



HAL
open science

Étude ergonomique pour la consultation sur écran de petite taille de la documentation de maintenance aéronautique

Herimanana Zafiharimalala

► **To cite this version:**

Herimanana Zafiharimalala. Étude ergonomique pour la consultation sur écran de petite taille de la documentation de maintenance aéronautique. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2011. Français. NNT: 2011TOU20013 . tel-00630541

HAL Id: tel-00630541

<https://theses.hal.science/tel-00630541v1>

Submitted on 10 Oct 2011

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.

THESE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par l'Université Toulouse II – Le Mirail

Discipline ou spécialité : *Psychologie*

**Présentée et soutenue par Herimanana ZAFIHARIMALALA-
RAKOTOARISOLO**

le jeudi 24 mars 2011

*Etude ergonomique pour la consultation sur écran de petite taille de la
documentation de maintenance aéronautique*

JURY

Pascale HUGUES, EADS Innovation Works (Tutrice)

Claudette MARINÉ, Professeur, Université de Toulouse II – Le Mirail (Examinatrice)

Guy BOY, Florida Institute for Human and Machine Cognition (Examinateur)

Franck GANIER, MCF HDR, Université de Bretagne Occidentale (Rapporteur)

Eric JAMET, Professeur, Université Rennes 2 (Rapporteur)

Bernard ORDY, Airbus (Examinateur)

André TRICOT, Professeur, Université de Toulouse II – Le Mirail (Directeur de thèse)

Ecole doctorale : CLESCO

**Unité de recherche : *CLLE-LTC (Cognition Langues Langage Ergonomie –
Laboratoire Travail et Cognition)***

Une thèse est un bouquet final... comme un bouquet de fleurs. D'abord, des fleurs variées sont cueillies par ci par là, puis rassemblées, travaillées avec plus ou moins de peine mais avec amour et passion pour former un bel ensemble... normalement.

PAR MOI-MEME.

« Inspiration après la rédaction d'une thèse »

REMERCIEMENTS

Ça y est !

Le moment est venu d'adresser ma reconnaissance à ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Tout d'abord, je remercie Claudette MARJINÉ, Bernard ORDY, Guy BOY, Eric JAMET, Franck GANIER, d'avoir accepté de faire partie du jury.

Je tiens à remercier chaleureusement André (TRICOT) d'avoir accepté de m'accompagner au cours de cette aventure et accordé ses précieux conseils. Sa disponibilité permanente et son ouverture d'esprit m'ont beaucoup apportée. Je lui suis également reconnaissante d'avoir fait le nécessaire pour que cette thèse se déroule dans de bonnes conditions, notamment matériellement.

Un grand merci également à Pascale HUGUES pour son accueil plus que chaleureux au sein du SPIS [spais] team d'Eads IW. Ses qualités professionnelles et humaines ainsi que nos conversations « extra-professionnelles » ont beaucoup contribué au bon déroulement de ce travail.

Je remercie également les « racines » de ce travail, ceux qui m'ont ouvert la porte de la recherche sur le domaine de la maintenance aéronautique : tout d'abord, Guy BOY de m'avoir acceptée au sein d'Eursico pour le début de la thèse ; et Yvonne BARNARD qui m'a initiée à l'étude de la maintenance aéronautique, ainsi que tout le personnel d'Eurisco (Joël TAPIE, Marie MOAL, Patrick MAZOYER, Cheikh SOW, Helen WILSON, Sonia STRAUSSBERGER, Béatrice FREUEBERG) et Sarah PRIGENT (stagiaire à l'époque) pour leur accueil et la bonne relation que nous avons eue, et avons toujours.

Merci également aux membres du laboratoire CLLE-LTC, en particulier Emmanuelle, Ophélie, Julie et Franck, et tous les membres de l'axe B. Merci à Bruno (CHENU) de m'avoir apportée son soutien technique pour les PDA et autres.

Je remercie la SPIS team d'Eads IW (Pascale, Jérôme, David et Jonathan) pour la bonne ambiance et nos relations amicales. Merci à Laetitia (MARQUIÉ) pour notre fructueuse et amicale collaboration.

Ce travail n'aurait pas existé sans la contribution des « gens du métier ». Ainsi, je tiens à remercier sincèrement Laurent JULLIAC (Lycée St-Exupéry, Blagnac) et Michel TRILLE (Airbus) pour leur grande disponibilité et les conseils précieux de professionnels qu'ils sont.

Ceux qui m'ont ouvert les portes des centres de maintenance ne sont pas en reste : merci à Laurent VALLIER (Air-Formation), Thierry BAUDRY (Airbus training), Philippe BEAULIEU (Airbus), Patrick NOUGARÉDE (Airbus), Jean-Philippe BEAUJARD (Airbus), le personnel rencontré à LATÉCOÈRE, UNI AIR, TECHNOFAN (groupe SAFRAN), Airbus training, Airbus et Aéroconseil.

Une pensée pour les doctorants au sein du CLLE-LTC, en particulier pour quelques-unes (devenues depuis Docteurs) : Valérie (LE BRIS) d'avoir partagé bien plus que le bureau, Valérie (Neyns) et Bénédicte BES d'avoir partagé plus que le couloir. Un grand merci à Sylvie LEBLOIS pour ses aides précieuses et son amitié.

Je n'oublie pas Fionnuala Bhreathnach (responsable de la bibliothèque du monde anglophone-UTM) pour son aide au début de la thèse.

Merci à ma famille pour leur soutien (même à distance) infaillible à tout instant ; à Tonton Etienne et Fara pour leur aide afin de réaliser cette aventure lointaine...

Une très grande reconnaissance et une pensée émue à mes parents partis trop tôt pour voir le fruit de leur travail...

Enfin, une pensée particulière aux personnes les plus chères à mes yeux : à Manana pour son soutien sans limite et pour m'avoir permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions qu'une maman-doctorante puisse avoir ; et à nos bout-de-choux, Ilyas et Ismael, pour leur gaieté et leur compréhension malgré leur jeune âge quand j'étais moins disponible.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	18
<u>PARTIE 1 - CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES.....</u>	<u>23</u>
CHAPITRE 1. LA MAINTENANCE AERONAUTIQUE.....	24
1. La maintenance.....	25
1.1. Définitions	25
1.2. Caractéristiques de la maintenance.....	26
1.2.1. Les ressources utilisées par la maintenance.....	26
1.2.2. La maintenance et la sûreté de fonctionnement.....	27
1.3. Les différents types de maintenance.....	28
1.3.1. La maintenance corrective.....	28
1.3.2. La maintenance préventive	28
2. La maintenance aéronautique	30
2.1. Les organismes de réglementations.....	31
2.1.1. L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale.....	31
2.1.2. La Joint Aviation Authorities	32
2.1.3. L'European Aviation Safety Agency.....	32
2.1.4. L'Air Transportation Association.....	33
2.1.5. L'AeroSpace and Defence industries association of Europe.....	34
2.2. Les utilisateurs de la DMA	35
2.2.1. Les mécaniciens.....	36
2.2.1.1. Le mécanicien aéronautique	36
2.2.1.2. Le mécanicien cellule	37
2.2.1.3. Le mécanicien électronicien ou électricien aéronautique.....	37
2.2.1.4. Le monteur câbleur aéronautique	37
2.2.2. Le planificateur.....	38
2.2.3. Le formateur	39
2.2.4. Le réviseur ou record	39
2.3. Les opérateurs de maintenance et la qualification technique	39
2.4. L'activité de maintenance aéronautique.....	40
2.4.1. Le poste de travail et outils.....	40
2.4.2. L'organisation du travail.....	41

2.4.3. L'environnement de travail, les difficultés et les risques	42
2.5. Les différents types de maintenance aéronautique	45
2.5.1. La maintenance programmée.....	45
2.5.1.1. Définition.....	45
2.5.1.2. Processus.....	45
2.5.2. La maintenance non programmée.....	48
2.5.2.1. Définition.....	48
2.5.2.2. Le processus.....	48
2.6. La documentation dans la maintenance aéronautique	50
2.6.1. L'utilisation prescrite de la DMA.....	50
2.6.2. L'utilisation réelle de la DMA.....	52
2.6.2.1. La déviation à l'utilisation de la DMA	52
2.6.2.2. Les raisons de la déviation.....	53
2.6.2.3. Les conséquences de la déviation à l'utilisation de la DMA.....	54
2.6.3. L'enjeu de l'utilisation de la documentation de maintenance	54
2.6.3.1. Les erreurs : définitions	54
2.6.3.2. Les erreurs en maintenance	55
2.6.3.3. L'origine des erreurs en maintenance.....	56
2.6.3.4. Les facteurs provocateurs d'erreurs	58
2.6.3.4.1. La sollicitation excessive de la mémoire	58
2.6.3.4.2. Les interruptions	59
2.6.3.4.3. La pression temporelle.....	59
2.6.3.4.4. La fatigue	59
2.6.3.4.5. La coordination inadéquate entre opérateurs.....	59
2.6.3.4.6. La tâche non familière	59
2.6.3.4.7. L'ambiguïté	59
2.6.3.4.8. Les procédures trop routinières	60
2.6.3.5. Un facteur d'erreur : l'omission	60
2.6.3.6. Conséquences des erreurs : les évènements.....	63
2.6.3.6.1. Évènement : définition.....	63
2.6.3.6.2. Des exemples d'outils de mesures des évènements.....	63
- Le Maintenance Error Decision Aid (MEDA).....	63
- Le Managing Engineering Safety Health (MESH)	64
3. Conclusion	64

