libre pendant la verbalisation et aucune règle de verbalisation ne lui ait fixé. L'inconvénient est le risque qu'il conditionne son discours en fonction du prescrit (c'est-à-dire en fonction de ce qui lui est demandé de faire en théorie). Le deuxième niveau consiste à demander à l'individu de faire un effort pour expliquer des aspects non visibles de son activité (but, processus de prise de décision...). Cette consigne vise principalement à répondre à la question « comment l'individu réalise son activité ». En troisième niveau il est demandé à l'individu de réaliser une introspection sur sa propre activité pour pouvoir rationaliser les actions qui sont effectuées. Le but est de répondre à la question « pourquoi l'individu agit de telle façon ». Cette technique

présente l'avantage d'investiguer efficacement le savoir-faire des experts au travail, cependant elle interrompt l'individu pendant son activité.

La pensée à voix haute (« Thinking aloud method »), méthode introspective, est proche de la verbalisation libre de niveau 3 (présentée ci-dessus). Cependant ici il est demandé à l'individu de décrire à chaque instant ce qu'il pense lorsqu'il réalise la tâche, le but étant de n'occulter aucune information. Cette consigne est particulièrement pertinente car une information qui peut sembler anodine pour l'individu peut se révéler indispensable pour bien comprendre son activité de travail.

Ericsson et Simon (1984 ; cité par Le Bellu, 2011) ont montré que cette technique permettait de retranscrire efficacement les processus cognitifs par lesquels passaient les experts dans la réalisation de leurs tâches. Cependant, si la performance n'est pas altérée, le temps de réalisation est lui allongé. De plus les techniques de verbalisation pendant l'activité peuvent être gênantes pour l'individu lorsqu'il travaille en collectif (Bisseret, et al., 1999). Les auteurs notent aussi que si l'individu doit réaliser de nombreux déplacements, se situe dans un environnement bruyant (comme dans un contexte industriel) ou bien est soumis à une cadence de production dans son travail alors cette technique peut être difficile à mettre en œuvre.

Les techniques de **verbalisation consécutive** présentent l'avantage de ne pas altérer l'activité de travail. Cependant celles-ci possèdent aussi des inconvénients. L'entretien en auto-confrontation est la technique que nous retiendrons car la plus utilisée. S'il est encore une fois difficile d'associer cette technique à un auteur en particulier, Theureau (2002 ; 2010) a largement permis de comprendre et d'enrichir cette technique. Cette technique est réalisée en trois temps : (1) capture vidéo de l'activité de l'expert, (2) demande de décrire et d'explicitier les différentes tâches qu'il réalise (surtout pas d'analyser) et (3) demander à l'individu d'analyser le pourquoi/comment des tâches. Si les étapes 2 et 3 sont mélangées et pas bien respectées alors le recueil risque d'être incomplet.

### 2.2.3 La combinaison caméra/technique d'élicitation

Cette partie est basée sur les travaux de Le Bellu (2010). Cet auteur a travaillé sur une méthode de capture du savoir-faire incorporé dans les gestes métiers. L'approche de recueil se base sur une vue de l'activité de l'opérateur à la première personne, couplée à

un protocole de verbalisation située et orientée but. Le Bellu (2010) est partie de plusieurs constats qui ont guidé son expérimentation : l'enregistrement vidéo à la première personne permet une meilleure explicitation des intentions motivant les gestes (Lahlou, 2006). Il est aussi à noter qu'explicitier ses buts et leur atteinte au fur et à mesure de l'exécution du geste est plus efficace que demander aux experts d'explicitier à posteriori (Leontiev, 1975; Rabardel, 1995; Nosulenko, 2008; Nosulenko & Rabardel, 2007; Nosulenko et al., 2005).

La méthode de Le Bellu (2010) est la suivante. Pour réussir à capturer de façon complète le savoir-faire des experts au travail, c'est-à-dire en identifiant le geste mais aussi les raisons de ce geste, Le Bellu (2010) se base sur une combinaison entre une capture vidéo à la première personne et une technique d'explicitation en situation. La subcam (caméra embarquée) permet d'avoir une prise de vue plus efficace qu'une caméra filmant de l'extérieur. Elle filme notamment mieux les gestes fins et permet de suivre l'attention des opérateurs. La technique d'explicitation était une consigne donnée à l'expert. Celui-ci devait décrire son activité au fur et à mesure tout en annonçant les buts recherchés. Lors de cette expérience l'auteur a testé trois types de caméras (Tableau 2.2). L'objectif de cette expérience était d'identifier les avantages et les inconvénients de chacune.

TABLEAU 2.2 – Caméras utilisées par Le Bellu (2010)

Caméra	Configuration
N°1	Format lunette Basse résolution
N°2	Fixée sur un casque Basse résolution Angle de 90°
N°3	Fixée bandeau frontal Haute Définition Angle de 70°

Les tests de différentes caméras ont permis de discriminer les configurations les plus pertinentes pour la capture de l'expertise. Le type de fixation le plus efficace a été le casque. En effet les lunettes et le bandeau frontal se sont avérés trop instables, les images étaient donc difficilement utilisables. Concernant la qualité d'image, la basse résolution a été insuffisante pour investiguer l'interaction des experts avec des éléments comme des documents ou des écrans. La haute définition est donc à privilégier dans un contexte d'interaction homme/machine dans lequel la précision est nécessaire, ce qui pourrait être le cas dans un contexte industriel. L'angle de vision à 70° a été problématique car il arrivait que les mains sortent du cadre. L'angle à 90° est donc à privilégier. Selon Le Bellu

(2010), il serait utile d'adapter le zoom en fonction du type de gestes étudiées : (1) Geste fin = zoom, (2) Procédure linéaire = capture classique, (3) Geste ample = recul du zoom. Concernant la consigne de verbalisation, la technique utilisée permet de faire ressortir des éléments du savoir-faire qu'il serait « difficile, voire impossible de repérer après coup ». Les résultats montrent que le fait de mobiliser et structurer oralement sa connaissance du geste avant et pendant l'action, en se basant sur les buts, a pour avantage de faire ressortir des éléments du savoir-faire qu'il serait difficile, voire impossible de repérer après coup, une fois le geste réalisé. Cependant cette technique d'élicitation en situation présente le défaut de ralentir l'activité de l'individu.

### 2.2.4 Point sur la capture du savoir-faire

La capture du savoir-faire est aujourd'hui réalisée principalement via des moyens humains. Nous diviserons les moyens en trois catégories : les observations, les techniques d'élicitation verbale et les mesures réalisées via des outils technologiques. Les observations visent principalement à recueillir les données observables, comme les gestes et les outils utilisés. En y associant des techniques d'élicitation, il est possible d'accéder aux logiques de fonctionnement de l'expert, et ainsi de donner du sens aux actions observées. Les mesures, comme l'oculométrie, permettent d'investiguer des données complémentaires. Nous pensons notamment à la charge cognitive ou aux inspections visuelles de l'environnement. L'enjeu de cette thèse et du projet MIMIKS est, notamment, d'explorer ces différentes possibilités à travers une technologie multimodale qui simule les techniques habituellement mises en place via des moyens humains.

## 2.3 La transmission du savoir-faire

### 2.3.1 L'outil de transmission : adapter un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH)

Tchounikine (2002) définit les EIAH comme des environnements conçus dans le but de favoriser l'apprentissage humain. Cet environnement considère deux types d'agents, humain d'une part (enseignant, élève. . .) et artificiel d'autre part (matériel informatique,

logiciel). L'EIAH doit avoir plusieurs rôles : présenter l'information, traiter les informations entrantes (résultats d'exercices, QCM. . .) et faciliter la circulation des informations entre enseignant et apprenant.

D'après Marty et Mille (2009), les EIAH ont deux principaux avantages. Le premier est de pouvoir adapter des ressources pédagogiques. Les apprenants doivent être confrontés au contenu de formation et à un niveau de difficulté adapté à leurs connaissances. De son côté l'enseignant doit avoir des retours pertinents sur les résultats des apprenants afin de pouvoir adapter sa formation. Deuxièmement il s'agit de confronter les apprenants aux activités les plus pertinentes pour favoriser l'apprentissage et l'acceptabilité de l'IHM. Cette adaptation de l'environnement d'apprentissage peut être soit manuelle, soit automatique. Dans ce cas l'environnement nécessite un système tuteur intelligent (ITS).

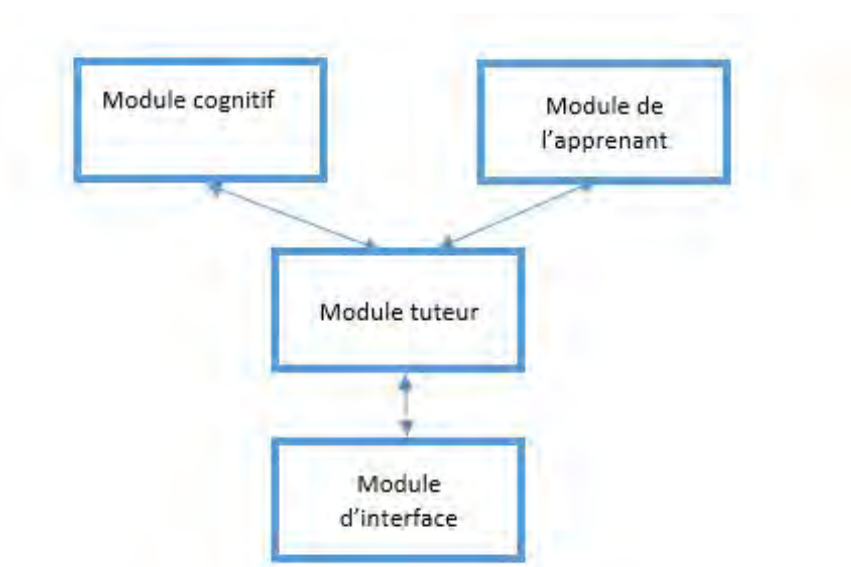


FIGURE 2.1 – Illustration des composants d'un Système Tuteur Intelligent (STI)

Selon Nkambou et al., (2010), il y a quatre composantes principales dans un système tuteur intelligent (cf Figure 2.1). Cette structuration nous permettra par la suite de mieux factoriser les leviers permettant de définir notre outil de transmission. Nous présenterons ici les différents modules avant d'évoquer plusieurs expériences de système tuteur intelligent (STI).

Le **module cognitif** définit le domaine de connaissances et les stratégies didactiques



associées. Le module cognitif se base sur un ensemble de règles et d'hypothèses sur la cognition. L'objectif est de comprendre le raisonnement de l'apprenant pour optimiser l'apprentissage. Plusieurs formes de module cognitif ont été développées. Le tuteur cognitif PAT (Koedinger et al. 1996) qui se base sur le modèle «active control of thought-relational» (ACT-R) (Anderson, 1993), le système STEVE (Elliott et al., 1999) qui se base sur l'architecture cognitive «state operator and result » (SOAR) ou encore Cognitive Constructor (Samsonovich et al., 2008) qui se base sur une architecture cognitive inspirée de la biologie «Biologically Inspired Cognitive Architecture» (BICA). Dans la partie suivante nous évoquerons un exemple module cognitif se basant sur le modèle ACT-R d'Anderson (1993). Cet exemple est particulièrement intéressant car adapté à l'apprentissage procédural. Ce qui est relativement rare sur un marché des EAIH tourné vers l'apprentissage scolaire.

Le **module apprenant** considère les caractéristiques des apprenants. On distingue classiquement les informations spécifiques au domaine des informations dites indépendantes (Brusilovsky et al. 1994). Les premières permettent d'évaluer le niveau de connaissance initial d'un apprenant dans le domaine visé. Il s'agit des acquis. Les informations indépendantes vont recouvrir les caractéristiques telles que l'âge, l'objectif de l'apprenant, ses préférences etc. Ces acquis et ces caractéristiques seront considérés par le modèle tuteur afin de définir les activités pédagogiques.

Le **module tuteur** va mettre en relation le module cognitif et le module de l'apprenant pour définir les activités d'apprentissage à proposer. Il décide ainsi du scénario pédagogique qu'un individu va suivre (Wenger, 1987), c'est-à-dire les connaissances à transmettre et comment les transmettre. Une attention sera portée sur la quantité d'informations à transmettre. C'est aussi cette entité qui va définir quand interpeler l'apprenant pour lui fournir des aides contextuelles. A ce niveau-là le tuteur doit répondre aux questions suivantes :

- *Pourquoi intervenir* : il est possible d'intervenir pour encourager un individu, pour lui signifier une erreur, pour lui apporter une information contextuelle.
- *Quand intervenir* : le moment de l'intervention est à définir. Cela peut être quand

une erreur survient ou après une longue période d'inactivité.

- *Comment intervenir* : plusieurs stratégies pédagogiques ont été développées dans les STI. On peut citer la stratégie du compagnon (Chan, 1995) développée dans le but de créer un compagnon virtuel qui assiste l'apprenant dans les différentes tâches d'apprentissage. Ce compagnon peut jouer le rôle d'un perturbateur (Aïmeur et al., 2001), en contredisant l'apprenant et en remettant en question ses réponses le forçant ainsi à mieux réfléchir. Le compagnon peut aussi prendre le rôle du tuteur en posant des questions à l'apprenant afin de l'aider à mieux organiser ses connaissances lors de la réponse. Dans les deux cas, les notions de coopération et de compétition jouent un rôle dans le renforcement du processus d'apprentissage.

Le **module d'interface** est le moyen par lequel l'individu va entrer en interaction avec les connaissances. Ce moyen comporte à la fois le matériel (ordinateur, clavier, souris, écran...) et les éléments d'interface (document multimédias, texte...).

Mais il ne faut pas limiter le module d'interface à une simple fonction de présentation. Sa vocation est aussi de proposer des moyens pour que des informations puissent être transmises de l'apprenant vers le système. Plusieurs technologies peuvent être citées : la reconnaissance vocale, la reconnaissance faciale, l'oculométrie... Ces technologies ont pour but de réaliser des feedback afin que le système puisse ajuster son modèle de l'apprenant et ainsi proposer des activités adaptées. Nous évoquerons des exemples ci-dessous. Les enjeux principaux dans le choix de l'interface sont l'évaluation de l'utilisabilité perçue et l'utilité perçue. Mais il s'agira aussi de prendre en compte l'utilisabilité « objective », à savoir s'assurer que la charge mentale induite par l'interface ne soit pas trop importante pour assurer un apprentissage performant. L'utilité objective elle renverra aux performances d'apprentissages. Nous évoquerons ci-dessous les méthodes d'évaluation des EIAH.

### **2.3.2 Des exemples d'Environnement Informatique pour L'Apprentissage Humain avec Système Tuteurs Intelligents (EIAH)**

Roy (2016) s'est intéressé à l'optimisation du module tuteur des systèmes tuteurs intelligents. L'objectif visé était que le module tuteur choisisse en autonomie les activités

permettant un apprentissage efficace en étant moins dépendant des informations issues du module de l'apprenant, à savoir les acquis. Le Système Tuteur Intelligent (ITS) a défini la difficulté non pas en fonction des acquis de l'apprenant, mais en fonction de sa réussite aux exercices. Ainsi le module tuteur avait moins besoin d'informations en entrée. En fonction du taux de réussite à un exercice, le module tuteur propose une activité d'un niveau de difficulté plus ou moins élevé, dans le respect de la zone proximale de développement. La zone proximale de développement est l'espace de difficulté dans lequel un apprenant est plus motivé et progresse mieux. Cet espace se situe légèrement au-dessus de ses capacités à l'instant T (Lee, 2005). L'article de Roy (2016) ne mentionne pas certains détails importants. Par exemple nous ne savons pas comment le niveau de difficulté du premier exercice a été défini. Nous ne savons pas non plus précisément comment le niveau de difficulté est évalué. L'auteur ne donne aucun traitement statistique mais simplement les résultats sous forme de graphique. Il reste intéressant de constater que l'EIAH avec un niveau de difficulté adaptatif en fonction des résultats à chaque exercice donnait de meilleures performances qu'un EIAH avec une séquence prédéfinie.

Taoum et al. (2016), se sont aussi intéressés à de nouveaux moyens pour améliorer le module tuteur. Leur étude porte sur l'optimisation des feed-back, en entrée comme en sortie. Les auteurs utilisent un EIAH en réalité virtuelle (VR). Un agent conversationnel animé est implémenté dans l'environnement numérique de l'apprenant et adopte le rôle de tuteur. Au regard des études antérieures, la présence d'un tel tuteur aurait des effets positifs sur l'engagement des étudiants (Rowe & al. 2007) et sur l'efficacité de l'enseignement (Kokane et al. 2014). Les auteurs partent du postulat que les interactions humains-humains sont composées d'énormément de feed-backs qui permettent d'ajuster le discours (Alwood et al. 1993). Gratch et al. (2006) ont montré que les interactions avec des tuteurs virtuels sont aussi d'autant plus efficaces que ceux-ci sont capables de parler et de fournir des feed-backs en écoutant. Par exemple, le tuteur virtuel peut froncer les sourcils pour montrer que l'apprenant prend une mauvaise direction. Cela permet aussi de montrer que le tuteur est vigilant à ce qui se passe et que l'apprenant est bien assisté durant la réalisation de sa tâche. L'innovation principale proposée par les auteurs est d'identifier les feed-backs de l'apprenant pour lui fournir plus d'informations. Ces feed-

backs peuvent être vocaux (l'apprenant sollicite lui-même le tuteur) ou visuels. Dans ce cas un système de reconnaissance faciale identifie les crispations sur le visage pour tenter de détecter l'incompréhension. Cet apport n'a pas encore été testé empiriquement, mais il semblait intéressant de l'évoquer.

L'article de Taoum et al. (2016) est intéressant par ailleurs de par le module cognitif qu'il utilise. Le cas d'étude porte sur l'apprentissage procédural sur système technique, ce qui correspond à notre contexte industriel. Pour gérer ce type d'apprentissage le module s'appuie sur le modèle d'ACT-R d'Anderson (1993). Ce modèle, qui a été enrichi depuis (Anderson 2004) explique le **déroulement de l'acquisition des connaissances procédurales**. Elle passerait par trois stades. Le premier est le **stade cognitif**. Lors de cette étape l'apprenant tente de verbaliser et de rendre déclaratif les procédures à mettre en œuvre pour réaliser une tâche. La difficulté pour l'apprenant est alors de comprendre et de donner un sens aux informations qu'il doit assimiler. Le second est le **stade associatif**. Lors de cette étape l'individu va peu à peu passer d'un mode de fonctionnement déclaratif à un mode plus opératoire où des situations vont susciter des actions. Il commence alors à ne plus penser une tâche comme un ensemble de descriptions mais comme un enchaînement de sous tâches avec une suite logique. Le **stade autonome** est le dernier stade : à force de répétition, l'individu automatise son savoir-faire. C'est-à-dire qu'il n'a plus besoin d'y penser pour le mettre en œuvre. La conduite automobile est un exemple parlant de ce phénomène. Au fur et à mesure des années d'expérience l'individu devient capable de réaliser des actions plus complexes (manœuvres, etc.) sans même y penser, alors que lorsqu'il débutait il décomposait de façon déclarative comment procéder. Ainsi l'expert peut être plus performant tout en sollicitant moins de ressources attentionnelles pour la tâche qu'il réalise. Le module cognitif de Taoum et al. (2016) se base sur ces principes. La première étape d'apprentissage consiste à présenter les différents outils, les différents éléments qui composent la tâche. La deuxième étape est de lui présenter la logique de l'articulation des sous tâches. La dernière étape consiste à mettre en œuvre la tâche à réaliser. Parallèlement à ce scénario pédagogique, le module prévoit de faire répéter l'apprenant sur une même tâche, car il s'agit d'une condition indispensable pour l'acquisition de connaissances procédurales. L'article ne mentionne pas de résultats concernant ce mo-

dule cognitif. Cependant cette structure pourrait représenter une base intéressante de test pour notre EIAH.

### 2.3.3 Environnement Informatique pour L'Apprentissage Humain et Système Tuteur Intelligent : limites intrinsèques

Les EIAH avec STI permettent à des apprenants de se former en toute autonomie. Lane (2006) a comparé les gains d'apprentissage entre (a) un support dit standard de formation (des documents à lire en toute autonomie), (b) un EIAH, (c) un EIAH avec système tuteur intelligent et (d) un tuteur humain. (Cf figure 2.2).

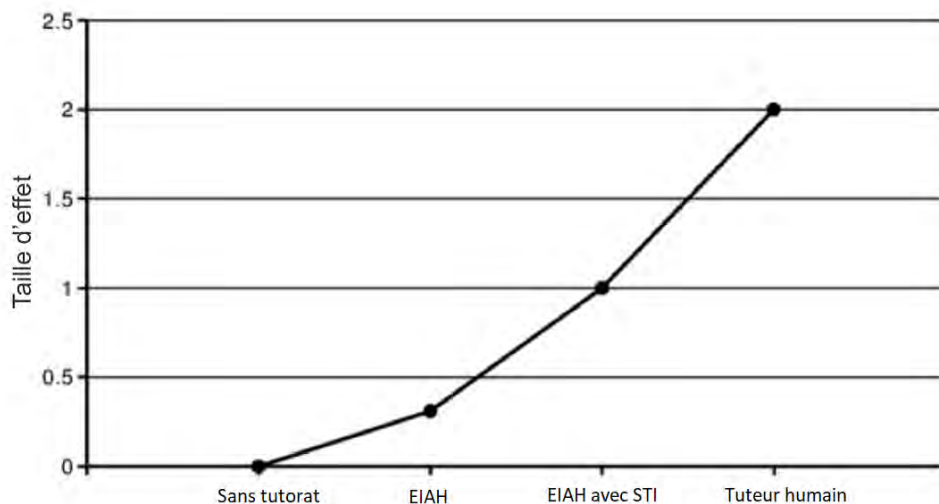


FIGURE 2.2 – Apprentissage en fonction du système

Les résultats montrent que l'apprentissage avec tuteur humain est significativement plus efficace que les autres. L'objectif du projet MIMIKS n'est donc pas de se substituer à la formation traditionnelle avec tutelle humaine, qui reste la plus efficace, mais de fournir des outils complémentaires et numériques permettant aux novices de comprendre comment agir lorsqu'ils sont en toute autonomie. Bien que ne permettant pas d'aboutir au même niveau d'apprentissage qu'un tuteur humain, l'EIAH avec STI semblent être le plus pertinent. Nous avons défini les différents modules constitutifs d'une EIAH. Il nous faut maintenant définir la façon dont on permet l'apprentissage. Pour ce faire, nous nous sommes intéressés aux modèles classiques de l'apprentissage développés en psychologie

cognitive.

### **2.3.4 S'inspirer des méthodes d'apprentissages traditionnelles pour l'amélioration des EIAH**

Bordage (2016) évoque les trois méthodes les plus pertinentes pour apprendre. La première méthode est d'étaler la formation dans le temps. Par exemple, au lieu de réaliser trois jours de formation à la suite, il s'avère plus pertinent de réaliser trois sessions d'une journée entre coupées d'une journée. Selon Rohrer et Pashler (2010) les apprenants auraient une meilleure rétention à long terme lorsque les sessions de formation sont espacées. Raman et al. (2010) évoque une rétention augmentée à 150% trois mois après un cours. La deuxième méthode est d'apprendre de façon mixte. C'est-à-dire de ne pas fonctionner par blocs séquentiels : transmission des informations - exercices. L'objectif serait plutôt d'incorporer des exercices tout au long de l'apprentissage. Hatala et al. (2003) ont montré que des blocs mixtes permettaient une amélioration de l'apprentissage de 53% comparativement à un fonctionnement séquentiel.

La troisième méthode est l'utilisation de l'effet test, communément appelé testing effect (Larsen et al. 2009). Cet effet stipule qu'il est plus efficace de vérifier ses connaissances en se testant que de relire ses notes. En d'autres termes la vérification des connaissances aurait un effet positif sur la rétention des informations apprises. Cette vérification consiste à se mettre en situation de test, en répondant à des questions par exemple. Les auteurs ont comparé deux groupes d'étudiants. Le premier groupe d'étudiants utilisait la méthode dite « classique » de révision, à savoir la relecture de leurs notes. Le deuxième groupe lui avait pour consigne de réviser en testant ses connaissances. Ce dernier a affiché une rétention des informations 50% supérieure au premier groupe. Il semblerait aussi que répondre à des questions ouvertes favorisent davantage l'apprentissage que de s'entraîner en répondant à des questions fermées.

Ces trois méthodes peuvent se révéler intéressantes pour le projet MIMIKS afin de définir le module cognitif de notre EIAH.

Du point de vue du contenu d'apprentissage, Leblanc et al. (2008) nous apporte des

premiers éléments de compréhension. Selon lui il est important de privilégier les éléments les plus récurrents, que les apprenants vont rencontrer le plus souvent dans le contexte de travail. Dans notre contexte il s'agirait des gammes d'opérations préventives que les opérateurs doivent réaliser tous les jours. C'est ensuite qu'il faudrait aborder les éléments problématiques, plus complexes, moins linéaires et moins récurrents. Dans notre contexte cela renvoie aux « fiches de leçons ponctuelles », c'est-à-dire aux diagnostics, qui présentent plusieurs embranchements dans le déroulé de la tâche. Leblanc (2012) rajoute qu'un support de formation doit être documenté de telle manière qu'il multiplie les points de vues et les portes d'entrées sur la tâche en question. L'objectif est de fournir à l'apprenant un maximum d'élément de compréhension pour s'approprier et appréhender la tâche. Par exemple il est pertinent d'ajouter de la documentation sur le fonctionnement de la machine afin que l'apprenant puisse donner sens à ses actions.

## 2.4 A retenir

Ce chapitre avait pour objectif d'investiguer les outils pour la capture et pour la transmission des connaissances.

La **capture du savoir-faire** est aujourd'hui réalisée principalement via des moyens humains. Nous diviserons les moyens en trois catégories : les observations, les techniques d'élicitation verbale et les mesures réalisées via des outils technologiques. Les observations visent principalement à recueillir les données observables, comme les gestes et les outils utilisés. En y associant des techniques d'élicitation, il est possible d'accéder aux logiques de fonctionnement de l'expert, et ainsi de donner du sens aux actions observées. Les mesures, comme l'oculométrie, permettent d'investiguer des données complémentaires. Nous pensons notamment à la charge cognitive ou aux inspections visuelles de l'environnement. L'enjeu de cette thèse et du projet MIMIKS est, notamment, d'explorer ces différentes possibilités à travers une technologie multimodale qui simule les techniques habituellement mises en place via des moyens humains.

Concernant la **transmission du savoir-faire**, nous nous sommes intéressés aux modèles d'Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH). Nous avons compris que celui-ci doit se composer de deux éléments principaux : une interface de présentation de l'information et une interface d'évaluation. Un EIAH est d'autant plus pertinent que son contenu s'adapte au niveau d'expertise de son utilisateur. Pour cela il peut intégrer un système tuteur intelligent (STI). Ce système vise à évaluer les connaissances de l'utilisateur afin de lui présenter un niveau d'information adapté. Ainsi un novice sera guidé en détail dans la réalisation de sa tâche alors qu'un expert sera guidé dans les grandes lignes afin de ne pas être dérangé par des informations qui seraient pour lui superficielles. Nous avons présenté en détail les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH), ainsi que les systèmes tuteurs intelligents (STI). Dans le cadre de cette thèse nous n'avons pas pu réaliser un EIAH complet, comprenant une interface de présentation, une interface d'évaluation ainsi qu'un STI. Nous nous sommes concentrés sur la conception d'une interface permettant à l'utilisateur d'être guidé dans la réalisation de sa tâche. Cependant nous verrons en discussion de cette thèse que nous avons réalisé des maquettes de ce que pourrait être un EIAH avec STI basé sur notre outil. C'est pour cela que nous avons conservé cette revue de littérature, qui présente la base de notre réflexion



mais aussi la continuité de ce que doit être notre outil de transmission des connaissances.

Le chapitre suivant visera à présenter les concepts théoriques et méthodologiques clés qui nous ont permis de définir notre démarche de conception.

---

# Créer une IHM utile, utilisable et acceptable via une démarche de conception centrée utilisateur

---

## Résumé

*Les premiers chapitres nous ont permis d'étudier le savoir-faire des experts ainsi que les moyens permettant sa transmission. Avant d'entamer la phase expérimentale, nous souhaitons faire un point théorique sur la démarche que nous souhaitons utiliser dans le cadre de cette thèse et du projet MIMIKS. C'est ce que nous réaliserons dans ce chapitre.*

## Sommaire

---

<b>3.1</b>	<b>Concevoir une Interface Homme/Machine utile, utilisable et acceptable</b>	<b>58</b>
<b>3.2</b>	<b>La démarche de conception centrée utilisateur</b>	<b>66</b>
3.2.1	Analyse	67
3.2.2	Conception	68
3.2.3	Evaluation	70
<b>3.3</b>	<b>A retenir</b>	<b>76</b>

---

### 3.1 Concevoir une Interface Homme/Machine utile, utilisable et acceptable

Une Interface Homme/Machine (IHM) multimodale, est, comme son nom l'indique, un outil qui soulève des problématiques technologiques et humaines, mais aussi des problématiques propres à l'interaction entre ces deux entités. Les parties précédentes ont permis d'apporter des éléments théoriques sur l'homme et son expertise, puis sur les technologies et les différentes possibilités qui pourront être explorées dans la conception de l'outil. Cette partie vise à comprendre l'intérêt des concepts d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité. Par la suite nous aborderons une démarche permettant d'atteindre ces objectifs.

La qualité d'un outil ne se mesure pas à son avancée technologique, mais à sa capacité à répondre à un voire plusieurs besoins. Les concepts d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité permettent de caractériser et de factoriser ces besoins.

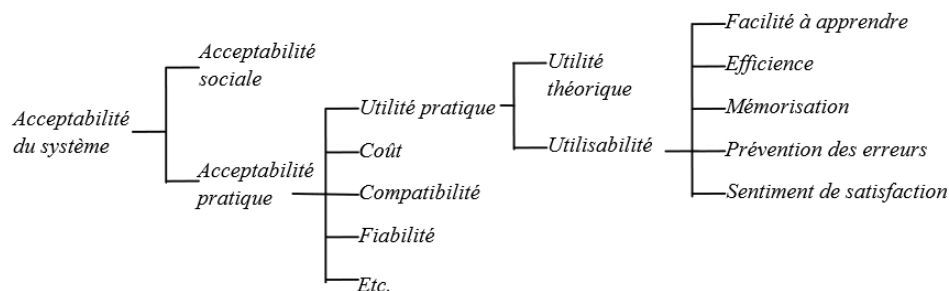


FIGURE 3.1 – Modèle d'acceptabilité de Nielsen (1993)

La finalité est l'acceptabilité de l'outil, celle-ci renvoie à l'intention d'usage d'une nouvelle technologie. Selon Nielsen (1993), l'acceptabilité se divise en deux sous catégories : l'acceptabilité sociale (influence des valeurs individuelles et sociales sur l'intention d'usage) et l'acceptabilité pratique (influence des caractéristiques de l'outil sur l'intention d'usage), qui est influencée par plusieurs facteurs (Cf figure 3.1) :

- La fiabilité : la technologie doit être fiable, et cela d'autant plus dans un contexte industriel où chaque seconde perdue est coûteuse pour l'entreprise.
- Compatibilité : elle doit être compatible avec l'environnement de travail pré existant, avec les outils déjà utilisés, mais aussi avec le mode de fonctionnement de

l'utilisateur.

- Coût : cela peut paraître évident, mais il est pertinent de rappeler que le coût est aussi un facteur d'acceptabilité.
- L'utilité pratique : capacité d'un outil à remplir les objectifs des utilisateurs (Burkhardt & Spérando, 2004). Ce facteur est lui-même influencé par l'utilité théorique et l'utilisabilité, qui seront définis ci-dessous.

L'utilité théorique renvoie à l'adéquation entre le(s) but(s) de l'utilisateur et la finalité de l'outil (Tricot, 2003). Elle se distingue de l'utilité pratique qui évalue concrètement la capacité d'un outil à répondre à un besoin (Burkhardt & Spérando, 2004). L'utilité est directement impactée par l'utilisabilité, car un outil impossible à utiliser est inopérant et donc, inutile. L'utilité théorique et l'utilisabilité sont des facteurs fortement mis en avant, du fait qu'il s'agit des composantes principales du « besoin utilisateur » (1), qu'ils influencent de façon critique l'acceptabilité de l'outil (2), et qu'ils sont facilement évaluables (3).

Selon la norme ISO 9241-11, « l'utilisabilité est le degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié ». Ces trois concepts (efficacité, efficience et satisfaction) sont repris par Nielsen (2012) dans ses 5 composantes de l'utilisabilité :

- La facilité d'apprentissage ou « Learnability » : A quel point est-il facile d'accomplir des tâches basiques lors de la première utilisation de l'outil ?
- L'efficience ou « Efficiency » : Une fois que l'utilisateur s'est habitué à l'outil, à quelle vitesse peut-il effectuer des tâches ?
- La facilité de mémorisation ou « Memorability » : Après ne pas avoir utilisé l'outil pendant une période prolongée, avec quelle facilité l'utilisateur rétablit-il des habiletés d'utilisation ?
- Erreurs ou « errors » : combien d'erreurs l'utilisateur fait-il ? A quel point sont-elles graves ? Comment les utilisateurs rattrapent-ils leurs erreurs ?
- Satisfaction ou « satisfaction » : A quel point est-ce agréable d'utiliser l'outil ?

Là où les modèles d'acceptabilité tentent de comprendre les processus impliqués dans

l'intention d'usage d'une nouvelle technologie, les modèles d'acceptation vont plus loin et tentent d'identifier les facteurs influençant l'utilisation effective de ces technologies. En effet l'acquisition d'un outil ne garantit pas son utilisation. Prendre en compte ces facteurs est donc primordial pour créer un outil apportant une réelle plus-value dans l'activité de travail des utilisateurs. Pour étudier ce concept nous étudierons le modèle TAM (Technology Acceptance Model). Celui-ci se décline en plusieurs versions. Dans un souci de compréhension, nous ne décrirons pas directement la dernière version mais partirons de la première et présenterons les différentes évolutions.

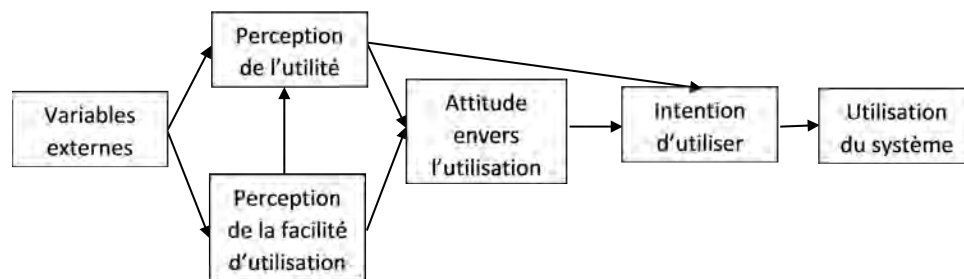


FIGURE 3.2 – Schéma du Modèle d'Acceptation des Technologies (Technology Acceptance Model, TAM), Davis (1989)

Le modèle d'acceptation des technologies (Cf Figure 3.2), où Technology Acceptance Model (TAM; Davis 1989), est un modèle de l'intention d'utilisation d'outils technologiques. Les individus baseraient leur décision d'utiliser ou non un support sur ce qu'ils pensent de l'utilité et de la facilité d'utilisation de la nouvelle technologie. L'utilisabilité et l'utilité sont, selon Davis (1989), évaluées selon plusieurs critères. La **facilité d'utilisation** serait évaluée en fonction de l'interface, de la simplicité et de la maniabilité. L'**utilité** serait perçue en fonction du gain de performance, de temps, de productivité et d'efficacité. Cependant ce modèle a été critiqué : il lui est reproché de ne se baser que sur les aspects objectifs de la nouvelle technologie, c'est à dire ses performances, la justification de sa présence comme une réponse à un problème, à un manque. Or des exemples de produits technologiques parfaitement efficaces et faciles d'accès n'ayant été que très peu utilisés existent, et au contraire des produits ne répondant à aucun besoin réel rencontrent beaucoup de succès. Ces exemples montrent bien que certains facteurs ne sont pas assez développés par le modèle de Davis, notamment la dimension relevant

de l'évaluation subjective du système. Celui-ci sera plus développé par Ajzen (1991).

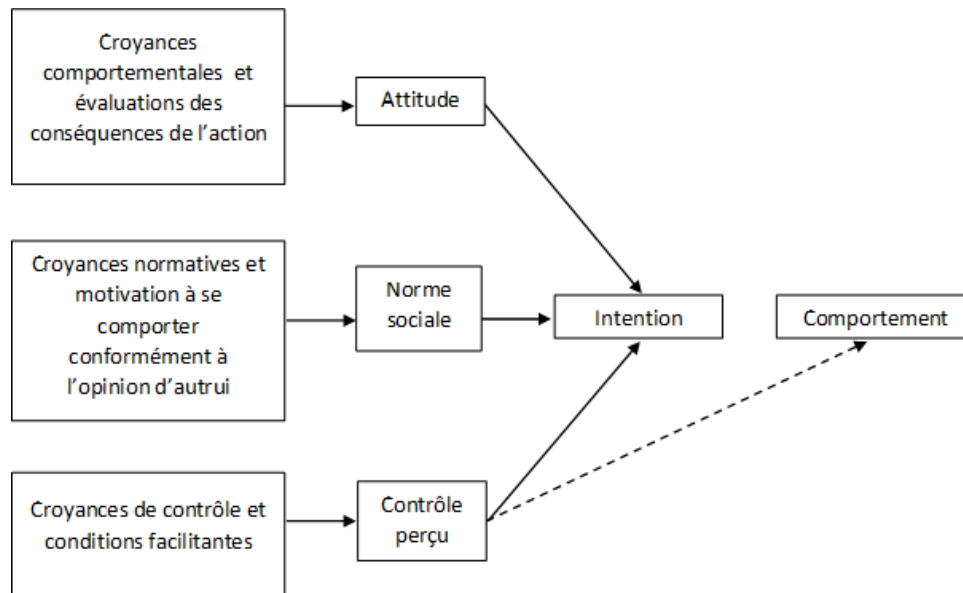


FIGURE 3.3 – Schéma de la théorie de l'action planifiée, Ajzen (1991)

Pour Ajzen, un comportement qui nécessite une planification (comme l'usage effectif d'une technologie) peut être prédit en s'intéressant à l'intention de l'individu, intention qui selon lui peut se déterminer selon trois critères (Cf figure 3.3) :

- L'attitude positive ou négative vis à vis du comportement.
- La norme sociale perçue.
- La perception du contrôle sur le comportement.

L'attitude renvoie à l'évaluation que la personne a du comportement en question, celle-ci peut être positive ou négative, cette variable est très subjective. La norme sociale perçue correspond à la pression sociale, ce concept semble proche de l'effet de désirabilité sociale. La perception du contrôle sur le comportement renvoie à la confiance que l'individu a en sa capacité d'effectuer correctement le comportement. Nous sommes ici proches du sentiment d'auto-efficacité de Bandura (1982).

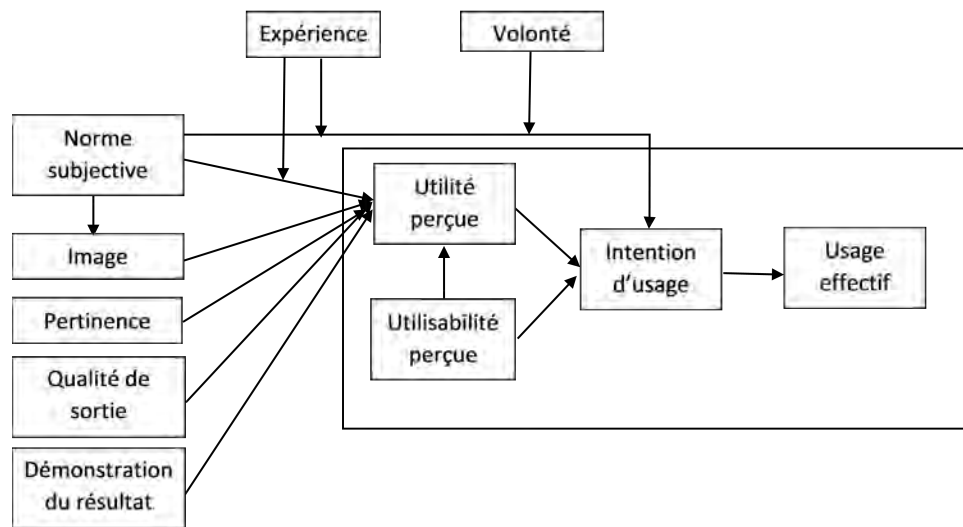


FIGURE 3.4 – Modèle d'Acceptation des Technologies 2 (Davis & Venkatesh, 2000)

En s'appuyant sur la théorie de l'action planifiée de Ajzen (1991), Davis et Venkatesh (2000) ont enrichi leur modèle (CF figure 3.4). Pour cela ils ont développé les **facteurs de la perception d'utilité** de la nouvelle technologie :

- La norme subjective : correspond à la norme sociale de Ajzen (1991). Il s'agit pour rappel de la pression sociale exercée par les pairs de la personne concernant l'adoption ou pas d'un comportement.
- L'image : renvoie à l'amélioration potentielle du statut que pourrait entraîner l'utilisation de la technologie dans un système social.
- La pertinence de l'emploi : correspond à la pertinence d'utiliser ou non la technologie pour réaliser une tâche.
- La qualité de sortie : renvoie à l'amélioration de ses activités espérée grâce à la nouvelle technologie.
- La démonstration du résultat : correspond à l'attribution du gain de performance effectif à la nouvelle technologie.

Les auteurs rajoutent deux facteurs à ces facteurs influençant l'utilité perçue. L'expérience (interactions passées que l'utilisateur a pu avoir avec la technologie) qui impactera à la fois l'utilité perçue et l'intention d'usage, et la volonté (voluntariness) qui influencera uniquement l'intention d'usage. Bien que le modèle soit plus complet, la variable « faci-

lité d'utilisation » est encore peu développée, mais le sera par le modèle de Compeau et Higgins (1995). Ce modèle se base sur la théorie sociale cognitive de Bandura (1982). Le concept central est le « sentiment d'efficacité personnelle » à utiliser un ordinateur, ce qui renvoie à la perception que l'individu a de son efficacité (à lui et non de l'outil) lorsqu'il utilise un ordinateur. Ce sentiment d'efficacité personnelle permettrait de prédire non seulement l'usage effectif de l'individu mais aussi son niveau d'anxiété à l'idée d'utiliser le support technologique. En effet un sentiment d'efficacité personnelle faible implique une anxiété importante pour l'utilisateur.



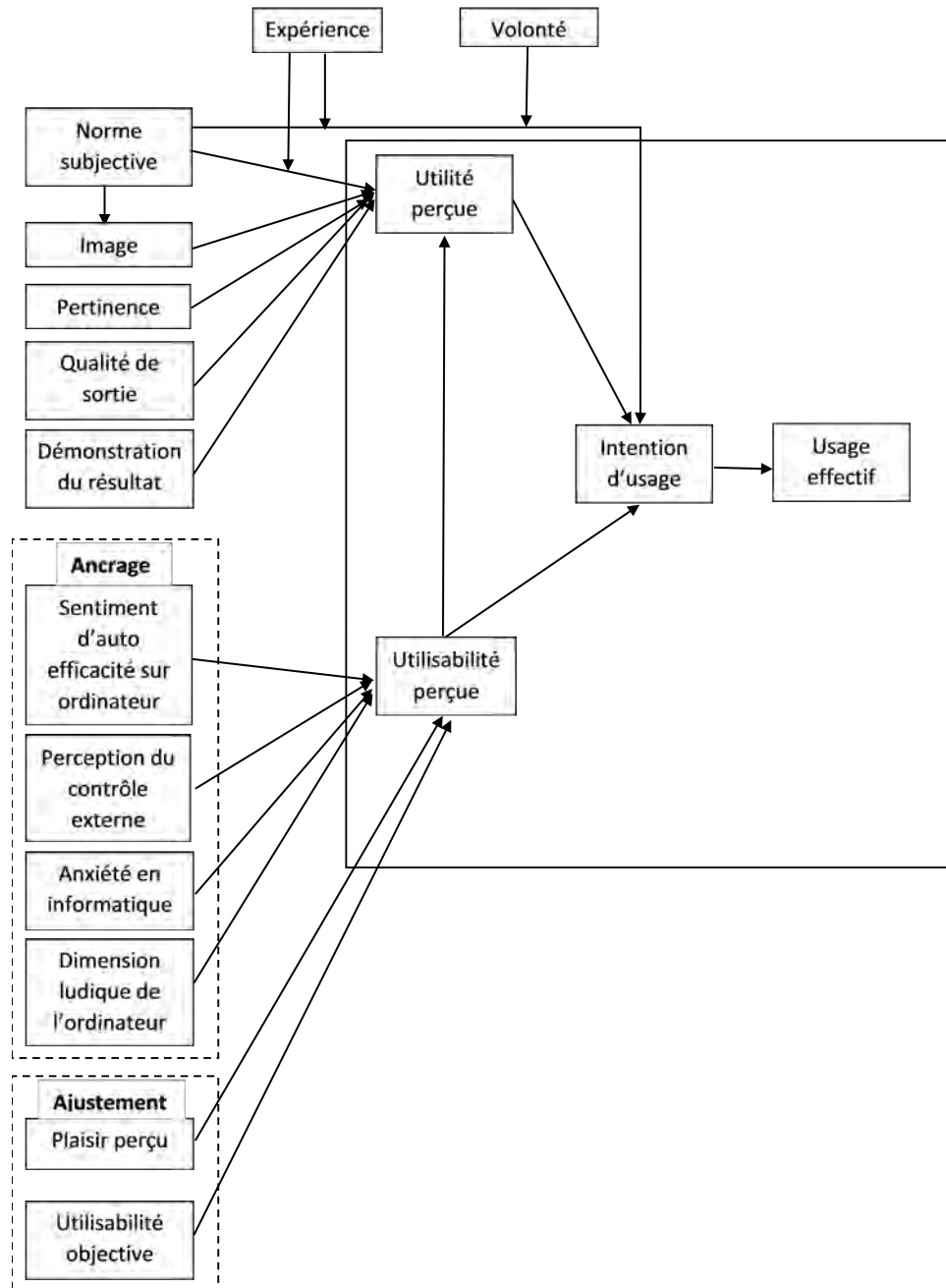


FIGURE 3.5 – Modèle d'Acceptation des Technologies (Venkatesh & Bala, 2008)

Dans cette version, les auteurs ont ajouté **deux groupes de facteurs** (Cf figure 3.5) : les **ancres** qui renvoient aux croyances initiales de l'individu, et les **ajustement** qui interviennent après avoir expérimenté l'utilisation de la technologie. On est ici très proche de l'heuristique d'ancrage-ajustement de Kahneman et Tversky (1974).