CHAPITRE 2. LA RECHERCHE D'INFORMATION ET LE TRAITEMENT	
COGNITIF DES DOCUMENTS	65
1. Introduction.....	65
2. La documentation en maintenance aéronautique (ou DMA).....	65
2.1. Le contenu de la documentation de maintenance - Exemple de l'AMM	66
2.2. La structure de la DMA	68
2.3. La mise en saillance des informations dans la DMA	69
2.3.1. Les propriétés dispositionnelles.....	69
2.3.1.1. L'espace.....	69
2.3.1.2. Indentation.....	70
2.3.1.3. La liste	70
2.3.2. Les propriétés typographiques.....	71
2.3.2.1. Utilisation des lettres majuscules.....	71
2.3.2.2. Utilisation des caractères en gras.....	72
2.3.2.3. Le soulignement.....	72
2.3.2.4. Les couleurs	73
2.4. Les fonctions disponibles dans la DMA.....	73
3. RI et représentation mentale	74
3.1. Définitions du modèle mental.....	74
3.1.1. Modèle mental comme anticipation.....	74
3.1.2. Modèle mental comme représentation.....	75
3.2. Cycle de vie d'un MM.....	75
3.3. Fonctions et utilisation des MM	76
3.4. Les limites du MM.....	76
3.5. MM de la documentation procédurale.....	77
4. L'activité de RI.....	78
4.1. Définition de la RI	78
4.2. Les différents modèles de RI	78
4.2.1. Le modèle de Guthrie	79
4.2.2. Le cycle EST de Rouet et Tricot (1998).....	80
4.2.3. Le cadre TIMS de Dillon (1994)	81
4.2.4. Le modèle The action cycle de Norman (1988)	82
4.2.5. Le modèle cognitif de Tricot (2003).....	83
4.2.6. Modèle du processus de RI dans la documentation de maintenance.....	85

4.3. Lecture d'un document procédural.....	90
4.4. La compréhension d'un document procédural	92

CHAPITRE 3. LECTURE ET TRAITEMENT DES PROCEDURES SUR PETITS

ECRANS.....96

1. Introduction.....	96
2. Navigation dans un SI.....	96
2.1. Navigation : définition et description	96
2.1.1. Acquisition des connaissances.....	97
2.1.2. But de navigation.....	98
2.1.3. Les composants de la navigation	98
2.1.4. Les moyens de navigation	99
2.2. Utilisation des repères.....	99
2.2.1. Les repères comme concept d'organisation de l'espace.....	99
2.2.2. Les repères comme aide à la navigation.....	100
2.3. Navigation et désorientation cognitive	101
3. La mobilité.....	102
3.1. Mobilité et nomadisme	102
3.2. Les appareils mobiles	104
3.2.1. Exemples d'utilisation d'appareils mobiles.....	104
3.2.2. Caractéristiques des appareils mobiles à petits écrans	105
3.2.3. Effets des limites sur l'utilisation des appareils mobiles.....	106
3.2.4. Effets des limites sur le plan cognitif lors de la RI.....	107
3.2.5. Enjeu avec les appareils mobiles	108
4. Conclusion	109

PARTIE 2 - CONTRIBUTION EMPIRIQUE.....110

**CHAPITRE 1. ETUDE SUR LE TERRAIN : UTILISATION DE LA DMA DANS LE
CONTEXTE DE LA MAINTENANCE AERONAUTIQUE.....111**

1. Introduction.....	111
2. Objectif de l'étude	112
3. Obstacles dans la conduite de l'étude.....	112
4. Méthodologie.....	114
4.1. Participants	114
4.2. Localisation.....	114

4.3. Procédure.....	114
4.4. Matériels	116
5. Résultats.....	116
5.1. Résultats des entretiens.....	117
5.2. Résultats des observations	119
6. Discussion.....	120
6.1. Synthèse des résultats sur l'utilisation de la DMA.....	120
6.2. La raison de la non utilisation de la documentation	121
6.2.1. L'utilité	121
6.2.1.1. Utilité perçue	122
6.2.1.2. Utilité réelle	122
6.2.2. L'utilisabilité.....	123
6.2.2.1. Utilisabilité perçue.....	123
6.2.2.2. Utilisabilité réelle.....	124
6.2.2.2.1. Utilisabilité de la documentation électronique	125
6.2.2.2.2. Utilisabilité de la documentation papier	126
6.2.3. L'acceptabilité	126
6.3. Résultats complémentaires : catégorisation des tâches de maintenance aéronautique....	127
7. Vers une définition d'une documentation idéale	131
7.1. La présence de photos des pièces ou équipements à réparer et/ou à entretenir	131
7.2. Présence d'illustration (exemple animation 3D)	132
7.3. Textes concis et clairs.....	133
7.4. Utilisation de la MFM de certains éléments de la procédure	134
7.5. Documentation avec les informations jugées utiles par les utilisateurs	135
7.6. Signalisation des changements ou mises à jour.....	135
8. Conclusion	135
CHAPITRE 2. EXPERIMENTATION SUR L'UTILISATION DU PETIT ECRAN	
POUR LA RECHERCHE ET LA CONSULTATION DE L'INFORMATION EN	
MAINTENANCE AERONAUTIQUE.....	138
1. Introduction.....	138
2. Objectif	139
3. Méthodologie	139
3.1. Population	139

3.2. Matériels	140
3.2.1. Présentation de l'application Tarmak	140
3.2.1.1. Guidage.....	141
3.2.1.2. Incitation	141
3.2.1.2.1. Incitation dans Tarmak	141
3.2.1.2.2. Incitation dans l'iPhone	143
3.2.1.2.3. Les icônes	143
3.2.1.2.4. Les titres.....	143
3.2.1.3. Groupement/distinction entre les items	144
3.2.1.3.1. Groupement/distinction des items dans Tarmak.....	144
3.2.1.3.2. Groupement/distinction des items dans iPhone.....	145
3.2.1.4. Réponse immédiate.....	145
3.2.1.4.1. La réponse immédiate dans Tarmak.....	146
3.2.1.4.2. Réponse immédiate dans l' iPhone.....	146
3.2.1.5. La lisibilité.....	146
3.2.1.5.1. La lisibilité dans Tarmak	146
3.2.1.5.2. La lisibilité dans l'iPhone	147
3.2.1.6. Charge de travail.....	147
3.2.1.6.1. La charge de travail dans Tarmak.....	147
3.2.1.6.2. La charge de travail dans l'iPhone.....	148
3.2.1.7. Contrôle explicite.....	148
3.2.1.7.1. Contrôle explicite dans Tarmak.....	149
3.2.1.7.2. Contrôle explicite dans l'iPhone.....	149
3.2.1.8. L'adaptabilité.....	149
3.2.1.8.1. L'adaptabilité de Tarmak.....	149
- L'expérience de l'utilisateur.....	149
- La flexibilité	149
3.2.1.8.2. L'adaptabilité dans l'iPhone.....	150
- L'expérience utilisateur.....	150
- La flexibilité	150
3.2.1.9. La gestion des erreurs	150
3.2.1.9.1. Gestion des erreurs dans Tarmak.....	150
3.2.1.9.2. Gestion des erreurs dans l'iPhone.....	150
3.2.1.10. L'homogénéité/la cohérence.....	151