Les facteurs du groupe Ancre sont les suivants :

- Le sentiment d'auto-efficacité avec un système informatique : comme il est dit plus haut, il s'agit de la croyance d'un individu en ses capacités en informatique

(Compeau & Higgins, 1995).

- La perception du contrôle externe : croyance en l'efficacité d'un soutien technique (aide externe).
- L'anxiété en informatique : appréhension de l'individu à utiliser un ordinateur.
- Le côté ludique : degré d'intuitivité et d'agréabilité de l'outil.

Les facteurs du groupe Ajustment sont les suivants :

- Le plaisir perçu : plaisir ressenti par l'individu lorsqu'il a expérimenté la nouvelle technologie.
- L'utilisabilité objective : comparaison des efforts nécessaires pour l'utilisation entre une ancienne et une nouvelle technologie.

Prendre en compte ces notions dans la conception du projet MIMIKS, c'est maximiser les chances de produire un outil pertinent pour les utilisateurs, et qui leur apportera véritable plus-value dans leur activité de travail. Pour atteindre cet objectif, l'équipe suivra une démarche de conception centrée utilisateur.

## 3.2 La démarche de conception centrée utilisateur

La méthodologie mise en place par l'équipe du projet MIMIKS est une démarche de conception centrée utilisateur (norme ISO 13407). Cette dernière s'appuie sur plusieurs principes qui permettront de répondre à certaines exigences du projet :

- L'intégration des utilisateurs en amont et tout au long du processus de conception : c'est l'élément central de la démarche, intégrer l'utilisateur dès le début du projet permet de recueillir des éléments objectifs sur ces besoins mais aussi subjectifs sur son expérience d'utilisation
- Une démarche itérative : une démarche itérative permet d'être réactif et de contrôler tout au long du processus de conception que l'outil est conforme aux besoins des utilisateurs.
- Une équipe pluridisciplinaire : la prise en compte de l'utilisateur nécessite plusieurs points de vue (technologique, ergonomique, psychologique...).

Cette démarche de conception permet, à travers plusieurs méthodes, de garantir la prise en compte des besoins utilisateurs dans la spécification d'une IHM. Ces méthodes s'inscrivent dans 3 étapes qui se succèdent de façon itérative (Cf Figure 3.6) :

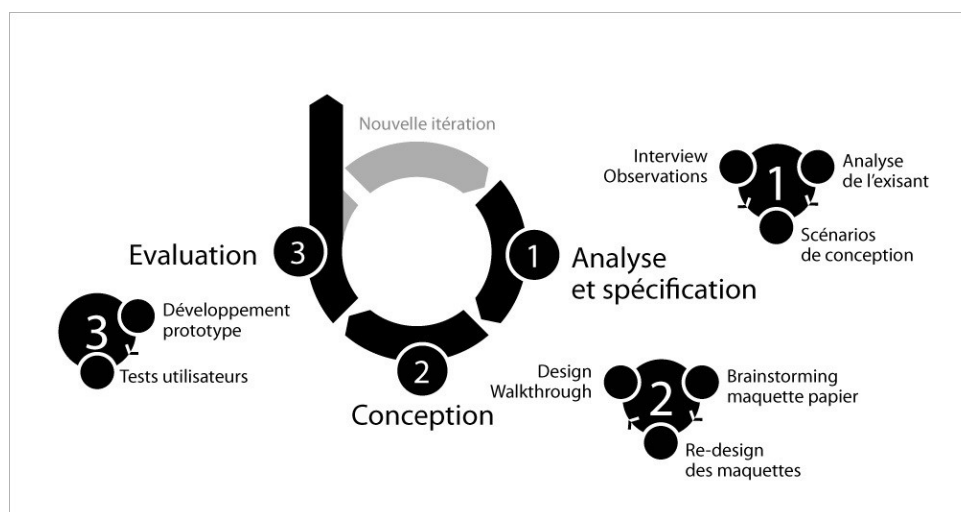


FIGURE 3.6 – Le fonctionnement d'une démarche itérative de conception centrée utilisateur

### 3.2.1 Analyse

Cette étape vise à recueillir des informations sur les utilisateurs eux-mêmes, mais aussi sur leur activité de travail, leur environnement et sur les contraintes qui sont associés. Elle permet de prendre en compte la réalité du terrain pour garantir un outil qui soit adapté à ces dites contraintes. En ergonomie, plusieurs méthodes sont utilisées pour analyser l'activité des utilisateurs. Elles sont répertoriées dans le tableau 3.1.

TABLEAU 3.1 – Outils ergonomiques pour l'analyse de l'activité

Outil	Résumé
Entretien	Il en existe plusieurs types qui correspondent à plusieurs visées : Exploratoire : ceux-ci surviennent en début de démarche. Ils permettent de recueillir des informations (sur l'utilisateur lui-même, sur le fonctionnement de son entreprise, sur son activité...) sans se restreindre et ainsi ne rien occulter. Semi directif : permet d'investiguer des thèmes sans enfermer l'utilisateur dans une trame pré construite. Directif : liste de questions à suivre de façon rigoureuse. Permet de confirmer ou d'infirmer une information.
Observation	Ouvertes : surviennent en début de démarche, permettent d'identifier les différentes tâches que réalisent l'utilisateur et de resserrer le spectre de l'analyse. Dirigées : observation avec grille qui permet de quantifier certain comportement dans le but d'infirmer ou de confirmer une hypothèse. Exemple : l'utilisateur est souvent interrompu dans son activité.
Mesures diverses	Les mesures permettent de quantifier certaines contraintes auxquelles un individu peut être confronté (temps, bruit, température, humidité...).
Analyse des traces	Les traces présentes dans les documents d'une entreprise peuvent révéler des contraintes inhérentes à l'activité d'un utilisateur. Plusieurs documents peuvent être étudiés (Document unique (accidents...),absentéisme...).
Analyse des flux	Les flux servent l'activité mais peuvent aussi la contraindre, il faut donc les identifier lorsque c'est nécessaire. Il peut y avoir plusieurs types de flux (humain, de produits, d'informations...).
Oculométrie	L'oculométrie vise à comprendre comment les utilisateurs portent leur attention. Cette méthode survient en fin de démarche lorsque l'on veut confirmer une hypothèse. Exemple : quand l'utilisateur utilise l'outil, il regarde de prime abord la partie haute de l'interface.
Questionnaire	Des questionnaires ont été validés empiriquement et permettent d'obtenir des données quantitatives sur des facteurs que l'on souhaiterait investiguer.

### 3.2.2 Conception

Pour rappel, l'étape précédente avait pour but de recueillir les contraintes et les besoins des utilisateurs dans leur environnement de travail. Ces informations sont alors mobilisées lors de la conception. Il s'agit alors de produire une maquette, un prototype ou une version finalisée de l'outil (selon le stade de développement) qui prenne en compte ces contraintes. Par exemple s'il a été constaté que l'utilisateur travaillait dans un environnement bruyant, alors des modalités visuelles seront favorisées au détriment des modalités sonores. Il est important de rappeler que cette étape n'a pas systématiquement pour but de créer un produit fini. Dans le cadre d'une démarche itérative il s'agit de concrétiser des choix de conception. Cela permet par la suite d'évaluer ces choix et ainsi de pouvoir ajuster le développement de l'outil avant qu'il ne soit finalisé.

Dans le cadre du projet MIMIKS, et plus particulièrement la deuxième partie concernant la conception d'un outil pour la transmission des connaissances procédurales, nous avons porté une attention particulière à la charge cognitive (Sweller, 2003). Selon la théorie de la charge cognitive (Sweller, 2003), l'apprentissage repose sur la mémoire à long terme et la mémoire de travail. L'auteur distingue trois types de charges cognitives :

- La charge intrinsèque : correspond aux traitements de tous les éléments à traiter simultanément, leur mise en relation ainsi que la quantité de connaissances de l'individu.
- La charge essentielle : il s'agit là des traitements relatifs à l'apprentissage, comme la construction et l'automatisation de schémas de connaissances.
- La charge extrinsèque : correspond aux charges cognitives qui ne sont pas directement liées à l'apprentissage mais au support de ce dernier. Comme par exemple des problèmes au niveau de la mise en forme du document. Il s'agit en fait des ressources nécessaires pour utiliser le support. Cette charge est incompressible, il est donc important que le support soit peu exigeant pour ne pas entraver les autres charges.

La mémoire de travail étant limitée, il est indispensable de surveiller ces différentes charges cognitives afin qu'elles ne soient pas trop importantes. La charge intrinsèque correspond à la quantité d'informations présentées. Pour la contenir une attention a été portée pour

ne pas surcharger l'interface d'informations. La charge extrinsèque est relative à l'IHM, nous nous sommes donc assurée que celle-ci ne soit pas trop contraignante et compliquée à utiliser. Pour cela nous nous sommes basées sur les principes de Bastien et Scapin (2008) (Cf. Annexe 9).

Mayer (2001), bien qu'antérieur à Sweller (2003), propose un modèle assez proche qui nous donne des informations sur la conception d'un environnement multimédia.

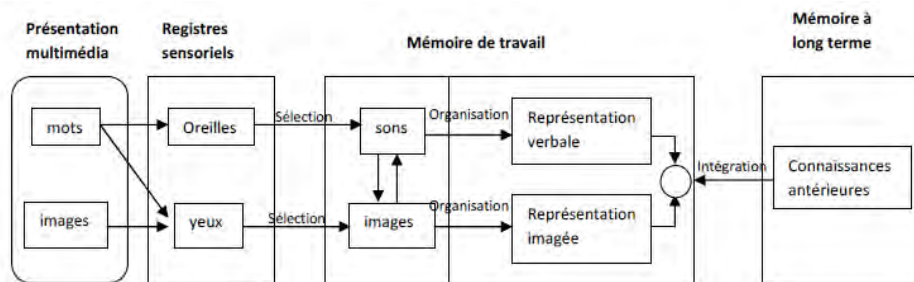


FIGURE 3.7 – Le modèle du fonctionnement cognitif humain adapté à l'apprentissage multimédia (Mayer, 2001)

On y retrouve aussi le problème de la capacité limitée de la mémoire de travail ainsi qu'un système de traitement divisé. Cet auteur nous dit que nous ne traitons pas de manière passive les informations reçues, en effet il s'agit d'une démarche active. Ainsi les informations imagées ne sont pas représentées que de cette manière en mémoire de travail, elles sont aussi représentées verbalement. L'individu a besoin de donner un sens aux informations reçues et il les traite donc selon ses préférences méta-cognitives mais aussi en fonction de ses connaissances ultérieures. Il va donc traiter une nouvelle information en la catégorisant parmi un ensemble de connaissances qui lui semble approprié. Le développement des modèles mentaux imagés et verbaux se fait donc en trois étapes : L'individu va sélectionner les éléments qui lui semblent pertinents, les organiser et intégrer l'information avec les connaissances antérieures. Dans ce modèle le traitement du document implique, comme dans le modèle de Sweller (2003), trois types de charges cognitives :

- La charge impliquée par l'apprentissage. Celle-ci fait penser aux charges intrinsèque et essentielle du modèle de Sweller (2003).
- La charge due aux processus incidents (ceux dus à la forme du document). Ici on est proche de la charge extrinsèque.

- La charge impliquée par le maintien d'une représentation en mémoire de travail. Ce modèle a permis de mettre en évidence plusieurs effets :
- L'effet de modalité : lorsqu'une information est présentée avec plusieurs modalités sensorielles (auditive et visuelle) la compréhension est meilleure.
- Effet de redondance : l'effet de modalité n'apparaît que si les informations sont complémentaires, le cas échéant une seule modalité sensorielle est suffisante et en présenter plusieurs entraîne une surcharge cognitive nuisant à la compréhension.
- L'effet multimédia : nous apprenons mieux avec un document texte et image qu'avec un document uniquement textuel.
- Le principe de cohérence : le texte accompagnant une image ne doit pas apporter plus d'informations que celle-ci mais aider à l'individu à cibler les éléments importants.
- L'effet d'interactivité des éléments : les effets de redondance, de partage de l'attention et de modalité n'apparaissent que si le nombre d'informations à traiter est très important
- La réduction de l'effet de partage de l'attention : quand une modalité sensorielle est intégrée à une autre, le traitement de l'information est facilité car le partage de l'attention est réduit. On pense par exemple à un schéma en biologie ou les informations écrites sont intégrées.
- L'interaction entre le format multimédia et l'expertise du lecteur : l'effet de réduction de l'effet de partage de l'attention ne se retrouvera que chez les sujets novices, les experts eux obtiennent de meilleures performances lorsque le format n'est pas intégré.

Ces effets ont été pris en compte pour concevoir notre IHM, mais cela ne permet pas de se dispenser de l'étape d'évaluation.

### 3.2.3 Evaluation

Cette étape vise à mettre les choix de conception à l'épreuve de la réalité. Pour évaluer l'utilisabilité de l'outil, plusieurs méthodes peuvent être sollicitées. Tricot et al. (2003), ont rassemblé plusieurs mesures et critères pour évaluer les environnements informatiques

pour l'apprentissage humain (cf tableau 3.8).

FIGURE 3.8 – Synthèse des mesures et critères pour l'évaluation d'un EIAH

Type d'évaluation/dimension	Empirique	Par inspection
Utilité	<p>Adéquation entre objectif défini et apprentissage effectif</p> <p>Adéquation entre dispositif et format de la connaissance et acquérir</p> <p>Différence entre le niveau de connaissances initial et terminal</p> <p>Mesures par des taches de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconnaissance</li> <li>- Rappel</li> <li>- Résolution de problème</li> <li>- Détection des erreurs</li> <li>- Production</li> </ul>	<p>Précision et présentation des objectifs</p> <p>Précision du scénario didactique</p> <p>Adéquation scénario/objectif/contenu</p> <p>Mise en œuvre des processus cognitifs et méta cognitifs</p> <p>Régulation</p> <p>Evaluation</p>
Utilisabilité	<p>Possibilité d'apprendre à utiliser le système</p> <p>Gestion et prévention des erreurs</p> <p>Mémorisation du fonctionnement</p> <p>Efficience</p> <p>Sentiment de satisfaction</p> <p>Evaluation par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Observation</li> <li>- Entretiens</li> <li>- Analyse des parcours</li> </ul>	<p>Guidage et incitation</p> <p>Groupement/distinction des items par localisation ou format</p> <p>Feed-back immédiat et nature du feed-back</p> <p>Charge de travail</p> <p>Contrôle explicite</p> <p>Adaptabilité</p> <p>Gestion des erreurs</p> <p>Qualité des messages</p> <p>Homogénéités et cohérence</p> <p>Signifiante des codes et dénominations</p>
Acceptabilité	<p>Motivation</p> <p>Affects</p> <p>Culture</p> <p>Valeurs</p> <p>Evaluation par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Observation</li> <li>- Entretiens</li> <li>- Questionnaires</li> </ul>	<p>Acceptabilité en termes d'adéquation aux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besoin ou objectifs de l'institution</li> <li>- Attentes des apprenants</li> <li>- Caractéristiques des apprenants</li> </ul> <p>Acceptabilité en termes de compatibilité avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'organisation du temps</li> <li>- L'organisation des lieux</li> </ul> <p>Présence du matériel nécessaire</p> <p>Planification et suivis lisibles et cohérents</p> <p>Visibilité des résultats</p>

Nous nous appuyerons sur ces différentes mesures durant la conception des outils. L'utilité correspond à la capacité de l'outil d'atteindre son objectif, en l'occurrence améliorer l'apprentissage. L'utilisabilité correspond à la facilité d'utilisation de l'outil. L'acceptabilité à la perception de l'outil par l'utilisateur, sa propension à l'utiliser et l'adéquation entre l'outil et son organisation de travail.



Plus récemment, Jelil (2014) a proposé des critères d'évaluation pour les jeux d'apprentissages.

FIGURE 3.9 – Evaluation de l'utilisabilité des jeux d'apprentissages (Jelil, 2014)

Critères d'évaluation	Evaluation analytique	Evaluation empirique
Mode de représentation	Leur adéquation aux préférences et niveaux de maîtrise de l'apprenant/joueur	Appréciations et jugements de l'apprenant/joueur
Interaction	Facilité et qualité de l'interaction	Appréciations et jugements de l'apprenant/joueur
Divertissement	Mise en œuvre de mécanismes ludiques attrayants	Appréciations et jugements de l'apprenant joueur
Prologue	Son adéquation aux besoins de l'apprenant/joueur	Son impact sur la facilité d'utilisation.

FIGURE 3.10 – Evaluation de l'utilité des jeux d'apprentissage (Jelil, 2014)

Critère d'évaluation	Evaluation analytique	Evaluation empirique
Objectifs/règles	Définition et précision d'apprentissage Adéquation des règles du jeu aux objectifs d'apprentissage	Adéquation de l'apprentissage : (diagnostic des compétences acquises et non acquises, tests de la compréhension, la mémorisation, et la maîtrise des apprentissages)
Prise de décision et développement de stratégies	Mise en œuvre de mécanismes pour la prise de décision et le développement de stratégies	Impact des mécanismes de prise de décision et de développement de stratégies sur l'apprentissage
Modes de représentation	Leur adéquation aux objectifs d'apprentissage	Leur impact sur l'apprentissage
Interaction	Leur adéquation aux objectifs d'apprentissage	Leur impact sur l'apprentissage
Feedback	Prévoir un feedback constant, rapide et instructif	Son impact sur le développement de stratégies
Difficulté adaptée	Mise en œuvre de niveaux de difficulté progressifs et adaptés	Impact de l'adaptation des niveaux de difficulté sur l'apprentissage
Echecs et erreurs	Frivolité des échecs et des erreurs	Impact de cette frivolité sur la progression de l'apprenant/joueur
Auto-efficacité	Prévoir des mécanismes offrant un sentiment d'auto efficacité et de contrôle à l'apprenant/joueur	Son impact sur l'apprentissage
Immersion	Prévoir un niveau d'immersion adéquat	Son impact sur la progression et l'apprentissage de l'apprenant/joueur

FIGURE 3.11 – Evaluation de l’acceptabilité des jeux d’apprentissage (Jelil, 2014)

Critère d’évaluation	Evaluation analytique	Evaluation empirique
Contexte de formation	Disponibilité du matériel nécessaire Adéquation des activités aux supports techniques utilisés	Adéquation des activités du jeu d’apprentissage aux objectifs des enseignants/formateurs et de l’institut ainsi qu’aux attentes des apprenants/joueurs
Profil d’apprenant/joueur	Prise en compte du profil des compétences, préférences et expérience d’utilisation de jeux d’apprentissage ou de jeux vidéo de loisir	Adéquation des activités du jeu d’apprentissage aux profils des apprenants/joueurs
Intérêt		Observation des comportements et diagnostic des usages Appréciations subjectives des apprenants/joueurs
Motivation		Observation des comportements et diagnostic des usages Appréciations subjectives des apprenants/joueurs

Djelil (2014), s’est intéressé à l’évaluation des EIAH configurées comme des jeux d’apprentissages (CF tableau 3.9, 3.10, 3.11). Ces critères d’évaluation s’appuient en partie sur ceux de Tricot et al. (2003). Ils sont particulièrement intéressant car donne au-delà de l’aspect évaluatif, ils donnent des recommandations de conception pour les jeux d’apprentissage.

Comme nous l’avons vu précédemment, la charge cognitive est stratégique dans la conception d’un environnement informatique pour l’apprentissage humain. D’après Van de Leemput (2013), on distingue trois types de mesures de cette charge.

Premièrement les mesures physiologiques. Comme la variabilité du rythme cardiaque (Backs, 1995) ou la modification de l’activité cérébrale (Whelan, 2007). Nous nous intéresserons particulièrement à l’utilisation de l’oculométrie.

FIGURE 3.12 – Synthèse des indicateurs oculométriques selon le niveau de charge mentale

Indicateurs	Faible charge		Forte charge	
	Durée	Nbre	Durée	Nbre
Fixations	Courte	Elevé	Longue	Faible
Saccades	Indéterminée	Elevé	Indéterminée	Faible
Clignements	Longue	Elevé	Courte	Faible
Balayage	Large		Focalisé	
Diamètre pupillaire	Faible		Fort	

L'évaluation de la charge mentale peut être réalisée à plusieurs niveaux (Cf figure 8.14). Tout d'abord les fixations. En présence d'une charge importante, la durée des fixations augmente alors que leur nombre diminue (Stein, 1992). Selon Ahlstrom et Friedman-Berg (2006), plus les saccades sont amples moins la charge est importante. Ces auteurs, mais aussi Veltman et Gaillard (1998) avancent que la fréquence et la durée des clignements diminuent lorsque la charge est moins importante. Cabon et al. (2000) nous apprennent que plus la charge est importante, plus les balayages diminuent, jusqu'à obtenir parfois un effet de tunnelisation attentionnelle. C'est-à-dire que le participant est tellement mobilisé pour sa tâche principale qu'il néglige les éléments périphériques. Pour finir la dilatation des pupilles augmenterait en même temps que la charge cognitive (Chen & Epps, 2012).

Deuxièmement il est possible d'estimer cette charge grâce à des mesures de performances. Pour cela, on peut par exemple placer le participant en situation de double tâches. La performance à la deuxième tâche (répondre à un stimulus auditif par exemple) permet d'estimer la part des ressources cognitives dévolue à la tâche principale (Van De Leemput, 2013).

La troisième et dernière catégorie est l'auto-évaluation à posteriori. Van de Leemput distingue les échelles unidimensionnelles comme la Subjective Cognitive Load Measurement (Paas & Van Merriënbor, 2006) des échelles multidimensionnelles telles que la NasaTask Load indeX (Hart & Staveland, 1998). Des auteurs se sont inspirés de cette échelle pour l'adapter à la mesure de la charge cognitive dans un contexte d'utilisation d'EIAH. Scheiter et al. (2006) ont donc structuré cette échelle autour de trois dimensions :

la demande de la tâche qui évalue la charge intrinsèque, l'effort qui évalue la charge essentielle et de la demande liée à la navigation qui évalue la charge extrinsèque.

### 3.3 A retenir

Ce chapitre nous a permis de faire le point sur les concepts clés d'utilisabilité, d'utilité et d'acceptabilité. L'utilisabilité renvoie à la facilité d'utilisation d'un outil, l'utilité à sa pertinence pour atteindre les objectifs de l'utilisateur. L'acceptabilité renvoie à l'intention d'usage d'un outil. Ces concepts sont en étroite interaction. Par exemple, un outil ne sera pas utile s'il est trop difficile à utiliser. Pour atteindre ces objectifs d'acceptabilité, d'utilité et d'utilisabilité, nous nous sommes intéressés à la démarche de conception centrée utilisateur.

Comme son nom l'indique, cette démarche permet d'intégrer l'utilisateur tout au long de la conception d'un outil. Les besoins de l'utilisateur, ses contraintes et ses capacités sont ainsi pris en compte afin de garantir son adéquation avec l'outil. La démarche s'articule autour de trois axes principaux qui vont s'articuler de façon itérative.

Le premier axe est l'analyse de l'activité. En employant plusieurs méthodes comme des observations et des entretiens, l'analyse permet principalement d'identifier les besoins et les contraintes des utilisateurs. Ces besoins et ses contraintes peuvent être physiques, cognitifs, organisationnels, techniques...

Le deuxième axe est la conception. L'intégration de l'utilisateur dans cette phase passe par deux aspects principaux. Le premier aspect est son intégration dans les choix de conception. Pour cela l'utilisateur est impliqué dans la construction du cahier des charges, dans le maquetage ou dans les réunions de brainstorming. Le deuxième aspect est la prise en compte des "besoins cognitifs" dans les choix de conception. Une attention particulière est portée sur la charge cognitive impliquée par l'outil. Autrement dit l'outil ne doit pas être trop coûteux à utiliser. Pour atteindre ces objectifs des critères tels que ceux de Bastien et Scapin (2004) ou Mayer (2001) sont appliqués.

Le troisième axe est l'évaluation. Il s'agit là d'évaluer l'outil afin d'en identifier les limites et les avantages. Cette évaluation peut être réalisé via des questionnaires, des entretiens, mais aussi en mesurant la charge cognitive. Il aussi important d'évaluer les tâches réalisées avec l'outil afin de déterminer si l'outil permet effectivement d'apporter une plus-value par rapport à l'existant. Suite à une phase d'évaluation, il peut être décidé de recommencer un cycle d'analyse/conception/évaluation jusqu'à l'obtention d'un résultat satisfaisant.

---

# Phase expérimentale : plan global

---

**Résumé**

*Ce bref chapitre vise à donner une vision globale de la démarche adoptée tout au long de cette thèse et du projet MIMIKS. Nous ne rentrerons pas dans les détails de la méthodologie qui seront abordés ultérieurement dans les chapitres concernés.*

**Sommaire**

---

<b>4.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>78</b>
<b>4.2</b>	<b>Analyse</b>	<b>78</b>
<b>4.3</b>	<b>Conception</b>	<b>79</b>
<b>4.4</b>	<b>Evaluation</b>	<b>79</b>
<b>4.5</b>	<b>A retenir</b>	<b>80</b>

---

## 4.1 Introduction

Ce chapitre vise à donner une vision globale de la démarche adoptée tout au long de cette thèse et du projet MIMIKS. Nous ne rentrerons pas dans les détails de la méthodologie qui seront abordés ultérieurement dans les chapitres concernés. En adéquation avec notre revue de littérature sur la démarche de conception centrée utilisateur, nos actions ont articulé trois phases : analyse, conception et évaluation. Nous pourrions résumer l'articulation de chaque phase grâce au schémas suivant (Cf Figure 4.1).

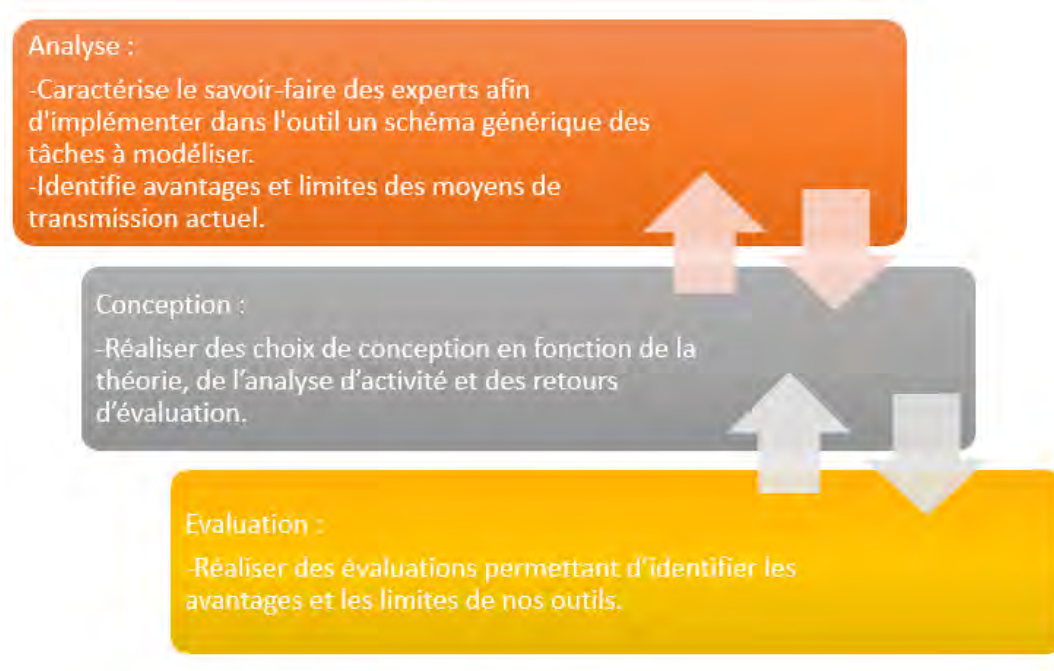


FIGURE 4.1 – Articulation des objectifs de chaque phase de notre démarche de conception centrée utilisateur

Nous discuterons chacun de ces objectifs dans les parties suivantes.

## 4.2 Analyse

La phase d'analyse est divisée en deux parties (Cf Figure 4.1).

En première partie nous avons réalisé une analyse d'activité auprès des experts. Cette étude exploratoire porte sur l'analyse de l'activité des opérateurs experts dans l'atelier de production. Dans un premier temps cette analyse a permis d'appréhender le cadre du

projet, indispensable pour resituer l'activité des experts. Ainsi nous commencerons par présenter le fonctionnement de Continental Automotive Toulouse. Cela passera par le rôle de l'atelier dans le groupe Continental, ses moyens de production et son organisation de travail. Dans un second temps nous nous recentrerons sur l'activité des experts. L'objectif sera alors de répertorier les tâches mises en œuvre et les moyens utilisés par les experts pour les accomplir. Pour finir, nous avons cherché à comprendre quels étaient les points communs entre les experts dans la mise en place de leur savoir-faire. Pour se faire, la synthèse de l'ensemble des informations recueillies permettra de déterminer les constantes dans la mise en œuvre de leur savoir-faire.

En deuxième partie nous allons nous intéresser aux différents moyens, outillés ou non, mobilisés pour la transmission des connaissances. Deux types de transmissions sont à dissocier. Nous traiterons différemment la transmission via la formation (c'est-à-dire impliquant l'interaction entre l'expert et l'apprenant) et la transmission via des outils de modélisation et de partage des connaissances (impliquant une interaction humain machine et dissociant l'expert de l'apprenant).

### 4.3 Conception

Le chapitre suivant présentera la phase de conception. Chaque outil sera présenté à travers une description et une exposition des arguments théoriques et empiriques légitimant chaque choix de conception.

### 4.4 Evaluation

Le dernier chapitre traitera de la phase d'évaluation. Nous distinguerons les expérimentations menées sur l'outil de capture des connaissances de celles menées sur l'outil de transmissions des connaissances. Comme nous le verrons dans la méthodologie de ce chapitre, les évaluations ont eu lieu de façon itérative tout au long du projet MIMIKS. Chaque itération a permis de nourrir une réflexion et de faire évoluer l'outil concerné.



## 4.5 A retenir

Ce chapitre visait à présenter succinctement la démarche de conception employée pendant le projet MIMIKS. Celle-ci a été fortement influencée par le contexte de cette thèse : elle s'imbrique dans un projet de recherche et développement qui vise à développer des outils dans un contexte industriel. Ainsi nous avons pu mettre en oeuvre une phase d'analyse de l'activité avant de concevoir et d'évaluer les outils avec les utilisateurs.

Les chapitre suivants présenteront en détail la méthodologie et les résultats obtenus lors de chaque phase.

---

## Analyse d'activité – partie 1 : le cadre de l'étude et l'activité des experts

---

### Résumé

*Cette étude exploratoire porte sur l'analyse de l'activité des opérateurs experts dans l'atelier de production. Dans un premier temps cette analyse a permis d'appréhender le cadre du projet, indispensable pour resituer l'activité des experts. Ainsi nous commencerons par présenter le fonctionnement de Continental Automotive Toulouse. Cela passera par le rôle de l'atelier dans le groupe Continental, ses moyens de production et son organisation de travail. Dans un second temps nous nous recentrerons sur l'activité des experts. L'objectif sera alors de répertorier les tâches mises en œuvre et les moyens utilisés par les experts pour les accomplir. Pour finir, nous avons cherché à comprendre quels étaient les points communs entre les experts dans la mise en place de leur savoir-faire. Pour se faire, la synthèse de l'ensemble des informations recueillies permettra de déterminer les constantes dans la mise en œuvre de leur savoir-faire.*

### Sommaire

---

<b>5.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>82</b>
<b>5.2</b>	<b>Participants</b>	<b>84</b>
<b>5.3</b>	<b>Matériel et procédure</b>	<b>85</b>
<b>5.4</b>	<b>Résultats</b>	<b>87</b>
5.4.1	Le cadre de l'étude : Continental Automotive Toulouse	87
5.4.2	L'activité des participants	92
5.4.3	Participant 1 : Julien PU	92
5.4.4	Participants 2 : Florent Vision	98
5.4.5	Analyse comparative des deux profils experts : points communs et émergence de premières préconisations pour l'outil MIMIKS	103
<b>5.5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>105</b>

---

## 5.1 Introduction

Cette étude exploratoire porte sur l'analyse de l'activité des opérateurs experts dans l'atelier de production. Dans un premier temps cette analyse a permis d'appréhender le cadre du projet, indispensable pour resituer l'activité des experts. Ainsi nous commencerons par présenter le fonctionnement de Continental Automotive Toulouse. Cela passera par le rôle de l'atelier dans le groupe Continental, ses moyens de production et son organisation de travail. Dans un second temps nous nous recentrerons sur l'activité des experts. L'objectif sera alors de répertorier les tâches mises en œuvre et les moyens utilisés par les experts pour les accomplir. Pour finir, nous avons cherché à comprendre quels étaient les points communs entre les experts dans la mise en place de leur savoir-faire. Pour se faire, la synthèse de l'ensemble des informations recueillies permettra de déterminer les constantes dans la mise en œuvre de leur savoir-faire.

Rappelons notre représentation théorique de l'expert et de son savoir-faire. Un expert est défini par Caverni (1988) comme une personne qui, dans un domaine particulier, produit des performances supérieures à la moyenne grâce à des connaissances spécifiques. Hoffman (1998) ajoute une composante sociale à cette définition en précisant que les experts sont reconnus comme tels par leurs pairs.

Un expert présente davantage de connaissances (1) qu'un novice (Ericsson & Lehmann, 1996). Celles-ci sont indissociables du domaine d'expertise (Chase & Simon, 1973). Elles sont d'autant mieux retenues qu'elles sont pertinentes pour l'activité (Glaser & Chi, 1988). Ces connaissances sont plus connectées entre elles, permettant la manipulation de concepts plus complexes (Bisseret, 1995). Cette particularité permet un avantage déterminant quand il s'agit de gérer un nombre important d'informations. Les connaissances des experts sont propres à chaque expert (Shanteau, 2001). Elles sont davantage corrélées à l'expérience qu'à la théorie. Elles sont encodées et stockées sous une structure orientée vers l'activité et l'atteinte d'un but (Bisseret, 1995). L'expert occulte les informations peu pertinentes, de surface, afin de retenir celles permettant la réalisation de leur activité. Avec l'expérience, les connaissances sont procéduralisées (Anderson, 2004). Cela permet une mobilisation moins coûteuse et une mise en application plus efficace. Malgré cela, l'expert reste flexible et peut accéder à ses connaissances déclaratives pour gérer les nouvelles situations (Feltovitch, 1997).

Les stratégies cognitives (2) permettent à l'expert de se différencier du novice dans plusieurs étapes clés de son activité. Lorsqu'il débute une nouvelle tâche, il récupère davantage d'informations (Lipshitz et Shaud, 1997), celles-ci sont plus diversifiées et plus opérationnelles (Serfaty et al. 1997). Cela lui permet d'identifier le meilleur schéma d'actions pour atteindre son but. Si cela n'est pas possible, il entame une résolution de problème (Richard, 1995). D'après Anderson (2004), les experts sont bien plus performants dans ce domaine que les novices. Cela est permis par une meilleure analyse du problème (Larkin et al. 1980), notamment pour le comprendre et le reformuler. Cette étape est permise par un traitement de l'information consistant à isoler et à combiner les éléments les plus pertinents (Sternberg, 1997). Pour résoudre les problèmes les experts peuvent avoir besoin de produire de nouvelles connaissances sur la base des informations sélectionnées. Dans cette situation la stratégie des experts diffère encore une fois de celle des novices. Ces derniers vont privilégier l'analyse des informations pour produire des hypothèses et les éprouver (Schmidt et al. 1990). A contrario les novices vont produire des hypothèses aléatoires et les confronter aux informations recueillies. Cette différence s'explique par les prédispositions nécessaires à la stratégie de l'expert : une sélection pertinente des informations et des connaissances importantes dans le domaine.

D'après Veenman et al. (1999), l'expert dispose d'un avantage supplémentaire : la mise en place accrue de processus métacognitif (3). Ce dernier va s'attacher à planifier, contrôler et réguler son activité afin de parer à tout imprévu. Cela lui permet aussi de mettre à jour ses connaissances après avoir rencontré de nouvelles situations.

Sur la base de cette conception de l'expertise nous avons collaboré avec Continental Toulouse afin de cibler des participants qui participeraient à la conception d'un outil permettant la modélisation de leur savoir-faire. Cette étude a permis d'analyser leur activité. Dans un souci de compréhension, nous commencerons par présenter le cadre de travail de ses experts, à savoir l'atelier de fabrication Continental Toulouse. Dans un second temps nous présenterons l'activité des experts afin de comprendre concrètement comment ces derniers mettent en œuvre leur savoir-faire. La finalité de cette étude sera de cibler des points communs dans l'articulation du savoir-faire des experts afin de proposer une interface de modélisation qui corresponde aux besoins et aux contraintes de chacun.

## 5.2 Participants

3 experts ont été identifiés par Continental comme répondant aux critères d'expertise que l'entreprise souhaitait capturer. Après une première phase d'analyse, nous n'avons retenu que deux experts. L'activité de travail du troisième expert ne permettait pas de mettre en œuvre une démarche de conception pérenne dans le temps. Les deux experts finalement sélectionnés présentent le même niveau de responsabilité. Ils sont en charge du bon fonctionnement des lignes de production ainsi que de leur amélioration continue. Ils détiennent un savoir-faire stratégique pour le bon fonctionnement de l'atelier. De plus, ils partagent la même volonté de transmettre leur savoir-faire à leurs pairs moins expérimentés ou non expérimentés, en témoignent la production de documents procéduraux, la prise en charge de formation auprès de leurs pairs. A noter que leur nom et prénom ont été rendus anonymes. Leur nom correspond à leur spécialité afin de faciliter la compréhension tout au long de cette thèse.

Après un Bac Professionnel, **Julien PU** est entré chez Continental comme opérateur en 1997. Il a occupé ce poste pendant trois ans. Il a ensuite été promu conducteur de ligne. Il s'est alors intéressé à un procédé de vernissage qui n'était à l'époque pas encore au point (beaucoup de rebuts). En 2004, après avoir mis au point un nouveau vernis, plus fiable, il a été promu Spécialiste Méthode Procédé Atelier. Il a alors décidé d'enrichir ses compétences grâce à un BTS Maintenance industrielle. Il s'est alors intéressé au procédé de coulée de la pâte polyuréthane (qui vise à isoler les PCB) afin de le fiabiliser. Depuis peu, il est aussi responsable d'un nouveau procédé : la pâte thermique. Le profil de Julien est particulièrement intéressant pour notre projet car il présente la particularité de s'être formé en grande partie sur le terrain. De plus, il est le seul spécialiste des procédés décrits plus haut (pâte polyuréthane (PU), pâte thermique et vernissage), ce qui augmente la valeur de son savoir-faire pour l'entreprise.

A 34 ans, **Florent Vision** a fait toute sa carrière chez Continental Automotive Toulouse. Après un BTS en électronique, il est entré dans l'usine comme opérateur. Il a occupé ce poste pendant 1 an. Il a alors été promu Technicien diagnostic. Son rôle était d'analyser les

défaillances électroniques. Il était notamment responsable des équipements informatiques de test et de vision. Ces équipements ont pour but de s'assurer du bon fonctionnement des lignes de production et de la conformité des produits fabriqués. En 2008, il a créé un nouveau système de vision moins coûteux que celui qui existait auparavant (15k euros contre 120k euros), ce qui lui a valu d'être promu Spécialiste Procédé Méthode Atelier. Le profil de Florent est intéressant car, comme Julien, il s'est en grande partie formé sur le terrain. Comme il le dit lui-même, il « s'intéresse à tout » et a « appris sur le tas ». Cela correspond parfaitement aux caractéristiques de l'expert que nous avons pointées dans l'état de l'art : une personne d'expérience qui a acquis et automatisé un savoir-faire par la pratique. Comme Julien, ses connaissances poussées lui ont même permis de créer un nouveau procédé.

### 5.3 Matériel et procédure

L'analyse de l'activité s'est déroulée en plusieurs étapes. Nous avons commencé par étudier le cadre global, l'organisation des ressources humaines de l'atelier de fabrication, le fonctionnement technique des lignes et pour finir l'analyse de l'activité des participants et de leur expertise. Chaque étape a nécessité un matériel et une méthode différente.

Pour appréhender le cadre de l'étude, nous avons ensuite eu l'opportunité d'assister à une **présentation de l'atelier** par le chef d'atelier de l'usine de Toulouse. Des **réunions de présentation** ont permis de présenter plus en détail le fonctionnement de Continental Automotive Toulouse, de sa logique commerciale à son organisation fonctionnelle. Nous avons réalisé une **analyse documentaire** (documents internes, fiches de poste, organisation, plan de l'atelier, contenus de formation, documents externes de présentation de Continental). Cette compréhension de l'environnement de travail a été enrichie et croisée avec les informations ultérieures issues de l'analyse in situ avec les participants.

Pour appréhender l'activité de travail des experts, nous avons mis en œuvre trois actions de recherche combinées : un entretien semi-directif, des observations et un entretien de restitution. Les trois ont été réalisées avec les deux participants.

**L'entretien semi-directif** est basé sur un guide d'entretien présent en annexes (Cf.

Annexe 9). Il est articulé autour de trois thèmes et 15 questions au total. Le premier comporte 5 questions et cherche à identifier le profil du participant. Le deuxième thème présente 4 questions permettant de comprendre la vision que le participant a de son organisation de travail. Le dernier thème permet d'appréhender les différentes tâches réalisées par le participant à travers 6 questions. Cet entretien a été soumis aux participants en session individuelle dans un bureau au sein de l'atelier Continental. L'échange était oral et l'entretien a été enregistré afin de faciliter l'échange entre l'ergonome et le participant. La grille était prévue pour ne pas excéder une heure d'entretien afin de ne pas monopoliser les participants.

Les **observations** ont été réalisées en deux temps. Premièrement nous avons réalisé des observations libres pendant deux journées (soit 16 heures au total) par participant. Cette étape préalable a permis de se familiariser avec le fonctionnement technique de l'atelier de fabrication mais aussi d'avoir une première compréhension de l'activité des experts. Nous avons ensuite réalisé 5 journées (soit 40 heures) d'observations systématiques par participant. La grille, disponible en annexes (Cf Annexe 9), visait à répertorier toutes les tâches réalisées par l'expert. Pour chaque tâche nous mesurons sa durée, nous identifions comment l'expert procédait pour mener à bien son activité, quels outils il avait utilisé et si possible pourquoi le N-1 avait échoué dans la tâche.

Pour finir, un **entretien de restitution** a été réalisé avec chaque participant. Cet entretien avait pour but de présenter les informations recueillies pour vérifier leur exactitude. Pour cela une première version du compte rendu ici présent a été rédigé afin d'être discuté lors d'un entretien libre. Cet entretien était réalisé sous forme orale avec le support papier du compte rendu.

Les différents outils d'investigation ont été mis en œuvre de la façon suivante. Tout d'abord, chaque opérateur était invité à répondre à l'entretien semi-directif. A l'issue de cette première phase, l'activité des opérateurs était observée dans un premier temps sans grille puis de façon systématique à l'aide d'une grille d'observation. Enfin, un entretien de restitution était mené avec chacun afin d'entre eux.

## 5.4 Résultats

La présente partie résultat a pour objectif de présenter l'analyse de l'activité des experts dans l'atelier de fabrication de Continental Toulouse. Cette partie s'articule en trois sous-parties. Tout d'abord, afin de resituer la thèse dans le contexte industriel du projet, nous présentons Continental, de l'atelier de production et de l'organisation structurelle de l'entreprise. La deuxième sous-partie porte cette fois sur l'analyse de l'activité de chaque expert dont MIMIKS avait vocation à capturer les savoirs faire. Une troisième partie porte sur l'analyse comparative de l'activité des experts. Cette analyse comparative a pour objectif d'identifier ce qui dans la structure de l'activité des experts est commun et ce qui diverge. Autrement dit, il s'agit de pouvoir faire émerger un schéma commun de mise en œuvre du savoir-faire autour duquel des éléments propres à chacun se greffent. Ce schéma nous permettra de concevoir un outil qui permette à chacun de modéliser son savoir-faire. Enfin, une partie discussion clôt ce chapitre.

### 5.4.1 Le cadre de l'étude : Continental Automotive Toulouse

Le but de cette partie est de présenter le fonctionnement de Continental Automotive Toulouse, en se centrant sur la partie production, afin de contextualiser l'analyse de l'activité des experts.

#### 5.4.1.1 Domaine de production

Les experts participants au projet MIMIKS travaillent tous au sein de l'usine Continental de Toulouse.



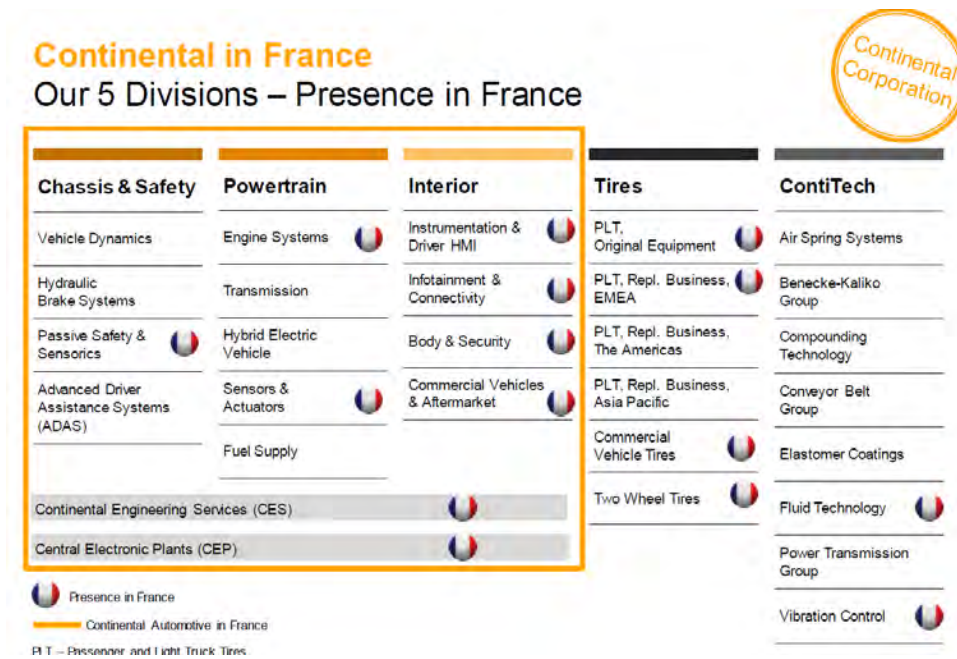


FIGURE 5.1 – Les différentes divisions de Continental.© Continental

Cette usine appartient plus précisément à « Continental Automotive in France » (Cf figure 5.1), qui renvoie à la production de pièces électroniques destinées à équiper des automobiles. Continental Automotive est elle-même composée de 3 sous divisions : « Chassis & Safety » (qui produit des pièces électroniques afin d’optimiser la sécurité des conducteurs), « Powertrain » (qui produit des pièces destinées à propulser les automobiles), « Interior » (qui vise à produire des pièces gérant les informations d’un véhicule). L’usine Continental de Toulouse se situe dans la division « Interior » et plus précisément « Body & Security ». Elle est spécialisée dans la production de capteurs de pression pneumatique, de badges et de calculateurs (Cf Figure 5.2).