3.2.1.10.1. L'homogénéité/la cohérence dans Tarmak.....	151
3.2.1.10.2. L'homogénéité/la cohérence dans l'iPhone.....	151
3.2.1.11. Signifiante des codes.....	152
3.2.1.11.1. Signifiante des codes dans Tarmak.....	152
3.2.1.11.2. Signifiante des codes dans l'iPhone.....	152
3.2.1.12. La compatibilité.....	152
3.2.1.12.1. La compatibilité dans Tarmak.....	153
3.2.1.12.2. La compatibilité dans l'iPhone.....	153
3.2.2. Présentation de l'application AirN@v.....	155
3.3. Les consignes.....	156
3.4. Protocole.....	158
3.5. Mesures (critères d'évaluation).....	160
3.6. Préparation des tests.....	160
3.6.1. Contact avec des experts en maintenance aéronautique.....	161
3.6.2. Choix final d'outil.....	161
3.7. Résultats.....	162
3.7.1. Résultats quantitatifs.....	162
3.7.1.1. Interaction entre les trois facteurs.....	163
3.7.1.2. Interactions entre expertise et les autres facteurs.....	164
3.7.1.2.1. Interactions entre expertise et format.....	164
3.7.1.2.2. Interaction entre expertise et application.....	166
3.7.1.3. Interactions entre application et format.....	167
3.7.1.4. Effet de chaque facteur sur les performances des sujets.....	168
3.7.1.4.1. Effets du format.....	168
3.7.1.4.2. Effets de l'application.....	169
3.7.1.4.3. Effets de l'expertise.....	170
3.7.1.5. Analyse au niveau des six tâches.....	171
3.7.1.5.1. Interaction expertise et format - analyse tâche par tâche.....	173
3.7.1.5.2. Interaction expertise et application : analyse tâche par tâche.....	173
3.7.1.5.3. Interaction application et format : analyse tâche par tâche.....	174
3.7.1.6. Conclusion et discussion sur les résultats quantitatifs.....	174
3.7.2. Résultats qualitatifs.....	178
3.7.2.1. Analyse des réponses au questionnaire.....	178
3.7.2.2. Analyse des difficultés d'utilisation rencontrées.....	180

3.7.2.2.1. La Recherche d'information	181
3.7.2.2.2. La navigation	182
3.7.2.2.3. La présentation de l'information	183
3.7.2.3. Synthèse.....	184
3.7.2.3.1. La recherche et traitement de l'information	185
3.7.2.3.2. La navigation	186
3.7.2.3.3. La présentation de l'information	186
3.8. Conclusion sur les tests d'utilisation du petit écran pour la RCI.....	190

CHAPITRE 3. ETUDE SUR AVION DE L'UTILISABILITE ET DE LA PORTABILITE DE L'APPAREIL MOBILE A PETIT ECRAN192

1. Introduction.....	192
2. Contexte de l'étude	192
3. Objectif de l'étude	192
4. Méthodologie.....	193
4.1. Matériels	193
4.1.1. Exemples de questions posées pour le test de lisibilité :	196
4.1.2. Exemples de questions posées pour le test sur la portabilité de l'appareil mobile.....	196
4.1.3. Exemples de questions posées pour la mise au point finale	197
4.2. Participants	197
4.3. Procédure	197
5. Résultats sur les tests de lisibilité sur l'appareil mobile (CFU1).....	200
5.1. Les niveaux de luminosité dans les trois localisations	200
5.2. Résultats des tests de lisibilité sur l'appareil mobile CFU1	201
5.2.1. Choix de la taille de police en fonction de la couleur de fond et du niveau de luminosité	201
5.2.2. Résultats sur le choix de la couleur de fond en fonction des conditions de luminosité sur l'appareil mobile CFU1	202
5.2.3. Résultats sur la configuration taille, couleur de police, et couleur de fond.....	202
5.2.4. Résultats sur la lisibilité des schémas IPC en fonction des couleurs de fond.....	204
5.3. Limites, conclusions et perspectives.....	204
6. Résultats des tests de maniabilité/portabilité de l'appareil à petit écran	204
6.1. Présentation de quelques résultats	205
6.2. Synthèse et analyse des résultats	206

6.2.1. La modularité.....	207
6.2.2. La maniabilité, portabilité et confort d'utilisation.....	207
6.2.3. L'autonomie et l'efficacité du support pour la tâche maintenance.....	208
6.2.4. Un support pour la communication et la conscience de l'environnement Avion.....	209
7. Conclusion.....	210
CONCLUSION GENERALE.....	211
BIBLIOGRAPHIE.....	219
ANNEXE 1 – NIVRET DE CONSIGNES.....	237
ANNEXE 2 - VXTRAIT DE TRACES DE L'APPLICATION AIRN@v.....	244
ANNEXE 3 - RXTRAIT DE TRACES L'APPLICATION TARMAK.....	244
ANNEXE 4 – RONSIGNE.....	245

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Le schéma à 5 carrés.....	24
Figure 2 - Les différents types de maintenance.....	29
Figure 3 - Environnement classique d'une maintenance programmée.....	41
Figure 4 - OM en activité - Hobbs (2008).....	43
Figure 5 - Processus de la maintenance programmée.....	46
Figure 6 - Processus de la maintenance non programmée – preflight.....	49
Figure 7 - Les différentes parties de l'avion.....	50
Figure 8 - La barre de navigation de l'application AirN@v.....	68
Figure 9 - La zone 2 et la zone d'affichage de la procédure dans AirN@v.....	68
Figure 10 - Espace dans une DMA.....	69
Figure 11 - Texte sans indentation dans la DMA.....	70
Figure 12 - Liste alphabétique avec des lettres minuscules.....	71
Figure 13 - Liste alphabétique avec des lettres en capitales.....	71
Figure 14 - Le soulignement dans la DMA : exemple 1.....	72
Figure 15 - Le soulignement dans la DMA : exemple 2.....	72
Figure 16 - La construction du modèle mental.....	74
Figure 17 - Le cycle de vie d'un modèle mental.....	75
Figure 18 - Lien entre modèle mental et apprentissage.....	76
Figure 19 - Modèle de Guthrie (1988).....	79
Figure 20 - Le cycle EST (Rouet & Tricot, 1998).....	80
Figure 21 - Le cadre TIMS (Dillon, 1994).....	81
Figure 22 - The action cycle (Norman, 1988).....	82
Figure 23 - Modèle du comportement de l'utilisateur lors la RI en maintenance aéronautique.....	83
Figure 24 - Le modèle cognitif (Tricot 2003).....	84
Figure 25 - Modèle du processus de RI dans la documentation de maintenance.....	85
Figure 26 - Les niveaux de représentations dans la compréhension d'instructions procédurales.....	94
Figure 27 - Navigation dans un SI et navigation dans un espace physique.....	97

Figure 28 - L'acquisition de connaissance dans l'espace physique et dans un SI.....	98
Figure 29 - Caractéristiques des repères - à partir de Golledge (1999b).....	100
Figure 30 - Login page de Tarmak.....	100
Figure 31 - Liste d'applications dans Tarmak.....	101
Figure 32 - Relation repère-repère dans Tarmak.....	101
Figure 33 - Exemples d'appareils mobiles.....	104
Figure 34 - Page de résultats sur Google sur PDA (à gauche) et sur un écran large (à dr.) ...	106
Figure 35 - Vue sur PDA de l'affichage d'une page d'un des résultats de recherche.....	107
Figure 36 - Questions sur l'utilisation de la DMA par les OM.....	113
Figure 37 - Catégorisation des tâches de maintenance aéronautique.....	127
Figure 38- Modèle du processus de RI en maintenance aéronautique de Zafiharimalala & Barnard (2007) modifié.....	129
Figure 39 - Le guidage à partir de la liste des applications dans l'application Tarmak.....	142
Figure 40 - le guidage à partir du titre dans l'application Tarmak.....	142
Figure 41 - Exemple d'une page sans titre dans l'application Tarmak.....	142
Figure 42 - la barre de progression comme guidage dans l'application Tarmak.....	142
Figure 43 - Les titres de page dans l'iPhone.....	144
Figure 44 - La liste des applications dans l'iPhone.....	144
Figure 45 - La disposition des titres dans Tarmak.....	145
Figure 46 - Groupement dans l'iPhone.....	145
Figure 47 - Feedback dans Tarmak.....	146
Figure 48 - Le contraste dans l'iPhone.....	147
Figure 49 - Les différentes étapes pour accéder à la page de procédure.....	148
Figure 50 - Le message d'erreur dans l'iPhone.....	151
Figure 51 - Une icône pour deux références dans Tarmak.....	151
Figure 52 - La cohérence dans l'iPhone.....	152
Figure 53 - Une fenêtre d'AirN@v.....	155
Figure 54 - Fenêtres relatives à une procédure dans Tarmak.....	155
Figure 55 - Procédure overview page Navigation de Tarmak.....	157
Figure 56 - Fenêtre de la liste des pièces (rubrique Equipment dans Tarmak (1).....	158
Figure 57 - Information sur la référence des pièces et équipements.....	181
Figure 58 - Fenêtre des sous-procédures.....	182
Figure 59 - Passage d'une étape à l'autre : absence de signal.....	183
Figure 60 - Affichage actuel des informations sur les équipements.....	184
Figure 61 - Modèle de Mahlke et Thüning (2007).....	187
Figure 62 - Affichage actuel et proposition d'affichage.....	188
Figure 63 - Proposition d'affichage : sélection d'une tâche et affichage des sous-tâches.....	188
Figure 64 - Affichage actuel des détails sur les équipements et proposition d'affichage.....	189
Figure 65 - Proposition affichage texte + image.....	190
Figure 66 - Proposition schéma et figure.....	190
Figure 67 - Appareil mobile à petit écran (CFU 1 Panasonic – 5,6 pouces).....	194
Figure 68 - Exemple de planche sur fond gris.....	194
Figure 69 - Une planche avec fond noir et phrases de couleurs différentes.....	195
Figure 70 - Une planche avec un schéma IPC.....	196
Figure 71 - La soute avionique (avec une lumière artificielle).....	198
Figure 72 - La soute cargo.....	198
Figure 73 - Sur le tarmac.....	198
Figure 74 - Appareil mobile « détaché ».....	199
Figure 75 - Le support pieuvre.....	199
Figure 76 - Appareil mobile attaché à une veste et accroché/attaché à l'aide d'une pieuvre.....	199

Figure 77 - Lisibilité des phrases de couleurs différentes sur fond noir.....	202
Figure 78 - Lisibilité des phrases de couleurs différentes sur fond gris foncé	203
Figure 79 - Lisibilité des phrases de couleurs différentes sur fond gris clair	203
Figure 80 - Lisibilité des phrases de couleurs différentes sur fond blanc	203
Figure 81 - Exemple d'utilisation de l'appareil mobile pour une tâche à l'extérieur.....	206

LISTE DES TABLES

Tableau 1 - Un exemple de texte transformé en simplified english	35
Tableau 2 - Les opérations en maintenance non programmée	48
Tableau 3 - Les raisons de l'immobilisation d'un avion	58
Tableau 4 - Les conditions caractérisant un bon aide-mémoire	62
Tableau 5 - Manuels de maintenance (adapté de De Bonnefoy, 2009)	66
Tableau 6 - Les différentes étapes du modèle de RI illustrées	89
Tableau 7 - Catégorisation des tâches - Exemples	128
Tableau 8 - Plan d'expérience et effectifs de chaque groupe expérimental	159
Tableau 9 - Informations à collecter pour les tâches	160
Tableau 10 - Interactions entre les trois facteurs : performances moyennes (et écart-type) ..	163
Tableau 11 - Interactions entre expertise et format: performances moyennes (et écart-type)	164
Tableau 12 - Interactions entre expertise et format: performances moyennes (et écart-type)	166
Tableau 13 - Interactions application et format : performances moyennes (et écart-types)...	167
Tableau 14 - Performances moyennes (et écart-type) selon le format	168
Tableau 15 - Performances moyennes (et écart-type) selon l'application.....	169
Tableau 16 - Performances moyennes (et écart-type) selon l'expertise	170
Tableau 17 - Durée moyenne de chaque tâche (et écart-types)	171
Tableau 18 - Nombre moyen de réponses correctes par tâche (et écart-types)	171
Tableau 19 - Score moyen de suivi du chemin optimal (et écart-types)	172
Tableau 20 - Interaction expertise et application : analyse par tâche - durées moyennes (et écart-type).....	173
Tableau 21 - Caractéristiques des planches pour le test de lisibilité	194
Tableau 22 - Caractéristiques de la deuxième série de planches.....	195
Tableau 23 - Les différentes conditions lumineuses du test sur avion	198
Tableau 24 - Les niveaux de luminosité mesurés	200
Tableau 25 - Résultats des tests de lisibilité	201
Tableau 26 - Résultats sur le choix de la couleur de fond	202

ABRÉVIATIONS

ADAMS	:	Aircraft Dispatch and Maintenance Safety System
ATA	:	Air Transportation Association
AFNOR	:	Association Française de NORmalisation
@Most	:	Airbus Total Maintenance Operations Solutions and Technologies
ASD	:	AeroSpace and Defence industries association of Europe
CAA	:	Civil Aviation Authority
CMM	:	Component Maintenance Manual
RCI	:	Recherche et Consultation d'Information
DMA	:	Documentation de Maintenance Aéronautique
DMC	:	Data Management Component
DNAv	:	Début de la NAvigation
EASA	:	Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (<i>European Aviation Safety Agency</i>)
EFNMS	:	European Federation of National Maintenance Societies
EI	:	Extraction d'informations
EST	:	Evaluation-Sélection-Traitement
FAA	:	Federal Aviation Administration
FAP	:	Flight Attendant Panel
FNav	:	Fin de la Navigation
FSess	:	Fin de la Session
GMAO	:	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
IHM	:	Interaction Homme-Machine
IPC	:	Illustrated Parts Catalogue
INRP	:	Institut National de Recherche Pédagogique
JAA	:	Joint Aviation Authorities
LRU	:	Line Replaceable Unit
MA	:	Maintenance aéronautique
MD	:	Mobile Device(s)
MDT	:	Mémoire De Travail
MEDA	:	Maintenance Error Decision Aid
MESH	:	Managing Engineering Safety Health

MFM	:	Mise en Forme Matérielle
MLT	:	Mémoire à Long Terme
MM	:	Modèle Mental/ <i>Mental Models</i>
MMS	:	Multimedia Messaging Service
MPD	:	Maintenance Planning Document
MRB	:	Maintenance Review Board
MRO	:	Maintenance Repair and Overhaul
NRC	:	Nombre de Réponses Correctes
PFR	:	Post Flight Record
PMA	:	Portable Maintenance Aids
OACI	:	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OM	:	Opérateur de Maintenance
OP	:	Opérateur
OSess	:	Ouverture de la Session
NRC	:	Nombre de Réponses Correctes
RCI	:	Recherche et Consultation d'Information
RESTINA	:	REusable Task-based System of Intelligent Networked Agents
RI	:	Recherche d'Information
ROD	:	Discrepancies Reports
SB	:	Service Bulletin
SCO	:	Score relatif au suivi du Chemin Optimal
SI	:	Système d'information
TIMS	:	Task processor, Information model, Manipulation skills and facilities,

RÉSUMÉ

Cette étude est fondée sur deux constats dans le domaine de la maintenance aéronautique : l'utilisation non systématique de la documentation de maintenance aéronautique (DMA) malgré la prescription légale et l'évolution technologique qui a entraîné l'introduction de l'utilisation de l'appareil à petit écran ou mobile pour la consultation et la recherche d'information pour la réalisation de la tâche de maintenance. L'objectif de cette étude est double : identifier les raisons de la sous utilisation de la DMA et contribuer à la conception d'une documentation de maintenance adaptée à la fois aux supports mobiles (PDA), à l'utilisateur et au contexte de la maintenance aéronautique. Des tests d'utilisabilité ont été menés et testaient l'hypothèse selon laquelle l'utilisation du petit écran a un effet négatif sur les performances des utilisateurs. Des observations et entretiens dans les centres de maintenance ainsi que des tests sur avion ont aussi été conduits pour évaluer la lisibilité de l'interface et la portabilité des appareils mobiles. Les résultats montrent que les raisons de la non utilisation de la documentation de maintenance sont principalement liées à la non adaptation de celle-ci aux utilisateurs et au contexte du métier, que l'utilisation du petit écran est envisageable aussi bien pour une application destinée aux petits écrans que pour celle destinée aux écrans standard. En outre, l'utilisation du petit écran ne détériore pas, d'une façon générale, les performances des utilisateurs et qu'elle est envisageable aussi bien chez les novices que chez les experts qui sont encore réticents mais n'y sont pas opposés.

MOTS-CLÉS

Maintenance aéronautique, documentation technique, appareil mobile, ergonomie, recherche d'information.

ERGONOMIC STUDY OF AIRCRAFT MAINTENANCE DOCUMENTATION ON SMALL SCREEN DEVICES

SUMMARY

Literature review shows that maintenance operators do not use the aircraft maintenance documentation (AMD) systematically despite the legal obligation. The aim of this study is to contribute to the identification of users' difficulty about the use of the AMD and the designing of maintenance documentation well-adapted to mobile devices (PDA), to users and to aircraft maintenance context. Hypothesis consists on verifying the effect of the small screen use on users' performances. According to the usability test results, the small screen use has no negative effect on the users' (experts and novices) performances. Field studies in maintenance centers and on aircraft show that small screen use is suitable to novices and experts for small screen documentation consultation and also for standard screen documentation when consultation is limited. Some users, particularly experts, are hesitant about using small screen for information consultation. However, they are not against the use of such format if information display is improved. Results are not limited to small screen documentation issue, some parts (e.g. information display study to reduce user effort) could be generalised to information system for task support.

KEY-WORDS

Aircraft maintenance, technical documentation, mobile device, ergonomics, information research.