FIGURE 5.2 – Capteurs de pression (a), badges (b) et calculateur (c)

### 5.4.1.2 Les grandes étapes de fabrication d'un produit

La production est divisée spatialement et fonctionnellement en deux parties : « Back-end » et « Front-end » (Cf Figure 5.3). La partie « Back-end » renvoie à l'insertion des composants électroniques sur les circuits imprimés (aussi appelés PCB). La partie « Front-end » renvoie à l'assemblage mécanique du PCB avec son boîtier et les différents éléments qui le compose.

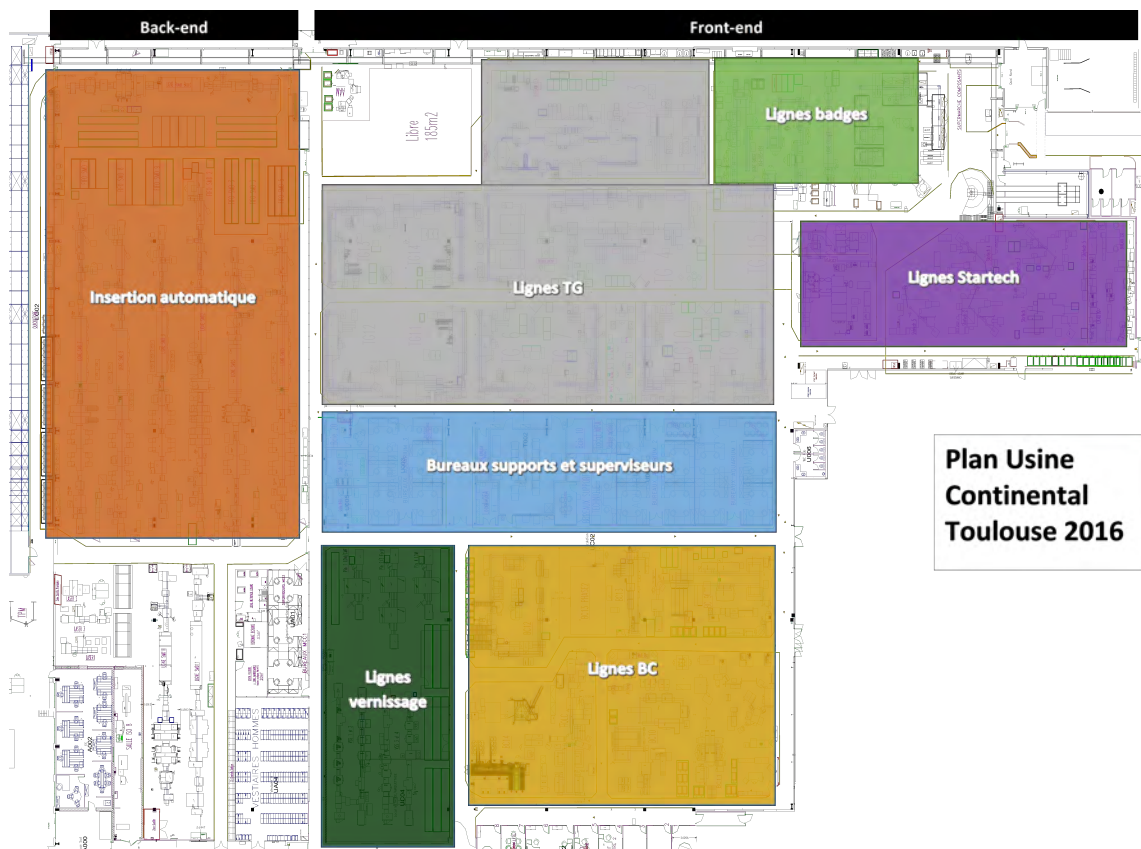


FIGURE 5.3 – Plan usine Continental © Continental

L'insertion automatique se déroule en plusieurs étapes :

- Dépose de la pâte à souder : la machine dépose des points de pâte à souder précisément sur les endroits destinés à recevoir par la suite des composants électroniques.
- Composants : les composants sont placés sur le circuit électronique par un robot. A ce niveau-là, les composants ne sont pas soudés mais déposés sur la pâte encore liquide.
- Four : la pièce passe alors dans un four qui fait fondre la pâte dans le but de

lier les composants avec le PCB. La seconde partie du four est une portion qui vise à rafraîchir la pâte pour qu'elle se solidifie. Ce processus lie définitivement les composants aux PCB et termine donc la soudure.

- Contrôle visuel : la pièce électronique passe alors par une machine qui vérifie visuellement si les pièces sont bien en place et bien soudées. 4% des pièces sont désignées comme défectueuses par la machine. Un collaborateur (généralement un opérateur) inspecte alors ces pièces pour vérifier ce diagnostic. Il s'avère que sur 4% des erreurs, 3% sont des erreurs de type 2, c'est-à-dire que les pièces sont désignées comme défectueuses alors qu'elles sont fonctionnelles. Au final seul 1% des pièces sont réellement défectueuses.
- Contrôle électrique : la pièce est alors testée par une machine, cela permet notamment de détecter si des composants sont défectueux.

Tout au long du process d'insertion automatique, des contrôles dits "de vision" ont lieu. Ces contrôles sont automatisés, c'est à dire que les informations sont capturées par une caméra et le traitement est informatique. Ces contrôles permettent de conserver une trace du processus de fabrication de chaque pièce et de s'assurer que tout est conforme.

Durant l'insertion automatique le rôle des opérateurs est de fournir les machines en pièces (PCB, composants. . .) et de s'assurer du bon fonctionnement des machines.

La partie « Front-end » est celle qui nous intéresse davantage, car les deux experts travaillent en majorité dans cette partie de la production. Cette étape renvoie à l'assemblage des circuits imprimés avec les boîtiers mécaniques. L'assemblage va varier en fonction des produits.

#### 5.4.1.3 Organisation de la fabrication

Nous avons décrit le fonctionnement technique de l'atelier. Pour bien comprendre l'activité et le rôle des experts, il est encore nécessaire de décrire l'organisation des ressources humaines impliquées dans le fonctionnement de l'atelier

Pour assurer le fonctionnement de l'atelier de fabrication, les missions sont réparties en plusieurs niveaux de responsabilité.

## Filière Fabrication



FIGURE 5.4 – Les différents niveaux de fabrication

Pour comprendre l'analyse qui sera présentée par la suite, il est nécessaire de présenter trois postes en particulier (Cf Figure 5.4). Ces postes sont liés car ils agissent et interagissent dans la résolution de problèmes (qualité, pannes. . .) qui peuvent survenir sur une machine.

Les **Chargés de Maintenance Equipement Automatisé (CMEA)** assurent le premier niveau de fonctionnement des lignes de production. Leur rôle est d'atteindre les objectifs de fabrication (quantité, qualité. . .). Pour cela, ils fournissent les machines en pièces et composants et s'assurent de leur bon fonctionnement. Cela passe par des opérations de maintenance et par la résolution des pannes de premier niveau, c'est-à-dire des pannes répertoriées dont les solutions sont accessibles sans connaissance technique avancée. Il s'agira par exemple de nettoyer une partie de la machine pour que le mécanisme ne soit plus perturbé.

En deuxième niveau de responsabilité se trouvent les **Chargés de Maintenance Procédé Atelier (CMPA)**. Ils coordonnent et participent aux maintenances nécessaires au bon fonctionnement des lignes. De par leurs connaissances techniques supérieures aux

CMEA, ils sont aussi responsables des opérations de pannes de deuxième niveau. Il s'agira par exemple de changer une pièce de la machine qui est défectueuse.

Les **Spécialistes Méthode Procédés Ateliers (SMPA)** sont en troisième niveau et possèdent un rôle de support. Spécialisés dans un procédé (vernissage, vision...), ils sont en charge de l'amélioration continue des lignes. Cette amélioration porte sur des questions/aléas techniques (changement de matériel sur ligne), de maintenance ou de formation. Ils intervenaient pour résoudre les pannes lorsque les CMEA et les CMPA n'ont pas trouvé de solution.

En résumé les CMEA assurent le fonctionnement normal d'une ligne. Ils interviennent pour les pannes les plus basiques. Pour des pannes nécessitant des connaissances plus techniques, en mécanique notamment, les CMEA sont sollicités. Les SMPA sont censés intervenir lorsqu'aucun des deux niveaux précédents n'a réussi à résoudre le problème.

## 5.4.2 L'activité des participants

Dans un souci de compréhension, notamment des aspects techniques liés à leur domaine, nous commencerons par présenter l'activité de chaque participant un par un. Puis nous mettrons en exergue les points communs que nous pouvons identifier dans leur activité.

### 5.4.3 Participant 1 : Julien PU

#### 5.4.3.1 Profil

Après un Bac Professionnel, Julien est entré chez Continental comme opérateur en 1997. Il a occupé ce poste pendant trois ans. Il a ensuite été promu conducteur de ligne. Il s'est alors intéressé à un procédé de vernissage qui n'était à l'époque pas encore au point (beaucoup de rebuts). En 2004, après avoir mis au point un nouveau vernis, plus fiable, il a été promu Spécialiste Méthode Procédé Atelier. Il a alors décidé d'enrichir ses

compétences grâce à un BTS Maintenance industrielle. Il s'est alors intéressé au procédé de coulée de la pâte polyuréthane (qui vise à isoler les PCB) afin de le fiabiliser. Depuis peu, il est aussi responsable d'un nouveau procédé : la pâte thermique.

Le profil de Julien est particulièrement intéressant pour notre projet car il présente la particularité de s'être formé en grande partie sur le terrain. De plus, il est le seul spécialiste des procédés décrits plus haut (pâte polyuréthane, pâte thermique et vernissage), ce qui augmente la valeur de son savoir-faire.

#### 5.4.3.2 Responsabilités, tâches et savoir-faire

En tant que **SMPA**, la base du travail de Julien est d'être responsable d'un ou de plusieurs procédés, en l'occurrence la coulée PU, la pâte thermique et le vernissage. Il doit ainsi remplir des objectifs de quantité, de qualité mais aussi de coût. De cette responsabilité découlent plusieurs tâches. Son rôle premier est de mettre au point, de fiabiliser et d'améliorer ses procédés, cela passe par de l'amélioration continue des machines. Il est aussi responsable des maintenances à réaliser sur les machines. Il les met donc au point et doit transmettre ce savoir-faire aux CMPA et CMEA. Cette transmission passe en théorie par de la formation.

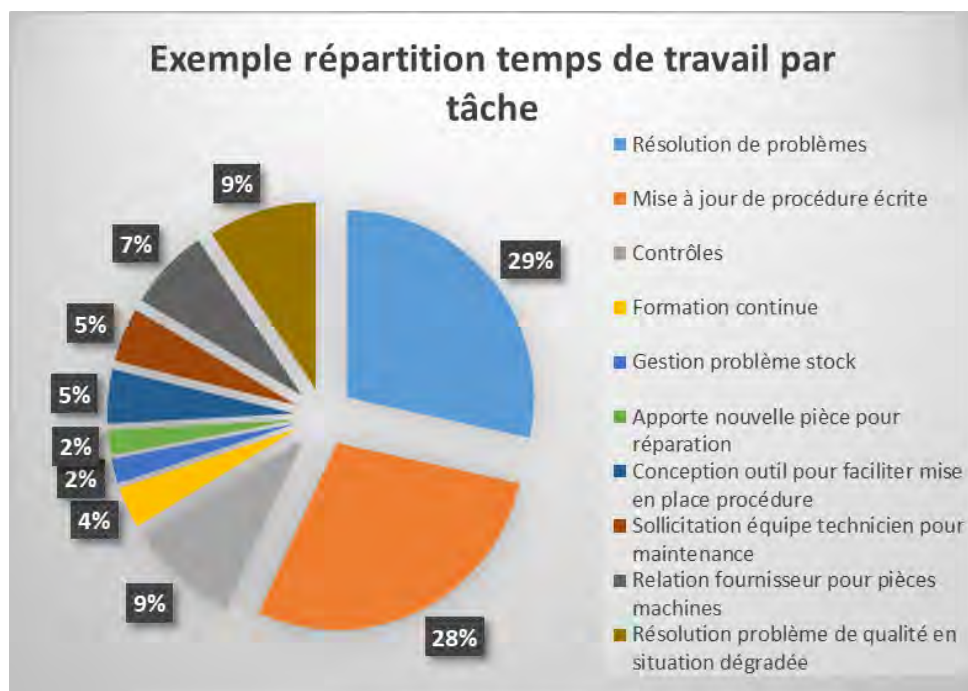


FIGURE 5.5 – Exemple d'une journée de travail de Julien PU



Les observations menées ont permis de décomposer une journée de travail type. Pour cela chaque tâche réalisée par Julien a été répertoriée et le temps de réalisation chronométré.

Le SMPA est un support technique et peut être appelé pour toutes les tâches relatives à ses procédés (maintenances, pannes...). Ce devoir de disponibilité est très impactant et le pousse à réaliser des tâches très diverses tout au long de sa journée de travail (Cf Figure 5.5). Les observations ont montré qu'il était sollicité pour une tâche environ toutes les 15 minutes.

Malgré cette apparente diversité, son activité peut être décomposée en trois grandes catégories de tâches qui nous intéressent particulièrement :

- La résolution de problème (machines bloquées, trop de rebuts sur une machine...)
- Amélioration continue (des machines, des procédures...)
- Formation (initiale, continue)

Lorsqu'un problème apparaît sur une machine (trop de rebuts par exemple), Julien est appelé par les CMEA ou les CMPA. **La résolution de problème** représente aujourd'hui une grande partie de l'activité de travail de l'expert (40% de son temps de travail sur la journée observée). Cela est dû aux processus complexes dont il est responsable, notamment la coulée de la PU qui nécessite une machine en parfait état pour assurer un bon fonctionnement. Les observations ont mis en avant que sur 10 interventions sur des machines, 8 étaient relatives à la coulée de PU. Comme il a été dit précédemment, Julien PU répond aux objectifs de production (quantité, qualité...), la résolution des problèmes est donc une priorité pour lui.

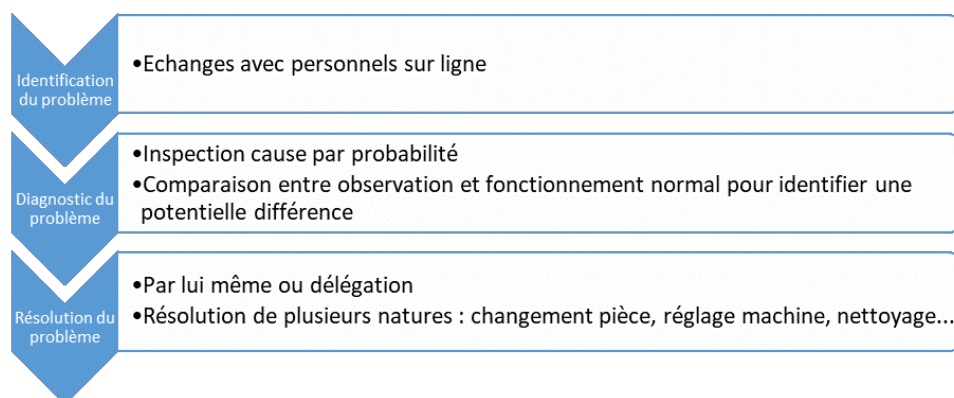


FIGURE 5.6 – Etape de résolution de problème sur ligne

Pour rappel, Julien PU n'est pas constamment présent sur une ligne donnée. Il est un support technique, il est appelé en cas de problème. Lorsqu'il est appelé il doit donc acquérir des informations pour se construire une représentation de l'espace problème. Pour cela il échange avec les personnes (CMEA, CMPA) présentes sur la ligne. Ces personnes ont identifié le problème et sont porteuses d'informations. Ces informations permettent de caractériser le problème à résoudre. Par exemple les collaborateurs vont lui signaler que la pâte polyuréthane, supposée être lisse, présentent des bulles. Cela est un défaut et peut impacter l'étanchéité d'un produit. L'expert prend donc connaissance des "symptômes", il cherche ensuite identifier la cause de ce dysfonctionnement.

Avant de pouvoir résoudre un problème, il doit procéder à un **diagnostic**. Celui-ci passe par deux étapes. Il commence par fonctionner par probabilité : face à une panne, certaines causes sont plus probables que d'autres, il faut donc les investiguer en priorité. L'expert, ayant été confronté à un grand nombre de situations de panne, à créer une représentation mentale du problème à résoudre, les hypothèses prioritaires (pannes très fréquentes) à tester pour les confirmer ou les écarter, les hypothèses secondaires (pannes fréquentes), puis les hypothèses relevant de pannes rares. Les échanges avec les CMEA et les CMPA ont montré que cette association panne/cause était moins évidente pour eux. Ces derniers fonctionnent davantage par exploration.

Si la cause n'est pas identifiée par cette opération, Julien inspecte la machine de fabrication pour identifier un dysfonctionnement. Il peut ainsi constater qu'une pièce de la machine de production est défectueuse. La cause d'un problème peut aussi être révélée par une inspection des produits. Par exemple si la pâte polyuréthane produit trop de bulles (facteur de rebut), alors Julien va émettre l'hypothèse que la pâte est trop chaude. Cela lui est possible car il connaît parfaitement sa machine et le bon déroulement de ses procédés, il peut donc réaliser une comparaison entre fonctionnement normal et dégradé. La résolution des problèmes peut se présenter sous trois formes principales : le changement d'une pièce, le réglage de la machine ou le nettoyage. L'expert peut soit mettre en œuvre la résolution lui-même, soit déléguer l'opération à un technicien. Cependant il délègue seulement si le personnel en question a été formé (par lui, car il est responsable de la formation). Il est donc à la base de tout savoir-faire pour appliquer les opérations de résolution de problème. L'expert repasse systématiquement sur la ligne plus tard dans



la journée afin de s'assurer que la ligne fonctionne et d'avoir un retour sur les opérations de correction qui ont été effectuées. Il s'agit là d'un contrôle (Flavell, 1985) qui lui permet d'engager une forme de régulation via l'évolution de ses connaissances mais aussi via l'amélioration continue.

L'amélioration continue occupe 39% du temps sur la journée type. Celle-ci porte principalement sur trois objets : les machines, les outils facilitant l'activité des techniciens et les procédures de maintenance.

L'amélioration des machines est initiée par la volonté de résoudre un problème récurrent, d'améliorer la productivité ou la qualité des pièces. Pour cela, l'expert travaille en collaboration avec des fournisseurs afin de mettre au point la nouvelle installation. Il négocie directement avec eux puis supervise l'intégration des nouvelles pièces. Pour finir il valide le résultat en réalisant des tests de répétabilité. Ces tests consistent à produire une série de 50 pièces "parfaites" avec le nouveau dispositif, permettant de valider l'intérêt de son intégration dans la ligne de production. Cette amélioration impacte directement son activité de travail ultérieure : une machine améliorée, plus fiable, entraîne moins de problèmes et lui permet de moins intervenir. A terme cela lui permet de ne pas être sur-sollicité.

Afin de faciliter l'activité des techniciens l'expert passe du temps à concevoir des outils « ergonomiques », c'est-à-dire qui facilite une opération. Il s'agira par exemple d'un outil qui est pré-réglé pour réaliser un nettoyage particulièrement difficile sur une pièce.

Le troisième aspect de l'amélioration continue, celle des procédures de maintenances, est particulièrement intéressant pour le projet MIMIKS car il renvoie à la question de la modélisation des savoir-faire. Les procédures de maintenance renvoient à toutes les opérations d'entretiens des machines de production nécessaires à leur bon fonctionnement. Il s'agit en général de changer ou de nettoyer des pièces de la machine. Comme dit plus haut, les procédés de Julien PU impliquent des machines de fabrications complexes. Ces machines demandent des opérations de maintenance car les pièces qui constituent la machine s'usent. De plus, la présence de fluide (pâte polyuréthane et pâte thermique) rend le nettoyage plus fréquent et nécessaire car les résidus de pâtes peuvent perturber le sys-

tème. Ces opérations sont parfois difficiles à mettre en œuvre pour les opérateurs. Prenons l'exemple du changement de tête de PU (pièce qui dépose la pâte polyuréthane dans les produits). Cette opération est d'une grande complexité, puisqu'elle impose d'avoir une représentation mentale des éléments constitutifs de la machine et de l'ordre dans lequel ils sont assemblés. Un opérateur en production peut ne rencontrer un aléa nécessitant ce type d'opération (changement de tête de PU) que très rarement. Il est donc difficile pour lui de consolider en mémoire la procédure à mettre en œuvre. Pour l'aider dans cette tâche, Julien PU modélise ses connaissances, procédurales et déclaratives, dans des documents papiers. Ces documents sont mis à disposition des techniciens sur les lignes de production. Nous reviendrons sur la modélisation des connaissances dans l'étude suivante (Cf chapitre 6). Ces documents ont pour vocation d'éviter aux experts d'être sur-sollicité.

La dernière grande catégorie de tâches qui incombe à Julien PU est la formation. Nous en parlerons plus longuement dans la partie suivante qui sera consacrée à la modélisation et à la transmission des connaissances dans l'atelier de Continental Automotive Toulouse.

## 5.4.4 Participants 2 : Florent Vision

### 5.4.4.1 Profil

A 34 ans, Florent a fait toute sa carrière à Continental Automotive Toulouse. Après un BTS en électronique, il est entré dans l'usine comme opérateur. Il a occupé ce poste pendant 1 an. Il a alors été promu Technicien diagnostic. Son rôle était d'analyser les défaillances électroniques. Il était notamment responsable des équipements informatiques de test et de vision. Ces équipements ont pour but de s'assurer du bon fonctionnement des lignes de production et de la conformité des produits fabriqués. En 2008, il a créé un nouveau système de vision moins coûteux que celui qui existait auparavant (15k euros contre 120k euros), ce qui lui a valu d'être promu Spécialiste Procédé Méthode Atelier. Le profil de Florent est intéressant car, comme Julien, il s'est en grande partie formé sur le terrain. Comme il le dit lui-même, il « s'intéresse à tout » et a « appris sur le tas ». Cela correspond parfaitement aux caractéristiques de l'expert que nous avons pointées dans l'état de l'art : une personne d'expérience qui a acquis et automatisé un savoir-faire par la pratique. Comme Julien PU, ses connaissances poussées lui ont même permis de créer un nouveau procédé.

### 5.4.4.2 Responsabilités, tâches et savoir-faire

Florent Vision occupe le même poste que Julien PU. Son rôle est de garantir un rendement et une qualité suffisante sur les lignes dont il est responsable. Il est en charge de l'amélioration continue afin d'accroître les performances des machines de fabrication. Il doit aussi gérer les maintenances et les formations relatives aux procédés dont il est spécialiste.

Ces derniers sont les systèmes de vision, l'informatique et le marquage laser. L'informatique renvoie principalement au paramétrage des machines de fabrication. Le marquage laser est un procédé qui permet d'ancrer des références sur les boîtiers des pièces électroniques produites.

Les systèmes de vision sont composés d'une caméra (ou d'un capteur de présence) combinée à un programme informatique qui va réaliser un traitement sur les informations recueillies. Ces systèmes, une fois configurés, fonctionnent de façon automatique, et ne

nécessitent l'intervention de l'expert que si un problème se présente. L'activité relative aux systèmes de vision représente la plus grande partie de l'activité de Florent. A titre d'exemple, lors des journées d'observations, l'expert n'a pas été amené une seule fois à intervenir sur le marquage laser. La vision est particulièrement stratégique pour la fabrication d'un produit car elle possède trois intérêts principaux : **le contrôle, l'identification et le guidage**. Ces trois processus sont informatisés et automatiques, mais nécessite des paramétrages initiaux réalisés par l'expert.

Le **contrôle** permet de s'assurer de la qualité des produits issus des lignes de fabrication. Il s'agira par exemple de contrôler automatiquement le bon état d'une soudure, de s'assurer que la longueur d'une pièce est conforme, ou de vérifier la présence ou l'absence d'un élément du produit (comme la pile dans le badge de voiture). **L'identification** vise à lire les références des différents composants d'un produit afin de s'assurer que ce dernier est bien conforme à son cahier des charges. Les contrôles et identifications sont disséminés à plusieurs endroits d'une ligne, cela permet de retracer informatiquement le déroulement de la fabrication d'un produit. Ce traçage constitue « la carte d'identité » d'un produit. Pour finir, **le guidage** par la vision vise à régler les machines de fabrication en temps réel. Par exemple, le système de vision va repérer que le produit est positionné dans une position et un angle bien particulier, cette information est transmise au robot qui placera le nouvel élément du produit de façon précise en fonction de cet angle et de cette position. Les systèmes de vision de l'expert sont présents dans tout l'atelier, Back-end comme Front-end. Mais il est davantage amené à travailler dans la partie Front-end. Les systèmes en Back-end, basés sur la lecture de référence, sont bien plus fiables.

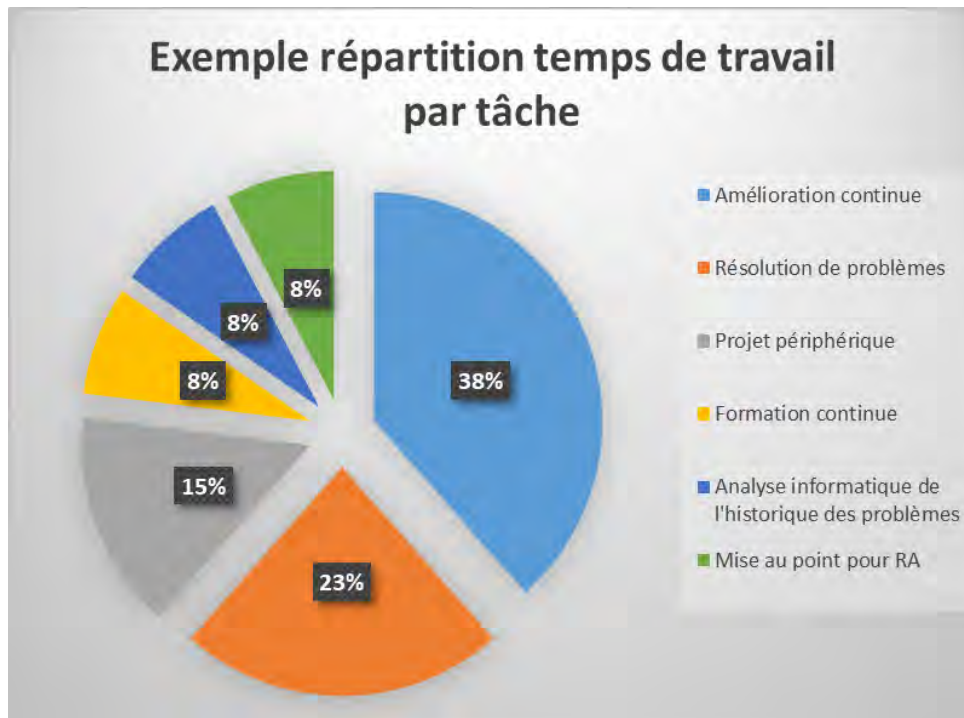


FIGURE 5.7 – Exemple d'une journée de travail de Florent Vision

Les observations menées ont permis de reconstituer l'ensemble des tâches menées par Florent Vision dans son activité quotidienne. Pour cela chaque tâche réalisée par Florent a été identifiée et le temps de réalisation chronométré (Figure 5.7). Ce dernier n'est pas le seul expert "vision" de l'atelier. Une répartition de la gestion des problèmes permet à ces experts de pouvoir se consacrer à d'autres tâches sans être systématiquement interrompu. Cela lui permet de réaliser un travail de fond d'amélioration continue (38% de son activité) mais aussi de lancer des projets périphériques (e.g. le projet périphérique que nous ne décrivons pas ici par soucis de confidentialité, mais qui visait à implémenter un nouvel équipement sur ligne). Pour autant nous constatons que la résolution de problème représente 23% de son temps.

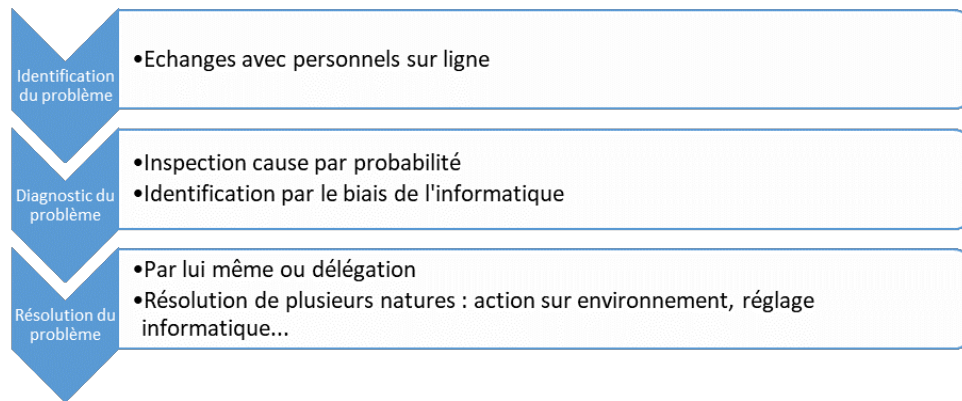


FIGURE 5.8 – Etape de résolution de problème sur ligne

S'agissant des opérations de maintenance, les procédures suivies par Florent sont les mêmes que celles suivies par Julien. Tout d'abord, il intervient sur les aléas de la machine à la suite d'un signalement formulé par les CMEA et les CMPA. Ensuite, il suit les 3 étapes de résolution de la panne (Cf Figure 5.8) il identifie le problème, formule un diagnostic et apporte une solution. Son action s'achève une fois l'aléa résolu.

L'étape d'identification du problème, consiste en l'identification des dysfonctionnements apparents du dispositif, cela correspond dans le cadre de la résolution de problème à la définition des prérequis du problème (Anderson, 2004). Lors des journées d'observations, les problèmes signalés étaient tous de même nature : les produits étaient signalés mauvais par le système automatique de vision alors que ces derniers ne présentaient aucun défaut (au niveau statistique, cela correspond à une erreur de type 1). En réalité cela était dû au système de vision qui échouait dans la capture de l'information (référence, longueur, présence/absence...). En l'absence d'information, l'algorithme classe systématiquement une pièce en défaut.

Une fois les "symptômes" répertoriés, le diagnostic permet de comprendre d'où la panne provient. L'expérience de Florent lui a permis de constituer une quantité importante de connaissances sur les aléas des systèmes. Il procède par probabilité pour identifier la cause du problème. Deux types de causes sont généralement à l'origine des aléas du dispositif : environnementale ou informatique. Une cause environnementale sera par exemple une luminosité trop importante dans l'atelier (ce qui parasite la prise d'information par la caméra), où des références boîtiers pas assez nettes pour être lues correctement (de la même manière qu'un code barre est effacé dans un produit en magasin).

La cause peut aussi être informatique. Il peut s'agir de mauvais réglages qui vont amener les caméras à chercher une information au mauvais endroit, ne la détectant pas, elles envoient alors les pièces en rebuts. Prenons pour exemple la détection de la bonne présence d'une pile dans une clé électronique de voiture. La caméra est réglée pour vérifier à un endroit précis si la pile est présente ou pas dans la pièce. Si le réglage décale la caméra ne serait-ce que d'un centimètre, alors elle ne pourra pas détecter la présence de la pile, pourtant présente. Le produit sera alors mis en défaut.

Pour investiguer ces causes, qu'elles soient environnementales ou informatiques, l'expert utilise un programme informatique qui lui permet d'observer les photos prises par les caméras. Armé de cet outils diagnostic, il identifie alors comment les caméras ont recherché l'information. Il peut ainsi comprendre soit qu'elles ne cherchent pas au bon endroit, soit qu'elles cherchent au bon endroit sans détecter l'information recherchée, parce qu'il y a trop de lumière par exemple. La résolution du problème passe par une action sur l'environnement ou sur le programme informatique, selon la cause identifiée. Lorsque la résolution passe par une correction des réglages informatiques l'expert est le seul autorisé à intervenir. Les solutions impliquant une action sur l'environnement (e.g. régler la luminosité ambiante) peuvent en théorie être réalisées par les CMEA ou les CMPA, mais comme l'expert s'est déplacé pour réaliser le diagnostic, il réalise souvent lui-même l'opération afin de vérifier si l'action permet la correction du problème. Il est ainsi dans la boucle planification, contrôle, régulation (Flavell, 1985) qui lui permet d'être plus fiable et réactif.

Chaque fois qu'un problème survient sur une ligne, le CMEA/CMPA est censé la signaler à l'aide d'un programme informatique. Ce programme constitue une base de données que Florent utilise afin d'identifier si certains systèmes sont plus fréquemment responsables de problèmes. Grâce à cela, il hiérarchise les axes d'amélioration continue.

L'amélioration continue des procédés de Florent porte quasi-exclusivement sur les programmes informatiques. Il fait alors de la programmation depuis son bureau afin d'ajouter de nouvelles fonctionnalités à des systèmes de visions ou de les rendre plus fiables. Ses

compétences en informatique sont aussi sollicitées par d'autres experts. Ainsi il peut arriver que Florent développe un programme pour un Responsable d'Acquisition qui souhaite concevoir une nouvelle ligne. Cette reconnaissance est encore une fois un indice de son expertise.

Comme le montre la figure 5.7, l'expert n'intervient pas dans les tâches de maintenance relatives aux systèmes de vision. Cela s'explique par le fait que pour ce procédé seule une demi-heure de maintenance par semaine est nécessaire. Cette opération consiste à calibrer l'objectif de la caméra (la calibration permet notamment de bien régler la caméra pour qu'elle cherche l'information au bon endroit). Il est à noter que Florent travaille actuellement pour automatiser cette seule opération de maintenance.

#### **5.4.5 Analyse comparative des deux profils experts : points communs et émergence de premières préconisations pour l'outil MIMIKS**

Florent et Julien occupe le même niveau de responsabilité. Bien qu'ils ne soient pas experts du même process de fabrication, il est intéressant de noter que l'on retrouve chez l'un et chez l'autre les mêmes grandes catégories de tâches. Ils sont responsables des objectifs de production, de la gestion des problèmes, de l'amélioration continue de machine de fabrication et de la formation.

Leur spécialité n'est pas la même mais la similitude dans la démarche de résolution de problème est frappante. Les deux experts passent par les mêmes étapes : identification des "symptômes" grâce à une prise d'informations auprès des collaborateurs, investigations des causes en fonction d'un raisonnement probabiliste basé sur l'expérience, et résolution de problème. Cette dernière étape peut varier dans la mise en œuvre, si Julien PU va très souvent mettre en œuvre des opérations de types mécaniques, Florent mettra davantage en œuvre des actions informatiques. Cependant, avec un certain niveau d'abstraction, nous pouvons considérer que chaque expert agit sur son environnement à travers une action outillée. Ces trois étapes de résolution de problème sont celles ciblées par Anderson (2004) comme propres aux experts.



Les deux experts mettent systématiquement en place des opérations de contrôles et de régulations afin de vérifier le bon déroulement de la résolution d'un problème. Ils vont aussi planifier des actions afin de limiter la survenue de nouveaux dysfonctionnements. Ainsi, si les outils, objets, équipements ou médias utilisés ne sont pas les mêmes, nous pouvons dégager une démarche commune impliquée par l'expertise. Cette démarche leur permet d'être plus efficaces et plus réactif. Ces processus avaient été mis en avant par Veenman et al. (1999) particulièrement important pour les experts.

Si l'on s'attache à la description des actions réalisées par les experts, les observations et les entretiens ont permis de faire émerger des catégories d'informations génériques à rattacher aux tâches réalisées, et cela quel que soit le procédé de prédilection. Nous avons travaillé en collaboration avec les experts pour affiner ces catégories.

On retrouve en premier lieu les outils. Que ces derniers soient physiques (e.g. une pince, un marteau...) ou informatiques (e.g. logiciels) l'expert est amené à utiliser un moyen pour interagir avec son environnement. Nous distinguerons les outils des consommables (e.g. colle, graisse, papiers absorbants...) et des équipements de protection individuelle (EPI). Si la finalité entre ces différents éléments est généralement différente et facilement distinguable (notamment entre l'outil qui permet d'agir sur son environnement et l'EPI qui vise à se protéger de son environnement), il n'est pas toujours évident de réaliser cette distinction fonctionnelle entre l'outil et le consommable par exemple. Il reste important de dissocier ces trois éléments car leur gestion au sein de l'atelier n'est pas la même mais surtout les utilisateurs les distinguent très clairement. Cela fait partie de leur représentation de leur activité. Les mélanger induirait des incompréhensions.

En deuxième lieu, il convient d'évoquer des éléments immatériels mais tout aussi important dans la mise en œuvre de leur activité. Les observations et les entretiens ont confirmé le postulat stipulant que les experts s'appuient sur des connaissances déclaratives sur leur environnement. En l'occurrence ces derniers comprennent comment fonctionnent les machines de fabrication et cela leur permet de réagir face à de nouveaux problèmes. Il est donc primordial de resituer le besoin et de rappeler qu'il ne faut pas dissocier com-

plètement le savoir-faire du savoir et que nous devons prendre en compte l'ensemble de ces connaissances dans la capture des connaissances procédurales.

Les experts ont tenu à mettre en avant un savoir-faire qui est, selon eux, souvent sous-estimé. Il s'agit des aptitudes à savoir travailler en équipe. Concrètement il est important pour un collaborateur de savoir dans quelle situation il doit demander de l'aide et auprès de qui. Cela est primordial dans une situation de travail collectif. Dans une logique hiérarchique les CMEA doivent savoir quand appeler un supérieur, quand le problème ne rentre plus dans son domaine de compétences et de responsabilité.

Nous évoquerons ensuite ce que nous appellerons les astuces, c'est à dire ces actions que les experts entreprennent mais qui ne sont pas prévu par le travail prescrit. Il s'agira par exemple d'ajouter un excédent de graisse afin de faciliter le vissage. Mais ces astuces peuvent aussi être cognitives, comme faire attention à un bruit pour savoir si une machine fonctionne correctement ou pas. Il s'agit de ces actions qui ne peuvent être inscrites dans une gamme officielle mais qui sont facilitatrices dans l'activité de l'expert.

Pour finir nous évoquerons le point qui semble être le plus important pour les experts, à savoir les points de vigilance. La réalisation d'une tâche n'est pas linéaire. Autrement dit certaines étapes sont plus importantes que d'autres. Cela peut être dû à leur dangerosité, à la manipulation d'un objet coûteux ou au niveau de concentration qui est demandé par exemple. Les novices ne sont pas conscients de ces étapes critiques là où les experts y portent une attention particulière.

## **5.5 Conclusion**

Deux objectifs étaient poursuivis par cette étude : appréhender l'activité des participants experts afin d'identifier la manifestation de leurs connaissances procédurales, et définir des points communs nous permettant d'obtenir des premières pistes de préconisations pour l'outil MIMIKS.

Nous avons ainsi identifié que les experts présentaient des similarités dans la mise en œuvre de leur savoir-faire. En situation de résolution de problème, nous constatons que le raison-

nement probabiliste, basé sur l'expérience, est central dans leur efficacité à atteindre leur but. Il leur permet de rechercher les informations les plus pertinentes pour comprendre la situation puis d'identifier les causes les plus probables. La correction d'un problème n'est pas présentée comme critique, les experts n'hésitant pas à déléguer cette opération à des novices. Ils attachent cependant une attention particulière au contrôle du résultat afin de vérifier la bonne résolution du problème mais aussi pour ajuster leurs connaissances. Lors de la réalisation d'une tâche « classique », autrement dit sans problème particulier, les experts suivent un schéma d'actions autour duquel des éléments stratégiques se greffent afin de leur permettre d'être plus performants. Ces éléments périphériques que nous avons listés ci-dessus sont essentiels.

Dans l'étude suivante, nous verrons les moyens mis en place permettant aux experts de modéliser et de transmettre ces connaissances que nous venons de présenter. Un des objectifs sera de vérifier si ces éléments périphériques sont mentionnés dans leur transmission.

---

# Analyse d'activité – partie 2 : la modélisation et la transmission des connaissances procédurales chez Continental Automotive Toulouse

---

## Résumé

*Dans ce chapitre, nous présenterons l'analyse d'activité qui porte sur les moyens de transmission des connaissances. Nous nous intéresserons autant aux moyens humains qu'aux moyens technologiques. L'objectif est d'identifier les besoins et les contraintes relatifs à la modélisation et à la transmission du savoir-faire afin de fournir des premiers éléments permettant de piloter la conception des outils MIMIKS.*

## Sommaire

---

<b>6.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>108</b>
<b>6.2</b>	<b>Participants</b>	<b>109</b>
<b>6.3</b>	<b>Matériel et procédure</b>	<b>109</b>
<b>6.4</b>	<b>Résultats</b>	<b>110</b>
6.4.1	Informations générales sur la formation chez Continental Automotive Toulouse	111
6.4.2	La formation en binome	111
6.4.3	La formation en salle	113
6.4.4	L'outil de transmission sur ligne	116
<b>6.5</b>	<b>Discussion</b>	<b>117</b>

---

## 6.1 Introduction

L'étude précédente nous a permis d'analyser l'activité des experts afin de comprendre concrètement le contenu que ces derniers souhaitent transmettre aux novices. Nous avons ainsi identifié un schéma d'actions autour duquel des catégories d'informations stratégiques gravitent. Dans cette deuxième étude, nous allons nous intéresser aux différents moyens, outillés ou non, mobilisés pour la transmission des connaissances. Continental n'étant pas doté d'un outil de mesure objective de l'effet induit par ces moyens de transmission, seule l'évaluation subjective de l'efficacité de ces dispositifs par les chefs d'équipe peut être appréhendée.

Comme nous le verrons dans la partie résultat, deux types de transmissions sont à dissocier. Nous traiterons différemment la transmission via la formation (c'est-à-dire impliquant l'interaction entre l'expert et l'apprenant) et la transmission via des outils de modélisation et de partage des connaissances (impliquant une interaction humain machine et dissociant l'expert de l'apprenant).

Lorsque nous analyserons une **formation**, nous nous attacherons à mettre en perspective les résultats avec les préconisations identifiées dans la revue de littérature. Bordage (2016) évoque les trois méthodes les plus pertinentes pour apprendre. La première recommandation est d'étaler la formation dans le temps. La deuxième est de concevoir des blocs mixés de formation intégrant apports théoriques et exercices. La troisième recommandation est l'utilisation du testing effect (Larsen et al. 2009).

Quand nous nous intéresserons à la **modélisation et au partage des connaissances** via un outil, nous chercherons à identifier les moyens favorisant l'élicitation du savoir-faire et nous les mettrons en perspectives avec ceux répertoriés lors de la revue de littérature. La difficulté principale réside dans le caractère tacite des connaissances de l'expert. Comme nous l'avons vu précédemment, les connaissances expertes sont fortement procéduralisées (Anderson, 2004). Elles sont ancrées dans un contexte, dans l'action et orientée vers un but. Il est donc difficile pour eux de les verbaliser de façon décontextualisée. De plus, les organisations cherchent parfois à créer des bases de connaissances générales, ce qui va à l'encontre du fonctionnement contextualisé des connaissances expertes. Il faut aussi se rappeler que les connaissances déclaratives, sont "encapsulées" dans les procédures d'ac-

tion et sont donc parfois sous-jacentes. Les experts s'appuient sur celles-ci pour réaliser leur activité mais ils peuvent aussi oublier de les mentionner quand ils modélisent leurs savoir-faire. En résulte une incompréhension des procédures de la part des apprenants. Pour contourner ces difficultés nous avons identifié plusieurs méthodes permettant d'aider à l'élicitation de ces connaissances. Les techniques utilisées traditionnellement en ergonomie (observations, entretiens, mesures oculométriques. . .) mais aussi des techniques de verbalisations spécifiques (anticipée, simultanée, consécutive) et d'enregistrement vidéo (lunettes, casques. . .) étudiées notamment par Lebellu (2010). Une partie de cette étude nous permettra d'analyser l'outil de modélisation utilisé mais aussi de constater si les experts mettent en œuvre une ou plusieurs des techniques répertoriées dans la revue de littérature. Cette étude révélera aussi des besoins et des contraintes à prendre en compte pour concevoir notre outil de capture des connaissances procédurales.

## **6.2 Participants**

12 participants ont été intégrés à cette étude. Ils ont chacun permis d'apporter des informations sur les différents moyens utilisés par Continental Toulouse pour transmettre le savoir-faire. On retrouve ainsi :

- Le responsable de la formation de l'atelier Continental Toulouse
- le responsable de la formation au poste de l'atelier Continental Toulouse
- un formateur en salle et six techniciens apprenants en salle
- un formateur au poste et un technicien apprenant au poste
- Les deux experts Julien PU et Florian Vision, responsable de la modélisation de leurs connaissances

## **6.3 Matériel et procédure**

L'étude a débuté par un entretien semi-directif avec le responsable de formation de l'atelier. La grille d'entretien comportait 11 questions ouvertes. Celle-ci se trouve en annexes. L'objectif était d'identifier le plan de formation, les moyens et les ressources théoriquement mis en œuvre pour transmettre les connaissances. Cet entretien a été réalisé à

l'oral, en session individuelle et dans un bureau dédié. Cet entretien a permis de récupérer de la documentation relative à la formation. Cette documentation a permis d'enrichir la compréhension globale de la formation.

Ce premier entretien nous a conduits à rencontrer le responsable de formation au poste. Nous avons réalisé un entretien semi-directif en 11 questions ouvertes afin de comprendre la finalité de cette formation spécifique. Celle-ci se trouve en annexes. Nous avons encore une fois articulé nos questions autour des moyens, des outils et des ressources utilisées pour la formation au poste.

Nous avons ensuite réalisé deux observations systématiques. Une première auprès d'un expert réalisant une formation en salle pour six apprenants. Les observations ont été menées durant trois journées de 7 heures chacune, soit la durée totale d'une formation. L'observation s'est déroulée dans une salle dédiée. La grille d'observation, jointe en annexes (Cf Annexe 9), visait à répertorier les informations transmises ainsi que les outils et les méthodes utilisés.

La deuxième observation systématique portait sur une formation au poste engageant un formateur et un apprenant. L'observation a été réalisée dans l'atelier de fabrication sur deux sessions de huit heures. La grille prévue pour réaliser ces observations étaient la même que pour la formation en salle. Elle visait à identifier les informations ainsi que les méthodes et les outils utilisés par les formateurs pour enseigner aux apprenants.

Pour finir nous avons réalisé des entretiens libres avec deux experts pour comprendre le processus de création de la base de données des savoir-faire. Chaque entretien était réalisé en session individuelle dans un bureau dédié. L'échange durait une heure et était outillé de l'outil de modélisation des savoir-faire propre à Continental Toulouse.

## 6.4 Résultats

Les résultats seront articulés autour de trois parties. Après une brève introduction, nous commencerons par évoquer le fonctionnement de la formation au poste, aussi appelée formation en binôme. Par la suite nous présenterons la formation en salle. Pour finir nous évoquerons les documents permettant aux apprenants d'obtenir une aide ponctuelle sur

ligne. Nous profiterons de cette partie pour étudier la modélisation de ces documents par les experts d'une part, et leur utilisation par les apprenants d'autre part.

### **6.4.1 Informations générales sur la formation chez Continental Automotive Toulouse**

Un circuit de formation est prévu pour chaque nouvel arrivant. Lorsqu'un opérateur est intégré à l'usine, le plan de formation veut qu'il soit mis en binôme avec un collègue d'expérience pendant 15 jours. C'est ce que l'on appelle formation au poste ou formation en binôme. L'objectif de cette mise sous tutelle est que l'apprenant acquière les bases du métier qui lui permettront de faire fonctionner une ligne de fabrication. Les formations en salle permettent ensuite de transmettre des connaissances plus spécifiques. Au quotidien, n'importe quel opérateur/technicien peut consulter une base de données des connaissances.

D'après un entretien avec le responsable de formation de Continental Automotive Toulouse, la formation en salle permet de former 3200 personnes par an. Pour cela l'atelier dispose de 65 formateurs. Au total on comptabilise 15 000 heures de formation. La formation en doublon correspond « a priori au double ». Dans le règlement le travail en doublon doit représenter au moins 1% du volume horaire global. Dans les faits le responsable de formation estime ce chiffre à 2,5%.

### **6.4.2 La formation en binome**

Pour les responsables de formation, le moyen le plus efficace pour transmettre les connaissances procédurales est de réaliser la formation au poste. C'est aussi ce que montre l'étude de Lane (2006). Leurs retours montrent qu'il s'agit du moyen le plus stimulant à la fois pour les formateurs et pour les apprenants. Ce point s'explique par la mise en situation directe qui est plus motivante pour les apprenants tant dans la réalisation de l'exercice que dans la projection de son utilité. Depuis 2018, les responsables cherchent à structurer et à donner des moyens aux formateurs afin de standardiser la formation et



de s'assurer que chaque nouvel entrant acquiert les connaissances indispensables au bon fonctionnement des lignes.

La formation en binôme demande une organisation particulière. Elle est réalisée sur ligne mais contrairement à ce que son nom indique, elle nécessite de mobiliser trois personnes : le binome formateur-apprenant et un opérateur supplémentaire qui travaille sur ligne afin de permettre aux deux autres de se concentrer sur la formation. Il permet à l'apprenant et au formateur de se détacher de leurs objectifs de rendement, il peut aussi permettre d'illustrer certaines tâches en montrant comment les réaliser in situ. Pour le matériel, cette formation demande bien évidemment de travailler sur des lignes fonctionnelles. Les responsables ont aussi mis à disposition des formateurs des tablettes numériques. Ce sont les formateurs qui les utilisent et non les apprenants. Ces tablettes ont plusieurs utilités. Tout d'abord elles permettent d'accéder au profil de l'apprenant. A partir de ce profil le formateur peut suivre le plan de formation défini par les responsables. En avançant à travers le programme le formateur valide le contenu abordé avec le nouvel arrivant. La tablette fait donc office de validation d'étape, mais permet aussi de visualiser du contenu (images, vidéos, textes, documents...) et de répondre à des questions à choix multiples (QCM). C'est le seul et unique outil de suivi. Cependant l'objectif n'est pas de faire de la tablette l'outil d'apprentissage, la mise en situation sur ligne reste privilégiée et l'illustration via des documents multimédias n'est utilisée que lorsqu'il est impossible de faire autrement (e.g. Explication de la procédure à suivre sur une machine en panne).

Plusieurs éléments sont à retenir de cette observation. Premièrement la méthode employée, la mise en situation, est celle préconisée d'après notre revue de littérature (Lane, 2006). Il est intéressant de constater que les formateurs alternent entre transmission de connaissances et phases de tests. Au-delà des questionnaires prévus, le formateur va s'attacher à mettre en situation l'apprenant afin de vérifier son acquisition mais aussi pour faciliter l'apprentissage. Cette méthode est conseillée par Hatala et al. (2003). Concernant le contenu pédagogique, le plan de formation prévoit une augmentation progressive de la difficulté. L'apprenant commence par acquérir les bases permettant de faire fonctionner une ligne de fabrication. Il va progressivement apprendre le fonctionnement technique de la machine de fabrication avant d'évoquer les procédures à mettre en œuvre en cas d'aléas. Cette structuration est celle préconisée par Leblanc et al. (2008).

Cette formation est très intéressante pour les apprenants et est perçue comme valorisante pour les experts. Cependant, elle demande une organisation importante du fait des ressources humaines sollicitées. Il peut arriver qu'un temps de latence existe entre l'arrivée d'un technicien et sa première formation. Dans ce cas, le technicien dispose de plusieurs solutions. Le travail d'équipe permet de fournir une aide au nouvel arrivant, mais celui-ci dispose avant tout de documents sur ligne pour l'aider dans son travail. Cependant, comme nous le verrons ci-après, ces documents sont problématiques.

### **6.4.3 La formation en salle**

La formation en salle n'est pas systématique. Elle est déclenchée par le superviseur de l'équipe de production. Pour savoir quand demander une formation, il se base sur les indicateurs de performance. Chaque ligne, chaque équipe, chaque opérateur, est suivi à travers des indicateurs de performance. Ces indicateurs sont le rendement, le taux de qualité, le nombre de pannes, le taux d'activité de la ligne, les retours clients... Si les performances sont jugées insatisfaisantes par le superviseur, des formations peuvent être déclenchées pour (re)mettre à niveau les compétences nécessaires au bon fonctionnement d'une ligne ou plus spécifiquement d'un process de fabrication si le problème est bien identifié (e.g. si beaucoup de rebuts sont présents spécifiquement à cause de l'assemblage du boîtier plastique d'un produit).

Le superviseur ne réalise pas lui-même la formation. Un coordinateur de formation est là pour faire l'intermédiaire entre les superviseurs et les experts qui réalisent les formations en salle. Celui-ci va recenser le nombre de nouveaux arrivants qui présentent le besoin d'être formés, et organiser logistiquement la formation avec les experts disponibles. Un autre cas particulier se présente. Si un opérateur a été absent plus de deux mois, alors il est envoyé systématiquement en formation.

On distingue 4 types de formations en salle :

- Méthode : il s'agit de formation dites CBS (Continental Business System). Le but ici est d'apprendre les bonnes méthodes de travail. Ce sont des compétences dites génériques. Ces formations sont réalisées par des externes.

- Habilitations : il s'agit de formations particulières visant à donner une habilitation (électrique, secouriste, incendie, chargé d'évacuation. . .)
- Qualité : les responsables qualités explique comment détecter les bonnes conditions de fabrication.
- Atelier : les formations atelier sont réalisées par des SMPA. C'est ce type de formation qui nous intéresse tout particulièrement car elles sont réalisées en grandes parties par des experts Continental comme ceux que nous avons pu suivre.

Parmi les formations « atelier », on différencie les formations « fabrication » et « maintenance ». Les premières visent à comprendre comment assurer un fonctionnement normal de production. On entend par là l'approvisionnement de la machine et la gestion des entrées et sorties. Les secondes portent davantage sur l'entretien des machines de production. Cela peut aller du plus simple, comme le nettoyage des vitres, au plus compliqué comme le changement d'une pièce ou le diagnostic de panne.



FIGURE 6.1 – salle de formation

Des moyens sont mis à disposition des enseignants. Ils disposent d'une salle équipée d'un vidéo projecteur et de plusieurs tableaux en papier. La capacité de la salle est de 15 personnes.

Les enseignants sont autonomes dans la réalisation de leur formation. Des observations ont pu être réalisées avec un expert. La formation dure 3 jours et le groupe n'excède pas 8 élèves. Avoir plus de participants serait selon lui contre-productif et ne permettrait pas d'accorder le temps nécessaire à chacun. Du point de vue matériel, l'enseignant utilise essentiellement une présentation Powerpoint sur un vidéoprojecteur. Dès que possible, il utilise des pièces usagées tirées des machines de production pour réaliser des mises en

situation autour des opérations de maintenance. De manière générale, le schéma pédagogique suit un ordre précis. L'expert présente la gamme avec le vidéo projecteur. Cette gamme est la même que celle présente sur ligne, c'est-à-dire un document Powerpoint présentant les étapes de réalisation de la tâche. S'en suit une discussion permettant aux apprenants de poser des questions, puis une mise en situation est alors réalisée avec du matériel test. Lorsque cela est possible, la mise en situation peut aussi être réalisée en atelier. Tout le groupe se rend donc sur ligne pour réaliser une opération de maintenance. Nous constatons ici la multiplication des points de vues sur une même tâche (théorique, pratique, échanges...), cela est pertinent si l'on s'en réfère à Hatala et al. (2016) qui avance que cela est bénéfique à l'apprentissage.

Du point de vue du contenu, la structure de la formation était la suivante :

- Les machines de production et de leur logique de fonctionnement
- Les opérations de maintenance
- Les situations particulières (comme des diagnostics par exemple).
- Les fiches réglages des machines de production
- Passation d'un QCM

L'organisation du contenu est très intéressante car elle suit le schéma préconisé par la littérature (Leblanc, 2012). Les connaissances déclaratives sont abordées en premier avec le fonctionnement de la machine, puis sont évoquées les opérations les plus courantes et les plus abordables. Petit à petit l'expert monte en difficulté et aborde les cas particuliers. Pour l'expert, le QCM présente plusieurs intérêts. Il permet aux apprenants de se tester et de récapituler les différents points abordés pendant la formation. De même, s'il a oublié d'aborder un point pendant la formation alors cela lui permet de s'en rendre compte. Après la complétion du QCM, lui et les apprenants revoient chaque question une par une. Il peut alors identifier les incompréhensions et revenir sur celles-ci si besoin. A la fin de la formation l'expert demande au groupe de rajouter une question. Cela lui permet d'avoir un QCM dynamique et à jour. Le grand intérêt de cette étape est aussi d'offrir aux apprenants la possibilité de pointer du doigt un élément qui est intéressant pour eux. Cet intérêt peut émerger d'une difficulté ou d'une criticité pour la bonne réalisation d'une tâche par exemple. Cela permet à l'expert de co-construire sa formation avec les

apprenants. La démarche de questionnement pendant la formation est intéressante si on la met en perspective avec le testing effect (Larsen et al. 2009).

#### 6.4.4 L'outil de transmission sur ligne

Après avoir assisté à une formation, un technicien peut ne pas réaliser une opération pendant de longs mois. Il est donc parfois nécessaire pour lui de bénéficier d'une aide au poste lui permettant de réaliser une tâche difficile. Pour cela les experts ont pour devoir de modéliser leur savoir-faire à travers des « gammes ». Ces gammes sont imprimées et disposées sur les lignes de production. Pour les créer, les experts ne disposent pas d'outil spécifique. Ils utilisent le logiciel PowerPoint. Ils disposent cependant d'un « template », c'est-à-dire un fichier standard à remplir.


Continental®		Équipement :		N° Plan entretien		Mensuel PU RAMPF TETE PU part3		Technicien : A. PERRASCO		Temps alloué: 3H	
74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-20 / 74215-26 74215-36 / 74215-40 74215-41		14787-14791-13300 13301-15283-15147 15362-16270-19078		679							
<div style="display: flex; justify-content: space-around; text-align: center;"> <div>1</div> <div>2</div> <div>3</div> </div> 											
N° opération	Description du mode opératoire						Outillages et consommable	Niveau	Temps		
0	Vérifier que les <u>hélicois</u> sont en bon état => visser un raccords à chaque emplacement, si <u>pb</u> contact MPA										
1	Démonter les 4 vis centrales M4x10 7A00003955200 et nettoyer celles-ci.						Cle BTR de 3	CEA			
2	Sortir l'axe au doigt Sortir le roulement et les cales						Gants	CEA			
3	Nettoyer l'axe						Papier non pelucheux	CEA			

FIGURE 6.2 – Extrait d'une gamme Continental Toulouse

Le document permet de décomposer une gamme en étapes successives. Celles-ci sont décrites dans un tableau (Cf Figure 6.2). On y retrouve aussi les outils et consommables nécessaires. Chaque étape est illustrée par une photo. La partie supérieure des pages est occupée par le titre et par des informations de référencement non relatives à la tâche en elle-même.

Pour créer ces documents les experts mettent en œuvre plusieurs étapes. Ils commencent par réaliser la tâche en étant assisté d'une personne réalisant des photos. Ils se rendent ensuite dans leur bureau et utilisent le logiciel PowerPoint installé sur leur ordinateur. L'expert se base alors sur les photos et sur ses connaissances accessibles pour reconstituer la tâche à réaliser. Si l'on se réfère à la revue de littérature, il paraît cohérent que les utilisateurs rencontrent des difficultés pour modéliser leurs connaissances. Les experts sont contraints de modéliser leurs connaissances de façon décontextualisée. Nous savons, notamment grâce à Anderson (2004), que cela va à l'encontre du fonctionnement des connaissances procédurales. Aucune des méthodes identifiées dans la revue de littérature n'est utilisée pour faciliter l'accès mnésique aux connaissances procédurales. En prenant des photographies, nous pouvons considérer que les experts reproduisent une version dégradée de l'entretien en auto-confrontation de Theureau (2010).

Les entretiens avec les experts ont montré qu'ils n'étaient pas satisfaits de cette méthode de modélisation des connaissances. L'intégration au projet MIMIKS a été grandement influencée par la volonté d'identifier un outil alternatif à PowerPoint permettant de faciliter l'élicitation et la modélisation.

De plus, les documents produits ne semblent pas convenir non plus aux apprenants. S'il n'existe pas de données chiffrées sur l'utilisation effective de ces documents, les entretiens témoignent d'une mauvaise acceptabilité. L'utilisabilité est particulièrement critiquée. Il serait particulièrement difficile de trouver le document souhaité parmi la quantité de photocopiés présents sur ligne. De plus les photocopiés seraient parfois encombrants et peu pratique à utiliser en activité. Comme nous le disions précédemment ces documents sont pourtant une aide précieuse pour les nouveaux arrivants de bénéficiant pas d'une formation. Pour comprendre en quoi ces documents sont difficiles à utiliser pour les apprenants, une étude sera réalisée ultérieurement (Cf Chapitre 8).

## **6.5 Discussion**

Lors de cette étude, nous avons appris que trois méthodes de transmissions étaient utilisées chez Continental Automotive Toulouse. Nous distinguerons la formation au poste et

la formation en salle de l'outil de transmission au poste. Les formations au poste et en salle sont réalisées par des formateurs qui privilégieront les mises en situation à l'utilisation d'outils pédagogiques. La structuration du contenu pédagogique est pertinente (Leblanc & al. 2008). De plus, les chefs d'équipes témoignent d'une amélioration des performances sur ligne après la passation de formation. Les différents acteurs de cette formation sont attachés à son format actuel.

L'outil de transmission sur ligne est différent en cela que l'expert est seul pour créer du contenu, tout comme l'apprenant est seul pour le consulter. Chacun ne bénéficie pas de l'interaction pourtant favorable à l'apprentissage (Lane, 2006). Du côté des experts, sans interaction, et avec un outil hors de l'atelier, il est difficile pour eux de modéliser de façon efficace leurs connaissances procédurales. Du côté des apprenants, cette étude nous a permis d'apprendre que les documents souffrent d'une mauvaise acceptabilité, notamment pour des raisons d'utilisabilité. Il semblerait que les utilisateurs souhaitent aussi sortir du « tout papier » pour bénéficier d'outils numériques plus interactifs.

Dans le cadre du projet MIMIKS, l'objectif est de créer un outil alternatif à l'existant permettant de faciliter la modélisation des connaissances procédurales des experts. Dans un deuxième temps nous chercherons à créer un nouvel outil de transmission sur ligne de ces connaissances. Chaque étude permettra une comparaison avec l'existant.

---

# Conception des outils de capture et de transmission des connaissances procédurales

---

## Résumé

*Avant de présenter les différents tests réalisés sur les outils développés, il est apparu intéressant de les présenter d'abord dans leur globalité afin d'en avoir une vision plus claire. Ce chapitre vise donc à présenter les choix réalisés pour les deux outils en précisant leurs fondements théoriques et empiriques.*

## Sommaire

---

<b>7.1 Objectifs</b> . . . . .	<b>120</b>
<b>7.2 Outil de capture des connaissances procédurales MIMIKS</b> .	<b>120</b>
<b>7.3 Outil de transmission des connaissances procédurales : le K-Player</b> . . . . .	<b>133</b>
<b>7.4 Conclusion</b> . . . . .	<b>138</b>

---



## 7.1 Objectifs

Dans ce chapitre nous présenterons les deux outils principaux que nous avons développés dans le cadre du projet MIMIKS.

La **première partie présentera l'outil de capture MIMIKS**. Celui-ci vise à favoriser l'accès aux connaissances procédurales et à leur modélisation. L'outil MIMIKS n'est pas destiné à la transmission de ces connaissances aux novices.

La **deuxième partie présentera l'outil de transmission des connaissances** que nous avons appelé « K-player » pour "knowledge player".

Pour chacun d'eux, nous rappellerons les concepts théoriques et les informations issues de l'analyse d'activité qui ont permis de réaliser nos choix de conception.

## 7.2 Outil de capture des connaissances procédurales MIMIKS

En étudiant le « savoir-faire » des experts nous avons pu définir l'objet à capturer. Cela nous a aidés à concevoir notre outil. D'un point de vue théorique, Tulving (1987) explique que le savoir-faire renvoie aux connaissances contenues en mémoire procédurale. Ce sont des schémas d'actions, déclenchés sous certaines conditions contextuelles, que l'on met en œuvre de façon automatique, c'est-à-dire sans avoir besoin d'y penser. La nature tacite du savoir-faire le rend difficile à verbaliser, d'autant plus de façon décontextualisée (quand un individu souhaite modéliser son savoir-faire alors qu'il n'est pas sur son poste de travail). Les experts possèdent une quantité de connaissances procédurales bien plus importantes que les novices (Anderson, 2004). C'est notamment ce qui leur permet d'être plus performants. Nous avons aussi constaté que ces connaissances étaient organisées d'une façon bien spécifique. Ils abordent leur activité de façon bien plus opérationnelle et orienté vers un but. Là où un novice s'attachera à des critères de surface (Glaser & Chi, 1988), un expert ciblera son attention directement sur les points qui lui

semblent importants (Cellier et al. 1997). Cela se concrétise par des actions orientés vers un but, même si celui-ci peut être intériorisé et tacite. L'expert inspectera en priorité certaines zones d'intérêt particulièrement critiques pour la réussite d'une tâche (Cellier et al. 1997). Pour finir, la métacognition joue un rôle primordial dans les performances de l'expert (Veenman & al. 1999). Il planifie son activité pour être plus performant mais aussi pour anticiper des aléas éventuels. Il réalise des contrôles pendant la réalisation de la tâche afin de pouvoir être réactif en cas d'aléas, entraînant une régulation de son activité pour atteindre le but souhaité. Pour finir, plusieurs auteurs mettent en avant l'importance des connaissances déclaratives (Bédard & Chi, 1992). En effet il ne faut pas dissocier complètement les connaissances procédurales et les connaissances déclaratives. Une action procédurale réalisée par un expert peut trouver son explication dans ses connaissances déclaratives (e.g. contrôler la température d'un produit chimique car celui-ci réagit au-dessus d'une température). Cet aspect est particulièrement important en situation de résolution de problème, quand l'expert alterne entre schémas d'actions procédurales et pauses réflexives pour analyser et comprendre l'état d'un problème.

L'analyse de l'activité menée au cours de ce projet a confirmé la revue de littérature. Il est difficile pour les experts de modéliser leur savoir-faire de façon exhaustive. D'autant plus que la modélisation est réalisée dans un bureau en dehors de l'atelier de production face à une page blanche d'ordinateur. Les connaissances procédurales étant contextualisées, l'accès mnésique est fortement entravé par ce détachement. Nous avons aussi constaté que les experts mettaient en œuvre les éléments pointés dans la littérature : ils exécutent une succession d'étapes qui ont du sens, il ne faut donc pas se limiter à la composante observable de l'action. D'un point de vue métacognitif nous avons identifié des planifications, contrôles et régulations. Le contrôle revêt une importance toute particulière pendant les opérations de maintenance et les résolutions de problème. Nous accorderons une attention particulière à ce processus lors de la conception de l'outil. Le rôle de l'outil MIMIKS sera aussi d'aider l'expert à éliciter les informations périphériques à son activité mais qui peuvent être des clés à la bonne réalisation des tâches : les outils, EPI, éléments d'organisation, consommables, le travail collectif, les « astuces » non prescrites dans les gammes officielles, les connaissances déclaratives et les points de vigilance. Ces points de vigilance sont très importants pour les experts. Pour rappel il s'agit d'étapes critiques

pour la bonne réalisation d'une tâche. Cette criticité peut passer par la dangerosité de l'étape, sa difficulté, son importance pour le résultat final. . .

De cette revue de littérature nous retiendrons que le premier objectif de l'outil est d'aider l'expert à modéliser les étapes de son activité, les informations périphériques mentionnées ci-dessus (outils, EPI. . . points de vigilance), et les processus métacognitifs, avec une attention particulière portée aux contrôles, notamment visuels.

Pour réaliser des choix de conception, nous avons notamment souhaité nous appuyer sur des modèles utilisés en ergonomie pour analyser l'activité. La difficulté principale réside dans le fait que les experts doivent modéliser leur savoir-faire depuis leur bureau, c'est-à-dire de façon décontextualisé. S'il serait pertinent de modéliser le savoir-faire depuis l'atelier en étant en situation, le bruit mais surtout les interruptions inopinées de la part de collègues rendent cela difficile. De plus l'ordinateur représente leur outil de travail principal et une multiplication des outils numériques n'est pas souhaitée pour l'acceptabilité. Notre priorité était donc de remettre l'utilisateur en contexte d'activité mais depuis son bureau, devant son ordinateur. C'est pour cette raison principale que nous avons décidé de nous appuyer sur l'entretien en auto-confrontation de Theureau (2002 ; 2010). Cette technique est réalisée en trois temps : (1) capture vidéo de l'activité de l'expert, (2) demande de décrire et d'explicitier les différentes tâches qu'il réalise et (3) demander à l'individu d'analyser le pourquoi/comment des tâches. Dans notre cas, l'idée est que l'utilisateur utilise une caméra pour se filmer en réalisant une tâche. Il insère ensuite la vidéo dans l'outil MIMIKS. Cette méthode permet à l'utilisateur de se recontextualiser et ainsi de faciliter l'élicitation des connaissances procédurales. Ainsi depuis son bureau, face à son ordinateur, il peut se réinvestir de la tâche qu'il doit modéliser. De plus, elle permet de se détacher du travail prescrit pour se rapprocher de l'activité réelle et donc, du savoir-faire de l'expert.



FIGURE 7.1 – Vidéo et commentaire pour le recueil des connaissances procédurales

L'outil MIMIKS possède un système d'annotations visant à structurer la vidéo en étapes successives (Cf. figure 8.6). Chacune de ces étapes comporte un début, une fin, un titre et une description. Cette description permet à l'utilisateur de décrire la façon dont il réalise l'action dans la vidéo, mais aussi de lui donner du sens. Nous disposons ainsi d'un premier niveau d'information à mobiliser pour la transmission : les différentes étapes qui composent une tâche globale, composées de la description procédurale de l'action et d'une illustration vidéo.

Cette première brique technologique est la base de notre outil MIMIKS. Cependant l'entretien en auto-confrontation ne consiste pas seulement à laisser l'utilisateur seul face à une vidéo. Traditionnellement un ergonome est présent pour réaliser un entretien et pousser son interlocuteur à aller plus loin dans l'élicitation. Notre contrainte est que l'utilisateur puisse utiliser le l'outil MIMIKS en toute autonomie. Nous avons dû trouver une alternative.

La première solution qui nous est apparue était de simuler une logique d'entretien avec un agent virtuel implémenté dans l'outil MIMIKS. Autrement dit une boîte de dialogues qui pose une série de questions à l'utilisateur afin de le guider dans l'ajout de commentaires. Les premiers brainstormings et focus group avec les utilisateurs ont montré que cette solution posait de gros problèmes d'acceptabilité. Un entretien virtuel avec une boîte de dialogue entraîne deux conséquences problématiques pour les utilisateurs. Les deux sont

liées au principe de contrôle utilisateur de Bastien et Scapin (2007). En imposant à l'utilisateur un entretien avec un agent virtuel, celui-ci perd le contrôle sur la modélisation de savoir-faire. Pour des utilisateurs experts habitués à être pro-actif mais surtout responsables des documents produits, cela est apparu problématique. De plus les utilisateurs perdent le contrôle sur la temporalité d'utilisation. Dans un contexte où les utilisateurs présentent un rythme de travail important et un besoin de réactivité indispensable, les enfermer dans un entretien est trop coûteux. Cette solution a donc été abandonnée.

Pour pousser les utilisateurs à penser à toutes ses informations périphériques primordiales dans son activité, nous nous sommes alors tournés vers le principe de guidage et plus spécifiquement le sous principe d'incitation de Bastien et Scapin (2007). Ce principe consiste à intégrer des éléments d'interface afin de conseiller et d'orienter l'utilisateur dans son interaction avec l'outil. Nous ne voulions pas être textuel afin d'aller à l'encontre du principe de lisibilité (Bastien & Scapin, 2007). Nous avons implémenté des icônes au système d'annotations. Ainsi, à chaque ajout d'annotation, l'utilisateur pense à toutes les informations qu'il peut ajouter.

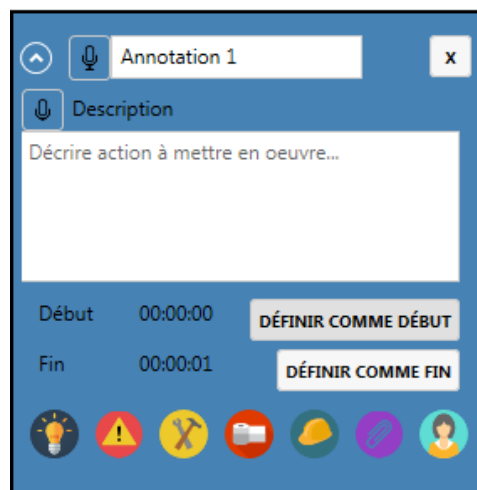


FIGURE 7.2 – Illustrations des différentes catégories

Comme le montre la figure 7.2, les sept icônes ont été implémentées en bas des annotations. On retrouve une icône par catégorie d'information : astuce, point de vigilance, outil, consommable, EPI, pièce jointe et contact.

Astuce

Organisationnelle

Attentionnelle

Manuelle

Autre

FIGURE 7.3 – Catégorie astuce

Les **astuces** sont divisées en plusieurs sous catégories (attentionnelle, manuelle, organisationnelle, autre. . .). Elles permettent d’avoir une meilleure compréhension de l’action, de mieux la planifier et d’avoir connaissance d’éléments facilitateurs que l’expert pourrait utiliser pendant la réalisation de sa tâche. L’objectif est de pousser l’expert à évoquer des éléments métacognitifs liés à son activité. Lorsque l’utilisateur clique sur l’icône, il est invité à compléter des champs textuels.



FIGURE 7.4 – Catégorie point de vigilance

En cliquant sur la catégorie « Points de vigilance » (Cf figure 7.4), l'utilisateur peut expliquer en quoi une étape est critique. La possibilité lui est offerte d'ajouter un média supplémentaire afin d'illustrer ses propos. Cela peut s'avérer particulièrement pertinent quand l'expert veut illustrer une situation à éviter ou une pièce défectueuse. La vidéo illustrant la « bonne pratique », le média supplémentaire peut montrer ce qu'il faut éviter.



FIGURE 7.5 – Catégorie outils

Les catégories « Outils », « Consommables » et « Equipements de protection individuel » (Cf Figure 7.5) se présentent de façon identique. L'analyse de l'activité a montré qu'un objet possédait une dénomination courante, utilisée dans l'atelier, et une référence permettant de l'identifier dans les stocks de l'atelier. Nous avons permis cette double identification dans ces catégories. L'ajout d'une illustration est aussi possible afin de faciliter

l'identification des objets.

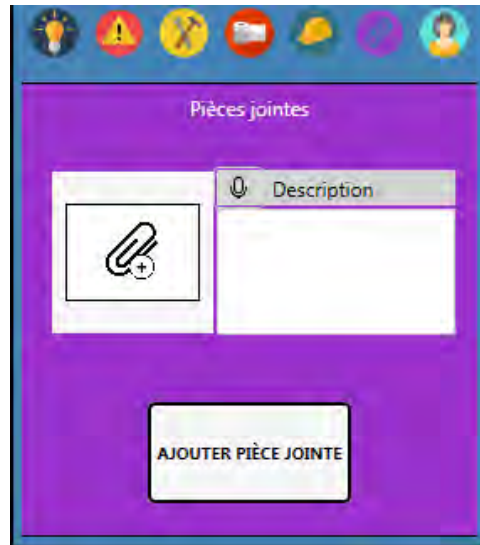


FIGURE 7.6 – Catégorie pièce jointe

La revue de littérature a montré qu'il ne fallait pas dissocier les connaissances procédurales des connaissances déclaratives. Ce postulat a été confirmé par l'analyse de l'activité. L'atelier de production possède de la documentation permettant de comprendre le fonctionnement des machines de production, des produits, des outils... Ces informations permettent parfois de débloquer des situations, notamment lors de la résolution de problème. Cette catégorie (Cf figure 7.6) permet à l'utilisateur d'ajouter de la documentation relative à la tâche et, s'il le souhaite, d'ajouter un commentaire textuel afin de guider l'apprenant.



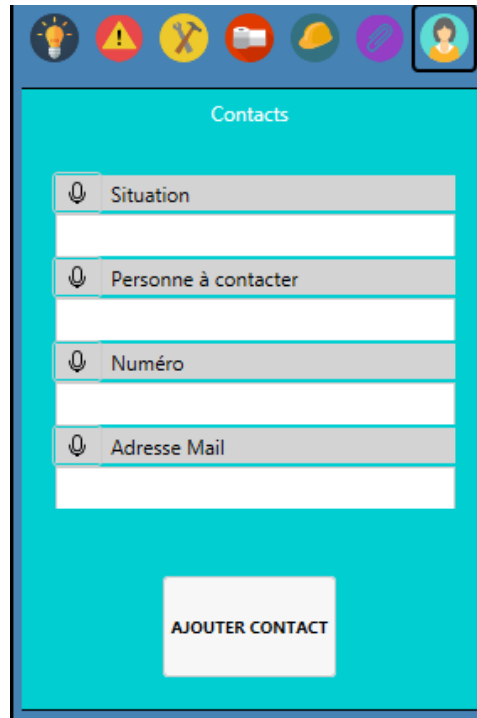


FIGURE 7.7 – Catégorie contact

Un novice doit savoir à quel moment une situation n'est plus de son ressort et qui il doit appeler pour obtenir une aide pertinente. C'est pour cela qu'une catégorie « Contacts » (Cf figure 7.7) a été ajoutée.

Avec ces catégories intégrées dans chaque annotation, nous avons un deuxième niveau d'interface visant à améliorer l'élicitation mais surtout à diversifier et enrichir la nature des informations recueillies. Cependant nous souhaitons aller plus loin. Si pour des raisons d'acceptabilité il était impossible d'imposer un entretien à priori à l'utilisateur, nous avons souhaité tester l'idée d'implémenter un système de questionnement à posteriori et à l'initiative de l'utilisateur. Autrement dit, il s'agit d'un algorithme qui va analyser les informations modélisées par l'expert. Il va ainsi repérer des manques potentiels (e.g. aucun outil mentionné). Un système de notification, semblable à celui des réseaux sociaux, est présent. Un chiffre va s'afficher dans un coin supérieur de l'interface pour indiquer à l'utilisateur qu'il peut activer l'agent virtuel. A sa demande (un clic sur l'élément de notifications, que nous avons appelé « Suggestions »), un agent virtuel va l'interpeler en lui posant une question (présentée en modalité auditive et textuelle).

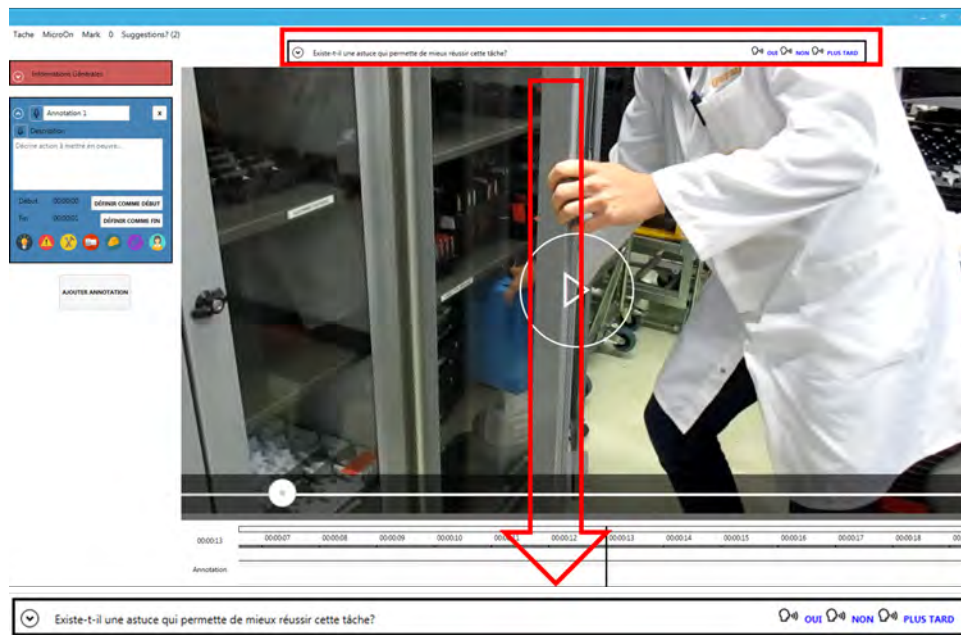


FIGURE 7.8 – Illustration des suggestions dans l’outil MIMIKS

L’agent virtuel ne peut pas savoir si un manque est réel ou pas. Par exemple, si aucun outil n’est mentionné, ce n’est pas nécessairement que l’utilisateur a oublié de les ajouter. Il est aussi possible, tout simplement, que la tâche ne requiert pas d’outil. Ainsi l’objectif n’est pas de forcer l’utilisateur à ajouter des informations mais de l’aider à se questionner. Il conserve un contrôle explicite de son parcours d’utilisation.

Le tableau 7.1 ci-après présente les questions initialement implémentées dans l’outil.

TABLEAU 7.1 – Liste de suggestions

Evènement	Question
Une durée entre 2 annotations est trop longue (ratio sur durée vidéo)	Êtes-vous sûr que rien ne se passe entre ces deux étapes ?
Le titre ou description d'annotation parle d'un outil/consommable qui n'est pas mentionné dans les catégories associées.	Voulez-vous ajouter *nom de l'outil détecté* dans la liste des outils référencés ?
Aucune astuce n'est présente	Existe-t-il une astuce qui permette de mieux réussir cette tâche ?
Aucune pièce jointe n'a été ajoutée	Disposez-vous de document permettant de mieux comprendre cette tâche, la machine ou le matériel ?
Aucun outil n'a été mentionné	Vous n'avez mentionné aucun outil, souhaitez-vous en ajouter ?
Aucun EPI n'a été mentionné	Vous n'avez mentionné aucun équipement de protection, souhaitez-vous en ajouter ?
Aucun contact n'a été mentionné	En cas de problème, faut-il appeler quelqu'un en particulier ?
Aucun point de vigilance n'a été mentionné	Faut-il être particulièrement vigilant durant la réalisation d'une étape de cette tâche ? Laquelle ?

Les questions portent essentiellement sur les catégories que nous avons implémentées. Lorsque la question porte sur une étape en particulier, alors l'annotation associée s'ouvre automatiquement afin que l'utilisateur puisse ajouter une information. Sinon l'information est stockée dans une annotation globale appelée « Informations générales ».

Après avoir développé cet agent virtuel, nous avons souhaité investiguer un processus cognitif hautement mis en valeur par la revue de la littérature et par l'analyse de l'activité : les contrôles visuels réalisés par l'expert. Nous avons alors souhaité tester et améliorer notre système en utilisant un oculomètre en lieu et place d'une caméra classique.



FIGURE 7.9 – Illustration de l’oculomètre utilisé

L’oculomètre (Cf figure 7.9) nous a permis d’implémenter plusieurs fonctionnalités. Premièrement d’ajouter un curseur visuel sur la vidéo. Le curseur indique à l’expert la position de son regard pendant son activité de travail (Cf figure 7.10).



FIGURE 7.10 – Illustration du curseur visuel orange dans la vidéo

Deuxièmement, nous souhaitons réaliser des statistiques afin d’identifier les fixations les plus longues. Pour nous, ces moments peuvent indiquer deux événements : (1) une

action où la charge mentale est plus importante (Stein, 1992), et donc potentiellement un point de vigilance, (2) une action de contrôle. Ainsi les fixations les plus longues sont présentées à l'utilisateur via notre système de suggestions (Cf figure 7.11).

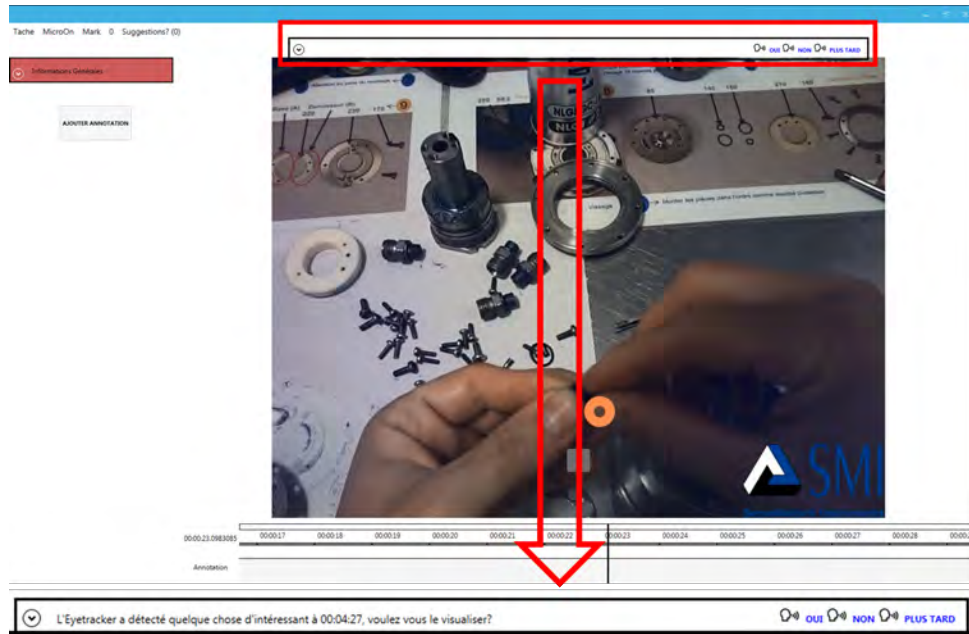


FIGURE 7.11 – Illustration d'une suggestion basé sur l'oculométrie

La présentation des suggestions suit un schéma fixe. Afin que l'utilisateur conserve le contrôle explicite de l'outil MIMIKS, nous lui demandons d'abord s'il souhaite quitter ce qu'il est en train de visionner pour se rendre au moment de la vidéo où la fixation est longue. Il est alors questionné sur ce moment spécifique de la vidéo afin de savoir s'il réalise une action non mentionnée jusqu'alors.

Comme nous l'avons vu dans la revue de littérature, d'autres mesures statistiques existent pour mesurer la charge mentale via l'oculométrie (e.g. diamètre pupillaire...). Cependant celles-ci requièrent des environnements contrôlés et une intervention humaine pour réaliser les calculs, ce qui n'est pas possible si l'on souhaite que l'utilisateur puisse utiliser le système en toute autonomie.

## 7.3 Outil de transmission des connaissances procédurales : le K-Player

Notre objectif était de concevoir et d'évaluer un environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH). Tchounikine (2002) définit les EIAH comme des environnements conçus dans le but de favoriser l'apprentissage humain. Selon la théorie de la charge cognitive (Sweller, 2003), l'apprentissage repose sur la mémoire à long terme et la mémoire de travail. Cependant cette mémoire de travail est limitée. L'auteur distingue trois types de charges cognitives :

- la charge intrinsèque : il s'agit de tous les éléments à traiter simultanément, leur mise en relation ainsi que l'ensemble des connaissances préalables de l'individu.
- La charge essentielle : il s'agit là des traitements relatifs à l'apprentissage, comme la construction et l'automatisation de schémas de connaissances.
- La charge extrinsèque : correspond aux charges cognitives qui ne sont pas directement liées à l'apprentissage mais au support de ce dernier. Comme par exemple des problèmes au niveau de la mise en forme du document. Il s'agit en fait des ressources nécessaires pour utiliser le support. Cette charge est incompressible, il est donc important que le support soit peu exigeant pour ne pas entraver les autres charges.

La mémoire de travail étant limitée, la charge cognitive doit être contenue. Le levier d'action dans une démarche de conception est la charge extrinsèque, relative à l'IHM. Mayer (2001) a permis de donner des pistes quant aux éléments favorables à la réduction de la charge extrinsèque.

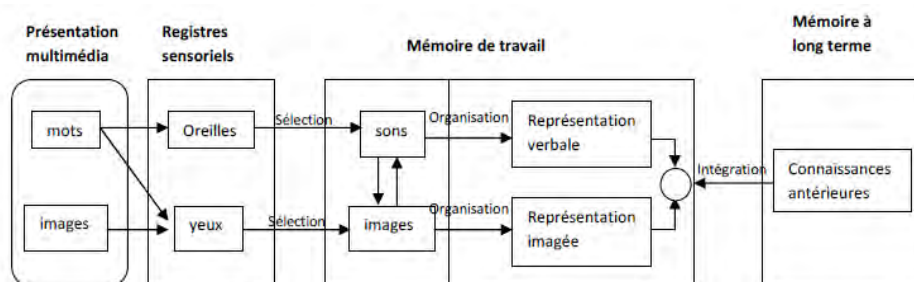


FIGURE 7.12 – le modèle du fonctionnement cognitif humain adapté à l'apprentissage multimédia (Mayer, 2001)

Mayer (2001), de par ses fondements théoriques, propose un modèle très proche de celui de Sweller (2003). En effet on y retrouve aussi le problème de la capacité limitée de la mémoire de travail ainsi qu'un système de traitement divisé. Selon lui le développement des modèles mentaux imagés et verbaux se fait donc en trois étapes : L'individu va sélectionner les éléments qui lui semblent pertinents, les organiser et intégrer l'information avec les connaissances antérieures. Dans ce modèle le traitement du document implique, comme dans le modèle de Sweller (2003), trois types de charges cognitives :

- La charge impliquée par l'apprentissage. Celle-ci fait penser aux charges intrinsèque et essentielle du modèle de Sweller (2003).
- La charge due aux processus incidents (ceux dus à la forme du document). Ici on est proche de la charge extrinsèque.
- La charge impliquée par le maintien d'une représentation en mémoire de travail.

Ce modèle a permis de mettre en évidence plusieurs effets :

- L'effet de modalité : lorsqu'une information est présentée avec plusieurs modalités sensorielles (auditive et visuelle) la compréhension est meilleure.
- Effet de redondance : l'effet de modalité n'apparaît que si les informations sont complémentaires, le cas échéant une seule modalité sensorielle est suffisante et en présenter plusieurs entraîne une surcharge cognitive nuisant à la compréhension.
- L'effet multimédia : nous apprenons mieux avec un document texte et image qu'avec un document uniquement textuel.
- Le principe de cohérence : le texte accompagnant une image ne doit pas apporter plus d'informations que celle-ci mais aider à l'individu à cibler les éléments importants.
- L'effet d'interactivité des éléments : les effets de redondance, de partage de l'attention et de modalité n'apparaissent que si le nombre d'informations à traiter est très important.
- La réduction de l'effet de partage de l'attention : quand une modalité sensorielle est intégrée à une autre, le traitement de l'information est facilité car le partage de l'attention est réduit. On pense par exemple à un schéma en biologie ou les informations écrites sont intégrées.
- L'interaction entre le format multimédia et l'expertise du lecteur : l'effet de réduc-

tion de l'effet de partage de l'attention ne se retrouvera que chez les sujets novices, les experts eux obtiennent de meilleures performances lorsque le format n'est pas intégré.

Nous verrons ci-après, à travers la présentation de l'outil, que chacun de ces principes a été appliqué dans la conception de notre interface.

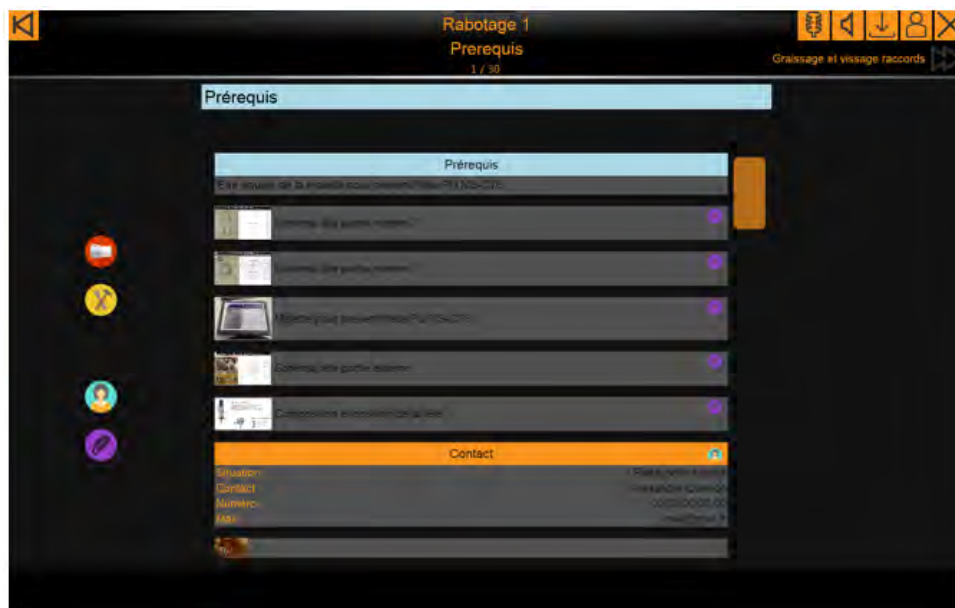


FIGURE 7.13 – Les pré requis sur le Kplayer

Lorsqu'une tâche est sélectionnée par le novice, l'interface présente d'abord à l'utilisateur les « pré requis » (Cf. figure 7.13). Il s'agit d'éléments qui permettent une meilleure compréhension de la tâche à réaliser (e.g. des documents d'entreprise décrivant le fonctionnement de la machine sur laquelle porte l'opération de maintenance). On retrouve aussi dans ces pré requis les outils, EPI et consommables dont va avoir besoin l'utilisateur pour réaliser la tâche ainsi que les personnes à contacter en cas de problème.