INTRODUCTION

Le trafic aérien croît de plus en plus. Cela a pour conséquence des contraintes liées à l'exploitation commerciale sans cesse plus fortes qui imposent une mise en œuvre non seulement sans erreur mais de plus en plus rapide des opérations de maintenance. Dans le domaine de la maintenance aéronautique, une bonne part des procédures est inscrite dans des documents que l'opérateur doit suivre au cours de son activité. Or, en acquérant de l'expertise, les opérateurs ont de plus en plus du mal à suivre les procédures prescrites. Cette situation entraîne justement une augmentation du risque d'erreurs humaines (*Civil Aviation Authority* ou CAA, 2002), erreurs qui sont à l'origine de plusieurs accidents causant de nombreuses victimes. La maintenance et l'inspection sont les facteurs majeurs de 12% des accidents d'avions (Hobbs, 2000). Selon la FAA (*Federal Aviation Administration*), la documentation est le principal facteur de l'arrivée des événements (incidents) en maintenance. Ces erreurs sont plus spécifiquement liées à certaines parties de l'avion (Hobbs & Kanki, 2008), mais aussi aux problèmes de coordination entre équipes lors de la relève (Parke & Kanki, 2008), aux tâches de vérification plus que d'intervention (Olstrom & Wilhelmsen, 2008).

En outre, l'utilisation de l'outil informatique et de document électronique ou numérique est omniprésente actuellement, que ça soit dans la vie quotidienne ou dans le milieu professionnel. Dans la vie quotidienne, l'usage de l'informatique consiste principalement à l'utilisation d'internet pour différents objectifs (suivre l'actualité, chercher la définition d'un terme inconnu, se mettre en contact avec les autres, etc.). Dans le milieu professionnel, l'utilisation du document électronique constitue un support à l'activité (par exemple, la consultation de la commande d'un client pour un magasin de vente en ligne, ou l'enregistrement des quantités produites dans une usine). L'outil informatique est également un moyen de communication privilégié dans les deux milieux, professionnels et privés, en permettant par exemple l'envoi et la réception de messages en tant réel.

Dans la vie privée comme dans le milieu professionnel, une tendance vers le numérique s'est ainsi mise en place. Toutefois, une différence réside dans les deux domaines. Dans la vie privée, d'une façon générale, l'utilisateur a moins de contraintes, notamment la contrainte temporelle que l'on rencontre souvent dans le milieu professionnel. En effet, dans ce dernier, l'utilisateur a souvent un délai à respecter (délai de livraison, pression de la hiérarchie, etc.)

contrairement au milieu privé dans lequel l'utilisateur utilise le support numérique, par exemple internet, au moment qu'il choisit et pendant la durée qui lui convient. L'utilisateur dans le milieu professionnel est limité dans le temps, et parfois même dans l'espace (par exemple quand l'espace de travail est exigü). De plus, il gère à la fois l'utilisation du support numérique et la tâche qu'il a à réaliser alors que l'utilisateur dans le milieu privé a principalement comme souci la gestion de l'utilisation du support numérique. Et même s'il s'agit d'un nouvel outil ou d'un nouveau support pour l'utilisateur privé, celui-ci peut consacrer autant de temps qu'il veut pour se familiariser avec l'outil, en explorant les différentes fonctions dont celui-ci dispose, ce qui n'est pas le cas pour un utilisateur dans le milieu professionnel qui le plus souvent n'a pas cette possibilité faute de temps. Dans certains cas, une formation à l'utilisation des nouveaux outils est proposée, mais n'est pas suffisante pour maîtriser complètement toutes les fonctions qui y sont présentes.

Dans la vie privée, l'usage du numérique peut être remarqué, entre autres, par la disparition progressive de l'utilisation du papier et la non nécessité de déplacement de l'individu (on se rend rarement à la Poste actuellement pour envoyer une lettre à sa famille, on envoie des courriers électroniques à la place). Dans le milieu professionnel, la non utilisation du papier est encore une question problématique, notamment en raison du souci de garder une trace de l'activité (non seulement les actions prévues pour celle-ci mais les notes et les remarques annotées au cours de sa réalisation). Si nous regardons le domaine qui nous intéresse dans notre travail, la maintenance aéronautique, l'usage du numérique dans le domaine de la documentation a commencé il y a une dizaine d'années. La documentation technique (ou manuel de maintenance) a subi un changement radical, comme le passage du format papier au format électronique (Barnard & Reiss, 2006). Si auparavant elle était entièrement sous format papier, actuellement, elle est principalement conçue sous format numérique (DVD) et sous la forme d'un document hypertexte. On remarque une utilisation progressive de la documentation électronique. L'objectif lors du passage du format papier au format électronique était alors de faciliter l'utilisation de la documentation par ceux qui s'en servent pour leur travail, c'est-à-dire les opérateurs de maintenance. Le constat est que l'objectif espéré n'a pas pu être atteint car si le passage au numérique a été reçu comme un progrès, celui-ci a causé des difficultés d'utilisation au sein du domaine. C'est un élément qui entre en compte dans notre étude. En effet, il est important de mener une réflexion pour déterminer ce qui entraîne la difficulté d'utilisation de la documentation numérique dans le domaine de la maintenance aéronautique, et de la documentation en général, tous formats confondus.

Le développement du numérique a également entraîné l'apparition de nouvelles technologies comme les appareils à petits écrans ou appareils mobiles. Ces appareils envahissent la vie quotidienne (téléphone portable, lecteur MP3, organisateur individuel ou PDA). Dans le domaine professionnel, la tendance est également vers l'utilisation de ces appareils. Si ces derniers présentent l'avantage d'être faciles à emporter sur le lieu de travail, leurs caractéristiques (taille limitée de l'écran, par exemple) font que tout ce qui est disponible sur un appareil classique ou grand écran (un écran de 15 ou 17 pouces) ne se transfère pas sur un appareil à petit écran sans aucune adaptation ni de modification. Cela constitue également un élément de notre étude. La problématique est d'optimiser l'utilisation du petit écran afin que ce type d'outil permette à son utilisateur, dans notre cas l'opérateur de maintenance, une utilisation efficace et facile pour la consultation de la documentation de maintenance. En effet, depuis peu, l'introduction du petit écran est à l'étude pour, entre autres, la consultation de la documentation de maintenance en raison de la mobilité de l'opérateur de maintenance. L'opérateur de maintenance est un opérateur nomade et mobile dans la mesure où il se déplace au cours de son activité (à l'intérieur même de l'avion, autour de celui-ci, du hangar au tarmac, etc.).

Un des points que nous prenons en compte également dans notre étude est la place de l'activité de maintenance aéronautique et de la documentation de maintenance dans le contexte plus global du transport aérien. Comme nous l'avons mentionné au début, la maintenance a un rôle dans l'arrivée des incidents et des accidents d'avions. Ces événements sont souvent liés à la documentation de maintenance, par exemple par le fait que celle-ci contient des erreurs ou n'a pas été utilisée. Or, la maintenance aéronautique est un domaine très réglementé (nous consacrons une partie sur cette question dans la première partie de ce document) et des organismes spécialisés veillent à l'obligation d'utilisation de la documentation pour toute tâche de maintenance. Il nous paraissait alors intéressant d'étudier l'utilisation réelle de la documentation par les opérateurs de maintenance pour déterminer ce qui amène ces derniers à passer outre cette réglementation.

Notre étude vise à élaborer des principes de conception ergonomique de la documentation en maintenance aéronautique en intégrant deux facteurs principaux : (a) l'arrivée massive de documents électroniques en maintenance aéronautique, porteuse de progrès mais aussi de modifications profondes de l'utilisation des documents par les techniciens de maintenance ; (b) la prise en compte des tâches de maintenance dans la conception même des documents, pour adapter ceux-ci aux besoins réels des opérateurs et aux exigences des situations. En effet,

l'introduction de nouveaux supports doit prendre en considération les capacités et les limites des opérateurs afin de les assister efficacement.

Ainsi, notre travail a consisté à étudier la maintenance aéronautique, la documentation aéronautique et l'évolution qui s'y opère, particulièrement l'utilisation du petit écran pour la recherche et la consultation d'information pour la réalisation de l'activité de maintenance. Ce document est organisé suivant ces différents points étudiés.

Dans la première partie de ce document, nous décrivons au premier chapitre, ce qu'est la maintenance en général, puis la maintenance aéronautique à travers différents paramètres, comme les organismes de réglementation de la maintenance aéronautique, les utilisateurs de la documentation, l'activité de maintenance, la documentation de maintenance aéronautique, etc.

Dans le cadre de notre étude, nous considérons l'une des fonctions de la documentation de maintenance : celle d'un support de consultation et de recherche d'informations. Après l'étude de la maintenance, nous étudions donc, en deuxième chapitre de la première partie, les questions liées à la recherche d'informations et le traitement cognitif des documents. Nous analysons ces éléments à travers la notion de la représentation mentale et de l'activité de recherche d'informations.