Lorsque l'utilisateur passe à la page suivante, il entre alors dans la phase lecture de la gamme vidéo (Cf. figure 7.14). La gamme vidéo retranscrit les informations modélisées avec l'outil de capture MIMIKS. Elle est donc découpée en étapes successives que l'utilisateur mettra en oeuvre afin de réaliser l'action.



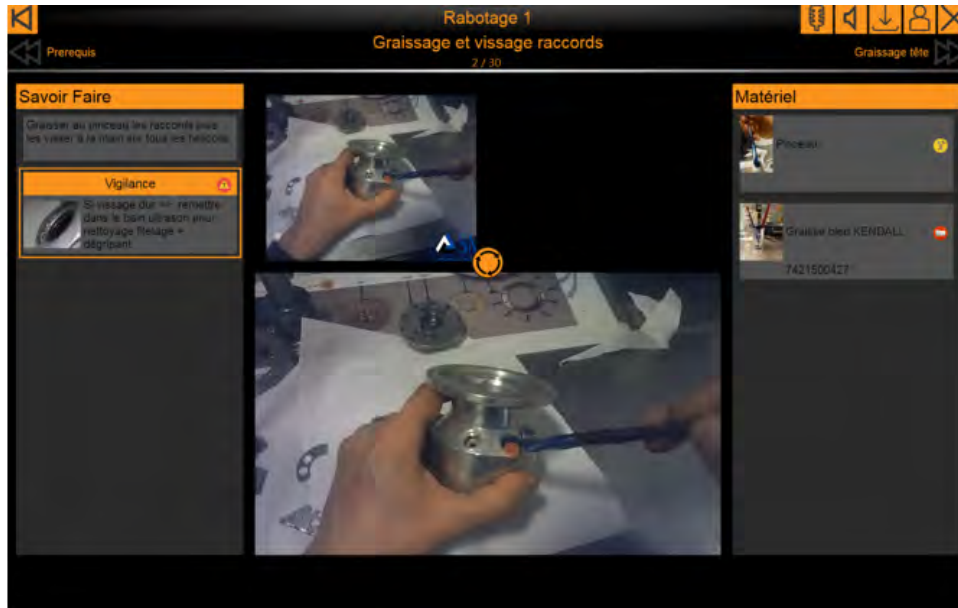


FIGURE 7.14 – interface du Kplayer

L'interface principale de lecture de gamme (Cf. figure 7.14) a été conçue pour s'affranchir au maximum d'éléments inutiles à la compréhension de la tâche. Elle est centrée sur la vidéo. Il est possible d'afficher trois fenêtres vidéo afin de permettre plusieurs points de vue sur une même action. Le processus de création de contenu impliqué par le K-player (l'utilisation de l'éditeur de vidéo MIMIKS) implique un point de vue à la première personne qui intègre un curseur indiquant la position du regard. Cela permet notamment à l'utilisateur de comprendre comment inspecter visuellement son environnement.

La vidéo est accompagnée de texte (effet de modalité). Afin de minimiser tout effort dans la recherche de l'information, celles-ci sont systématiquement disposées de la même façon. On retrouve les éléments d'actions à gauche (description de l'action, point de vigilance et astuces) et les informations matérielles à droite (outils, consommables). Chaque information textuelle est présentée avec une illustration (effet multimédia). Tous les éléments sont intégrés dans l'écran afin de limiter l'effet de partage de l'attention impliqué par une navigation dans plusieurs niveaux d'interface.

Chaque élément de l'interface est cliquable afin de zoomer dessus. Pendant le zoom une voix off lit les informations associées. Par exemple si l'on clique sur le matériel, les photos illustrant les outils défilent en plein écran pendant que la voix donne les noms et références.

Une grande partie des interactions sont possibles avec la voix. L'utilisateur peut ainsi

changer d'étape, mettre en pause la vidéo, demander la lecture textuelle d'une catégorie ou de zoomer sur l'une d'elles avec la voix. Cela permet notamment à l'utilisateur d'utiliser l'outil pendant qu'il réalise la tâche (et donc avec des mains indisponibles pour l'interaction).

A chaque fois que l'utilisateur débute une nouvelle étape, le schéma suivi par le K-Player est le même. Une voix off lit l'action principale à réaliser. La vidéo ne commence à se lire que lorsque la voix off a terminé afin d'éviter une surcharge cognitive liée à la gestion de deux informations en même temps.

Il est à noter qu'un cas particulier peut se présenter : lorsqu'une étape présente un point de vigilance, le déroulement est un peu altéré.

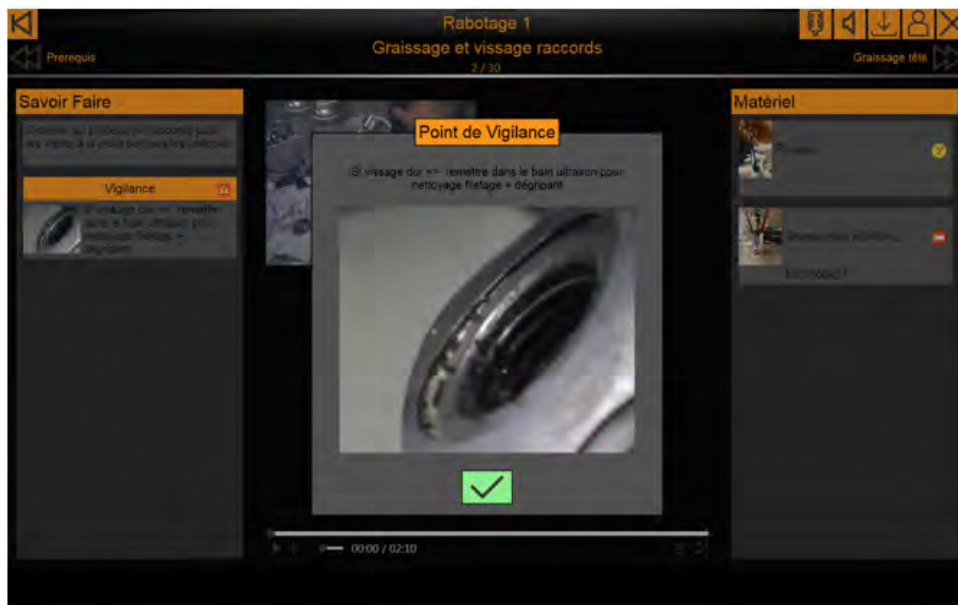


FIGURE 7.15 – point de vigilance sur le Kplayer

Pour les formateurs, les points de vigilance représentent des éléments critiques pour la bonne réalisation de la tâche. Il était donc primordial que ces derniers soient bien pris en compte. Lorsque l'apprenant entame une étape avec un point de vigilance, une « pop-up » s'affiche et zoome sur celui-ci (CF. figure 7.15). Une voix off lit la description du point de vigilance et l'utilisateur doit valider pour reprendre le schéma habituel de lecture de l'étape (lecture description puis vidéo). Ainsi nous sommes assurés que l'utilisateur n'occultera pas une étape critique.

## 7.4 Conclusion

Cette partie a permis de présenter les outils réalisés tout au long du projet MIMIKS. Ces derniers sont le fruit d'une réflexion basée sur la revue de littérature mais aussi sur les retours et les échanges réalisés avec les utilisateurs.

Dans un souci de compréhension, les outils ont chacun été présenté dans leur globalité. Pourtant ils sont issus d'une démarche itérative qui a permis de diriger les choix tout au long de la conception. La partie suivante vise à présenter les tests utilisateurs réalisés tout au long de la conception de ses outils.

---

# Evaluation : les expériences menées tout au long de la thèse

---

**Résumé**

*Dans ce chapitre, nous présenterons les différents plans d'expérience mis en place dans le cadre du projet MIMIKS. Il est important de rappeler que ces expériences se sont inscrites dans un processus de conception centrée utilisateur exploratoire. Elles visaient donc à produire des connaissances sur la problématique de la capture et la transmission des connaissances procédurales, mais aussi à piloter la conception des systèmes. Cela implique des conditions parfois "dégradées" dans le sens où le logiciel pouvait présenter des problèmes techniques. Nous verrons donc au fur et à mesure des itérations l'évolution du système et l'impact des changements sur l'acceptation et les performances.*

**Sommaire**

---

<b>8.1</b>	<b>Evaluation de l'outil de capture MIMIKS</b>	<b>140</b>
8.1.1	Objectifs	140
8.1.2	Rappel introductif	140
8.1.3	Participants	143
8.1.4	Matériel et procédure	143
8.1.5	Résultats	146
8.1.6	Synthèse des résultats	158
8.1.7	Préconisations	161
<b>8.2</b>	<b>Evaluation du K-Player</b>	<b>164</b>
8.2.1	Participants	167
8.2.2	Matériel et procédure	167
8.2.3	Résultats	170
8.2.4	Synthèse des résultats	177
8.2.5	Préconisations	180

---

## 8.1 Evaluation de l'outil de capture MIMIKS

### 8.1.1 Objectifs

Ce chapitre vise à présenter l'évaluation de l'outil MIMIKS. Dans la première partie, nous rappellerons rapidement des concepts théoriques et éléments issus de l'analyse d'activité qui nous ont permis de réaliser nos choix méthodologique. Nous évoquerons notamment les concepts relatifs à la conception centrée utilisateur et à l'évaluation de l'acceptabilité d'un outil. Cette partie se terminera avec la présentation de nos attentes.

Dans la deuxième partie nous détaillerons la méthodologie suivie. La conception de l'outil a nécessité quatre itérations. Nous commencerons par présenter les mesures communes aux quatre itérations. Nous préciserons ensuite les spécificités propres à chacune.

Dans la troisième partie nous présenterons les résultats. En suivant la logique de la méthodologie suivie, nous commencerons par présenter les résultats spécifiques à chaque itération. Nous reviendrons ensuite sur nos attentes initiales afin de comprendre en quoi nous les avons atteintes.

La dernière partie permettra de présenter les préconisations qui ont été réalisées à la suite de ses quatre itérations.

### 8.1.2 Rappel introductif

Le développement de l'outil MIMIKS s'est inscrit dans une démarche de conception centrée utilisateur (Danielou, 2005). D'un point de vue méthodologique, elle repose sur l'étude de cas (Leplat, 2002). L'étude de cas est définie par Leplat (2002) comme une méthode d'investigation située où l'on cherche à identifier les conditions externes (organisation de travail, objectifs, environnement...) et internes du sujet (connaissances, expérience, caractéristiques physiques...). Ce choix est apparu d'autant plus pertinent que peu d'experts étaient disponibles pour participer au projet, mais pas seulement. L'étude de cas permet une profondeur de traitement et d'analyse parfaitement adéquate avec une démarche exploratoire propre au développement d'un outil novateur. Si les données recueillies sont situées et donc, moins généralisables, elles sont riches en informations pour piloter la conception itérative d'un nouvel outil. Dans notre cas cela a commencé dans

l'étude précédente avec l'analyse d'activité des experts. Nous avons poursuivi cette démarche à travers la conception de l'outil. Ainsi les utilisateurs ont été concertés dans les choix de conception (à travers des présentations de maquettes, des focus group, des brainstormings. . .) mais aussi dans l'évaluation de l'outil au fur et à mesure de ses quatre évolutions. L'évaluation s'est articulée autour de deux thèmes principaux : l'acceptabilité et la performance d'élicitation.

**Notre premier objectif était de créer un outil acceptable, utile et utilisable pour l'utilisateur.** L'acceptabilité est la résultante de la combinaison entre utilité et utilisabilité. Pour rappel l'utilité renvoie à l'adéquation entre le(s) but(s) de l'utilisateur et la finalité de l'outil (Tricot, 2003). L'utilisabilité est le degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié (norme ISO 9241-11). L'utilité est directement impactée par l'utilisabilité. Un outil impossible à utiliser est inopérant et donc, inutile. Dans le cadre de ce projet nous avons décidé d'utiliser un questionnaire développé sur la base du modèle de Venkatesh et Bala (2008). Celui-ci est particulièrement intéressant car il permet d'évaluer un outil innovant encore inconnu pour l'utilisateur. Il s'articule autour de deux thèmes : l'utilisabilité et l'utilité. Il est composé de questions avec réponses sous forme d'échelle de Likert. Pour nous l'intérêt était d'utiliser un questionnaire suffisamment générique pour être appliqué tout au long de la conception de l'outil malgré ses évolutions.

**Notre deuxième objectif était de créer un outil permettant d'améliorer l'élicitation des connaissances procédurales des experts au travail.** La question de comment mesurer les performances d'élicitations s'est rapidement posée. En effet aucun modèle théorique ne permet de mesurer l'élicitation des connaissances procédurales. De plus il est impossible de fixer une référence à atteindre pour identifier si l'expert a éliciter l'intégralité de ses connaissances procédurales. Nous avons donc cherché à créer notre propre méthode, et l'étude de cas nous a permis de créer une grille d'évaluation.

En effet les observations et l'étude de la documentation ont montré que des « gammes » avaient été créées par des experts. Nous avons donc décidé de nous servir de ces gammes comme références et d'évaluer la différence entre les deux productions pour une même tâche. Nous nous intéressons donc à l'amélioration de l'élicitation des connaissances pro-

cédurales par rapport à l'existant, et non pas par rapport à l'intégralité des connaissances procédurales que l'expert possède réellement, ce qui est impossible à mesurer. Pour évaluer et comparer les deux productions (la gamme et la modélisation avec l'outil MIMIKS), il nous restait à définir un outil de mesure. Pour cela nous nous sommes encore une fois basé sur l'apport de l'étude de cas et de l'analyse d'activité pour construire une grille sur mesure. Nous ne souhaitons pas comparer simplement une quantité d'informations. Nous avons donc construit une grille permettant de comptabiliser les informations et d'en identifier leur nature. Celle-ci est organisée de sorte à ce qu'une information ne puisse pas se retrouver dans deux catégories différentes. La grille s'articule autour des actions, des outils, des consommables, des EPI, des contrôles et des connaissances déclaratives. Les contrôles renvoient aux contrôles visuels, auditifs, olfactifs ou tactiles que peuvent réaliser les experts pendant la réalisation d'une tâche. Cette grille est fortement ancrée dans notre contexte et nous a permis de couvrir tous les types d'informations que nous avons pu rencontrer lors de nos expérimentations.

L'outil de capture des connaissances procédurales a été évalué tout au long de sa conception. Nous comptons quatre itérations principales. Lors de celles-ci les experts ont été confrontés à l'outil à travers des tests utilisateurs. Ces tests consistaient à éliciter leur savoir-faire sur la base d'une vidéo de leur activité. Nous mesurons ensuite l'utilisabilité, l'utilité et l'acceptabilité de l'outil à travers un questionnaire et un entretien. Puis nous évaluons à posteriori la performance d'élicitation en comparant la production avec la documentation existante.

Nos attentes portaient sur une amélioration de l'acceptabilité, utilité et utilisabilité de l'outil à travers les différentes itérations. Du côté des performances, nous nous attendions à une augmentation de la quantité d'informations obtenues avec l'outil en comparaison avec l'existant. Nous supposons aussi un impact positif de l'outil sur la diversité des informations obtenues. C'est-à-dire que nous nous attendions à capturer davantage d'informations périphériques (e.g. outils. . .) et propres aux actions métacognitives (contrôles. . .).

### 8.1.3 Participants

Trois participants au total ont participé aux expérimentations. Nos deux experts présentés précédemment et un autre expert venu enrichir notre étude suite à un problème de disponibilité des deux participants initiaux.

Julien PU est Spécialiste Maintenance Procédé Atelier (SMPA) de 43 ans qui travaille principalement sur les process de coulée de pâte polyuréthane. Après 18ans d'expérience, c'est un expert qui est responsable de la production de contenu pédagogique sur ses process.

Florent Vision est un Spécialiste Maintenance Procédé Atelier (SMPA) de 34 ans qui travaille principalement sur les process de vision. Après 14ans d'expérience, c'est un expert qui est responsable de la production de contenu pédagogique sur ses process.

Thomas PU est Chargé de Maintenance Procédé Atelier (CMPA). S'il n'est pas responsable de la création des gammes, il est reconnu par ses pairs comme un expert des tâches que nous avons été amenés à utiliser lors de nos tests utilisateurs. Pour cause celui-ci est amené à réaliser des opérations de maintenance tous les jours. Il est celui qui réalise le plus souvent ces opérations et, avec Julien PU, est considéré comme un expert des machines de dépose polyuréthane.

Suivant les disponibilités, les experts n'ont pas tous participé à chaque itération (Cf tableau 8.1). Ci-dessous se trouve la répartition des participants à travers les différentes études.

TABLEAU 8.1 – répartition des participants à travers les quatre itérations

Itération	Julien PU	Florent Vision	Thomas PU
1	Présent	-	-
2	-	Présent	-
3	Présent	-	-
4	Présent	Présent	Présent

### 8.1.4 Matériel et procédure

Toutes les études (ou itérations) ont été réalisées sous forme de test utilisateur. L'objectif était de confronter l'utilisateur à une version de l'outil afin d'en évaluer son acceptabilité et son apport pour l'élicitation des connaissances procédurales. Les tests utilisateurs







comportaient trois phases : l'enregistrement vidéo, la création d'une gamme avec l'outil MIMIKS, l'évaluation.

**La phase d'enregistrement vidéo** - Les tests requéraient que nous réalisions au préalable un enregistrement vidéo d'une tâche de l'activité du participant. Cette vidéo a été réalisée à l'aide d'une caméra frontale permettant un point de vue à la première personne, conformément à ce qui était préconisé par Lebellu (2010). L'évaluation de la phase d'enregistrement vidéo n'a pas fait l'objet d'une étude. La quatrième itération était particulière dans le sens où elle marque l'implémentation de l'oculométrie. Ainsi l'enregistrement a été réalisé avec un oculomètre SMI sous forme de lunettes filaires relié à un smartphone Android Samsung Galaxy Note 4. Les caractéristiques de ce matériel se trouve en annexes (cf Annexe 9). Nous avons choisi cet oculomètre car il présente l'avantage d'être mobile et peu encombrant. Un entretien semi-dirigé a été réalisé afin de recueillir l'expérience utilisateur de l'enregistrement avec l'oculomètre. Cet entretien abordait l'expérience sur plusieurs points que nous souhaitions évaluer :

- Le temps d'installation
- La facilité de l'installation
- L'encombrement induit par l'oculomètre et le téléphone
- La gêne de l'outil dans la réalisation de la tâche
- La gêne de l'outil pour la vue
- La chaleur produite par les lunettes

**La phase de création de gamme avec l'outil MIMIKS** - Les sessions étaient individuelles. Chaque test a été réalisé avec un ordinateur portable Dell de 13 pouces équipé d'une souris filaire, dans le bureau de l'expert. Selon les itérations, les fonctionnalités testées n'étaient pas les mêmes.

TABLEAU 8.2 – Fonctionnalité testée par itération

Itération	Fonctionnalité testée	Illustration
1	Editeur de vidéo de base avec système d'annotation	
2	Ajout de l'incitation via les icônes d'informations périphériques	
3	Ajout du système de suggestion	
4	Utilisation du système avec l'oculomètre	

La première itération a permis de tester la fonctionnalité de base, à savoir ajouter des annotations pour commenter la vidéo. Les autres fonctionnalités n'avaient pas été développées à ce moment-là. Lors de la deuxième itération, seul le système d'informations

périphériques a été implémenté. La troisième itération a permis d'intégrer le système de suggestions. Pour finir, nous avons testé l'apport de l'oculométrie grâce à la quatrième itération. Il est à noter que la fiabilité et l'esthétique de l'outil a pu évoluer à travers le développement de l'outil et donc, à travers les itérations.

A chaque itération l'ordinateur, avec l'outil MIMIKS et la vidéo chargée, était présenté à l'utilisateur. Il lui était alors demandé de créer une gamme. Il lui était spécifié qu'aucune aide ne lui serait apportée hors problème technique et élément bloquant.

**L'évaluation** – La phase d'évaluation commençait quand le participant signifiait qu'il avait terminé d'éditer la vidéo. Il répondait alors à un questionnaire issu du modèle de Venkatesh et Bala (2008). Ce questionnaire comporte deux thèmes, l'utilisabilité et l'utilité, comportant six questions chacun. La grille se trouve en annexes. Le participant devait répondre à chaque question en se situant sur une échelle de Likert allant de « Complètement en accord » à « Complètement en désaccord ».

Suite à la complétion du questionnaire, l'opérateur était invité à reprendre chaque item lors d'un entretien ouvert avec l'expérimentateur. L'objectif visé était d'obtenir des informations supplémentaires à mettre en lien avec les résultats du questionnaire afin de mieux interpréter les résultats. Il s'agissait aussi pour nous d'obtenir des retours permettant d'orienter le développement de l'outil.

Suite à cet entretien le participant était libéré. Sa production était alors comparée avec la gamme existante à l'aide d'une grille d'évaluation qui se trouve en annexes (Cf Annexe 9). Cette grille visait à compter les actions, les outils, les consommables, des EPI, les contrôles sensoriels et les connaissances déclaratives. Les contrôles sensoriels renvoient aux contrôles visuels, auditifs, olfactifs ou tactiles que peuvent réaliser les experts pendant la réalisation d'une tâche.

### 8.1.5 Résultats

Nous commencerons par exposer les résultats par itération. Nous les synthétiserons ensuite dans un tableau afin d'avoir une vue d'ensemble. Puis nous discuterons nos objectifs et détermineront si ces derniers ont été atteints totalement, partiellement ou ne l'ont

pas été.

### 8.1.5.1 Itération 1 : éditeur vidéo



FIGURE 8.1 – Interface de l’outil MIMIKS V1 avec système d’annotations simples

Pour rappel, la première itération (Cf Figure 8.6) visait à évaluer le système d’annotation vidéo.

TABLEAU 8.3 – scores d’acceptabilité de la première itération (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable)

Partie	Moyenne test 1
Utilisabilité	2.5
Utilité	2.3

Comme cela est montré dans le tableau 8.3, la moyenne de résultat du score d’utilisabilité est de 2,5 et celle du score d’utilité de 2,3. Le test a été marqué par des problèmes techniques, qui ont frustré l’utilisateur au point de le faire abandonner la tâche. Il n’a donc pas fini de la commenter, estimant qu’en l’état « *on ne pouvait pas correctement commenter la vidéo* ». Cela explique les mauvais scores d’acceptabilité (Cf tableau 8.3). Les scores et l’abandon de la tâche montrent que les objectifs n’ont pas été atteints sur

cette première itération. Cependant l'entretien post test a permis de confirmer que l'éditeur de vidéo restait une piste intéressante à suivre. L'utilisateur expliquant qu'il était « *bien moins pénible de commenter une vidéo que de réaliser un PowerPoint* », notamment parce que l'on ne se pose pas la question de savoir si l'on a oublié quelque chose ou pas. Si les problèmes techniques ont entaché les scores et d'utilité, Julien PU a néanmoins fait des retours très intéressants et suggéré des améliorations à apporter pour rendre l'outil plus utile. Celles-ci portent sur le format des annotations. Rappelons que lors de cette itération le système permettait de rattacher un titre et un corps de texte à une portion de la vidéo afin d'expliquer l'action réalisée. Selon lui ce champ textuel seul ne permettait pas de structurer correctement l'information. Ce retour a nourri la réflexion autour des catégories d'informations que nous souhaitions déjà ajouter.

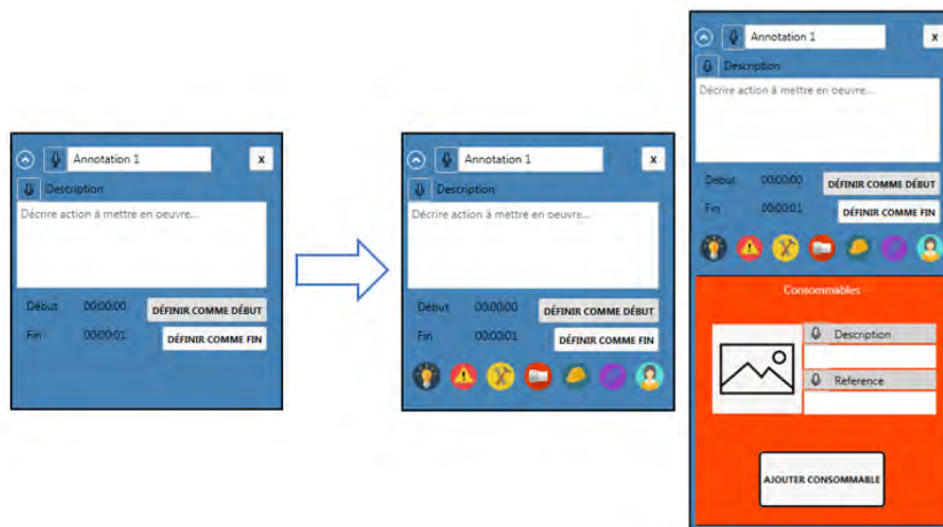


FIGURE 8.2 – Evolution apportée grâce à l'itération 1

La figure 8.2 illustre l'évolution permise par la première itération, avec un système de structuration de l'information qui permet aussi d'inciter l'utilisateur à ajouter certaines catégories d'informations.

### 8.1.5.2 incitation par les icones d'informations



FIGURE 8.3 – Interface de l'outil MIMIKS V2 avec système d'annotations enrichies

Pour rappel, la deuxième itération visait à étudier l'impact de l'intégration du système d'incitation par les icones d'informations.

TABLEAU 8.4 – scores d'acceptabilité de la deuxième itération (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable)

Partie	Moyenne test 2
Utilisabilité	5.6
Utilité	5.8

Comme le montre le tableau 8.4 les scores ont augmenté entre la première itération et la deuxième. L'utilité est passée de 2,3 à 5,8 pendant et l'utilisabilité de 2,5 à 5,6. Les retours sur l'acceptabilité de l'outil ont été très bons (Cf tableau 8.4) en utilisabilité comme en utilité. L'utilisateur a insisté sur la facilité de prise en main comparée à l'outil utilisé jusqu'alors dans l'atelier (rappel : le logiciel PowerPoint). L'ensemble de la procédure (enregistrement vidéo et ajouts annotations) a duré 30 minutes. L'utilisateur estime à 2h le temps de réalisation d'une gamme avec Powerpoint. Le participant pointe spontanément la vidéo comme avantage principal. Elle induirait deux avantages : (1) mnésique, l'utilisateur n'a pas à réfléchir pour se récupérer en mémoire ses connaissances, la vidéo permet un rappel; (2) technique, la vidéo permet aussi d'éviter des allers retours dans

l'atelier : lorsque l'expert réalise un PowerPoint il utilise des photos. Hors des photos peuvent manquer, là où une vidéo capture forcément toute la tâche.

Selon l'utilisateur la nouvelle structure des annotations induit un confort d'utilisation : il n'a pas à créer de tableau ou de schéma pour intégrer des informations complémentaires.

Compte tenu des scores et des informations issues de l'entretien, nous avons conclu que les objectifs de la deuxième itération étaient partiellement atteints, mais qu'une marge de progression était existante.

TABLEAU 8.5 – performance d'élicitation du savoir-faire (nombre d'informations spécifiques énoncées par catégorie) de la deuxième itération

Test	Actions	Outils	Consommables	EPI	Perception	Connaissance déclarative
Outil standard	8	3	0	0	0	0
Outil MIMIKS V2	12	4	0	0	0	0
Gain (%)	+4 (50%)	+1 (33%)	=	=	=	=

Comme le montre le tableau 8.5, le logiciel a permis une augmentation du nombre d'informations recueillies. L'utilisateur a mieux décrit ses actions (12 avec l'outil MIMIKS contre 8 avec l'outil standard) et mentionné un outil supplémentaire (4 avec l'outil MIMIKS contre 3 avec l'outil standard). A noter que l'ensemble des éléments présents dans la gamme de base se retrouvaient dans la gamme créée avec le logiciel MIMIKS, il n'y a donc aucune perte. Ci-après se trouve le détail des actions et outils.



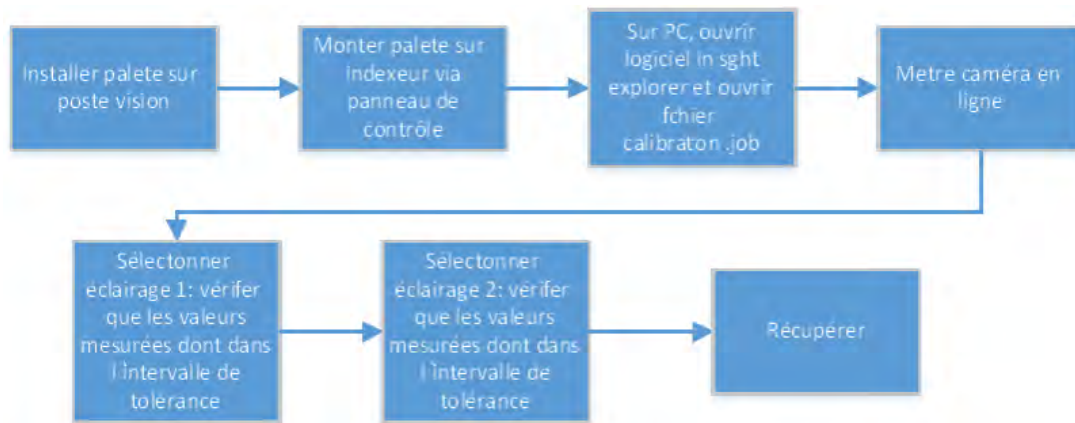


FIGURE 8.4 – performance avec outil standard

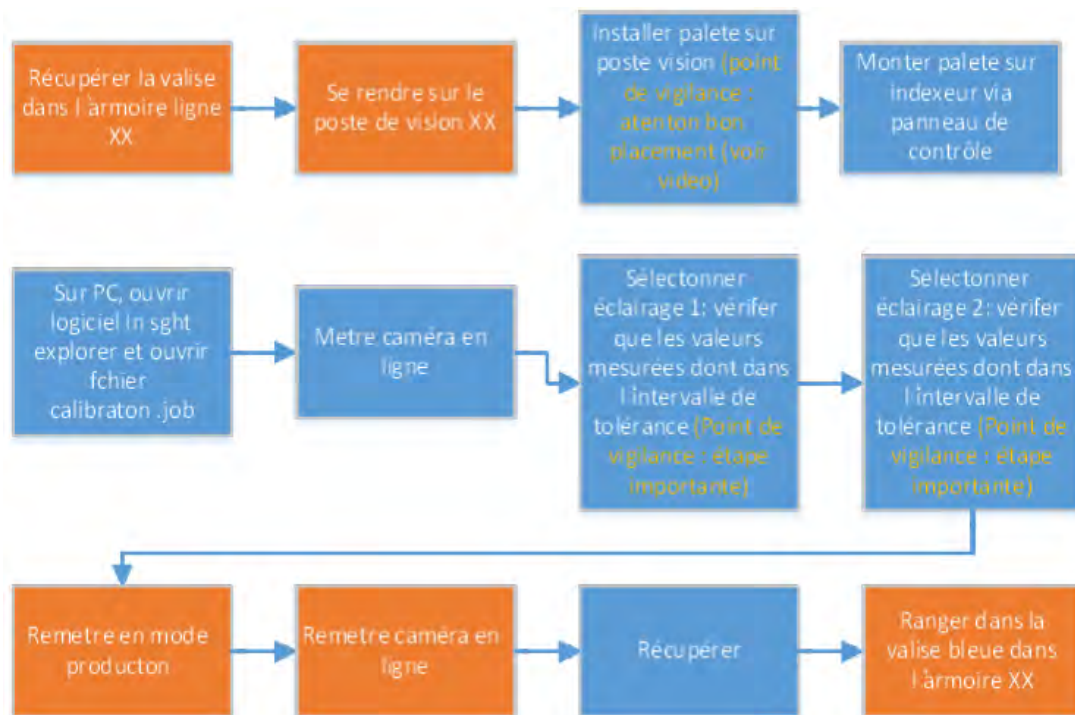


FIGURE 8.5 – performance avec outil MIMIKS

En comparant les figure 8.4 et 8.5 nous pouvons analyser en détail l'apport du logiciel MIMIKS. Les cases oranges renvoient à de nouvelles étapes. Au sein de certaines étapes des informations ont été ajoutées, elles sont signalées en étant surlignées en orange. Le logiciel MIMIKS a permis d'ajouter essentiellement des actions. Il est intéressant de constater que la catégorie « point de vigilance » est particulièrement utilisée. Il est important pour l'expert de mettre en avant les étapes critiques d'une gamme, comme il « pourrait le faire en expliquant une procédure de vive voix à un novice ».



## 8.1.5.3 système de suggestions



FIGURE 8.6 – Interface de l'outil MIMIKS V3 avec suggestions

Pour rappel, cette itération avait pour objectif de tester l'impact de l'intégration d'un système de suggestions qui interroge l'utilisateur sur des informations qu'il aurait pu oublier.

TABLEAU 8.6 – scores d'acceptabilité de la troisième itération (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable)

Partie	Moyenne test 3
Utilisabilité	6.1
Utilité	6.1

Malgré notre volonté de laisser l'utilisateur pro-actif dans l'utilisation du système de suggestions, nous aurions pu craindre une baisse de l'utilisabilité perçue. Les scores (cf. tableau 8.6) montrent une tendance inverse avec de très bons résultats. L'utilisateur ne s'est pas senti contraint dans son utilisation. Cela s'est traduit par les résultats aux questionnaires. Le score d'utilisabilité a augmenté entre la deuxième et la troisième itération (passant de 5,6 à 6,1), de même que le score d'utilité (passant 5,8 à 6,1). A ce stade nous considérons que nos objectifs concernant l'acceptabilité de l'outil étaient atteints. L'enjeu pour l'itération suivante était à minima de maintenir ces scores, voire de les améliorer, tout en ajoutant des fonctionnalités.

TABLEAU 8.7 – performance d'élicitation du savoir-faire (nombre d'informations spécifiques énoncées par catégorie) de la troisième itération

Test	Actions	Outils	Consommable	EPI	Perception	Connaissance déclarative
Outil standard	2	2	0	0	0	0
Outil MIMIKS V3	4	2	0	0	2	1
Gain (%)	+2 (100%)	=	=	=	+2	+1

Comme le montre le tableau 8.7, l'éditeur a permis d'améliorer quantitativement la gamme pré existante.

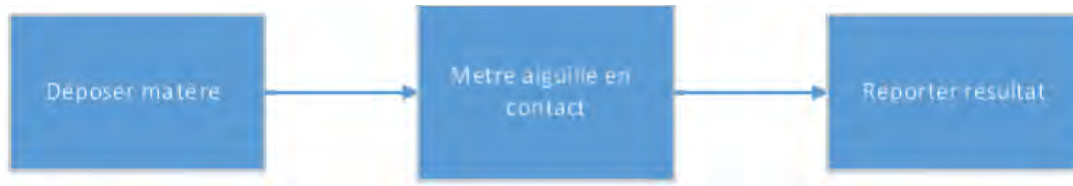


FIGURE 8.7 – performance avec outil standard



FIGURE 8.8 – performance avec outil MIMIKS

Comme le montre la figure 8.7, la gamme pré existante était très simple. L'utilisateur a non seulement ajouté et des étapes, mais il a aussi ajouté des informations perceptives et des connaissances déclaratives. Le système de suggestions n'a pas poussé l'utilisateur à ajouter des informations. Cependant l'utilisateur a été incité à intégrer les outils dans la catégorie dédiée « outil ». Le système a donc permis une meilleure structuration des informations. Nous verrons dans la présentation de l'outil de transmission des connaissances que cela n'est pas à négliger.

#### 8.1.5.4 Itération 4 (1/2) : enregistrement avec l'oculomètre

La quatrième itération avait pour objectif de tester l'utilisation de l'oculomètre pour la capture du savoir-faire. Cette itération se divise en deux parties : la première vise à recueillir l'expérience d'utilisation lors de la phase d'enregistrement avec l'oculomètre. La deuxième vise à évaluer l'acceptabilité et l'apport des informations issues de l'oculomètre dans l'élicitation du savoir-faire avec l'outil MIMIKS.

Cette première partie présente les résultats de l'entretien réalisé après avoir testé l'oculomètre. Nous avons synthétisé les réponses des trois participants dans un tableau.

TABLEAU 8.8 – synthèse des retours d’expériences issus de la phase d’enregistrement avec l’oculomètre

Thème	Information
Temps d’installation	L’ensemble pose des lunettes et calibrations a été réalisé en moins de 2 minutes pour chaque participant. Les participants ont jugé cela anecdotique.
Facilité d’installation	La similarité de la méthode de calibration entre eye tracking et écran tactile fait que les utilisateurs n’ont éprouvé aucune difficulté.
Encombres	Pour Julien comme pour Thomas les lunettes n’ont pas été une gêne, ni par le poids ni par la taille. Florent les a trouvées trop grosses et lourdes.
Gêne pour la tâche	En atelier comme en salle de maintenance, les lunettes n’ont constitué aucune gêne. Avec leur faible encombrement, elles ont au contraire étaient perçues comme avantageuses en comparaison à une caméra classique.
Gêne pour la vue	Aucune entrave n’a été ressentie
Chaleur produite par les lunettes	Une légère sensation de chaleur a pu être ressentie, mais elle n’a pas été jugée gênante ou désagréable.

Comme le montre le tableau 8.8 : l’expérience d’enregistrement avec l’eye tracker s’est révélée très positive pour les participants. L’utilisation d’un oculomètre est plus coûteuse qu’une caméra classique car des étapes supplémentaires de préparation sont nécessaires (allumer le téléphone associé, calibrer...). Ces étapes n’ont pas été perçues comme pénibles ni difficile à mettre en oeuvre. Les caractéristiques portables de l’appareil ont même été très appréciées.

Les observations pendant les enregistrements ont aussi abouti à un comportement inattendu. Deux utilisateurs sur trois ont demandé si l’oculomètre possédait un micro. Celui-ci en possédant un, ils se sont spontanément mis à commenter leur activité pendant qu’il la réalisait. Les commentaires portaient autant sur les actions manuelles que perceptives. Ce comportement n’avait pas été observé pendant toutes les itérations précédentes et les enregistrements avec la GoPro. Les utilisateurs ont été interrogés sur ce comportement pendant l’entretien post test. Ils ont expliqué celui-ci par le fait que l’utilisation de l’eye tracker sacralisait un enregistrement dédié à l’explication du savoir-faire. Que celui-ci imposait un niveau d’exigence plus élevé. Le fait que la capture d’image soit réalisée au

niveau du regard (et non du front) a aussi eu un impact. Selon un utilisateur cela apporte une immersion plus grande dans l'enregistrement, une conscience plus certaine du but de transmission associée à cette capture. On se projetterait davantage dans la transmission, un peu comme si le novice était avec eux et qu'il fallait lui expliquer la procédure.

#### 8.1.5.5 Itération 4 (2/2) : l'oculométrie pour l'élicitation

Lors de cette itération nous avons développé le système de suggestions de sorte à ce qu'il propose à l'utilisateur de se questionner sur des moments où la charge cognitive est relativement plus importante. Nous commencerons par évaluer l'acceptabilité de l'outil MIMIKS. Puis nous étudierons l'apport de l'oculométrie sur les performances d'élicitation. Pour cela nous analyserons les informations ajoutées à chaque suggestion reposant sur des données issues de l'oculométrie.

TABLEAU 8.9 – scores d'acceptabilité de la quatrième itération (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable)

Partie	Moyenne test 4
Utilisabilité	6.1
Utilité	6.5

Le système de suggestion liées à l'eye tracking a été perçue comme très utile (6,5) et facile à utiliser (6,1). Nous considérons que notre objectif concernant l'acceptabilité de l'outil a été atteint. Quelques ajouts ont cependant été proposés afin d'améliorer la fluidité dans l'utilisation du logiciel. Nous les évoquerons dans la partie suivante qui porte sur les propositions d'améliorations.

TABLEAU 8.10 – nombre de suggestions basées sur les données oculométriques par participant et nombre d'informations ajoutées

Participant	Nombre suggestions	Ajout d'informations
Florent	8	2
Thomas	6	1

Le système a présenté huit suggestions à Florent et six à Thomas (Cf tableau 8.10). Toutes les suggestions ont été jugées pertinentes. Nous appelons suggestions pertinentes

des suggestions que nous pouvons rattacher à un élément relatif à l'activité enregistrée (une action, une charge mentale importante, un contrôle visuel. . .). Comme nous le verrons ci-après, si des informations n'ont pas été systématiquement ajoutées, c'est parce que des annotations avaient déjà été apposées sans l'aide de l'oculomètre.

Concernant Florent, nous lui avons proposé 8 suggestions liées à l'eye tracker. Sur ce total l'expert a ajouté deux nouvelles annotations. La première concernait un contrôle visuel à réaliser pour s'assurer du bon positionnement d'un axe de la machine de fabrication. La deuxième suggestion pointait une action où Florent notait l'angle de rotation de l'axe sur un papier afin de pouvoir ajuster les réglages par la suite. Sur les six autres suggestions l'utilisateur avait déjà créé une annotation. Trois concernaient une fixation sur écran. Florent fixait l'écran pour surveiller un paramètre de réglage. Ce paramètre devait rester stable pour témoigner du bon fonctionnement de la machine. Les trois autres suggestions concernaient l'ajout de marque au crayon sur la base de l'axe de la machine. L'expert se sert par la suite de ces repères pour ajuster les réglages de l'axe. Lors de l'entretien post test, Florent s'est montré particulièrement emballé par les suggestions issues de l'oculomètre. Même s'il n'a ajouté que deux annotations sur huit, elles étaient selon lui importantes. Il ne les avait pas annotées auparavant car ces étapes étaient tellement logiques selon lui qu'il n'a pas pensé à le faire : « *c'est juste évident pour moi mais ça m'a rappelé que ce n'était pas si simple et qu'il fallait l'expliquer* ».

Six suggestions basées sur les données oculométriques ont été faites à Thomas. Sur cet ensemble toutes ont été jugées pertinentes et correspondaient à une action de l'utilisateur. Sur cinq de ces suggestions des annotations étaient déjà présentes. Elles concernaient toutes des actions de vissages. La dernière suggestion a permis d'ajouter une annotation. Celle-ci concernait un traitement visuel qui permettait de repérer comment aligner deux pièces afin de les lier entre elles.

Il est intéressant pour nous de constater que le système de suggestions n'a repéré que des moments "pertinents". Sur les quatorze suggestions, neuf concernaient une action nécessitant une fixation oculaire liée à l'utilisation d'un outil (e.g. pour une action de vissage) et cinq un contrôle visuel (e.g. vérification de l'état d'une pièce). Parmi ces

suggestions, trois ont abouti à l'ajout d'une annotation. Deux annotations concernaient un contrôle visuel et une annotation concernait une action.

### 8.1.6 Synthèse des résultats

Dans cette partie nous chercherons à comprendre si l'outil a répondu à nos attentes.

TABLEAU 8.11 – scores d'acceptabilité (allant de 1 pas du tout acceptable à 7 tout à fait acceptable) et performance à retenir par itération

	Utilisabilité	Utilité	Performance
Itération 1	2.5	2.3	Echec : défaut d'utilisabilité
Itération 2	5.6	5.8	Echec : Ajout d'informations. Uniquement des actions et des outils
Itération 3	6.1	6.1	Ajout d'informations. Apport de connaissances déclaratives et perceptives
Itération 4	6.1	6.5	100% des suggestions issues de l'oculomètre jugées pertinentes. Ajouts d'informations : des contrôles visuels et une action.

Pour discuter les résultats résumés dans le tableau 8.11 ci-dessus, nous commencerons en nous concentrant sur l'utilisabilité puis l'utilité perçue. Nous commenterons ensuite les performances obtenues avec l'outil MIMIKS.

**Les scores d'utilisabilité et d'utilité ont été en constante progression** tout au long des itérations. Si le premier test était un échec de ce point de vue-là, notamment à cause de problèmes techniques, les utilisateurs ont été convaincus dès le début par le concept de commentaire sur vidéo.

Concernant l'**utilisabilité perçue**, la prise en main de l'interface du logiciel a été immédiate avec tous les utilisateurs, il n'y a pas eu de phase d'apprentissage. L'aspect épuré (l'IHM ne présente que la vidéo et les annotations) est un gros avantage en comparaison aux solutions existantes, et notamment les logiciels bureautiques de traitement de texte, tableurs ou autre PowerPoint.

Le système de suggestion a été aussi très apprécié, aucune difficulté n'a été observée ou rapportée. Celui-ci est intrusif mais reste à l'initiative des utilisateurs (ils cliquent sur le bouton « Suggestion »), ce qui leur donne malgré tout un sentiment de liberté tout en ayant la possibilité d'être conseillé pour ne rien oublier.

Pour finir l'oculomètre n'a pas entraîné une détérioration de l'utilisabilité perçue de l'outil. Pour l'enregistrement l'interaction avec l'outil est très similaire à celui avec une caméra embarquée de type GoPro. La seule étape supplémentaire, la calibration, est rapide et simple pour les utilisateurs. Les données issues de l'oculomètre étaient utilisées dans l'outil MIMIKS à travers le système de suggestions. Les utilisateurs étant guidés dans la démarche à travers des questions très simples, ils n'ont rencontré aucune difficulté.

Concernant l'**utilité perçue**, l'éditeur de vidéo présente des avantages à plusieurs niveaux. Premièrement la vidéo est un gros avantage. Contrairement à la création de gamme avec des photos sur un PowerPoint, l'utilisateur n'a pas à réaliser plusieurs allers-retours dans l'atelier s'il lui manque des informations : il a forcément enregistré l'ensemble de sa tâche en vidéo. L'utilisateur est ainsi bien plus efficace dans sa création de gamme.

Cette efficacité se traduit par un temps fortement réduit pour modéliser une tâche : 30min avec l'éditeur de vidéo MIMIKS contre une estimation de 2h avec le PowerPoint standard. Cela s'explique par la facilité d'utilisation du système d'annotation, par la pré-structuration des informations avec les catégories d'informations, mais aussi par l'aide mnésique. L'utilisateur n'a pas à réfléchir pour se souvenir comment il réalise la tâche car la vidéo se déroule devant les yeux, il peut la commenter en temps réel.

L'utilité de la vidéo n'est pas à évaluer seulement en phase de modélisation du savoir-faire. Selon les experts, qui se projettent dans la transmission, il sera bien plus facile pour les novices de comprendre les procédures avec les vidéos commentées.

Les **performances d'élicitation** renvoient à la capacité de l'outil à améliorer et augmenter quantitativement et qualitativement le nombre d'informations recueillies. A chaque



itération, l'outil a permis d'augmenter le nombre d'informations recueillies. Il est impossible de comparer les itérations entre elles dans la mesure où les participants et les tâches supports différaient. Nous retiendrons cependant que l'outil a su augmenter les informations dans différentes situations : sur la base de gammes courtes, longues, sur des tâches avec des étapes mécaniques et informatiques. De plus, si tout au long de cette étude nous comptons les informations recueillies, il ne faut pas occulter le fait que la vidéo elle-même est porteuse d'informations. Nous retiendrons aussi la diversification des informations recueillies. L'introduction des catégories d'informations a permis de pousser à l'élicitation de connaissances déclaratives mais aussi perceptives. Selon nous le plus intéressant est l'apport de l'oculomètre. En phase d'enregistrement nous avons pu constater un effet inattendu. Cet appareil atypique pour les utilisateurs les a poussés à modifier leur comportement. Ils se sont mis à commenter leur activité comme s'ils expliquaient leur savoir-faire à un novice, et cela sans consigne préalable. Ce comportement n'avait pas été constaté avec les caméras frontales. En phase d'élicitation nous avons pu constater que le système était très pertinent dans ces propositions à l'utilisateur. Toutes désignaient une action ou un événement spécifique. Ce dispositif a permis d'améliorer la détection des contrôles visuels si important dans le savoir-faire des experts au travail.

## 8.1.7 Préconisations

### 8.1.7.1 Explication des champs de saisie

Les catégories sont suffisamment affordantes pour être comprises de par leur titre. Cependant celles-ci ont été co-développées avec les utilisateurs. Il est alors légitime de se demander si ces catégories seront aussi bien comprises par des utilisateurs externes au projet. De plus les utilisateurs restent parfois à un niveau de surface. Il peut être intéressant de déclencher une synthèse vocale indiquant l'objectif d'un champ textuel quand l'utilisateur s'en saisit pour la première fois afin de le pousser à aller plus loin.

TABLEAU 8.12 – proposition d'aide à la compréhension des champs de saisie

Catégorie	Synthèse vocale
Description	Que faites-vous et comment ?
Astuce organisationnelle	Adoptez-vous une organisation particulière et en quoi vous aide-t-elle ?
Astuce attentionnelle	Faut-il avoir une attention particulière sur un élément ? => Pendant toute la tâche ou sur une étape en particulier ?
Astuce manuelle	Utilisez-vous une astuce afin de faciliter un geste en particulier ? => Lequel ?
Outil	Description : quel est le nom que vous utilisez pour évoquer cet outil ?   Référence : quelle est la référence officielle ?
EPI	Description : quel est le nom que vous utilisez pour évoquer cet EPI ? Référence : quelle est la référence officielle ?
Point de vigilance	Indiquer en quoi cette tâche/étape nécessite une vigilance plus importante.
Pièces jointes	Les documents sur la machine, le matériel ou sur la tâche permettent de mieux comprendre son activité.

Le tableau 8.12 ci dessus indique des propositions de guidage par synthèse vocale que nous pensons pertinentes pour améliorer la compréhension de l'interface d'une part, et pour améliorer les performances d'élicitation d'autre part. Bien sûr il s'agit là de propositions qui nécessitent d'être soumises à des tests d'acceptabilité et de performance pour l'élicitation.

## 8.1.7.2 Changement du curseur de l'oculomètre



FIGURE 8.9 – illustration de la gêne occasionnée par le curseur de l'oculomètre

Le curseur de l'oculomètre se présente sous la forme d'un cercle orange avec un contour épais. Cela peut être problématique pour l'utilisateur. Alors que le curseur est censé montrer un élément, il peut parfois le cacher. Pour répondre à ce problème, Florent propose de laisser à l'utilisateur la possibilité de :

- Rendre le curseur transparent
- Moduler le diamètre du curseur
- Changer la forme du curseur
- Pouvoir faire un zoom sur le curseur pour mettre en avant un élément important à bien identifier.

## 8.1.7.3 Synchronisation entre la navigation et l'image affichée

Actuellement lorsque l'on déplace le curseur sur la timeline l'image reste figée. Cela est un problème pour l'utilisateur qui a besoin d'appuyer sur le bouton play pour savoir où il s'est déplacé dans la vidéo. Il serait souhaitable que l'image affichée corresponde à la position du curseur (e.g. comme sur le lecteur Youtube).

#### 8.1.7.4 Outils d'édition de vidéo

##### Ralentir la vidéo/ Zoom dans vidéo/ curseurs/couper

L'utilisateur souhaiterait pouvoir ralentir la vidéo afin de pouvoir s'attarder sur une étape importante et délicate.

Il serait aussi important de pouvoir zoomer dans la vidéo afin d'avoir une meilleure vision d'une action délicate et précise. Pour l'utilisateur le zoom peut être effectué lorsque l'on filme, cependant lorsque l'on utilise une caméra type GoPro, on ne peut pas zoomer pendant l'action. Il devient alors nécessaire de pouvoir éditer la vidéo à posteriori.

Il serait intéressant de pouvoir implémenter des formes dans la vidéo afin de mettre en valeur une zone d'intérêt. Il peut s'agir d'une flèche, ou d'un cadre... Cela permettrait d'attirer l'attention d'un novice sur un endroit important pour la compréhension de l'activité.

Pour finir la vidéo peut être trop longue, pouvoir la découper serait pertinent.

#### 8.1.7.5 La gestion des cas déviants/cas particuliers

Une limite de l'éditeur de vidéo est sa linéarité impliquée par le format même des vidéos. Pourtant il est possible qu'une gamme ne soit pas linéaire, et que l'utilisateur adopte telle ou telle action en fonction de certaines conditions. L'exemple le plus frappant est un cas de panne ou la réparation va varier en fonction du diagnostic réalisé. Il serait pertinent de pouvoir signaler des embranchements sur les annotations et ainsi créer des liens entre plusieurs vidéos.

Cet embranchement pourrait se présenter sous la forme d'une nouvelle catégorie d'information, avec des champs de type « Si => alors » permettant un renvoi vers une autre vidéo. Exemple : si la céramique du mécanisme est abîmée alors => renvoie vers la vidéo de changement du mécanisme.

## 8.2 Evaluation du K-Player

### 8.2.0.1 Objectifs

Dans le cadre de ce projet, faute de temps, nous n'avons pas pu mener d'expérience sur l'apprentissage à long terme. Cependant nous avons réalisé des maquettes et des choix de conception que nous présenterons en perspectives. L'étude ici présente a visé à développer et évaluer l'interface principale permettant de présenter aux novices les connaissances à assimiler. Concrètement, il s'agit de comprendre comment présenter les informations préalablement modélisées avec l'outil de capture MIMIKS. L'interface doit être utilisable, utile et acceptable pour l'utilisateur. Elle doit aussi rendre compréhensible le contenu afin que le novice puisse reproduire la tâche présentée. Du fait qu'elle respectera ces deux prémisses, l'application devrait alors apporter une plus-value incontestable dans la transmission de l'expertise métier.

Après un rapide rappel théorique, nous présenterons la méthode et les résultats d'évaluation du K-Player. Cette évaluation portera sur l'acceptabilité de l'outil et sur les performances de transmission qu'il induit.

### 8.2.0.2 Introduction

Tricot et al. (2003), ont rassemblé plusieurs mesures et critères pour évaluer les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (cf tableau [8.13](#)).

TABLEAU 8.13 – synthèse des mesures et critères pour l'évaluation d'un EIAH

Type d'évaluation/dimension	Empirique	Par inspection
Utilité	<p>Adéquation entre objectif défini et apprentissage effectif</p> <p>Adéquation entre dispositif et format de la connaissance et acquérir</p> <p>Différence entre le niveau de connaissances initial et terminal</p> <p>Mesures par des taches de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconnaissance</li> <li>- Rappel</li> <li>- Résolution de problème</li> <li>- Détection des erreurs</li> <li>- Production</li> </ul>	<p>Précision et présentation des objectifs</p> <p>Précision du scénario didactique</p> <p>Adéquation scénario/objectif/contenu</p> <p>Mise en œuvre des processus cognitifs et méta cognitifs</p> <p>Régulation</p> <p>Evaluation</p>
Utilisabilité	<p>Possibilité d'apprendre à utiliser le système</p> <p>Gestion et prévention des erreurs</p> <p>Mémorisation du fonctionnement</p> <p>Efficience</p> <p>Sentiment de satisfaction</p> <p>Evaluation par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Observation</li> <li>- Entretiens</li> <li>- Analyse des parcours</li> </ul>	<p>Guidage et incitation</p> <p>Groupement/distinction des items par localisation ou format</p> <p>Feed-back immédiat et nature du feed-back</p> <p>Charge de travail</p> <p>Contrôle explicite</p> <p>Adaptabilité</p> <p>Gestion des erreurs</p> <p>Qualité des messages</p> <p>Homogénéités et cohérence</p> <p>Signifiante des codes et dénominations</p>
Acceptabilité	<p>Motivation</p> <p>Affects</p> <p>Culture</p> <p>Valeurs</p> <p>Evaluation par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Observation</li> <li>- Entretiens</li> <li>- Questionnaires</li> </ul>	<p>Acceptabilité en termes d'adéquation aux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besoin ou objectifs de l'institution</li> <li>- Attentes des apprenants</li> <li>- Caractéristiques des apprenants</li> </ul> <p>Acceptabilité en termes de compatibilité avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'organisation du temps</li> <li>- L'organisation des lieux</li> </ul> <p>Présence du matériel nécessaire</p> <p>Planification et suivis lisibles et cohérents</p> <p>Visibilité des résultats</p>

Dans le cadre de notre étude, les critères d'inspection ont été utilisés lors de la conception du dispositif. Pour l'évaluation, nous nous centrerons sur des mesures empiriques. Ainsi, nous avons décidé de réaliser un test utilisateur. Comme le préconise Tricot et al. (2003), nous avons confronté un utilisateur à notre outil de transmission. Nous avons ensuite évalué sa performance et l'avons comparé à celle d'un utilisateur utilisant le dispositif préexistant dans l'atelier Continental (cf partie 6). Nous avons ensuite utilisé un entretien articulé autour des thèmes mis en avant par Tricot et al. (2003), à savoir l'acceptabilité,

l'utilisabilité et l'utilité. Cet entretien est spécifique car il a été conçu par les auteurs pour s'adapter particulièrement aux problématiques de l'apprentissage.

Cependant, la revue de littérature a attiré notre attention sur l'aspect critique de la charge extrinsèque (Sweller, 2003). Il était donc primordial pour nous que le K-player n'induisse pas une charge extrinsèque plus importante que l'outil existant. Van de Leemput (2013) a synthétisé plusieurs mesures possibles de la charge extrinsèque. Nous nous intéresserons particulièrement à l'utilisation de l'oculométrie. L'évaluation de la charge mentale peut être réalisée à plusieurs niveaux. Tout d'abord les fixations. En présence d'une charge importante, la durée des fixations augmente alors que leur nombre diminue (Stein, 1992). Selon Ahlstrom et Friedman-Berg (2006), plus les saccades sont amples moins la charge est importante. Ces auteurs, mais aussi Veltman et Gaillard (1998) avancent que la fréquence et la durée des clignements diminuent lorsque la charge est moins importante. Cabon et al. (2000) nous apprennent que plus la charge est importante, plus les balayages diminuent, jusqu'à obtenir parfois un effet de tunnelisation attentionnelle. C'est-à-dire que le participant est tellement mobilisé pour sa tâche principale qu'il néglige les éléments périphériques. Pour finir la dilatation des pupilles augmenterait en même temps que la charge cognitive (Chen & Epps, 2012).

TABLEAU 8.14 – synthèse des indicateurs selon le niveau de charge mentale

Indicateurs	Faible charge		Forte charge	
	Durée	Nbre	Durée	Nbre
Fixations	Courte	Elevé	Longue	Faible
Saccades	Indéterminée	Elevé	Indéterminée	Faible
Clignements	Longue	Elevé	Courte	Faible
Balayage	Large		Focalisé	
Diamètre pupillaire	Faible		Fort	

Pour résumer, l'évaluation du K-player a été réalisée à l'aide d'un test utilisateur. Nous avons demandé à deux utilisateurs de réaliser la même tâche. Cependant un utilisait l'outil préexistant Continental, et l'autre le nouvel outil K-player. Nous avons ensuite comparé la performance lors de la réalisation de la tâche. Nous avons ensuite comparé l'acceptabilité, l'utilité et l'utilisabilité perçues via un entretien. Pour finir nous avons

comparé la charge cognitive à l'aide des statistiques fournies par l'oculomètre. Nous nous attendons à ce que le K-player présente de meilleurs résultats dans chacune de ses mesures.

### 8.2.1 Participants

Pour étudier la transmission des connaissances procédurales, nous ne pouvions travailler avec les mêmes participants que lors des études précédentes. Il nous fallait identifier des participants qualifiés mais non familiarisés avec les connaissances auxquelles ils allaient être confrontés.

Deux participants de 31 ans et 28 ans ont été identifiés parmi les Chargés de Maintenance Procédés Atelier (CMPA). A la différence des opérateurs, ils n'ont pas pour mission première d'assurer le fonctionnement de la ligne de production. Ces experts sont essentiellement là pour réaliser les opérations de maintenance. Ils sont, après les SMPA, les plus compétents dans ce domaine. Ils présentent donc les compétences pour réaliser la tâche que nous avons identifiée. Cependant, aucun ne l'avait réalisée par le passé.

### 8.2.2 Matériel et procédure

La tâche a été sélectionnée afin d'éviter un « effet plafond ». Autrement dit nous souhaitions éviter de réaliser les tests avec une tâche trop facile car cela n'aurait pas permis de mettre en exergue les limites d'un outil par rapport à un autre.

Nous nous sommes basés sur l'analyse de l'activité et sur des entretiens avec les experts pour choisir une tâche difficile et peu courante. Il était alors demandé aux participants de réaliser une opération de maintenance appelée « montage de la tête polyuréthane (ou PU) ». Une fois par mois les techniciens doivent démonter et remonter une partie de la machine de production appelée « tête de coulée polyuréthane ». Cette opération a pour but de changer des pièces de cette machine (joints...), de la nettoyer et de l'entretenir afin de se prévenir de tous problèmes.

Cette tâche a été sélectionnée pour plusieurs raisons, selon les chefs d'équipe :

- Elle est difficile à enseigner



- Elle est stratégique pour le bon fonctionnement de la ligne et pourtant des erreurs surviennent
- L'unique partie « montage de la tête PU » met 30 minutes à être réalisée par un expert.
- Elle nécessite l'utilisation d'outils, de consommables, présentent des points critiques, des astuces à sa bonne réalisation et des contrôles visuels. Autrement dit elle permet de tester l'ensemble des catégories d'informations présentes dans le Kplayer.
- Un document utilisant le standard Continental existe (Cf. Annexe 9). Nous pourrions donc comparer le Kplayer avec l'existant.

La collaboration avec un expert Continental a permis d'analyser cette activité de montage de tête PU et de créer le contenu nécessaire pour le Kplayer. La décomposition de cette tâche se trouve dans deux fichiers : le powerpoint Continental et le fichier Excel que nous avons créé pour modéliser la tâche dans le Kplayer (Cf Annexes).

Pour l'utilisation du Kplayer, les tests ont été réalisés sur un ordinateur portable Dell Inspiron 5000 séries avec un écran de 13pouces. Celui-ci était équipé de Windows 7 professionnel. L'ordinateur comportait un écran tactile et pliable dans plusieurs sens afin d'être utilisé comme une tablette. C'est cette configuration qui a été retenue pour la réalisation du test. Cet ordinateur était synchronisé avec un micro Buddy FlamingoMic 7G afin de permettre le dialogue homme/machine. Le document Continental était présenté sous format papier pour se rapprocher de l'utilisation effective quotidienne.

Les participants étaient équipés d'un oculomètre SMI (Cf Annexe 9) sous forme de lunettes filaires reliées à un smartphone Android Samsung Galaxy Note 4. Nous avons choisi cet oculomètre car il présente l'avantage d'être mobile et peu encombrant. Celui-ci nous a permis de filmer afin d'analyser la performance par la suite, mais aussi d'évaluer la charge cognitive. Pour cela nous nous sommes intéressés aux nombres de fixations et à leur durée. Nous avons choisi de ne pas traiter le diamètre pupillaire pour plusieurs raisons. Le diamètre pupillaire est affecté par la lumière. Un utilisateur devait réaliser la tâche avec un écran rétroéclairé et l'autre avec un format papier. Cela présentait donc un biais. De plus un entretien avec l'ingénieur responsable de l'oculomètre a montré que cet outil présentait des défauts de fiabilité concernant la mesure du diamètre pupillaire. Nous

avons alors décidé de nous centrer sur les mesures les plus fiables, à savoir le nombre et la durée des saccades.

Afin de mesurer la performance, une grille d'observation a été créée. Cette grille a permis de comptabiliser :

- Le nombre d'erreurs : intervient lorsque le participant entreprend la mauvaise action. Chaque erreur sera comptabilisée par catégorie : mauvaise action, mauvais outil, mauvais consommable. L'émergence d'un type de catégorie sera significative d'un problème d'interface.
- Oublis : intervient lorsque le participant saute une ou plusieurs étapes. Un oubli sera compté par étape.
- Le temps de réalisation de la tâche
- Le nombre de retour en arrière (revenir à une page précédente pour l'outil Continental et cliquer sur retour en arrière sur le Kplayer).
- conforme à celui attendu par la gamme.

Nous avons aussi souhaité nous intéresser à l'utilisation des « astuces » implémentées par l'expert. Pour rappel les astuces sont des actions qui ne sont pas indispensables pour réaliser une tâche mais qui permettent d'être plus efficace et de faciliter une ou plusieurs étapes. Nous avons donc aussi répertorié les astuces effectivement mises en œuvre par les utilisateurs afin d'identifier si elles étaient mieux appliquées par l'utilisateur équipé du K-Player.

Celui-ci s'articule autour de trois thèmes. Trois questions portent sur l'utilité, quatre sur l'utilisabilité et six sur l'acceptabilité. Pour chaque question, il est demandé au participant de se placer sur une échelle de likert allant de 1 (pas du tout en accord avec la proposition) à 7 (complètement en accord avec la proposition). Après le recueil de ses notes, l'expérimentateur s'entretient de façon ouverte avec le participant afin de comprendre ce qui a motivé le score donné. Ci-après se trouve un exemple de question posée (Cf figure ??).

Chaque test se déroule dans une pièce isolée. Les seules personnes présentes sont l'ergonome et le participant. Les participants sont divisés en deux : un utilisant le Kplayer l'autre utilisant l'outil Continental. Dans les deux cas, une présentation de l'interface et de

son fonctionnement est réalisée. L'ergonome équipe ensuite le participant de l'eye tracker. Il est ensuite demandé au participant de réaliser la tâche en toute autonomie. Le chronomètre est lancé pour mesurer le temps de réalisation. L'ergonome n'intervient ni pour aider dans l'utilisation de l'interface, ni pour aider dans la réalisation de la tâche. Lorsque la réalisation de la tâche est terminée, le chronomètre est arrêté. L'entretien est administré par l'ergonome qui remplit lui-même la grille. Le participant doit donc simplement répondre aux questions sans écrire lui-même. La performance est analysée à posteriori en analysant la vidéo à travers le prisme de la gamme prescrite.

## 8.2.3 Résultats

### 8.2.3.1 Performances

TABLEAU 8.15 – grille d'analyse de performance en fonction du type d'apprentissage

	Erreurs			Oublis	Retours en arrière	Astuces appliquées	Temps	Réussite/échec
	Action	Outil	Conso					
<u>Kplayer</u>	1	0	0	0	0	14/15	44min05	Réussite
Existant	5	1	0	2	1	10/15	52min31	Tâche accomplie mais résultat non conforme

Comme le montre le tableau 8.15, le participant utilisant le K-Player a réalisé une meilleure performance que le participant utilisant l'outil existant. Il a réalisé moins d'erreurs (une contre six), n'a fait aucun oubli ni retour en arrière. De plus il a réussi la tâche en 44min05 contre 52min31. Pour finir nous constatons que le résultat obtenu par le deuxième participant est non conforme. Le participant a pu finir la tâche mais la pièce n'était pas conforme aux normes de qualité et donc, pas exploitable. En analysant les erreurs ci-après nous comprendrons pourquoi.

TABLEAU 8.16 – le détail des erreurs lors du test K-Player

Erreur K-Player	Erreur outil existant
Mauvais positionnement céramique dans réceptacle métallique	Manque de graisse
	Place les joints "sur" plutôt que "sous" les arcs métallique
	Prend mauvaise pièce pour mettre joint
	Mauvais positionnement céramique dans réceptacle métallique
	Graisse avant pose joint alors qu'il faut le faire après
	Outil : utilise chiffon plutôt que pinceau pour huiler

En nous intéressant aux détails des erreurs, nous constatons qu'elles concernent essentiellement des actions. Ces erreurs sont de natures variées : manipulations réalisées dans le mauvais ordre, mauvais positionnement de pièces, mauvais outil utilisé... Un type d'erreur de prédomine pas.

L'utilisateur équipé de l'outil existant a oublié deux étapes. Il a oublié de graisser la cavité d'une pièce. Cette erreur peut être très préjudiciable pour la fiabilité de la pièce une fois en fonctionnement dans l'atelier de production. Il a aussi oublié de tarer l'outil de mesure de planéité. La mesure de planéité permet de vérifier si la tâche a été bien réalisée. La mesure était erronée. L'utilisateur croyait alors avoir réussi la tâche alors que celle-ci était un échec. Cette erreur de mesure est plus dangereuse que d'échouer à la tâche car cette pièce est répertoriée comme valide. Elle risque donc, une fois installée, d'entraîner une panne dans la machine de production.

Un seul retour en arrière a été réalisé. Il fait suite à une erreur commise par le participant équipée de l'outil existant. Le participant avait interverti deux étapes, il s'en est rendu compte et est revenu en arrière pour corriger son erreur.

Les participants ont appliqué tous deux une grande partie des astuces proposées (14/15 pour le K-Player et 10/15 pour l'outil existant). On note cependant un écart entre les deux participants. Intéressons-nous aux détails de ces astuces oubliées et à leurs impacts potentiels.

TABLEAU 8.17 – Astuce oublié (conséquences associées entre parenthèses)

K-Player	Outil existant
N'applique pas graisse sur vis schraube pour faciliter vissage (Potentielle perte de temps)	Ne graisse pas les joints avant de les insérer. Ainsi ils ne restent pas dans leur logement. (Perte de temps et élément potentiellement bloquant pour la suite).
	N'utilise pas repère sur la pièce afin de bien positionner la pièce (Implique une désorientation dans le positionnement ultérieur des pièces).
	N'applique pas graisse sur vis schraube pour faciliter vissage (Potentielle perte de temps)
	N'utilise pas la clé de maintien pour bien serrer les vis (Peut impliquer un mauvais serrage et un manque de planéité une fois la pièce terminée).
	Ne met pas le trou de la bride en face avant. (Génèrera des problèmes sur ligne car cela modifiera le positionnement de la pièce et rendra inaccessible une partie. Des interventions seront alors impossibles).

Lorsque l'on s'intéresse aux astuces oubliées (CF tableau 8.17), on constate que toutes n'ont pas les mêmes conséquences. Certaines peuvent expliquer que le participant avec le K-Player ait terminé plus rapidement sa tâche. D'autres sont plus problématiques car elles impliquent des erreurs immédiates, comme l'échec de la tâche dû à un défaut de conformité, mais aussi des complications futures avec une pièce qui ne s'intégrera pas bien dans la machine de production.

Cette analyse permet de confirmer deux hypothèses de travail : premièrement ces astuces qui ne sont pas référencées sont déterminantes pour la bonne exécution d'une tâche. Si elles permettent de gagner du temps nous constatons aussi qu'elles peuvent déterminer la réussite ou l'échec d'une tâche. Cela nous conforte dans le besoin de modéliser l'activité réelle et donc le savoir-faire des experts au travail, et de ne pas se limiter aux gammes officielles. Deuxièmement nous constatons que les astuces semblent être mieux prises en compte avec le K-Player.

### 8.2.3.2 Verbalisation durant verbalisation

TABLEAU 8.18 – les verbalisation lors du test K-Player

K-Player	Outil existant
La vidéo ne permet pas toujours de bien identifier comment les pièces s'emboîtent entres elles.	La photo ne permet pas de comprendre le déroulé de l'action, l'enchaînement et l'ordre des actions. Ainsi il y a eu des erreurs d'ordre.
Il serait intéressant d'ajouter un ralenti pour mieux comprendre certain gestes et avoir le temps de les reproduire.	

La vidéo semble présenter deux avantages principaux. (1) Elle concrétise la chronologie et l'ordre des actions à exécuter, ce qui permet à l'utilisateur d'éviter de mettre en œuvre la gamme dans le désordre. (2) Elle permet aussi de faciliter la détection des changements d'état. Sur le format existant, l'utilisateur doit identifier les différences avec l'avant. Par exemple il doit identifier qu'une pièce a bougée d'un endroit à un autre, alors que la vidéo affiche ce déplacement ce qui permet à l'utilisateur de le repérer, d'attirer son attention sur ce changement d'état.

Lors de l'étude portant sur l'outil de capture, nous avons précisé que si l'outil MIMIKS permettait de modéliser plus d'informations textuelles, il ne fallait pas négliger la valeur informative de la vidéo. Ici nous confirmons ce postulat, mais nous comprenons aussi la valeur structurelle de la vidéo qui permet de concrétiser et de visualiser les changements d'états et d'étapes. La vidéo porte donc une valeur informative et structurelle.

## 8.2.3.3 Acceptabilité du K-Player

TABLEAU 8.19 – résultats au questionnaire d'utilité en fonction du support (allant de 1 "pas du tout en accord" à 7 "complètement en accord") et commentaire associé

	Questions	Existant	K-Player
	Comprend-on bien de quelle gamme il s'agit ?	4 « Titre pas très clair » (pourtant le même que sur KP)	5 « Oui, nom de gamme présent »
	Est-il facile de comprendre ce qu'il faut faire dans chaque étape ?	5 « Oui »	4 « Nécessaire d'ajouter un ralenti »
	Pensez-vous qu'un novice puisse s'approprier facilement le contenu ?	5 "Oui"	5 "Oui"
Moyenne utilité		4.6	4.6

Comme le montre le tableau 8.19, la moyenne du score d'**utilité perçue** est identique pour les deux outils (4,6). Notre objectif n'est pas atteint concernant la partie utilité perçue de l'outil. Les commentaires permettent d'expliquer ses résultats.

L'utilisateur utilisant le K-Player a réalisé une meilleure performance en tout point que celui utilisant l'outil existant. Pourtant les moyennes sont identiques. Les entretiens montrent que les utilisateurs n'attribuent pas la réussite ou l'échec de la tâche à l'interface mais à leurs propres compétences. Si l'on s'intéresse à l'apport de la vidéo : l'utilisateur a dit avoir eu la sensation d'être ralenti par la vidéo. En effet, contrairement au format papier, le rythme du K-Player est dicté par la vidéo. Cet effet est accentué par le fait que l'utilisateur ne peut passer à l'étape suivante que lorsque la portion de vidéo est terminée. Cette impression de perte de temps ne se retranscrit pas dans la performance, l'utilisateur avec le K-Player ayant été plus rapide et plus en réussite (44min05 contre 52min31). Notre hypothèse est que le temps perdu en lecture de vidéo est rattrapé par une meilleure compréhension qui permet d'être plus performant dans la mise en œuvre de l'action.

TABLEAU 8.20 – résultats au questionnaire d'utilisabilité en fonction du support (allant de 1 "pas du tout en accord" à 7 "complètement en accord") et commentaire associé

	Est-il facile de se faire guider par l'outil ?	3 "On se perd parfois entre les feuilles"	6 "Il suffit de dérouler les étapes"
	Est-il facile de repérer les informations que l'on cherche ?	5 "Oui"	6 "Pas de problème"
	Y a-t-il un élément de l'interface que vous ne comprenez pas ?	5 "Informations inutiles" (des références de document notamment)	6 "Non aucun"
	Pensez vous pouvoir utiliser cet outil dans différentes situations ? Lesquelles ?	4 "En soi utilisable partout, mais pas optimal"	6 "utilisable en formation préalable comme sur ligne"
Moyenne utilisabilité		4.25	6

Comme le montre le tableau 8.20, la moyenne d'**utilisabilité perçue** est supérieure pour le K-Player (6) que pour l'outil existant. notre objectif est validé. Les commentaires permettent de comprendre cet écart.

L'outil existant présente plusieurs inconvénients auxquels le K-Player oppose ses avantages. Le format papier, omniprésent sur ligne, est encombrant, là où la tablette centralise tous les documents. Il rend aussi difficile la recherche d'informations. Lorsque l'utilisateur cherche une gamme, il doit inspecter tous les documents papiers entreposés sur ligne. La tablette permet une recherche facilitée grâce à la barre de recherche. L'outil existant, indépendamment de son format papier, ne hiérarchisait et ne structurait pas les informations. En résultait des pages surchargées où il était difficile de trouver des informations. Pour résumer, d'un point de vue physique le K-Player présente l'avantage d'être peu encombrant et facilement manipulable. L'interface présente l'avantage de standardiser et de hiérarchiser l'information, facilitant les recherches d'informations.



TABLEAU 8.21 – résultats au questionnaire d'acceptabilité en fonction du support (allant de 1 "pas du tout en accord" à 7 "complètement en accord") et commentaire associé

	Adéquation aux besoins ou objectifs de l'institution	4 "Pas particulièrement"	7 « Particulièrement pertinent pour le réglage des machines qui est problématique »
	Adéquations aux attentes des apprenants	4 « Pas spécialement. Trop lourd à utiliser »	7 Problématique de la formation
	Adéquation avec les caractéristiques des apprenants	4 « Habitué à utiliser smartphone plutôt que du papier »	7 Apprenants ont un attrait pour les technologies mobiles (smartphone, tablette)
	Compatibilité avec l'organisation du temps de travail	3 « Pas le temps d'aller chercher dans l'arborescence pour trouver gamme »	7 « Utilisable entre deux tâches »
	Compatibilité avec l'organisation des lieux	4 « Feuilles prennent trop de place »	7 « Ne nécessite pas beaucoup de place »
	Présence du matériel nécessaire	6 « Oui sur chaque ligne, sur papiers ou dans ordinateurs »	7 « Tablettes mobiles déjà implantées »
Moyenne acceptabilité		4	7

Comme le montre le tableau 8.21, la moyenne d'**acceptabilité** est supérieure pour le K-Player (7) que pour l'outil existant (4). Notre objectif est validé. Les commentaires permettent de comprendre cet écart.

Avec cette série de question, nous cherchions à étudier l'adéquation entre les qualités des outils et l'environnement de travail. En cohérence avec l'utilisabilité, le K-Player est bien mieux perçue. Le passage du format papier au format tablette n'est pas craint par les utilisateurs. Au contraire, ils pensent que les opérateurs sont en attente d'outils numériques qu'ils utilisent au quotidien à travers leur smartphone. Un ordinateur fixe est pourtant présent sur chaque ligne de production. Mais le contenu n'y est pas adapté car on y retrouve les gammes papiers en version numérique. De plus, l'utilisation de l'ordinateur est moins intuitive que l'utilisation d'une application dédiée sur tablette.

### 8.2.3.4 Oculométrie

TABLEAU 8.22 – nombre et durée de fixations par seconde selon l'outil testé

K-Player		Outil existant	
Durée fixations	Nombre fixations	Durée fixations	Nombre fixations
0.28s	2.57/s	0.34s	2.10/s

Pour rappel, selon Stein (1992), plus le nombre de fixations est élevé, et plus leur durée est faible, moins la charge cognitive est importante. Nous constatons que le nombre de fixations par seconde est moins élevé avec l'outil existant (2.10/s) qu'avec le K-Player (2.57/s). La durée moyenne de ces fixations est aussi plus importante avec l'outil existant (0.34s) qu'avec le K-Player (0.28s). La tâche réalisée par les deux utilisateurs étant la même, nous pouvons conclure, en accord avec Stein (1992), que la charge extrinsèque induite par l'outil existant est plus importante que celle induite par le K-player. Notre objectif a été atteint.

## 8.2.4 Synthèse des résultats

Cette étude portait sur la comparaison entre le K-Player et l'outil existant chez Continental pour la transmission du savoir-faire. Nos attentes s'articulaient autour de l'accep-

tabilité, de la performance de reproduction d'une tâche et de la charge cognitive induite par l'outil. Nous supposons que le K-Player apporterait une plus value sur chacun de ces aspects.

Concernant l'**expérience d'utilisation, nos objectifs ont été partiellement atteints**. L'utilisabilité et l'acceptabilité ont été mieux évaluée pour le K-Player que pour l'outil existant. L'utilité perçue n'a pas différé selon l'outil utilisé.

Si l'on s'intéresse à la **performance** de reproduction d'une tâche, nos objectifs ont été atteints. Nous pouvons constater que le K-Player a permis à l'utilisateur d'être plus rapide, de faire moins d'erreurs et de réussir sa tâche. De plus, les informations identifiées comme critiques ont été mieux prises en compte.

La **charge cognitive** a été interprétée à travers les données oculométriques. Celles-ci nous ont permis de conclure que le K-Player impliquait une charge cognitive extrinsèque moins importante que l'outil existant. Notre objectif a été atteint.

Selon nous, l'atteinte de nos objectifs a été permise par la démarche pluridisciplinaire. Au delà de la revue de littérature (sur les modèles d'acceptabilité, sur l'apprentissage, la compréhension de documents multimédias...) qui a permis de réaliser des choix de conception pertinents, l'intégration des utilisateurs tout au long du projet a permis d'identifier les contraintes et les besoins à prendre en compte. Les **facteurs principaux ayant permis l'atteinte de nos objectifs sont par conséquent fortement relatifs à la comparaison avec l'existant**.

Le **premier facteur est le passage du format papier au format tablette**. Actuellement, les lignes de production sont surchargées de polycopiés contenant les gammes. Il est difficile pour l'utilisateur de trouver la gamme qu'il souhaite consulter. Une fois identifiée, la consultation de la gamme n'est pas toujours agréable pour l'utilisateur qui doit manier un polycopié volumineux. La tablette permet de contourner ces difficultés. Une barre de recherche permet de trouver rapidement le contenu souhaité. Lors de la consultation de la gamme, l'encombrement restera le même quelle que soit la taille du contenu. De plus l'interaction avec la voix permet d'éviter les problèmes liés à l'interac-

tion avec l'interface pendant la réalisation d'une tâche.

Le **deuxième facteur est la structuration des informations à l'écran**. Le K-player ne présente qu'une étape à la fois, là où l'outil existant peut en présenter plusieurs (aucune limite n'est fixée). L'utilisateur n'est donc pas mis dans une situation de surcharge cognitive. De plus la disposition des informations est systématiquement identique. L'utilisateur peut, sans même lire, savoir si des informations sont présentes et les consulter.

Le **troisième facteur est l'utilisation de la vidéo**. Nous nous attendions à ce que la vidéo permette de mieux transmettre les gestes et les diverses actions réalisées. Les utilisateurs ont aussi fait émerger une autre utilité à la vidéo : sa capacité à structurer le déroulé d'une action. En inspectant la vidéo, l'utilisateur peut identifier les changements d'états. Il va par exemple remarquer quand une pièce est retournée, quand l'expert change de geste, quand il change d'outil... La vidéo matérialise ce changement là où la combinaison photos/textes implique que l'utilisateur identifie par lui-même les changements. Autrement dit la vidéo permet de matérialiser le passage d'un point A à un point B là où les photos ne montrent que le point A et le point B. Les entretiens avec les utilisateurs laissent penser que cet aspect peut être en partie responsable des erreurs réalisées pendant l'exécution de la tâche.

Il nous semble intéressant de faire un point sur l'utilisation de la vidéo et des effets induits sur l'acceptabilité de l'outil. La vidéo force l'utilisateur à suivre son rythme alors que le format papier permet à l'utilisateur de changer de page à sa guise. Rappelons que cet effet est renforcé par un choix de conception : que l'utilisateur ne puisse pas accéder à l'étape suivante avant d'avoir terminé la lecture de la portion de vidéo en cours. Cela va à l'encontre du principe de contrôle utilisateur (Bastien & Scapin, 2007), mais nous pensions que cela était nécessaire à la bonne compréhension du contenu, et cela particulièrement pour un novice.

Comme prévu l'utilisateur a eu l'impression d'être ralenti par la vidéo. Cependant nous avons constaté que celui-ci avait été bien plus rapide que l'utilisateur manipulant l'outil papier existant. La vidéo impose un rythme de lecture là où le format papier laisse l'utilisateur libre dans la lecture du contenu. Ce rythme imposé a pu créer une frustration chez l'utilisateur. Selon nous ce rythme imposé a forcé l'utilisateur à accorder plus de temps à la compréhension du contenu, temps qui a été négligé par l'utilisateur du format papier.

Cela lui a permis de mieux comprendre les actions à réaliser et donc à les mettre plus rapidement en oeuvre. Nous pensons donc que cette frustration est bénéfique à la compréhension.

Cependant nous ne pouvons occulter complètement ce problème qui pourrait affecter l'utilisation du K-Player. Pour y répondre, nous avons décidé que l'interface s'adapte au niveau d'expertise de l'utilisateur. Concrètement, si celui-ci a déjà visionné une gamme alors il pourra la visionner à nouveau sans être contraint dans sa navigation. Il pourra alors changer d'étape sans attendre la fin de la vidéo.

Nous avons atteint nos objectifs concernant la capacité de l'outil à transmettre des connaissances procédurales. Nous avons cependant un deuxième objectif : favoriser l'apprentissage à long terme. Des fonctionnalités ont été pensées pour cela. Nous les présenterons en perspectives.

### 8.2.5 Préconisations

Nous avons conçu une première version du K-Player permettant de transmettre les connaissances procédurales. Nous souhaitons implémenter des fonctionnalités favorisant l'apprentissage à long terme. Pour cela nous nous sommes basés sur certains concepts clés. Bordage (2016) évoque les trois méthodes les plus pertinentes pour apprendre. La première recommandation est d'étaler la formation dans le temps. La deuxième recommandation est d'apprendre de façon mixte théorie/exercice. La troisième recommandation est l'utilisation du testing effect (Larsen et al. 2009). Cet effet stipule qu'il est plus efficace de vérifier ses connaissances en se testant que de relire ses notes.

Nous nous sommes saisis de ces concepts pour modéliser notre outil d'apprentissage. L'idée était d'intégrer le K-Player dans un portail principal sur lequel l'apprenant pourrait s'identifier chaque jour pour voir si du nouveau contenu de formation était disponible. Le portail serait articulé autour de trois onglets principaux. Lorsque du contenu serait disponible dans un onglet, alors une notification chiffrée apparaîtrait.

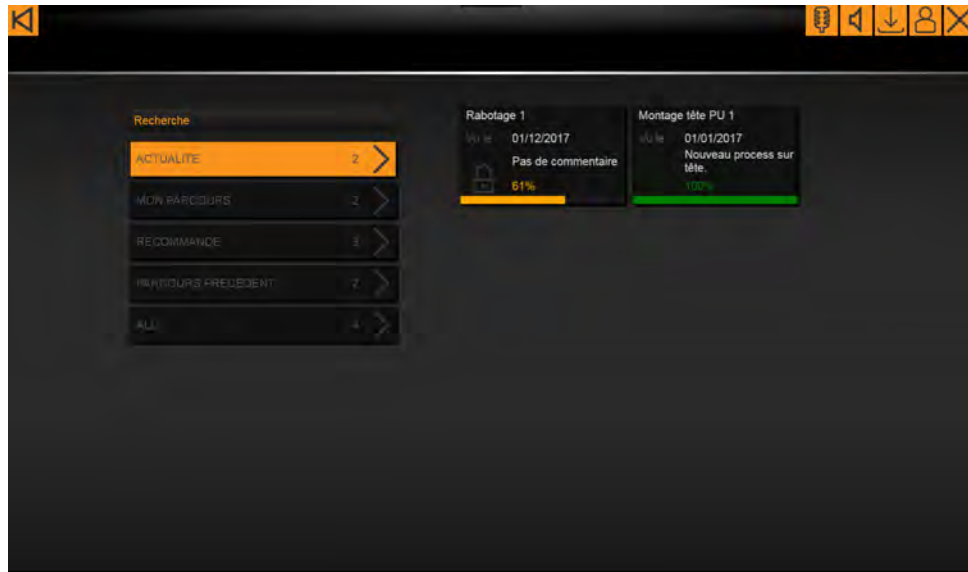


FIGURE 8.10 – Portail principal du K-Player

L’onglet le plus important est probablement « **Mon parcours** ». Il s’agit là d’un onglet présentant à l’apprenant du contenu de formation selon un parcours pédagogique pré établi par les formateurs. Nous verrons ci-dessous que ce contenu de formation renvoie à des gammes vidéo, mais aussi à des questions permettant à l’utilisateur de tester ses connaissances.

Le deuxième onglet se nomme « **Recommandé** ». A travers la revue de littérature nous avons vu qu’il était pertinent de réaliser des rappels espacés dans le temps. Ce besoin est renforcé par le contexte propre à Continental Toulouse où il peut arriver que des techniciens ne réalisent pas certaines tâches pendant plusieurs mois. Cet espacement n’aide pas au renforcement de l’encrage en mémoire. Pour pallier à cela, l’onglet « **Recommandé** » se base sur la documentation interne de Continental Toulouse. Des documents appelés « **check-lists** » permettent de conserver la trace quotidienne de l’activité des techniciens. Ces documents servent initialement à avoir une trace des opérations de maintenances réalisées sur les machines. L’onglet se basera sur cette documentation pour détecter si une tâche n’a pas été réalisée depuis plus de six mois. Si tel est le cas alors il proposera à l’utilisateur de visionner à nouveau la gamme associée.

Le troisième onglet s’appelle « **Actualité** ». Cet onglet n’a pas été motivé par la re-

vue de littérature mais par les entretiens avec les formateurs et les experts. Il semblerait que ces derniers souhaitent réaliser des rappels ponctuels sur certaines tâches devenues critiques. Plusieurs raisons peuvent rendre une tâche critique : des accidents humains ont eu lieu, des pannes fréquentes, beaucoup de défauts/rebut. . . Aujourd'hui le seul moyen mis à disposition des experts est de déposer une affiche sur les lignes de production. Ils souhaiteraient donc avoir un onglet sur lesquels ils auraient la main pour proposer du contenu ponctuellement aux apprenants.

Ces trois onglets seraient complétés par deux autres permettant d'accéder facilement au contenu récemment parcouru et de réaliser une recherche parmi le contenu total. Ces onglets sont prévus pour faciliter l'accès aux gammes pour les apprenants.

Nous avons vu qu'il était important d'intégrer des **phases de test** dans le parcours de formation pour favoriser l'apprentissage. De plus cette fonctionnalité a été mentionnée par les formateurs qui utilisent déjà ce type d'exercice à travers leurs formations sur ligne comme en salle.

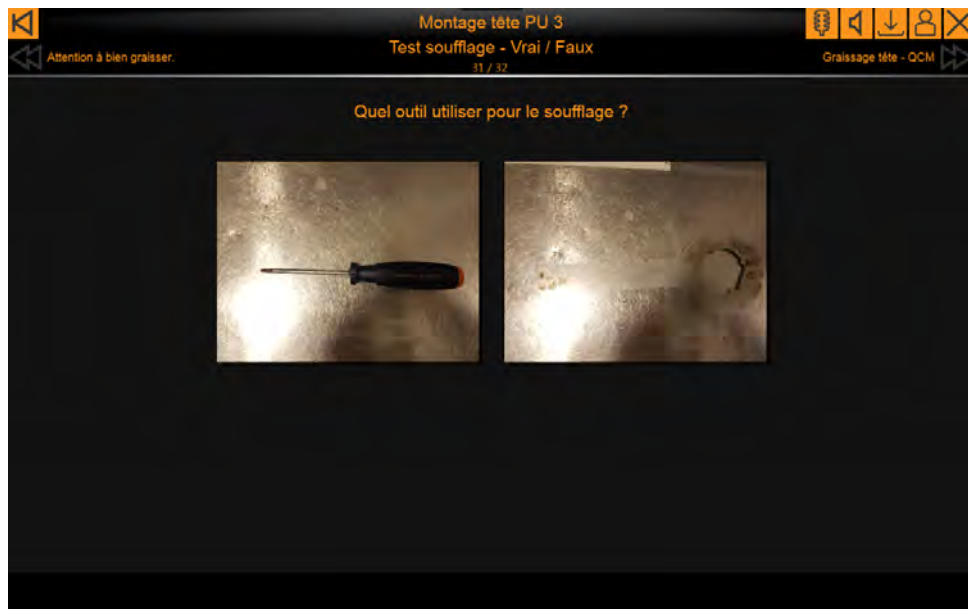


FIGURE 8.11 – Illustration des tests intégrés au K-Player

Nous avons donc envisagé la possibilité d'intégrer des questions à n'importe quel moment du parcours de formation. L'exercice comporte systématiquement un énoncé textuel.

Cet énoncé peut être illustré par une image ou une vidéo. Les réponses peuvent, elles aussi, être textuelles ou imagées.

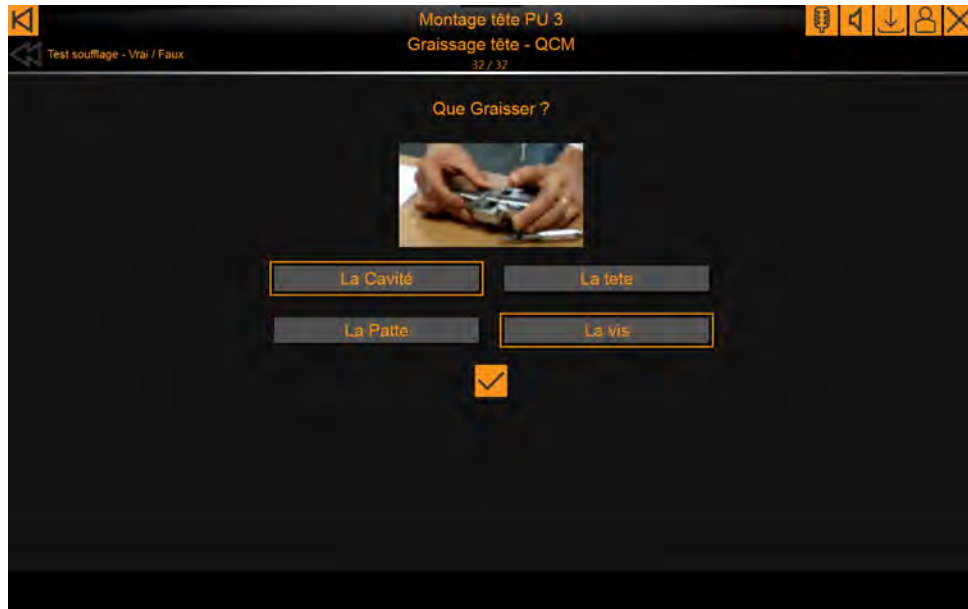


FIGURE 8.12 – Illustration des tests intégrés au K-Player

Un brainstorming a été réalisé avec les formateurs pour envisager une méthode permettant de mettre en situation les apprenants. Nous avons envisagé un poste dédié à l'apprentissage. Sur ce poste se trouverait tout le matériel nécessaire pour simuler des opérations de maintenance. L'apprenant pourrait, par exemple, utiliser une GoPro pour se filmer. Le formateur pourrait alors visualiser la production depuis son ordinateur. Il pourrait alors réaliser des retours directement sur le portail de l'apprenant. Il n'aurait pas à assister à toutes les mises en situation (ce qui est logistiquement impossible pour lui actuellement). Ce dispositif nécessite une étude à part entière, autant pour les formateurs que pour les apprenants, notamment pour évaluer son acceptabilité.