Notre problématique centrale étant l'utilisation du petit écran pour la consultation et la recherche d'informations dans la documentation de maintenance, nous abordons dans le troisième chapitre de la première partie les questions concernant la lecture et le traitement des procédures sur petits écrans. Nous parlons alors de la navigation (dans un monde physique et dans un monde virtuel comme le système d'information) et de la notion de mobilité.

La deuxième partie du document est consacrée principalement aux expérimentations que nous avons menées pour cette étude sur l'utilisation du petit écran.

Dans le premier chapitre de la deuxième partie, nous décrivons l'étude exploratoire que nous avons menée sur le terrain. Si la littérature existante fournit régulièrement une quantité importante d'informations sur l'implication de la maintenance et de la documentation utilisée dans ce domaine dans l'arrivée d'incidents et d'accidents d'avions, à notre connaissance peu d'informations sur l'utilisation réelle de la documentation de maintenance aéronautique existent. Ainsi, par exemple, la littérature (*cf.* par exemple Lattanzio, Patankar & Kanki, 2008) souligne que la non lecture de la documentation est l'un des facteurs à l'origine des

événements, mais elle n'en précise pas la raison. Le but de cette étude exploratoire a donc été de récolter des informations sur le contexte de la maintenance aéronautique ainsi que l'utilisation de la documentation par les opérateurs.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude sur l'utilisation du petit écran pour la consultation et la recherche d'informations en vue de la réalisation de la tâche de maintenance, étude qui fait intervenir des populations de novices et d'experts. Les objectifs étaient de comparer la performance des deux populations sur la base des mesures de la durée de la tâche, du nombre de réponses incorrectes et du score relatif au suivi du chemin optimal. Le but étant de formuler des recommandations pour un affichage et une présentation des informations efficaces sur le petit écran pour un usage dans le contexte de la maintenance aéronautique, mais également dans le contexte plus général d'utilisation du petit écran comme support à la tâche.

Le troisième chapitre de la deuxième partie est consacré à la description de l'étude que nous avons menée en équipe dans un projet et dont l'objectif était d'étudier la lisibilité des informations sur le petit écran et la portabilité de l'appareil mobile dans le contexte de la maintenance aéronautique. Pour réaliser ce projet, nous avons pris en compte différentes conditions de luminosités et de localisation de la tâche dans l'avion.

PARTIE 1 - CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

CHAPITRE 1. LA MAINTENANCE AERONAUTIQUE

Avant de traiter le principal sujet de cette étude qui porte sur l'utilisation du petit écran pour la consultation des informations nécessaires à la réalisation de tâches liées à la maintenance aéronautique, des connaissances sur cette dernière sont nécessaires pour mieux situer le contexte de cette étude. Pour ce faire, nous allons nous fonder sur les éléments de l'outil utilisé en ergonomie pour l'analyse de l'activité appelé « le schéma à cinq carrés » (d'après Leplat & Cuny, 1977) :

- les conditions de réalisation d'une tâche (poste de travail, environnement, matériels, procédures, etc.) ;
- l'opérateur (ses caractéristiques, ses expériences, etc.) ;
- l'activité de travail ;
- les effets de l'activité de travail sur l'entreprise (quantité de production qualité, fiabilité, etc.) ;
- les effets de l'activité du travail sur l'homme (les accidents, l'intérêt, la fatigue, le stress, etc.) ;

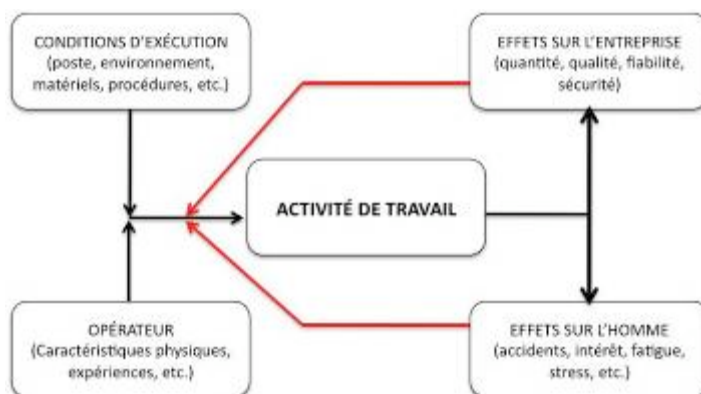


Figure 1 - Le schéma à 5 carrés

(Illustration tirée de Catta & Stocker, 2010)

Pour l'analyse du contexte, nous utiliserons le volet « conditions d'exécution » en étudiant le poste de travail et l'environnement de la maintenance aéronautique ainsi que les matériels et les procédures. Nous nous servirons également du volet « opérateur » pour définir les caractéristiques des opérateurs de maintenance (OM). Nous parlerons également des effets de

l'activité de la maintenance sur les OM, et sur l'entreprise en matière de qualité, de fiabilité, de coûts financiers, etc.

Nous commençons par caractériser la maintenance en général avant d'aborder le domaine plus spécifique de la maintenance aéronautique sous les différents volets évoqués ci-dessus.

1. La maintenance

1.1. Définitions

Selon Goundiam (2009), le mot « maintenance » vient du verbe « maintenir » qui a pour sens « choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'usage du matériel, suivant sa criticité économique, afin d'optimiser le coût global de possession ». Selon l'auteur, « maintenir » se distingue du mot « entretenir » qui correspond aux actions de dépanner et réparer un parc matériel afin d'assurer la continuité de la production. Ainsi, l'entretien exclut toute action qui a pour objet la prévention d'une défaillance ou d'une panne, ce qui est plutôt du domaine de la maintenance.

En 1994, l'Association Française de NORmalisation (AFNOR) a donné une première définition de la maintenance comme étant « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé » (Norme NFX 60-010). Celle-ci a été remplacée en 2001 par une nouvelle définition européenne selon laquelle la maintenance est « un ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». Cette dernière définition donne une vision plus large de la maintenance en incluant les actions qui sont indirectement liées à la maintenance, c'est-à-dire les actions administratives et de management. C'est également la définition proposée par la Fédération européenne des sociétés nationales de Maintenance (*European Federation of National Maintenance Societies* ou EFNMS) qui stipule que la maintenance correspond à « toutes les actions qui ont pour objectif de garder ou de remettre une chose en état de remplir la fonction qu'on exige d'elle. Ces actions regroupent tous les actions techniques et toutes les actions d'administration, de direction et de supervision correspondantes ». Toutefois, ces actions doivent être bien définies au sein de l'entreprise : El Aoufir et Bouami (2005) définissent la maintenance comme étant un processus composé d'un ensemble d'activités (de préparation, de réalisation, de suivi et d'analyse) ayant des objectifs clairement et consensuellement identifiés au sein de l'entreprise. Ainsi, les auteurs donnent

plus de détails sur ces actions qui, selon eux, correspondent à des actions d'inspection, d'essai de conformité, de maintenance de routine, de reconstruction, de dépannage, de localisation de panne, de modification, de surveillance en fonctionnement, d'essai de fonctionnement, de révision, de réparation, de diagnostic de panne et d'amélioration. La maintenance peut porter sur des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc.) ou immatériels (logiciels).

1.2. Caractéristiques de la maintenance

La maintenance peut être caractérisée à travers la place qu'elle occupe au sein d'un organisme (par exemple une entreprise de vente de produits ou de services), les ressources qu'elle utilise, ses rôles et ses objectifs.

1.2.1. Les ressources utilisées par la maintenance

Comme les autres unités de l'entreprise (conception, industrialisation, contrôle de gestion, etc.) qui contribuent à l'activité à différents niveaux afin de transformer les matières premières en produits finis, la maintenance nécessite et consomme des ressources pour réaliser ses objectifs qui sont multiples : la disponibilité, la sécurité, la durabilité des biens, etc. Ces ressources utilisées par la maintenance au sein de l'entreprise sont de différentes sortes et peuvent être récapitulées selon la logique des 5M suivante : **M**ain d'œuvre, **M**atières, **M**atériel, **M**ilieu, **M**éthodes (El Aoufir & Bouami, 2005).

- la *main d'œuvre* peut être interne ou externe à l'entreprise et correspond au personnel d'intervention, d'encadrement et de gestion ;
- les *matières* englobent les pièces de rechange et les consommables ;
- le *matériel* inclue les outillages, les instruments de mesure, de diagnostic ou de test, les équipements dédiés à la fabrication en interne des pièces de rechange ;
- le *milieu* se réfère à l'ensemble des locaux, bureaux ou magasins dédiés à l'activité de maintenance ;
- les *méthodes* se composent des outils et méthodes de management de la maintenance, les moyens documentaires, les procédures, la formation, la GMAO¹, etc.

¹ GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur, un logiciel qui gère les activités de maintenance (planification des tâches, gestion des fiches de suivi des machines, gestions du stock de pièces de rechange, etc.)