Il est aussi à relever que ce système de portail nécessite un outil de gestion de formation à destination des experts. Cet outil aurait pour finalité la création et la gestion des parcours de formation. Il permettrait aussi de réaliser des rappels ponctuels à travers l'onglet « Actualité ». Nous pouvons aussi envisager qu'il intégrerait un outil de suivi statistique des formations suivies et des résultats aux questionnaires. Il serait aussi préférable qu'il facilite l'accès ou qu'il intègre l'outil MIMIKS de modélisation des savoir-faire.





---

# Discussion et Perspectives

---

Dans cette partie nous discuterons les résultats obtenus à travers l'ensemble de cette thèse. Ces résultats seront divisés en deux parties : la capture du savoir-faire et la transmission du savoir-faire. Dans chaque partie, nous commencerons par synthétiser l'analyse de l'existant. Nous rappellerons ensuite les attentes vis-à-vis des outils développés. Nous verrons en quoi ces derniers ont atteint nos objectifs et nous évoquerons les limites et perspectives de nos études.

Les limites mettront en avant des besoins qui n'ont pas été atteints par les outils. En fin de discussion nous ajouterons une troisième partie dans laquelle nous évoquerons des outils complémentaires que nous avons commencés à développer pour répondre à ces besoins.

## **8.3 L'outil MIMIKS : l'outil d'aide à la récupération et à la modélisation des connaissances procédurales des experts dans un contexte industriel**

L'analyse de l'activité a montré que les experts ne disposaient pas d'outil dédié à la récupération des connaissances procédurales. Continental Toulouse dispose cependant d'une base de données dans laquelle les experts doivent créer des gammes décrivant leurs savoir-faire. Pour cela les experts utilisent l'outil de création de présentations PowerPoint. Il ne s'agit pas là d'un outil dédié favorisant l'accès aux connaissances procédurales.

La revue de littérature a pourtant montré la criticité de cet accès. D'après Tulving (1987) mais aussi Anderson (2004), le fonctionnement des connaissances procédurales rend difficile leur accès hors contexte. En effet, à la différence des connaissances déclaratives,

les connaissances procédurales sont déclenchées dans certaines conditions. Elles s’ancrent dans un schéma de type « si (condition) alors (action) ». Le processus qui mène à l’expertise tend à procéduraliser une grande partie des connaissances (Anderson, 2004). C’est en partie ce qui permet à l’expert d’être plus performant. Par conséquent il est difficile pour lui de modéliser ses connaissances procédurales.

L’outil MIMIKS avait pour objectif d’améliorer la récupération des connaissances procédurales. Cependant, dans un contexte industriel où les contraintes sont nombreuses, les notions d’acceptabilité, d’utilisabilité et d’utilité (Venkatesh & Bala, 2008) étaient primordiales. Pour que l’outil réponde à ces critères, il fallait qu’il soit facile d’accès (les experts ne sont pas informaticiens), rapide à utiliser, qu’il laisse les experts pro-actifs et maîtres de leurs modélisations, mais surtout qu’il s’intègre dans leur outil principal de travail : l’ordinateur fixe.

Cette dernière contrainte est problématique dans la mesure où cela force une modélisation décontextualisée des connaissances. C’est principalement pour cette raison que nous nous sommes tournés vers un outil basé sur l’entretien en auto confrontation de Theureau (2010). L’idée de permettre à l’utilisateur de commenter une vidéo plutôt que de démarrer à partir d’une « page blanche ». Nous avons voulu ajouter plusieurs modalités afin de l’aider dans la récupération de ses connaissances procédurales. Nous avons alors ajouté à chaque itération : l’incitation par l’image, puis le système de suggestions et pour finir les suggestions issues de l’oculométrie.

Nos attentes étaient premièrement que l’outil permette une amélioration de la récupération des connaissances procédurales. Par amélioration nous entendons modéliser davantage d’informations mais aussi diversifier la nature des informations recueillies. Deuxièmement nous souhaitons que l’acceptabilité, l’utilisabilité perçue et l’utilité perçue soient meilleures avec l’outil MIMIKS qu’avec l’outil existant.

Dans le cadre de notre étude de cas, nos attentes ont été atteintes. L’outil a atteint un degré d’acceptabilité permettant son utilisation. Lors des tests avec l’outil MIMIKS, nous obtenions davantage d’informations qu’avec l’outil existant. Ces informations se sont diversifiées, l’outil a permis d’inciter l’utilisateur à noter plus d’informations périphériques. Pour nous, l’apport de l’oculomètre est particulièrement intéressant. Celui-ci a engrangé deux effets bénéfiques.

Lors de la phase d'enregistrement de l'activité avec l'oculomètre, deux experts ont spontanément verbalisé pour commenter les actions qu'ils réalisaient. Ils montraient aussi du doigt les points importants à regarder. Ces comportements n'avaient pas été constatés avec la caméra utilisée jusqu'alors. Lors des entretiens les experts ont expliqué que ce nouveau matériel, introduit spécifiquement pour modéliser le savoir-faire, les avait poussés à verbaliser. Ils ont aussi expliqué que le format lunettes aidait à se projeter dans la transmission. Les experts parlaient aux lunettes comme ils parleraient aux novices qui regardent la vidéo. Autrement-dit ils verbalisaient comme s'ils souhaitaient leur expliquer directement leur activité. Comme l'a montré Lebellu (2010), la verbalisation in situ n'est pas un problème pour l'activité. Le rythme peut être ralenti mais l'auteure n'avait pas noté d'altération de l'activité. Il pourrait être intéressant de réaliser une étude sur l'impact du dispositif d'enregistrement sur la verbalisation et la posture pédagogique des experts pendant l'enregistrement vidéo.

Le traitement statistique des données issues de l'oculométrie est pour nous la brique technologique la plus intéressante et la plus novatrice. L'outil présentait à l'utilisateur les fixations les plus longues. Nous avons choisi cette mesure car il s'agit de la mesure la plus fiable, mais aussi parce qu'elle demande peu de traitements statistiques. Ces fixations longues peuvent témoigner d'une charge cognitive importante (Stein, 1992) ou d'un contrôle visuel, particulièrement important chez les experts (Veeman & al., 1999). Une fois répertoriées, ces fixations étaient adressées à l'expert pour qu'il puisse, si besoin est, commenter l'événement constaté. Le test utilisateur a montré que l'oculométrie s'était avérée systématiquement pertinente. Autrement dit elle a toujours permis d'adresser une action relative à l'activité. Il est intéressant pour nous de constater qu'elle a permis de recueillir des informations jusque-là peu investiguées comme les contrôles visuels. Lors des entretiens, les experts ont présenté ces informations comme « évidentes » et que c'est pour cela qu'ils ne les avaient pas annotées auparavant. Ce retour souligne la pertinence de l'oculométrie : elle permet de mettre en avant des informations jusque-là ignorées ou sous estimées par les experts.

Nous évoquerons maintenant les limites de cette étude. Nous parlerons dans un premier temps des limites propres à la méthodologie utilisée et dans un second temps les limites propres à l'outil en lui-même.

Cette thèse était intégrée dans un projet de développement d'outil pour Continental Automotive Toulouse. Face aux peu de participants experts disponibles, nous avons décidé de nous orienter vers l'étude de cas. L'étude de cas nous permettait aussi d'obtenir davantage d'informations qualitatives afin de piloter la conception de l'outil. Cependant, l'étude de cas pose la question de la généralisation des connaissances produites. Si nous nous sommes efforcés de créer un outil générique, notamment dans l'appellation des catégories d'informations, nous ne pouvons assurer que l'outil sera aussi intuitif s'il est implanté dans un autre atelier, avec des utilisateurs qui n'ont pas participé au développement. D'autres contraintes méthodologiques ont impacté cette thèse. Les études étaient soumises à deux contraintes : la disponibilité des participants et le besoin du projet d'avancer dans le développement de l'outil. Les participants, particulièrement les participants experts, sont soumis à un rythme de production important. Il est difficile pour eux d'avoir une vision à moyen terme de leurs disponibilités car l'activité est fluctuante. Il a pu arriver que les participants aient moins de temps que prévu à accorder pour le test prévu. En contrepartie il était parfois impossible de reporter le test car le développement devait poursuivre. Des tests ont pu être réalisés en conditions dégradés. Cela s'est concrétisé par un changement de tâche au dernier moment, résultant une tâche plus courte que prévu ou ne présentant pas de gammes pré existantes. Il a aussi pu arriver que des mesures soient retirées. C'est pour cette raison que la quatrième étude ne comporte pas de comparaison avec l'existant. La tâche a été changée au dernier moment. Nous avons maintenu notre test car à ce stade de développement notre intérêt principal était d'évaluer l'apport des suggestions issues de l'oculométrie.

L'outil comporte aussi des limites. La plus grosse limite est probablement la linéarité induite par le format vidéo. En l'état, l'outil ne permet pas de gérer ce que l'on pourrait appeler des « cas déviants ». Nous appelons cas déviants les situations où plusieurs alternatives sont possibles selon plusieurs paramètres. L'exemple le plus illustratif est la résolution d'une panne. Selon le diagnostic réalisé alors la résolution de panne ne sera pas la même. Si le cas d'une panne est évocateur, des cas déviants peuvent survenir dans n'importe quelle tâche, par exemple lorsqu'une pièce casse pendant la réalisation d'une tâche. L'outil n'est pas capable de générer des embranchements permettant de gérer des cas déviants. La solution pourrait être d'ajouter une catégorie d'information permettant

de lier plusieurs gammes entre elles. Cette catégorie intégrerait une condition (si « vous êtes dans cette situation ») et un renvoi vers une autre gamme.

### **8.4 Le K-Player : l’outil de transmission des connaissances procédurales expertes à destination des novices**

Actuellement, Continental Automotive Toulouse dispose de trois moyens principaux pour transmettre les connaissances : la formation en salle, la formation au poste et les documents PowerPoint rédigés par les experts. La formation en salle et la formation au poste couvrent la transmission des connaissances initiales. Les documents PowerPoint sont imprimés et sont mis à disposition des techniciens pour une consultation à leur initiative tout au long de leur carrière. En formation en salle comme au poste, les formateurs favorisent au maximum les mises en situations réelles. Ils utilisent ponctuellement les documents PowerPoint pour illustrer leurs propos. Comme l’a montré Lane (2006), un environnement informatique pour l’apprentissage humain est moins efficace qu’un échange direct entre formateurs et apprenants. A notre échelle, notre objectif n’était pas de mener une étude pour comparer un outil de transmission avec les formations classiques. Nous cherchions à comprendre quels besoins nous pourrions combler avec notre outil de transmission. Les entretiens ont montré que les nouveaux arrivants étaient en difficultés avec les documents PowerPoint, autant pour des problèmes d’acceptabilité que de compréhension du contenu. De plus les apprenants passaient parfois plusieurs semaines avant d’assister à leur première formation officielle. Les documents PowerPoint sont donc importants car ils permettent aux nouveaux arrivants de se familiariser avec les tâches à réaliser. Cette importance renforce la problématique des défauts d’acceptabilité et de compréhension de l’outil. Les formateurs ont aussi insisté sur une difficulté de la formation continue. Lorsqu’ils constatent un problème récurrent dans la production (e.g. une panne fréquente, une pièce souvent en défaut...), ils souhaiteraient pouvoir faire des rappels sur certains points critiques. Actuellement le seul moyen est d’aller sur ligne pour rencontrer un à un

les techniciens, solution coûteuse en temps et qui ne permet pas d'atteindre les équipes de nuit. Ils peuvent aussi disposer des affiches sur ligne, mais dont l'impact n'est pas vérifié. Pour résumer, le besoin renvoie à la problématique des documents PowerPoint, à la familiarisation avec les tâches avant les premières formations et à la formation continue à travers des rappels ponctuels.

Nous nous sommes orientés vers un outil de transmission des connaissances procédurales, que nous avons appelé K-Player, qui pourraient se substituer aux documents PowerPoint. Le K-Player est une interface multimédia implémentée dans une tablette (bien qu'il soit utilisable sur ordinateur). Il a pour vocation de transmettre les connaissances modélisées avec l'outil MIMIKS. Ainsi nous retrouvons en son centre la ou les vidéos. Les côtés de l'interface sont occupés par les informations ajoutées par l'expert. L'interface a été conçue en respectant les critères de Bastien et Scapin (2007) et les préconisations de Mayer (2001). Il est permis à l'utilisateur d'interagir par la voix avec le logiciel. Il pourra ainsi naviguer sans utiliser ses mains, qui sont donc libres pour réaliser la tâche visionnée.

Nous nous attendions à ce que cet outil soit plus utile, utilisable et acceptable que l'existant. Nous supposions aussi qu'il permettrait une meilleure compréhension du contenu, à savoir les connaissances procédurales. Nous avons aussi réalisé une mesure de la charge cognitive et nous attendions à ce que celle-ci soit moins importante avec le K-Player qu'avec l'existant.

Nos attentes ont été partiellement atteintes. En effet l'utilité perçue a été similaire pour les deux outils. Cependant l'utilisabilité et l'acceptabilité de l'outil ont marqué une différence significative avec l'existant. L'outil présente plusieurs avantages : une standardisation de la structuration de l'information et une hiérarchisation qui facilite sa recherche, un faible encombrement, une manutention facilitée, une facilitation dans la navigation pendant l'activité (grâce au dialogue homme/machine notamment). La performance du participant utilisant le K-Player a été bien meilleure que celle utilisant l'outil existant. Il a été plus rapide, a fait moins d'erreurs, a mieux appliqué les astuces et surtout le résultat a été conforme à la procédure (contrairement au participant utilisant l'outil existant).

Selon nous ces résultats sont imputables à plusieurs facteurs. La structuration de l'interface présentée ci-dessus a permis un meilleur traitement des informations. De plus l'intégration de la vidéo entraîne un effet de modalité (Mayer, 2001) qui favorise la com-

préhension. Il est aussi intéressant de relever la qualité structurante de la vidéo. Celle-ci rend perceptible l'enchaînement des actions et des changements sur les pièces en rendant visible le passage d'un point A à un point B (là où le document papier avec photographie ne rend compte que du point A et du point B). Selon l'utilisateur cela l'a aidé à identifier les actions à réaliser et à mieux les ordonner. A contrario, nous pensons que reconstruire l'action à partir de textes et de photographies est plus coûteux pour l'utilisateur.

Les limites de l'étude sont les mêmes que pour l'outil MIMIKS. La pratique de l'étude de cas rend difficilement généralisable les connaissances produites. Premièrement parce que le faible nombre de participants ne permet pas de généraliser les conclusions à un échantillon plus grand. Deuxièmement parce que la mesure de référence est l'outil existant dans l'atelier Continental Toulouse. Il serait intéressant de reproduire cette étude à plus grande échelle et en comparant avec différents types d'outils.

La limite actuelle du K-Player réside essentiellement dans le fait qu'il favorise la transmission et la compréhension des connaissances procédurales, mais il n'est pas prévu pour l'apprentissage à long terme. Comme nous l'avons présenté dans le chapitre sur le K-Player, nous avons réalisé des premières maquettes pour qu'il tende vers un outil d'apprentissage. Pour cela nous nous sommes basés sur certains concepts clés. Bordage (2016) évoque les trois méthodes les plus pertinentes pour apprendre. La première recommandation est d'étaler la formation dans le temps. Il serait par exemple plus pertinent de réaliser trois sessions d'une journée entre coupées d'une journée que trois jours de formation à la suite. Selon Rohrer et Pashler (2010) les apprenants auraient une meilleure rétention à long terme lorsque les sessions de formation sont espacées. Raman et al. (2010) évoque une rétention augmentée à 150% trois mois après un cours. La deuxième recommandation est d'apprendre de façon mixte. C'est-à-dire de ne pas fonctionner par bloc séquentiel transmission des informations puis exercices. L'objectif serait d'incorporer des exercices tout au long de l'apprentissage. Hatala et al. (2003) ont montré que cette stratégie permettait une amélioration de l'apprentissage de 53% comparativement à un fonctionnement séquentiel. La troisième recommandation est l'utilisation du testing effect (Larsen et al. 2009). Cet effet stipule qu'il est plus efficace de vérifier ses connaissances en se testant que de relire ses notes. En d'autres termes la vérification des connaissances aurait un effet positif sur



la rétention des informations apprises. Cette vérification consiste à se mettre en situation de test, en répondant à des questions par exemple.

Nous nous sommes saisis de ces concepts pour modéliser notre outil d'apprentissage. L'idée était d'intégrer le K-Player dans un portail principal sur lequel l'apprenant pourrait s'identifier chaque jour pour voir si du nouveau contenu de formation était disponible. Le portail serait articulé autour de trois onglets principaux. Lorsque du contenu serait disponible dans un onglet, alors une notification chiffrée apparaîtrait.

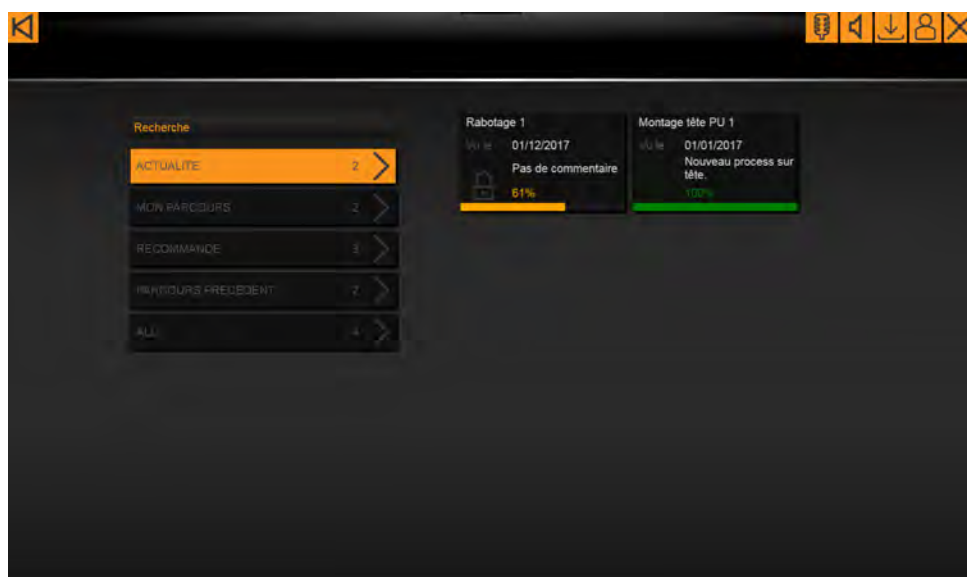


FIGURE 8.13 – Portail principal du K-Player

L'onglet le plus important est probablement « Mon parcours ». Il s'agit là d'un onglet présentant à l'apprenant du contenu de formation selon un parcours pédagogique pré établi par les formateurs. Nous verrons ci-dessous que ce contenu de formation renvoie à des gammes vidéo, mais aussi à des questions permettant à l'utilisateur de tester ses connaissances.

Le deuxième onglet se nomme « Recommandé ». A travers la revue de littérature nous avons vu qu'il était pertinent de réaliser des rappels espacés dans le temps. Ce besoin est renforcé par le contexte propre à Continental Toulouse où il peut arriver que des techniciens ne réalisent pas certaines tâches pendant plusieurs mois. Cet espacement n'aide pas au renforcement de l'encrage en mémoire. Pour pallier à cela, l'onglet « Recommandé » se base sur la documentation interne de Continental Toulouse. Des documents appelés «

check-lists » permettent de conserver la trace quotidienne de l'activité des techniciens. Ces documents servent initialement à avoir une trace des opérations de maintenances réalisées sur les machines. L'onglet se basera sur cette documentation pour détecter si une tâche n'a pas été réalisée depuis plus de six mois. Si tel est le cas alors il proposera à l'utilisateur de visionner à nouveau la gamme associée.

Le troisième onglet s'appelle « Actualité ». Cet onglet n'a pas été motivé par la revue de littérature mais par les entretiens avec les formateurs et les experts. Il semblerait que ces derniers souhaitent réaliser des rappels ponctuels sur certaines tâches devenues critiques. Plusieurs raisons peuvent rendre une tâche critique : des accidents humains ont eu lieu, des pannes fréquentes, beaucoup de défauts/rebut. . . Aujourd'hui le seul moyen mis à disposition des experts est de déposer une affiche sur les lignes de production. Ils souhaiteraient donc avoir un onglet sur lesquels ils auraient la main pour proposer du contenu ponctuellement aux apprenants.

Ces trois onglets seraient complétés par deux autres permettant d'accéder facilement au contenu récemment parcouru et de réaliser une recherche parmi le contenu total. Ces onglets sont prévus pour faciliter l'accès aux gammes pour les apprenants.

Nous avons vu qu'il était important d'intégrer des phases de test dans le parcours de formation pour favoriser l'apprentissage. De plus cette fonctionnalité a été mentionnée par les formateurs qui utilisent déjà ce type d'exercice à travers leurs formations sur ligne comme en salle.

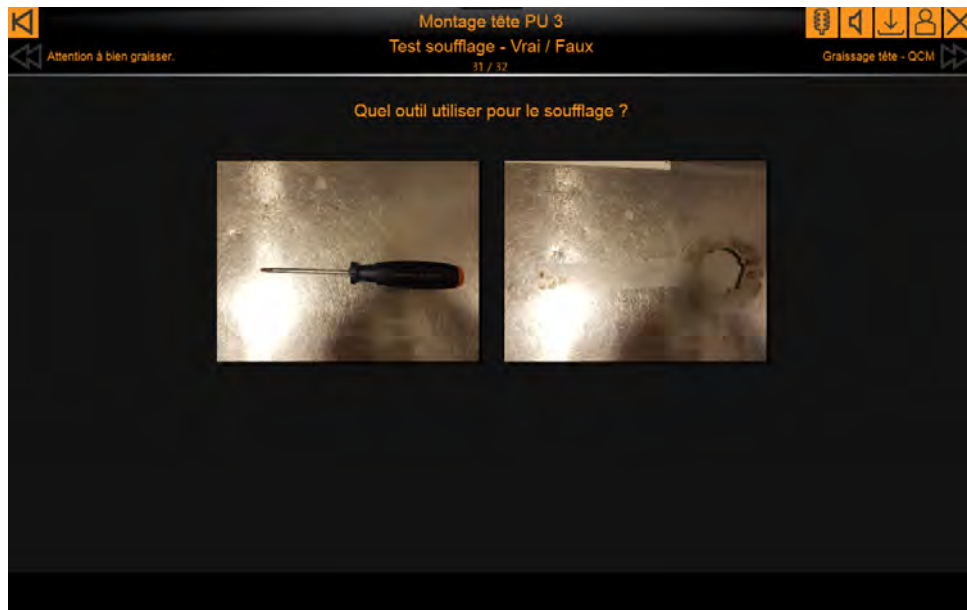


FIGURE 8.14 – Illustration des tests intégrés au K-Player

Nous avons donc envisagé la possibilité d'intégrer des questions à n'importe quel moment du parcours de formation. L'exercice comporte systématiquement un énoncé textuel. Cet énoncé peut être illustré par une image ou une vidéo. Les réponses peuvent, elles aussi, être textuelles ou imagées.

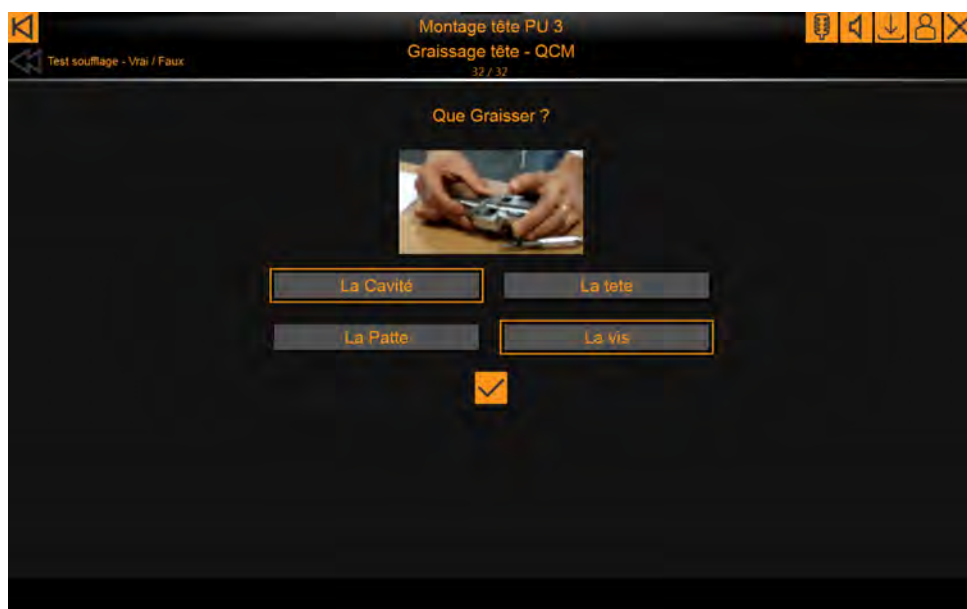


FIGURE 8.15 – Illustration des tests intégrés au K-Player

Un brainstorming a été réalisé avec les formateurs pour envisager une méthode per-

mettant de mettre en situation les apprenants. Nous avons envisagé un poste dédié à l'apprentissage. Sur ce poste se trouverait tout le matériel nécessaire pour simuler des opérations de maintenance. L'apprenant pourrait, par exemple, utiliser une GoPro pour se filmer. Le formateur pourrait alors visualiser la production depuis son ordinateur. Il pourrait alors réaliser des retours directement sur le portail de l'apprenant. Il n'aurait pas à assister à toutes les mises en situation (ce qui est logistiquement impossible pour lui actuellement). Ce dispositif nécessite une étude à part entière, autant pour les formateurs que pour les apprenants, notamment pour évaluer son acceptabilité.

Il est aussi à relever que ce système de portail nécessite un outil de gestion de formation à destination des experts. Cet outil aurait pour finalité la création et la gestion des parcours de formation. Il permettrait aussi de réaliser des rappels ponctuels à travers l'onglet « Actualité ». Nous pouvons aussi envisager qu'il intègrerait un outil de suivi statistique des formations suivies et des résultats aux questionnaires. Il serait aussi préférable qu'il facilite l'accès ou qu'il intègre l'outil MIMIKS de modélisation des savoir-faire.

## 8.5 Les outils complémentaires

Tout au long du projet, nous avons aussi développé des outils périphériques pour répondre à d'autres besoins. En parallèle des documents PowerPoint, les experts modélisent ce que l'on appelle des « fiches d'auto-diagnostics ». Ces fiches fournissent une aide aux utilisateurs dans la résolution des pannes.

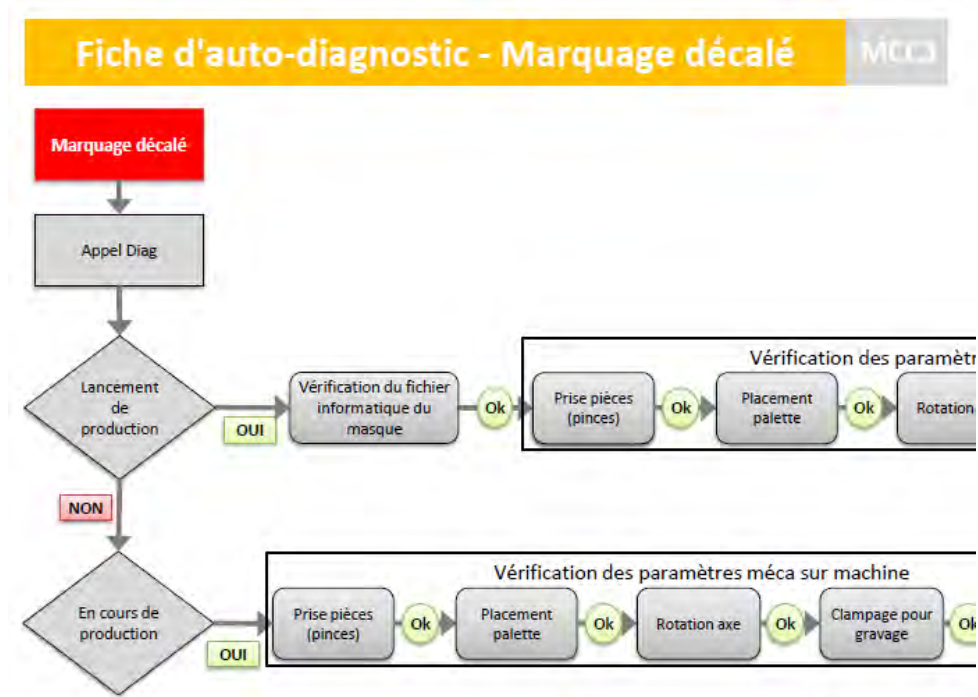


FIGURE 8.16 – Exemple d'un extrait de fiche d'autodiagnostic

Ces fiches n'ont pas pour vocation d'expliquer comment réaliser des actions. Elles guident l'utilisateur dans la résolution d'une panne en lui indiquant les actions à réaliser. Comme le montre la fiche 8.17, l'utilisateur suit un graphe de case en case. Il choisira certains embranchements selon indication prévues par le graphe.

Selon les experts, ces fiches sont peu utilisées, les novices ayant plus d'intérêt à solliciter directement un expert pour résoudre plus rapidement la panne et reprendre la production. Les échanges avec les novices ont montré qu'il pouvait être difficile de suivre et de comprendre les graphes.

Dans le cadre du projet, nous avons souhaité créer deux outils. Un permettant aux experts d'étoffer leurs fiches d'auto-diagnostics, et un outil de lecture de graphes dédié aux techniciens sur ligne.

### 8.5.0.1 Assistant pour l'édition de graphes

Nous ne souhaitons pas créer un éditeur de graphe car cela n'aurait pas été novateur tant il en existe sur le marché. Nous souhaitons créer un assistant permettant aux experts de se questionner sur leurs graphes afin de les enrichir. Notre objectif n'était pas de créer

un outil abouti mais d'avoir une preuve de concept, c'est-à-dire d'étudier la pertinence de notre idée. Dans le cadre du projet, nous avons réalisé un prototype pour un test en magicien d'Oz.



FIGURE 8.17 – Illustration de l'assistant pour l'édition de graphe

L'assistant s'intègre sur l'outil utilisé par les experts, dans notre contexte il s'agit de Microsoft Visio. Ainsi le graphe est exécuté sur le logiciel Visio pendant que l'assistant est ajouté en surcouche sur l'interface (Cf figure 8.17). Il est composé de deux éléments principaux. Un volet latéral est présent à gauche de l'interface pour permettre à l'utilisateur de se repérer dans la trame d'entretien. Une fenêtre contextuelle apparaît sur le graphe et présente du texte. Ce texte est aussi lu par une voix synthétique.

Une fois initié, l'assistant lance un entretien autour du graphe. Il suit une trame que nous avons défini au préalable. Celle-ci se trouve en annexes. Cet entretien s'articule autour de plusieurs thèmes.

Il commence par poser des questions générales sur le diagnostic pour savoir si des informations périphériques viendraient à manquer (e.g. « *Selon vous, manque-t-il des outils potentiellement utiles parmi ceux cités ?* »). A chaque question, l'utilisateur peut répondre par la voix ou cliquer sur la réponse souhaitée.

Après avoir répondu à ces questions génériques, il est demandé à l'expert d'identifier des étapes potentiellement critiques dans la réalisation du diagnostic. Bien sûr, il est expliqué

ce que nous entendons par critique (« *Nous considérons comme critique une étape qui peut être difficile, dangereuse, longue, qui peut avoir des cas particulier, ou présente une autre particularité importante* »). Si des étapes sont marquées, alors l'entretien prévoit de revenir sur chacune d'entre elles. Une série de questions est posée afin d'expliciter la criticité de l'étape et pour identifier comment faciliter leur réalisation.

L'assistant termine par une série de questions permettant d'obtenir des informations jugées critiques par certains experts et membres de la direction : la procédure à suivre une fois le diagnostic terminé. Ces étapes, parfois manquantes, sont primordiales pour conserver un suivi des pannes et donc permettre l'amélioration continue des machines.

Deux experts ont participé à un test utilisateur concernant cet outil. A la suite de ce test un questionnaire d'acceptabilité et un entretien étaient réalisés. Le questionnaire, utilisé pour l'outil MIMIKS, présente deux thèmes : l'utilisabilité et l'utilité perçue. Il s'agit de la même grille utilisée tout au long du projet, celle-ci se trouve en annexes. Nous étudions ensuite les informations obtenues grâce à l'assistant.

L'assistant a été très bien perçu par les utilisateurs, avec une moyenne de 6,5/7 en utilisabilité et 6/7 en utilité perçue. Les entretiens ont montré que l'assistant était perçu comme un bon outil de validation afin de s'assurer de ne rien avoir oublié. Les experts trouvaient pertinent de pouvoir mettre en avant des étapes critiques. Il a été perçu comme très facile à utiliser, et pour cause aucune erreur d'interaction n'a été constaté durant le test. Le plus gros point fort pour les utilisateurs est la rapidité d'utilisation. Le premier test a été réalisé en 3min02 et le deuxième test en 6min11.

Lors du premier test l'utilisateur n'a pas ajouté d'information périphériques ni marqué d'étape comme critique. Il a cependant ajouté des informations pour signifier comment clôturer la tâche et conserver une trace du diagnostic.

Lors du deuxième test l'utilisateur a marqué deux étapes. Une première pour signaler une étape dangereuse pour l'Homme et une deuxième pour une étape particulièrement difficile. Une solution a même été apportée pour pallier à la dangerosité de la première étape. Encore une fois l'expert a ajouté des informations pour signifier comment clôturer le diagnostic.

Ces tests ont permis de faire la preuve du concept. Les travaux ne se sont pas poursuivis

au sein de l'Institut de Recherche Saint Exupery mais ont permis de lancer une réflexion chez les différents membres du projet. Simsoft Industry a notamment pu initier des projets sur la base de ce concept.

### 8.5.0.2 Outil d'aide au diagnostic

Comme nous l'avons évoqué précédemment, nous souhaitons mener une réflexion pour étudier la pertinence d'un outil de lecture des fiches de diagnostic qui faciliteraient leur compréhension. Si nous n'avons pas eu l'opportunité de tester l'outil, nous avons cependant réalisé une première version. Cet outil étant complémentaire aux travaux menés jusqu'ici, nous avons jugé utile d'en réaliser une présentation.

Nous avons pensé l'outil d'aide au diagnostic comme un outil complémentaire du K-Player, nous avons donc repris certains de ses codes. L'interface est donc portée sur tablette. Elle a été pensée de façon multimodale, l'utilisateur peut interagir tactilement mais aussi vocalement.



FIGURE 8.18 – Ecran de navigation de l'outil d'aide au diagnostic

Une fois le logiciel lancé, une page de navigation s'affiche. La page présente le défaut investigué et le sous processus. L'action ou la question est présentée au centre. Lorsque l'étape est une action seul un bouton suivant est présent. L'utilisateur peut aussi revenir



en arrière à tout moment.



FIGURE 8.19 – Ouverture média

Des icônes sont présentes pour indiquer la présence d'un média supplémentaire (comme une gamme permettant d'expliquer comment réaliser l'action, ou une image illustrative).



FIGURE 8.20 – Ecran avec question

Lorsque l'étape est une question alors les réponses s'affichent et l'utilisateur doit sé-

lectionner la réponse souhaitée. On remarque qu'un bouton est présent en permanence en haut à gauche. Il permet d'ouvrir une pop qui donne une vision d'ensemble et permet de naviguer (voir ci-dessous).

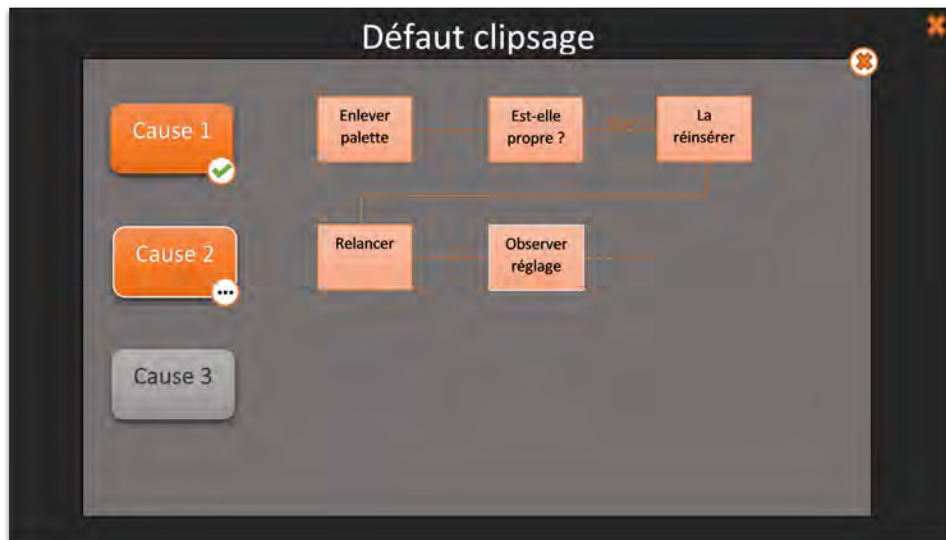


FIGURE 8.21 – Vision d'ensemble

Toutes les causes à investiguer pour le diagnostic sont affichées. On peut voir celles qui ont déjà été inspectées et celle en cours. Les suivantes s'affichent mais ne sont pas cliquables (l'utilisateur n'est pas censé pouvoir occulter des vérifications, l'objectif est qu'il suive le parcours). La cause active est en surbrillance et le déroulement associé apparaît. L'étape en cours est aussi en surbrillance. L'utilisateur peut revenir en arrière en cliquant sur une étape déjà réalisée. Il peut même revenir à une étape d'une cause précédente s'il le souhaite. Il est permis à l'utilisateur de fermer directement le pop-up pour revenir là où il en était.

Nous n'avons pas pu réaliser d'étude autour de cette première version d'assistant au diagnostic. Seules des réunions de présentation ont eu lieu. Il apparaît pertinent de tester cet outil en situation pour évaluer son acceptabilité et sa capacité à rendre compréhensible une fiche d'autodiagnostic.

## 8.6 Conclusion

Cette thèse s'inscrit dans un projet de recherche industriel dont l'objectif a évolué au cours du temps.

Le premier objectif était de mener une étude permettant d'aboutir à une interface humain/machine multimodales de capture de l'expertise métier utile, utilisable et acceptable. Avant l'apport de l'ergonomie cognitive, les freins étaient nombreux. Mon rôle a été d'y répondre en apportant des connaissances sur le fonctionnement cognitif des experts d'une part, et de mettre en place une démarche de conception centrée utilisateur d'autre part. Selon nous la mise en oeuvre d'une démarche pluridisciplinaire prenant en compte les besoins des utilisateurs, qu'ils soient cognitifs ou propres à leur activité, a été déterminante dans le succès de ce projet. Ainsi nous avons pu aboutir à la solution MIMIKS qui permet aux experts de modéliser des connaissances jusqu'alors sous estimées et cela en respectant les critères d'acceptabilité. S'il fallait retenir un apport de cette thèse à ce sujet, nous citerions l'apport de l'oculométrie pour l'élicitation du savoir-faire expert. L'oculométrie permet non seulement de mettre en avant les contrôles visuels, primordiaux dans l'activité experte, mais aussi d'identifier les étapes où la charge cognitive est la plus importante, étapes potentiellement critiques pour la bonne réalisation d'une tâche.

Le succès du projet de recherche s'est traduit par la prolongation du projet afin d'investiguer une interface permettant de transmettre ces connaissances préalablement capturées. Cette prolongation était pour nous l'occasion de développer une interface certes moins novatrice, mais qui nous permettait d'aller au bout de ce projet pour nous comme pour les utilisateurs impliqués dans la démarche.

Nous avons en parallèle investigué des solutions permettant de répondre à des besoins périphériques à la gestion des connaissances, comme la réalisation de diagnostics. Cette évolution est pour nous un signe de réussite. Le signe que nous avons su intégrer les utilisateurs tout au long de la démarche de conception, de l'analyse de l'activité aux tests utilisateurs. Cette intégration nous a poussés à nous questionner sur des sujets jusqu'alors pas/peu abordés. Nous sommes sortis du cadre initialement prescrit pour nous rapprocher des besoins de l'activité, ce qui est, pour moi, l'objectif premier de l'ergonomie.

CHAPITRE

9

---

Bibliographie

---

- Ahlstrom, U., & Friedman-Berg, F. J. (2006). Using eye movement activity as a correlate of cognitive workload. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(7), 623-636.
- Aïmeur, E., Frasson, C., & Lalonde, M. (2001). The role of conflicts in the learning process. *ACM Sigcue Outlook*, 27(2), 12-27.
- Allwood, J., Nivre, J., & Ahlsén, E. (1992). On the semantics and pragmatics of linguistic feedback. *Journal of semantics*, 9(1), 1-26.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational and Human Decision Processes* 50, 179-211
- Anderson, J. R. (1993). Problem solving and learning. *American Psychologist*, 48(1), 35.
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological review*, 111(4), 1036.
- Backs, R. W. (1995). Going beyond heart rate: autonomic space and cardiovascular assessment of mental workload. *The international journal of aviation psychology*, 5(1), 25-48.
- Bandura, A. (1982). Self-efficacy mechanism in human agency. *American psychologist*, 37(2), 122.
- Bach, C., & Scapin, D. L. (2005). Critères Ergonomiques pour les Interactions Homme-Environnements Virtuels: définitions, justifications et exemples. *Rapport technique, INRIA*, (5531).
- Bastien, J. C., & Scapin, D. L. (1993). Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces.
- Bastien, J. C., Leulier, C., & Scapin, D. L. (1998). L'ergonomie des sites web. *Créer et maintenir un service Web*, 111-173.
- Bédard, J., & Chi, M. T. (1992). Expertise. *Current directions in psychological science*, 135-139.
- Bellik, Y., & Teil, D. (1992). Définitions terminologiques pour la communication multimodale. In *Conference Interaction Humain-Machine IHM'92*.
- Bellik (1995), Bellik Y., Interfaces multimodales : concepts, modèles et architectures, *thèse de doctorat d'université 1995*.
- Bordage, G. (2016). Maximiser les apprentissages: trois leçons tirées de la psychopédagogie. *Pédagogie Médicale*, 17(2), 135-138.

- Brusilovsky, P. (1994, August). Student model centered architecture for intelligent learning environments. In *Proc. of Fourth International Conference on User Modeling, (Hyannis, MA, 15-19 August 1994), MITRE* (pp. 31-36).
- Burkhardt, J.-M., & Sperandio, J.-C. (2004). Ergonomie et conception informatique. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 437-450). Paris, France : Presses universitaires de France.
- Catizone *et al.* (2002) R. Catizone, A. Setzer, and Y. Wilks. State of the Art in Dialogue Management. 2002.
- Chan, T. W. (1995). Artificial agents in distance learning. *International Journal of Educational Telecommunications, 1*(2), 263-282.
- Chen, F., Ruiz, N., Choi, E., Epps, J., Khawaja, M. A., Taib, R., & Wang, Y. (2012). Multimodal behavior and interaction as indicators of cognitive load. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS), 2*(4), 22.
- Compeau, D. R., & Higgins, C. A. (1995). Computer self-efficacy: Development of a measure and initial test. *MIS quarterly, 19*(2).
- Coutaz *et al.* (1995), Coutaz J., Nigay L., Salber D., Blandford A., May J., Young R.M. Four easy pieces for assessing the usability of multimodal interaction: the CARE properties. In K. Nordby, P.H. Helmersen, D.J. Gilmore and S.A. Arnesen (eds) *Human Computer Interaction: Interact '95. Chapman and Hall: London. pp. 115-120, 1995.*
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly, 319-340.*
- Debue, N., Van De Leemput, C., Hellemans, C., & Chauvin, C. (2013). Evaluation des charges intrinsèque, extrinsèque et pertinente dans une tâche de navigation WEB. *Activités humaines, Technologies et Bien être, 229.*
- Djelil, F. (2014). Comment évaluer un jeu d'apprentissage en contexte de formation professionnelle. *Rencontres de Jeunes Chercheurs en EIAH, 11-16.*
- Flavell, J. H. (1985), Développement métacognitif. In J. Bideaud, & M. Richelle, *Psychologie développementale, problèmes et réalités* (pp. 9-33). Bruxelles, France : Mardaga.
- Gratch, J., Okhmatovskaia, A., Lamothe, F., Marsella, S., Morales, M., van der Werf, R. J., & Morency, L. P. (2006, September). Virtual rapport. In *IVA* (Vol. 6, pp. 14-27).
- Hatala, R. M., Brooks, L. R., & Norman, G. R. (2003). Practice makes perfect: the critical role of mixed practice in the acquisition of ECG interpretation skills. *Advances in Health Sciences Education, 8*(1), 17-26.

- Hart, S. G. (2006, October). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 50, No. 9, pp. 904-908). Sage CA: Los Angeles, CA: Sage Publications.
- Lane, H. C. (2006, August). Intelligent tutoring systems: Prospects for guided practice and efficient learning. In *Whitepaper for the Army's Science of Learning Workshop* (p. 1).
- Larsen, D. P., Butler, A. C., & Roediger III, H. L. (2009). Repeated testing improves long-term retention relative to repeated study: a randomised controlled trial. *Medical education*, 43(12), 1174-1181.
- Le Bellu, Sophie and Lahlou, Saadi (2010) *Comment capter le savoir incorporé dans un geste métier du point de vue de l'opérateur? ISDM: Informations, Savoirs, Décisions, Médiations* (36). ISSN 1265-495
- Leblanc, S., Ria, L., Dieumegard, G., Serres, G., & Durand, M. (2008). Concevoir des dispositifs de formation professionnelle des enseignants à partir de l'analyse de l'activité dans une approche enactive. *Activités*, 5(5-1).
- Lemmelä, S. (2008, May). Selecting optimal modalities for multimodal interaction in mobile and pervasive environments. In *Proceedings of IMUx (improved mobile user experience) workshop, Pervasive*.
- Martin, J.C. (1996) Types et buts de coopération entre modalités dans les interfaces multimodales. *Techniques et science informatiques. Vol. 15, 10/1996, 1367-1397. (31pages)*.
- Marty, J. C., & Mille, A. (2009). Introduction-Analyse de traces et personnalisation des EIAH. *Analyse de*.
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning. *Psychology of learning and motivation*, 41, 85-139.
- McTear (2002) M. McTear. Spoken dialogue technology: Enabling the conversational user interface. *ACM Computing Survey, Volume 34, No 1, 2002*.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). Human problem solving (Vol. 104, No. 9). *Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall*.
- Nielsen, J. (1993). Usability engineering. Boston: Academic Press
- Nielsen, J. (2000). Why you only need to test with 5 users.

- Nielsen, J. (2012). Usability 101: Introduction to usability.
- Nigay *et al.*, (1995), Nigay L., Coutaz J., A Generic Platform for Addressing the Multimodal Challenge. *Proc. Of CHI'95*, 1995, 98-105.
- Nigay *et al.*, (1996), Nigay L., Coutaz J., Espaces conceptuels pour l'interaction multimédia et multimodale, *TSI, spéciale Multimédia et collectif, AFCET & HERMES Publ, Vol 15(9)*, 1996, p. 1195-1225.
- Nigay, L., & Coutaz, J. (1996). Espaces conceptuels pour l'interaction multimédia et multimodale. *Technique et science informatiques*, 15(9), 1195-1225.
- Nkambou, R., Mizoguchi, R., & Bourdeau, J. (Eds.). (2010). *Advances in intelligent tutoring systems* (Vol. 308). Springer Science & Business Media.
- Paas, F. G., & Van Merriënboer, J. J. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational psychology review*, 6(4), 351-371.
- Raman, M., McLaughlin, K., Violato, C., Rostom, A., Allard, J. P., & Coderre, S. (2010). Teaching in small portions dispersed over time enhances long-term knowledge retention. *Medical teacher*, 32(3), 250-255.
- Ritter, S., & Koedinger, K. R. (1996). An architecture for plug-in tutor agents. *Journal of Interactive Learning Research*, 7(3), 315.
- Rohrer, D., & Pashler, H. (2010). Recent research on human learning challenges conventional instructional strategies. *Educational Researcher*, 39(5), 406-412.
- Roy, D. (2015). *Personnalisation automatique des parcours d'apprentissage dans les Systemes Tuteurs Intelligents* (Doctoral dissertation, Inria Bordeaux Sud-Ouest).
- Rowe, J. P., McQuiggan, S. W., Mott, B. W., & Lester, J. C. (2007, July). Motivation in narrative-centered learning environments. In *Proceedings of the workshop on narrative learning environments, AIED* (pp. 40-49).
- Samsonovich, A. V., De Jong, K. A., Kitsantas, A., Peters, E. E., Dabbagh, N., & Kalbfleisch, M. L. (2008). Cognitive constructor: An intelligent tutoring system based on a biologically inspired cognitive architecture (bica). *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, 171, 311.
- Scapin, D. L., & Bastien, J. C. (1996). Inspection d'interfaces et critères ergonomiques.
- Shanteau, J. (1992). Competence in experts: The role of task characteristics. *Organizational behavior and human decision processes*, 53(2), 252-266.



- Stein, J. F., & Glickstein, M. (1992). Role of the cerebellum in visual guidance of movement. *Physiological Reviews*, 72(4), 967-1017.
- Taoum, J., Nakhal, B., Bevacqua, E., & Querrec, R. (2016, October). Une proposition de conception pour les tuteurs virtuels interactifs dans un environnement informé. In *11e Journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle (AFRV 2016)*.
- Tchounikine, P. (2002). Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. *Revue I3-Information Interaction Intelligence*, 2, 59-95.
- Tricot, A., Plegat-Soutjis, F., Camps, J. F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003, April). Utilité, utilisabilité, acceptabilité: interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain 2003* (pp. 391-402). ATIEF; INRP.
- Trung, H. (2006). Multimodal dialogue management-state of the art. *Human Media Interaction Department, University of Twente*, 2.
- Veenman, M., & Elshout, J. J. (1999). Changes in the relation between cognitive and metacognitive skills during the acquisition of expertise. *European journal of psychology of education*, 14(4), 509-523.
- Veltman, J. A., & Gaillard, A. W. K. (1998). Physiological workload reactions to increasing levels of task difficulty. *Ergonomics*, 41(5), 656-669.
- Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: four longitudinal field studies. *Management science*, 46(2), 186-204.
- Venkatesh, V. & Bala, H. (2008). TAM 3: Advancing the Technology Acceptance Model with a Focus on Interventions. *Decision Sciences*, 39, 273-315.
- Whelan, R. R. (2007). Neuroimaging of cognitive load in instructional multimedia. *Educational Research Review*, 2(1), 1-12.
- Wenger, E. (1987). *Artificial intelligence and tutoring systems: computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.

---

# Annexes

---

## Principes de Bastien et Scapin (2008)

Les auteurs nous proposent un ensemble de normes qui permettent de garantir autant que possible la conception d'un outil utilisable. Ici nous ne ferons pas un listing de toutes les normes ergonomiques mais les résumerons en critères à respecter.

### Compatibilité

Ce critère renvoie à l'accord que l'on peut créer entre les caractéristiques des utilisateurs (mémoire, compétences, capacités sensorielles, habitudes d'utilisation...) et celles de l'application. Il s'agit de limiter les efforts (cognitifs, physiques, organisationnels) dans l'utilisation de l'outil. En effet si l'interface correspond aux habitudes et aux capacités de l'utilisateur alors il devient beaucoup plus facile pour lui de se l'approprier. Exemples :

- Cognitif : l'utilisateur procède par étape pour réaliser une tâche, il faut respecter cette ordre dans la présentation des informations qui y sont associées.
- Perceptif : si l'utilisateur ne peut entendre correctement, alors il ne faut pas utiliser une modalité auditive.
- Habitude : si l'utilisateur a pour habitude de trouver sa barre de recherche d'informations en haut à droite de l'interface, alors il faut se conformer à cette habitude.

### Guidage

Le guidage renvoie à l'ensemble des modalités mises en œuvre pour orienter et donner des repères à l'individu dans son utilisation de l'outil. Ce guidage a pour but de permettre à l'individu de toujours savoir où il se trouve dans l'architecture de l'interface, de savoir où il en est dans une séquence d'actions mais aussi de repérer toutes les possibilités qui s'offrent à lui dans la navigation.

On distingue quatre sous-critères au guidage : la lisibilité, l'incitation, le groupement et la distinction entre items, et le feedback immédiat.

#### (a) Lisibilité

Ce critère renvoie à la facilité de traitement des informations qui sont transmises à l'utilisateur. Ces informations peuvent être autant auditives que visuelles ou tactiles. Lors de la conception d'un outil il faut donc s'assurer que l'utilisateur est en mesure de traiter les informations qui lui sont présentées.

Exemple :

- La luminosité doit être suffisante.
- La taille d'écriture aussi.

- Il faut choisir les modalités en fonction des contraintes environnementales (une modalité auditive sera difficile « lisible » dans un contexte bruyant).

### **(b) Incitation**

L'incitation recouvre les moyens qui permettent d'amener les utilisateurs à effectuer des actions bien spécifiques (navigation, manipulation d'objet 3D, entrée de données...). Ce critère doit aussi permettre aux utilisateurs de connaître les alternatives qui se présentent à lui lorsque plusieurs actions sont possibles. Pour finir cela doit permettre à l'utilisateur de se repérer dans l'arborescence de l'interface. L'avantage d'une bonne incitation est qu'elle évite à l'utilisateur de passer par une phase d'apprentissage, ce qui peut être très intéressant pour un outil qui est utilisé occasionnellement (comme l'outil de capture du savoir-faire que nous souhaitons créer).

### **(c) Groupement/distinction entre items**

Ce critère vise à rassembler entre eux les items de façon logique pour l'utilisateur mais aussi à bien distinguer les catégories d'items qui ne correspondent pas.

Exemple : rassembler tous les items concernant les moyens ensembles et les dissocier des items concernant les procédures.

Il existe plusieurs moyens de grouper et distinguer les items :

- Par la localisation : rassembler dans un même endroit les items d'une même catégorie.
- Par le format : attribuer des similitudes aux items d'une même catégorie. Exemple : tous les items concernant les outils sont présentés en bleus.
- Par le comportement : cela concerne principalement les items qui sont rassemblés par leur fonctionnalité. Exemple : les items qui annoncent une urgence qui pourront clignoter ou s'afficher en rouge.

### **(d) Feedback immédiat**

Après chaque interaction (simple ou complexe) avec l'outil ce dernier doit renvoyer une réponse indiquant la bonne prise en compte de la commande en entrée. Le délai de réponse ne doit pas être trop important et celui-ci doit être régulier. Le feedback peut se manifester par plusieurs modalités : auditive, tactile, visuelle.

## **Contrôle explicite**

L'utilisateur doit avoir le contrôle de son outil, il doit être moteur de l'interaction homme/machine. Autrement dit, l'utilisation ne doit pas être dictée par l'outil mais être à l'initiative de l'utilisateur. Il existe deux sous facteurs du contrôle explicite :

- Actions explicites : le système ne doit exécuter que les actions initiées par l'utilisateur et au moment où il les demande.
- Contrôle utilisateur : l'utilisateur doit avoir un contrôle sur les actions en cours. Il doit pouvoir les interrompre et les reprendre à sa guise.

## **Signifiante des codes, dénominations et comportements**

Le nom des différents items doit avoir une relation sémantique forte avec l'objet auquel il se rattache. Le but étant de faciliter la compréhension des différents items composant

une IHM.

### Charge de travail

Ce critère vise à concevoir l'outil de manière à réduire les charges perceptives, mnésiques ou physiques de l'utilisateur. Trois sous critères sont mis en avant : la brièveté (qui comprend Concision et Actions Minimales), la charge physique et densité informationnelle.

#### (a) Charge physique

Plus la charge physique est élevée, plus il y a de risques d'erreurs et d'accidents. Il faut donc éviter que l'outil soit encombrant ou gênant pour l'utilisateur (taille, poids, forme, etc.). Cet aspect est d'autant plus important pour notre projet que les utilisateurs utiliseront l'outil dans un contexte industriel.

#### (b) Brièveté

Concerne à la fois le niveau perceptif, mnésique et physique. Pour répondre à ce critère il faut limiter autant que possible la lecture et le nombre d'étapes par lesquelles doivent passer les utilisateurs. Trois sous critères composent la brièveté :

- Actions minimales : limitation du nombre d'étapes. Plus les étapes sont nombreuses et compliquées plus les risques d'erreurs sont élevés et plus l'expérience utilisateur est dégradée.
- Concision : les informations fournies par le système doivent être succincts pour limiter la charge mnésique.
- Densité informationnelle : concerne la quantité d'informations émises par l'IHM. Pour éviter une surcharge perceptive et mnésique il faut limiter autant que possible le nombre d'items présentés.

### Adaptabilité

Le système doit pouvoir s'adapter au contexte et aux besoins des utilisateurs. On compte deux sous critères de l'adaptabilité :

- La prise en compte de l'expérience utilisateur : le facteur principal à prendre en compte est l'expertise. Les experts n'ont pas les mêmes besoins que les novices. Si les novices ont besoin d'être guidés, il est préférable de laisser les experts complètement maîtres de l'interaction. Les experts n'ont pas les mêmes besoins informationnels car ils maîtrisent certaines notions.
- La flexibilité : l'interface doit présenter plusieurs moyens d'atteindre un même but voire même être personnalisable afin de s'adapter aux besoins des utilisateurs.

### Homogénéité/cohérence

L'interface doit être cohérente et homogène à travers tout le système. C'est-à-dire que l'utilisateur doit pouvoir retrouver les différentes fonctionnalités au même endroit quel que soit l'endroit du système dans lequel il se trouve. Il s'agit par exemple de retrouver systématiquement la barre de recherche en haut à droite de l'interface.

## Gestion des erreurs

Un bon système doit être doté d'une gestion efficace des erreurs. Cette dernière passe par trois niveaux :

- Protection contre les erreurs : il est préférable de prévenir les erreurs lors de la saisie d'informations en entrée plutôt que dans leur validation. Il s'agit par exemple de désactiver certaines commandes qui sont incompatibles dans une situation donnée. Cela permet d'être plus performant et de limiter la frustration de l'utilisateur.
- Qualité des messages d'erreurs : il faut s'assurer que les messages d'erreurs soient clairs pour permettre de comprendre qu'elle est la cause mais aussi comment corriger l'erreur. Cette qualité permet de favoriser l'apprentissage du fonctionnement du système.
- Correction des erreurs : il faut mettre à disposition de l'utilisateur des moyens de corriger ces erreurs. Nous pouvons penser par exemple à une commande permettant d'annuler la précédente opération.

# Entretien semi-directif : analyse de l'activité des experts

## Trame indicative

*Cet entretien a pour but de recueillir des premières informations sur l'expert, mais aussi de créer une structure qui me permettra de diriger mes observations.*

[Suite à la présentation] Acceptez-vous que l'on discute de tout ça ensemble ? Est-il possible que j'enregistre la conversation, ce fichier restera confidentiel et sera supprimé dès que je l'aurai traité. Cela nous permettrait d'avoir un échange plus vivant.

Je vous prie de m'excuser si certaines de mes questions paraissent naïves, le but de ma démarche est justement de me positionner en tant qu'élément extérieur qui souhaite comprendre votre activité sans a priori aucun.

- 1) [Thème 1 : profil] Pourriez-vous vous présenter en tant que professionnel?
  - a. Etude
  - b. Spécialisation
  - c. Expérience (année, métier...)
  - d. Particularité du profil
  - e. Métier exercé actuellement
  
- 2) [Thème 2 : service] Pouvez-vous me présenter le service dans lequel vous travaillez ?
  - a. Finalité (raison d'être du service)
  - b. Fonctionnement du service
    - Effectif
    - Organisation
    - Moyens
  - c. Interaction
    - Au sein du service
    - Avec d'autres services
  - d. Rôle spécifique au sein de ce service
  
- 3) [Thème 3 : tâches] Pouvez-vous me présenter l'ensemble des tâches que vous avez à réaliser dans le cadre de votre travail ?
  - a. Liste la plus exhaustive possible des différentes tâches qu'il réalise
  - b. Répartition temporelle (fréquence, part dans une semaine « type »)
  - c. Importance des différentes tâches (et pourquoi)
  - d. Responsabilité de l'expert dans les tâches concernées
  - e. Tâches qui ne sont jamais réalisés sans lui (et pourquoi)
  - f. Tâches qui selon lui sont les plus difficiles (pourquoi)

Je vous remercie du temps que vous m'avez accordé.

FIGURE 9.1 – Grille d'entretien semi directif destinée à une première compréhension de l'activité des experts

## Grille d'observation activité experte

Tâche	Objet	Durée	Réussite	Comment (dont outil)	Pourquoi échec N-1
1	Exemple : Maintenance. Intervention sur un roulement défectueux de la machine de dépose de pâte polyuréthane	Exemple : 12min	Exemple : Oui	Exemple : Utilisation d'un outil spécifique et contrôle visuel des autres pièces du mécanisme. Détection d'une cause extérieure impliquant une usure accélérée	Exemple : changement du roulement sans contrôle des autres pièces du mécanisme. Répétition de la panne.
2					

FIGURE 9.2 – Grille d'observation destinée à l'analyse de l'activité des experts

## Grille observation formation

	Information	Durée	Outils	Comment
1	Exemple : Comment réaliser une opération de nettoyage	Exemple : 31min	Exemple : Powerpoint Maquette Tableau blanc	Exemple : Explication orale. Projection d'une vidéo puis mise en situation avec la réalisation d'un exercice avec une maquette.

FIGURE 9.3 – Grille d'observation de l'activité de formation



## Modèle de l'oculomètre



FIGURE 9.4 – Illustration de l'oculomètre

**SMI ETG 2w**

Human interface design	Non-invasive video based glasses-type eye tracker; Insertable sun glasses included
Glasses weight	47g
Calibration	Calibrationless gaze tracking; 1-/3-point calibration; Offline calibration correction
Validation	Live validation of gaze tracking quality
Parallax compensation	Automatic parallax compensation
Sampling rate	60Hz binocular <sup>2</sup>
Gaze tracking accuracy	0.5° over all distances (typ.)
Gaze tracking range	80° horizontal, 60° vertical
Scene camera	Resolution: 1280x960p @24 fps; 960x720p @30 fps; HDR (high dynamic range) mode with high sensitivity for low light
Scene camera field of view	Field of view: 60° horizontal, 46° vertical
Eyewear compatibility	Works with contact lenses and most vision correction spectacles; Snap-on corrective lenses from +/- 4 diopter available
Audio	Integrated microphone <sup>1</sup>
Wireless control	Online scene video with gaze cursor, tracking status, eye images; Wireless live control and live annotations via Wi-Fi connected Windows device Wi-Fi standard 802.11 a/b/g/n/ac
Interfacing	VRPN interface Real-time data streaming with SDK (raw and fixation data, pupil measurements etc.) Wireless logging of incoming trigger messages Hardware trigger via PCI Express card with parallel port <sup>3</sup> Wi-Fi standard 802.11 n; GigabitLAN 802.3 a/b
Norm compliance	CE Declaration of Conformity; EN55022:05/2008 (class A); EN55024:10/2003; EN62471:2008; IP Class: 20

FIGURE 9.5 – Caractéristiques techniques de l’oculomètre




## Grille analyse performance élicitation

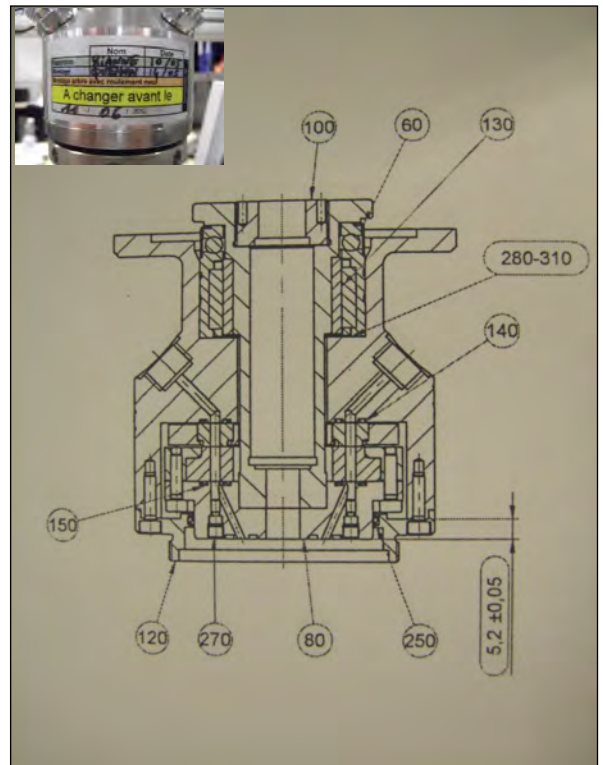
TABLEAU 9.1 – performace d’élicitation du savoir-faire (nombre d’informations spécifiques énoncées par catégorie) de la deuxième itération

Test	Actions	Outils	Consommable	EPI	Perception	Connaissance déclarative
Outil standard						
Outil MIMIKS V2						
Gain (%)						

## Gamme Continental

	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> part3	Vérificateur / A. PIERASCO Approbateur :	Temps alloué: 3H
	Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>VISA :</b> REF.VISUEL :		<b>679</b>	Team : A QUEHON

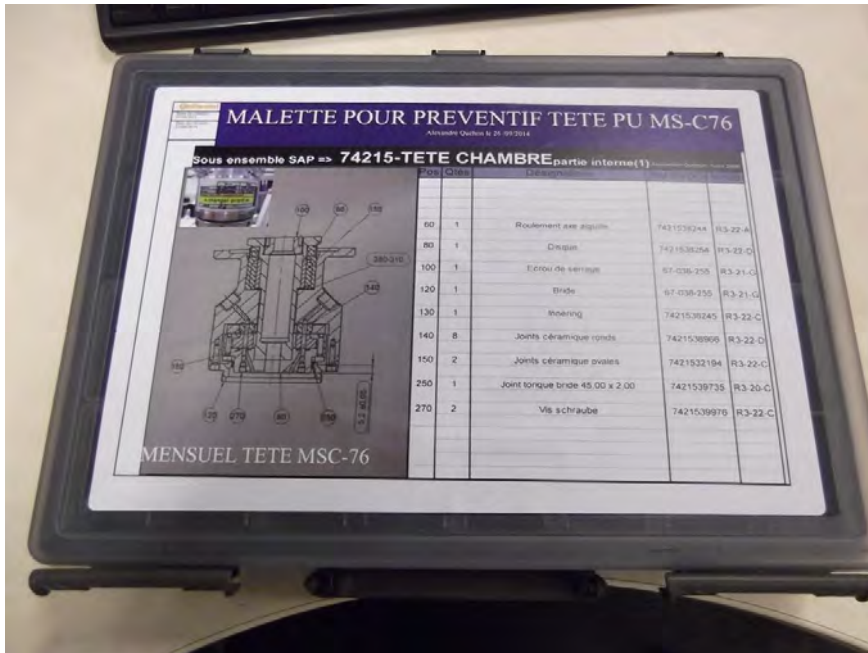
<b>OUTILS</b> 	⇒Forets 1,6 et 2 ⇒Lampe à led ou autre ⇒Clé BTR 1,5 mn ⇒ Clé BTR 3 mn ⇒ Tournevis AEF 2,5 x 75 FACOM ⇒ Porte mandrin manuel
<b>CONSOMMABLES</b> 	⇒Papier non pelucheux ⇒Huile fine réf. 7A00003954900 ⇒ joint 7421539735 R3-20-C ⇒Joints céramiques Ronds 74215 38966 R3-22-D ⇒Joints céramiques Ovaux 7421532194 R3-22-C
<b>TENUE DE PROTECTION/SECURITE</b> 	⇒> Gants verts réf :







 Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b>  <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur :	Temps alloué: 3H
				<b>VISA :</b> <b>REF.VISUEL :</b> <div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">679</div>	<b>Team :</b> A QUEHON



**Continental**

Date de création :

07/09/2011

Date de révision :

27/05/2014

**Équipement :**

74215-15 / 74215-16

74215-18 / 74215-19

74215-29 / 74215-35

74215-36 / 74215-40

74215-41

**N° Plan entretien**

14787-14791-13900

13901-15283-15147

15362-16270-18078

# Mensuel PU RAMPF TETE PU

## part3

Vérificateur / A. PIERASCO

Approbateur :

VISA :

REF.VISUEL :

**679**

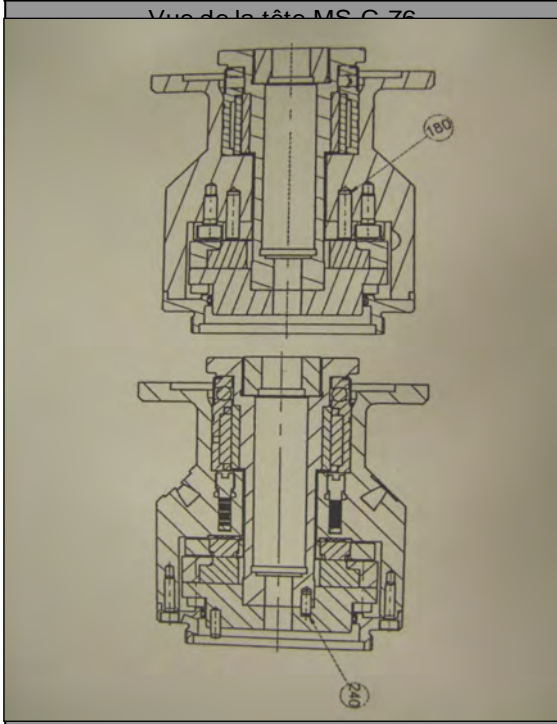
Temps alloué: 3H

Team : A QUEHON

### Sous ensemble SAP => 74215-TETE CHAMBRE partie interne(2)

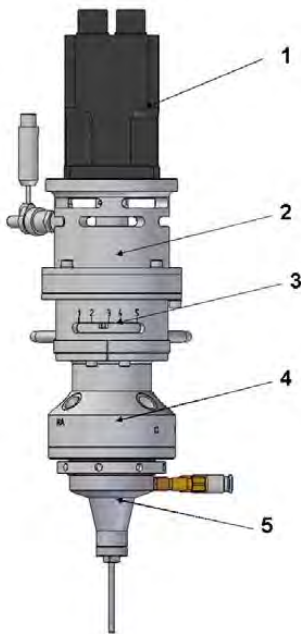
Alexandre Quéhon Acù  
2006

Vue de la tête MS C 76

	Pos.	Qtés	Désignations	Réf SVDO	M100
	180	2	Goupilles céramiques fixe	7421530095	R3-22-F
	240	1	Goupille axe	7421528830	R3-22-F

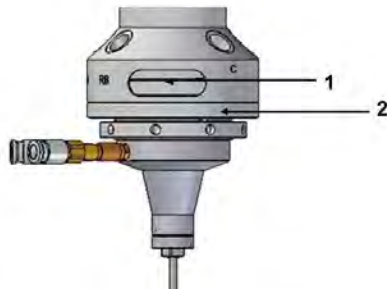


 Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b>  <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : VISA : REF.VISUEL :	Temps alloué: 3H  Team : A QUEHON
				<b>679</b>	



### Composition de la tête MS-C

- 1- Servomoteur triphasé SAP => 74215-DISP.MEL réf : 67-036-119
- 2- Entraînement SAP => 74215-DISP.MEL réf : 67-037-883
- 3- Engrenage avec indicateur de position
- 4- Tête de la chambre SAP => 74215-DISP.MEL réf : 74215 38902
- 5- Chambre du mélangeur SAP => 74215-DISP.MEL réf : 74215 38268


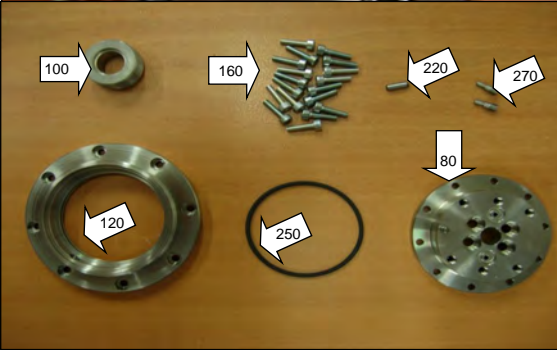


### Différentes positions de la tête MS-C

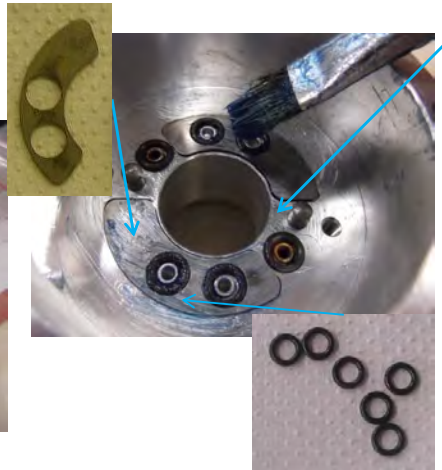
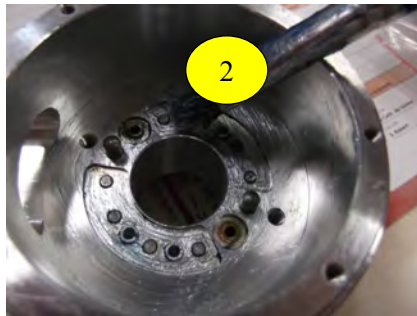
- 1 - Position « rinçage» C & C
- 2 - Position "recirculation« A & RA
- 3 - Position "pesage« A
- 4 - Position "dosage« A & B
- 5 - Position "fermée«

<b>Continental</b> Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b>  <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> REVISUEL :	Temps alloué: 3H  Team : A QUEHON
				<b>679</b>	

**Sous ensemble SAP => 74215-TETE CHAMBRE** partie externe Alexandre Quéhon Août 2006

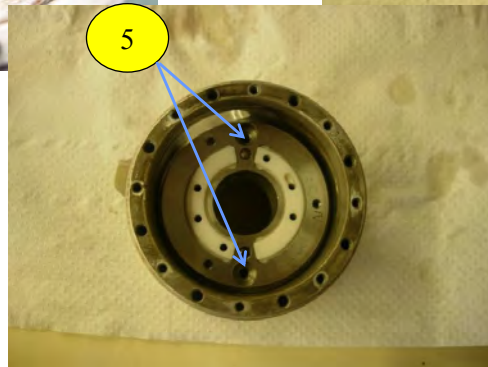
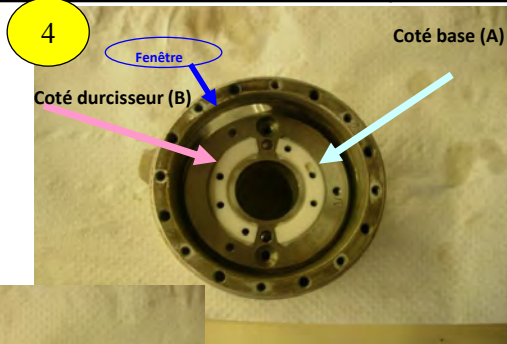
Vue de la tête MS-C 76	Pos.	Qtés	Désignations	Réf SVDO	M100	
 	80	1	Disque tête	7421538254	R3-22-D	
	100	1	Ecrou de serrage	67-038-228	R3-21-G	
	120	1	Bride	67-038-255	R3-21-G	
	160	18	Vis bride M3 x 12	7A00003955600	R1 I M ;	
	170	4	Vis axe M4 x 10	7A00003955200	xx ;	
	220	1	Goupille cylindrique	7421528508	R3-22-C	
	250	1	Joint torique bride 45,00 x 2,00	7421539735	R3-20-C	
	270	2	Vis schraube	7421539976	R3-22-C	

 Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> REVISUEL : <div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">679</div>	Temps alloué: 3H Team : A QUEHON



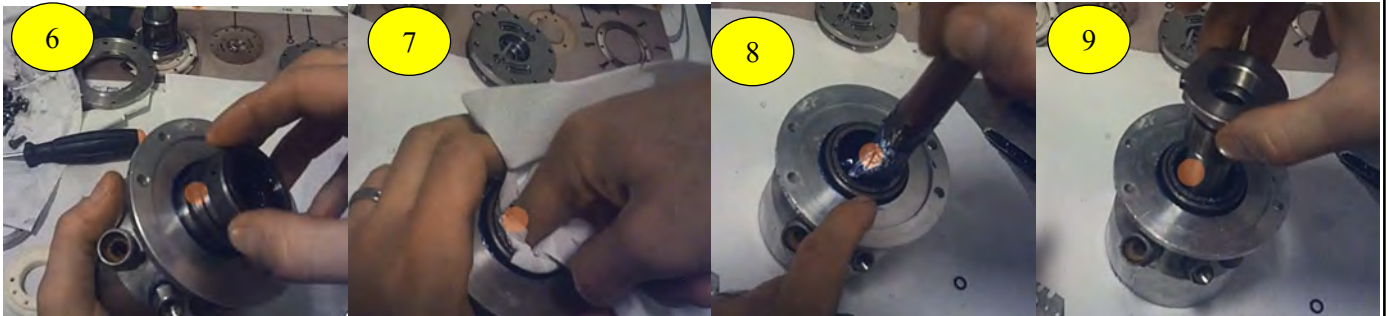
N° opération	Description du mode opératoire	Outillages et consommable	Niveau	Temps
1	Graisser au pinceau les raccords puis les visser au doigt sur tous les hélicoils		CEA	
2	Lubrifier avec graisse Graisse bleu KENDALL les deux cavités de la tête puis insérer les deux arcs métalliques dans leur logement avec leurs joints neufs.			


 Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> <b>part3</b>		Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> <b>REF.VISUEL :</b> <b>679</b>	Temps alloué: 3H Team : A QUEHON
---	---	---	---	--	--	-------------------------------------



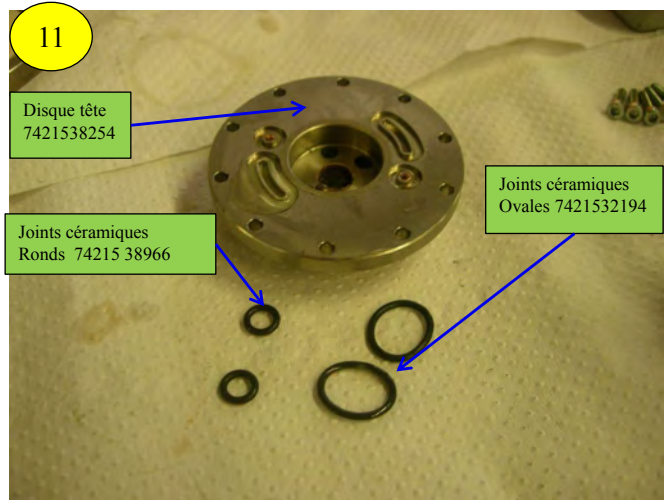
N° opération	Description du mode opératoire	Outillages et consommable	Niveau	Temps
3	Repositionner les deux arcs céramiques		CEA	
4	Remonter la pièce métallique en faisant attention au sens de montage		CEA	
5	Visser ensuite les deux vis de fixation avec le tournevis six pans de 3		CEA	

 Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> REVISUEL : <b>679</b>	Temps alloué: 3H Team : A QUEHON



N° opération	Description du mode opératoire	Outillages et consommable	Niveau	Temps
6	Insérer roulement puis nettoyer l'intérieur du roulement avec papier.		CEA	
7	Nettoyer ensuite axe.	Huile fine 7421510050	CEA	
8	Graisser l'intérieur du roulement avec le pinceau et la graisse bleue.	Graisse bleu KENDALL	CEA	
9	Insérer axe dans le roulement puis retourner la tête. 		CEA	

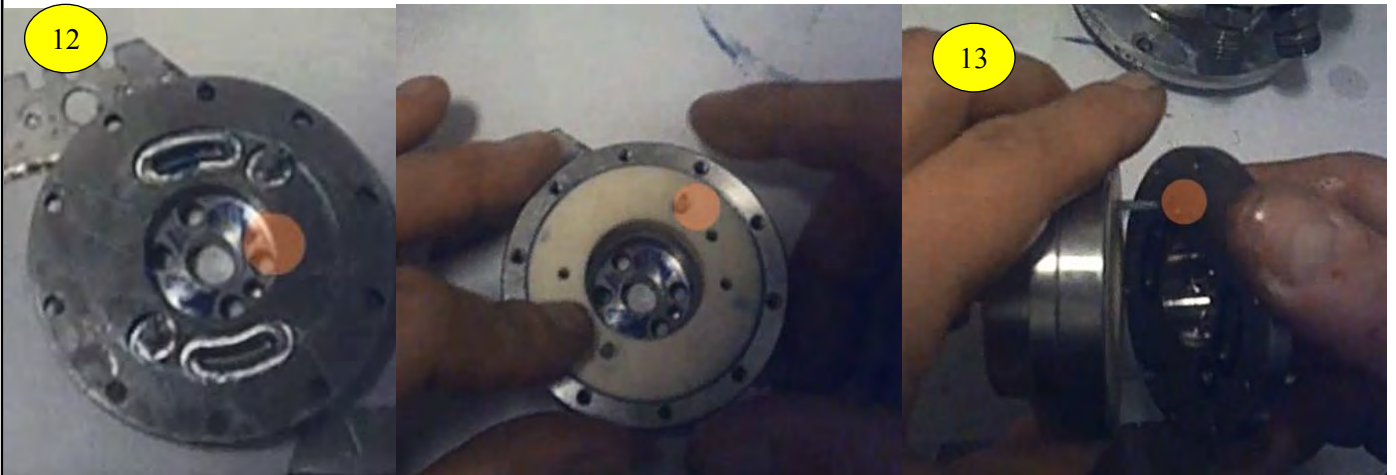
<b>Continental</b> Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> <b>REF.VISUEL :</b>	Temps alloué: 3H <b>Team :</b> A QUEHON
				<b>679</b>	



N° opération	Description du mode opératoire	Outillages et consommable	Niveau	Temps
10	Graisser au pinceau pièce métallique ronde puis insérer céramique.	Graisse bleu KENDALL	CEA	
11	Insérer joints ronds et ovales		CEA	

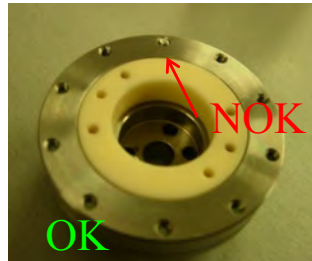
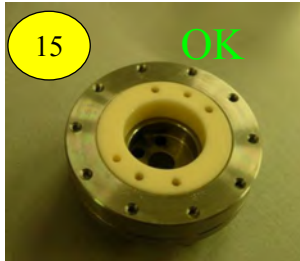
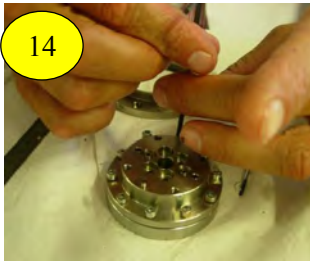


<b>Continental</b> Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> <b>REF.VISUEL :</b> <b>679</b>	Temps alloué: 3H <b>Team :</b> A QUEHON



N° opération	Description du mode opératoire	Outillages et consommable	Niveau	Temps
12	Utiliser support de centrage. Monter la pièce avec la céramique sur ce support.	Graisse bleu KENDALL	CEA	
13	Monter la deuxième pièce par-dessus en alignant avec le trou du durcisseur.		CEA	

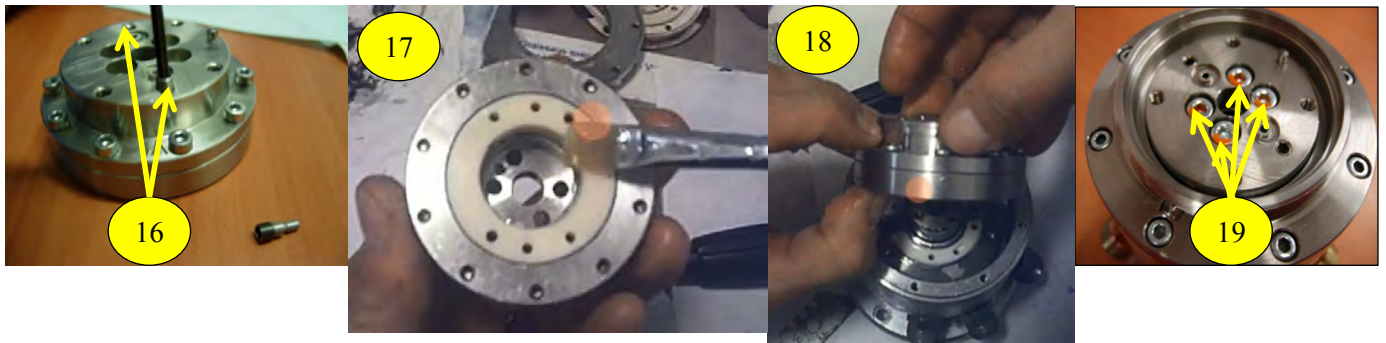
 Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> REVISUEUR : <div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">679</div>	Temps alloué: 3H Team : A QUEHON



N° opération	Description du mode opératoire	Outils et consommable	Niveau	Temps
14	Visser légèrement l'ensemble des vis NEUVES M3x12 puis retirer l'outil de centrage	BTR de ? mn	CEA	
15	<b>Vérifier qu'aucune vis ne dépasse, si c'est le cas , changer .</b>		CEA	

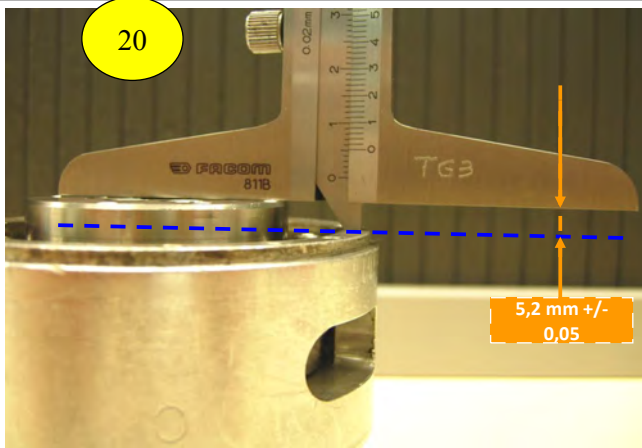


<b>Continental</b> Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> REF.VISUEL :	Temps alloué: 3H Team : A QUEHON
				<b>679</b>	



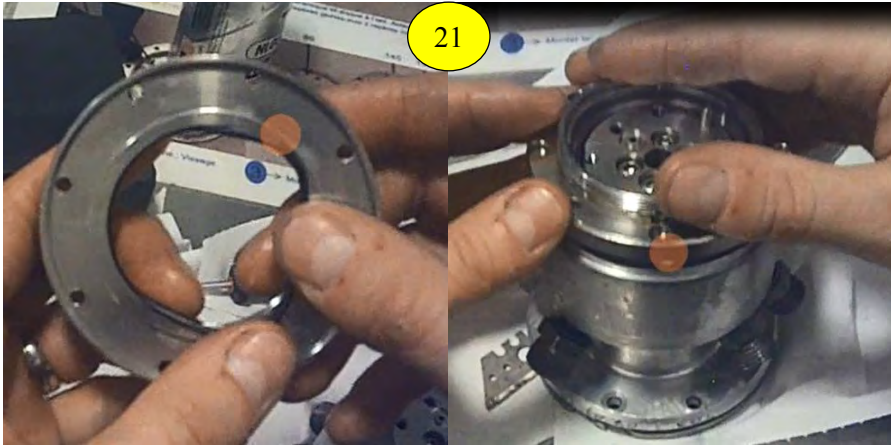
N° opération	Description du mode opératoire	Outils et consommable	Niveau	Temps
16	Monter les 2 vis SCHRAUBE			
17	Appliquer de l'huile sur les deux pièces que l'on va assembler.			
18	Assembler les deux pièces			
19	Visser en croix les 4 vis NEUVES M4x10 7A00003955200 de fixations du support de disque de buse. Vérifier le serrage, car la mesure suivante dépendra de cette étape			

<b>Continental</b> Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b>  <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> REF.VISUEL :	Temps alloué: 3H  Team : A QUEHON
				679	



N° opération	Description du mode opératoire	Outillages et consommable	Niveau	Temps
20	<p>Avec la jauge de profondeur, vérifier le bon montage. Sur 4 points en croix</p> <p><b><u>Vous devez trouver 5.2 mm +/- 0.05</u></b></p> <p><b><u>si mesure supérieure =&gt; RISQUE de fuite</u></b></p> <p><b><u>si mesure inférieure =&gt; les joints sont écrasés et donc risque de détérioration de la pièce du au frottement</u></b></p> <p><b><u>Pour remédier à ce problème, vérifier le montage joints toriques sous demi-céramiques (étape 28), puis vérifier le bon montage des rondelles de précisions), Appel Alexandre Quéhon (cette tête doit être mise de côté)</u></b></p> <p><b>En général une cale de 0,30 est nécessaire</b></p> <p><b>Exemple:</b></p> <p>Si relevé 5,26mm avec un total de cale 0,25mm =&gt; ajouter 0,05 donc reconstituer une cale de 0,30mm</p> <p>Si relevé 5,15mm avec un total de cale de 0.35mm =&gt; diminuer de 0,05 donc reconstituer une cale de 0,30mm</p>	Disque ajust 0.1mm 7421538259 R3-22-F Disque ajust 0.15mm 74215382260 R3-22-F Disque ajust 0.2mm 7421538261 R3-22-F Disque ajust 0.3mm 7421538262 R3-22-F		

<b>Continental</b> Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> REVISUEL : <b>679</b>	Temps alloué: 3H Team : A QUEHON



N° opération	Description du mode opératoire	Outillages et consommable	Niveau	Temps
21	Graisser le joint bride 45.00 x 2.00 Positionner la bride avec le trou échappement devant puis Visser les 8 vis NEUVES M3x12 7A00003955600 de fixation			

 Date de création : 07/09/2011 Date de révision : 27/05/2014	<b>Équipement :</b> 74215-15 / 74215-16 74215-18 / 74215-19 74215-29 / 74215-35 74215-36 / 74215-40 74215-41	<b>N° Plan entretien</b> 14787-14791-13900 13901-15283-15147 15362-16270-18078	<b>Mensuel PU RAMPF TETE PU</b> <b>part3</b>	Vérificateur / A. PIERASCO Approuvateur : <b>VISA :</b> <b>REF.VISUEL :</b> <b>679</b>	Temps alloué: 3H Team : A QUEHON



N°opération	Description du mode opératoire	Outils et consommable	Niveau	Temps
22 23	Graisser le joint bride 45.00 x 2.00 Positionner la bride avec le trou échappement devant puis Visser les 8 vis NEUVES M3x12 7A00003955600 de fixation	BTR de 3mn	CEA	
24	Une fois l'ensemble monté, roder les parties céramiques à l'aide de la clé. (effectuer une 20ème de tour à la main) Faire tourner la tête jusqu'à l'obtention d'une bonne résistance : permet d'évacuer l'huile et les impuretés entre les 2 céramiques, pour constituer un gommage et donc une étanchéité.	Clé spéciale	CEA	
25	Avec la clé et de la soufflette, nettoyer les canaux sur toutes les positions C A RA B C		CEA	
26	Remplir étiquette			

## Questionnaire d'acceptabilité du K-Player

Type d'évaluation/ dimension	Questions	1 « pas du tout d'accord » à 7 « complètement en accord »	Pourquoi ?
Utilité	1) Comprend-on bien de quelle gamme il s'agit ?		
	2) Est-il facile de comprendre ce qu'il faut faire dans chaque étape ?		
	3) Pensez-vous qu'un novice puisse s'approprier facilement le contenu ?		
Utilisabilité	4) Est-il facile de se faire guider par l'outil ?		
	5) Est-il facile de repérer les informations que l'on cherche ?		
	6) Y a-t-il un élément de l'interface que vous ne comprenez pas ?		
	7) Pensez-vous pouvoir utiliser cet outil dans différentes situations ? Lesquelles ?		
Acceptabilité	1) Adéquation aux besoins ou objectifs de l'institution		
	2) Adéquations aux attentes des apprenants		
	3) Adéquation avec les caractéristiques des apprenants		
	4) Compatibilité avec l'organisation du temps de travail		
	5) Compatibilité avec l'organisation des lieux		
	6) Présence du matériel nécessaire		

FIGURE 9.6 – Questionnaire d'évaluation de l'acceptabilité du Kplayer