1.2.2. La maintenance et la sûreté de fonctionnement

La maintenance a lieu quand il y a une défaillance ou une panne d'un produit ou d'un service. En cas de défaillance, c'est la sûreté de fonctionnement du produit ou du service qui est atteinte. La sûreté de fonctionnement est définie par Villemeur (1988) comme étant un principe selon lequel un système doit être capable de satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. Laprie (2004) définit la sûreté de fonctionnement comme étant l'aptitude à délivrer un service de confiance justifiée, à éviter des défaillances du service plus fréquentes ou plus graves qu'acceptables. Le service ou le système doit ainsi être sûr de fonctionnement. Pour Vanderhaegen (2003), « un système sûr de fonctionnement est un système qui suit les objectifs suivant lesquels il a été conçu en respectant des niveaux de performance requis, c'est-à-dire qu'il fonctionne sans incident ni accident mettant en jeu cette performance ». Quand un système a subi une défaillance, il n'est plus capable d'assurer pleinement ses objectifs car ce sont les propriétés de la sûreté de son fonctionnement qui ont été altérées. Ces propriétés sont : la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité, la sécurité (Vanderhaegen, 2003 ; Terrier, 2002) que la norme NF EN 13306 (2001) définit comme suit :

- **la fiabilité** est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données et pendant un intervalle de temps donné. Elle est liée à la continuité du service ;
- **la disponibilité** est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné. Elle correspond au fait d'être prêt à l'utilisation ;
- **la sécurité** est l'aptitude d'une entité à éviter l'apparition de conséquences critiques ou catastrophiques pour les acteurs, le système technique ou l'environnement dans des conditions données ;
- **la maintenabilité** est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou remise en état de fonctionnement après une défaillance, au cours d'un intervalle de temps donné, afin d'être capable d'accomplir une fonction requise. Elle implique les réparations et les évolutions (Vanderhaegen, 2003).

À ces quatre propriétés citées par Vanderhaegen (2003) et Terrier (2002) s'ajoutent deux autres composants (Norme NF X60-500, 1988) de la sûreté de fonctionnement d'un bien : la testabilité et la durabilité. **La testabilité** se réfère à l'aptitude d'une entité à être déclarée défaillante dans des limites de temps spécifiées, selon des procédures prescrites et dans des conditions données. Quant à **la durabilité**, elle concerne l'aptitude d'une entité à accomplir

une fonction requise dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint.

La fiabilité d'un produit est à distinguer de **la qualité** de celui-ci : la qualité d'un produit est la conformité de celui-ci à sa spécification à sa sortie d'usine ($t=0$) alors que la fiabilité correspond à son aptitude à y demeurer conforme pendant sa durée de vie (Goundiam, 2009). Toutefois, les deux propriétés sont liées. En effet, la qualité initiale détermine la bonne fiabilité du produit, et la fiabilité est une extension de la qualité dans le temps. La qualité est un attribut important du produit en ce sens qu'elle influence les coûts de la maintenance. Ainsi, pour assurer la bonne qualité d'un produit afin de réduire les coûts de la maintenance, une importance capitale doit être accordée à la qualité des éléments qui contribuent à la conception du produit, tels que les hommes, les méthodes, les outils, les interventions.

Après avoir défini ce qu'est la maintenance au sens large et déterminé les différents éléments qui font sa raison d'être, nous allons décrire dans la section suivante les différents types de maintenance.

1.3. Les différents types de maintenance

Selon la norme NF EN 13 306 (2001), la maintenance se divise en deux catégories : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

1.3.1. La maintenance corrective

La maintenance corrective est l'intervention effectuée suite à une défaillance. Elle consiste soit en une maintenance curative, soit en une maintenance palliative.

La maintenance curative ou différée correspond à la réparation de l'équipement afin de le remettre à l'état initial alors que la maintenance palliative ou d'urgence a pour objet la réparation à titre provisoire de l'équipement en attendant une intervention curative pour permettre un fonctionnement continu, même en partie de l'équipement. On parle également dans ce cas de **dépannage** (Goundiam, 2009).

1.3.2. La maintenance préventive

La maintenance préventive consiste en la prévention d'une défaillance pour des raisons de sûreté de fonctionnement ou des raisons économiques ou pratiques, par exemple si le système à entretenir ne peut être entretenu à tout moment comme dans le cas des avions. Il existe trois

types de maintenance préventive : la maintenance systématique, la maintenance conditionnelle et la maintenance prévisionnelle.

La maintenance systématique est définie comme étant « la maintenance préventive effectuée suivant un échancier établi, suivant le temps ou le nombre d'unité d'usage » (AFNOR X-60-010). Ce type de maintenance a lieu à intervalle régulier suivant une périodicité temporelle (en nombre de mois par exemple) ou une périodicité d'usage (nombre d'heures d'usage, par exemple). Selon Terrier (2002), elle concerne les équipements dont une défaillance met en cause la sécurité des biens et des personnes, les équipements à coût de défaillance élevé, les équipements dont l'arrêt ou le redémarrage est long, et les équipements soumis à des obligations réglementaires.

La maintenance conditionnelle est effectuée à la suite de la constatation de faits qui entraînent la nécessité d'une intervention (par exemple à la suite d'un contrôle).

La maintenance prévisionnelle est réalisée à la suite d'une analyse de l'évolution de l'état de dégradation de l'équipement.

Nous récapitulons ces différentes divisions de la maintenance dans le schéma suivant.

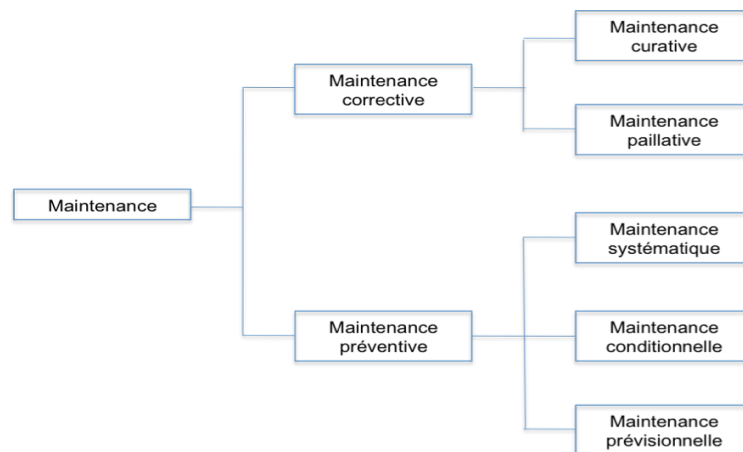


Figure 2 - Les différents types de maintenance

L'objectif de la maintenance corrective serait de réduire les temps d'indisponibilité alors que celui de la maintenance préventive serait de fiabiliser les équipements, c'est-à-dire de réduire la fréquence de panne (El Aoufir & Bouami, 2005).

Après cette description des caractéristiques de la maintenance générale, nous poursuivons par la description de la maintenance dans le cas particulier de l'aéronautique.

2. La maintenance aéronautique

La maintenance aéronautique est définie par l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (EASA) comme étant l'une des tâches ou d'une combinaison de tâches suivantes : révision, réparation, inspection, remplacement, modification et correction de défektivité d'un aéronef ou d'un élément d'aéronef, à l'exception de la visite pré-vol (EASA, 2003).

La maintenance aéronautique est l'action nécessaire pour maintenir ou restaurer l'intégrité et les performances de l'avion. Elle correspond alors au maintien de la navigabilité de l'avion. La navigabilité est définie par l'EASA (2003) comme étant « tous les processus destinés à veiller à ce qu'à tout moment de sa vie utile, l'aéronef respecte les exigences de navigabilité en vigueur et soit en état d'être exploité de manière sûre ». Elle comprend l'inspection, la révision, la réparation, la préservation et le remplacement de pièces pour assurer la conformité des bases de la certification, appelé *Continuing airworthiness* ou le maintien de navigabilité (Hessburg, 2000). La certification de maintien de navigabilité permet à l'avion de rester en activité. L'objectif principal de la maintenance est donc de minimiser la durée d'immobilisation de l'avion suite à une défaillance ou une panne en exécutant la réparation la plus appropriée, de la façon la plus efficace et dans le temps le plus court, à l'extérieur ou dans un hangar.

Plusieurs phases d'actions constituent la maintenance aéronautique : contrôler, diagnostiquer, remettre en état, vérifier et rendre compte, à l'aide de la documentation de la maintenance aéronautique (que nous désignerons par « DMA » par la suite).

- Contrôler (inspecter) consiste à vérifier la conformité des systèmes (mécaniques, hydrauliques, électriques, etc.) ;
- diagnostiquer a pour but de comprendre l'origine d'une panne et déterminer les actions à mener ;
- remettre en état/régler correspond à démonter un système à réparer, remplacer les pièces usées, régler les organes électroniques, etc. ;
- vérifier vise à s'assurer que les systèmes sont correctement remontés ;
- rendre compte a pour objet de remplir et signer les fiches techniques (dossier de maintenance).

D'après Reason et Hobbs (2006), les activités de maintenance aéronautique impliquent deux types d'activités : d'une part la désinstallation et le démontage/désassemblage de composants, et d'autre part le remontage/réassemblage et la réinstallation.

Si d'une façon générale la maintenance est nécessaire dans la vie d'un produit pour assurer son bon fonctionnement, dans le domaine aéronautique la place de la maintenance est encore plus grande compte tenu du coût élevé de l'avion et également pour assurer la sûreté de fonctionnement de celui-ci en raison de l'enjeu de sécurité caractérisant le domaine. De ce fait, c'est une activité très réglementée qui doit obéir à des normes et réglementations strictes définies par des organismes spécialisés. Nous détaillons ci-après différents types d'organismes en charge de ces réglementations.

2.1. Les organismes de réglementations

Des organismes spécialisés définissent les normes et les réglementations qui portent sur des éléments intéressant la sécurité, la régularité et l'efficacité de la navigation aérienne, tels que les systèmes de communication et aides à la navigation aérienne, licences et brevets du personnel technique d'exploitation et d'entretien, la navigabilité des aéronefs, etc. (De Bonnefoy, 2009). Outre les normes et les réglementations, ces organismes sont également en charge de la certification et de la supervision. Quelques exemples d'organismes de certification, de supervision et de réglementation sont présentés ci-dessous.

2.1.1. L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale

L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) créée en 1944 aux Etats-Unis et dont les objectifs (ICAO, 2006, cité par De Bonnefoy, 2009) sont de développer les principes et les techniques de navigation aérienne internationale et de favoriser la planification et le développement du transport aérien international de manière à :

- assurer le développement ordonné et sûr de l'aviation civile internationale dans le monde entier ;
- encourager les techniques de conception et d'exploitation des aéronefs à des fins pacifiques ;
- encourager le développement des voies aériennes, des aéroports et des installations et services de navigation aérienne pour l'aviation civile internationale ;
- répondre aux besoins des peuples du monde en matière de transport aérien sûr, régulier, efficace et économique ;

- prévenir le gaspillage économique résultant de la concurrence déraisonnable ;
- assurer le respect intégral des droits des Etats contractants et une possibilité équitable pour chaque Etat contractant d'exploiter des entreprises de transport aérien international ;
- éviter la discrimination entre Etats contractants ;
- promouvoir la sécurité de vol dans la navigation aérienne internationale ;
- promouvoir en général, le développement de l'aéronautique civile internationale sous tous ces aspects.

2.1.2. La Joint Aviation Authorities

La *Joint Aviation Authorities* (JAA) est un organisme européen qui a initialement pour but de développer et de mettre en application des normes et des procédures de sécurité communes (par exemple, codes de certification pour les grands avions et les moteurs). Ces normes et procédures visent particulièrement à assurer un niveau de sécurité élevé et équivalent au sein des Etats membres et de se mettre en concordance avec les Etats-Unis. La JAA définit également les normes d'opérations, d'entretien, d'autorisation et de certification/conception pour les avions.

2.1.3. L'European Aviation Safety Agency

L'*European Aviation Safety Agency* (EASA) est un organisme qui a pour mission de promouvoir le plus haut niveau possible de sécurité et de protection environnementale de l'aviation civile par le développement des règles communes au niveau européen (De Bonnefoy, 2009). L'organisme s'occupe :

- de la réglementation (élaboration de la législation en matière de sécurité et conseils techniques à la Commission européenne et aux Etats membres) ;
- des inspections, programmes de formation et de normalisation pour assurer une application uniforme de la législation européenne de la sécurité aérienne dans les Etats membres ;
- de la certification de type pour la navigabilité et la compatibilité environnementale des aéronefs, moteurs et équipements ;
- de l'approbation et de la supervision des organismes de conception ainsi que des organismes de production et de maintenance situés dans les pays tiers ;

- de la collecte des données, analyse et recherche pour l'amélioration de la sécurité aérienne ;
- des règles et procédures sur l'exploitation aérienne ;
- de la réglementation des licences pour les personnels navigants ;
- de la certification des exploitants des pays tiers.

Pour le domaine concerné par notre étude, c'est-à-dire la maintenance aéronautique, l'EASA a établi un règlement, le N° 2042/2003, sur le maintien de la navigabilité des aéronefs et des produits, pièces et équipements aéronautiques ainsi que les organismes et les personnels participant à ces tâches.

Ce règlement contient quatre parties (communément appelée *Part* dans le métier de la maintenance) qui sont :

- Partie M : maintien de la navigabilité
- Partie 145 : agréments des organismes de maintenance
- Partie 66 : personnels chargé de la certification
- Partie 147 : Exigences pour les organismes de formation

2.1.4. *L'Air Transportation Association*

L'*Air Transportation Association* (ATA)² est une organisation américaine qui regroupe seize compagnies aériennes (américaines et non américaines) fondée en 1936 et basée à Washington. Son objectif principal est de promouvoir un environnement réglementé qui assure un transport aérien sécurisé et permettre aux compagnies aériennes américaines de s'étendre pour une croissance économique locale, nationale et internationale. L'ATA et ses membres (compagnies aériennes, partenaires industriels tels que Boeing et Airbus, etc.) jouent un rôle important dans la conception de l'avenir du transport aérien et travaillent dans les domaines technique, légal et politique pour établir une politique et des mesures qui améliorent la sécurité, la sûreté et le bon fonctionnement de l'avion, de ses passagers et des membres d'équipage.

² Tiré du site <http://www.airlines.org/About/AboutATA/Pages/aboutata.aspx> (2010)

Pour la maintenance aéronautique, trois standards ont été élaborés par l'ATA (De Bonnefoy, 2009) :

- le standard ATA Spec 1000 (*Manufacturers's Technical Data*) propose des instructions sur le format et le contenu des manuels techniques rédigés par les constructeurs et les fournisseurs du domaine aéronautique ainsi qu'une norme de codage des « systèmes » avion appelée « le système ATA ». Selon cette norme, l'avion est décomposé en différentes parties dont chacune correspond à un numéro (Par exemple l'ATA 32 désigne les trains d'atterrissage, l'ATA 57 est relatif à la voilure, etc.) ;
- le standard ATA Spec 2100 (*Digital Data Standards for Aircraft Support – Maintenance Document, Data Model and Common Support Data Dictionary*) propose des instructions pour l'échange de données numériques, des normes et techniques pour définir les données numériques (graphique SGML, fichier XML, etc.) ;
- le standard ATA iSpec 2200 (*Information Standard for Aviation Maintenance*) fusionne les deux premiers et propose des recommandations universelles (pour tout type d'avion) sur le contenu, la structure et l'échange numérique des informations de l'engineering, de la maintenance et des opérations en vol. Le but est de minimiser les coûts et les efforts des constructeurs et des exploitants, d'améliorer la qualité et la véracité des informations et d'améliorer la cohérence des données des constructeurs avec les besoins opérationnels des compagnies aériennes.

2.1.5. L'AeroSpace and Defence industries association of Europe

L'*AeroSpace and Defence industries association of Europe* (ASD) a pour but d'améliorer le développement concurrentiel des industries européennes de l'aéronautique, de l'espace, de la défense et de la sécurité pour promouvoir et supporter le développement compétitif dans ces secteurs. Dans le domaine de la maintenance aéronautique, l'organisation propose deux standards destinés à la rédaction de la documentation technique des activités de maintenance aéronautique, à savoir :

- la spécification S1000D qui consiste en une spécification pour les publications techniques utilisant une base de données commune. Elle correspond à des normes pour la documentation technique pour les équipements et les véhicules civils et militaires ;
- la spécification ASD-STE100 qui est une spécification internationale pour la préparation de la documentation de maintenance dans un langage contrôlé, le *simplified English*. Le

simplified English comporte un vocabulaire fixe avec 988 termes et 57 règles de syntaxe et de grammaire. Le but est de fournir des textes clairs et facilement compréhensibles par des personnes qui parlent très peu l'anglais³. Ainsi, par exemple, le terme *about* est utilisé pour signifier *concerned with* et ne peut pas être utilisé pour le sens de *around* ou *approximately*.

Voici un exemple de texte transformé en *simplified english*.

Tableau 1 - Un exemple de texte transformé en *simplified english*

Paragraphe original	Paragraphe en <i>simplified english</i>
Place the water heater in a clean, dry location as near as practical to the area of greatest heated water demand. Long uninsulated hot water lines can waste energy and water. Clearance for accessibility to permit inspection and servicing such as removing heating elements or checking controls must be provided.	<i>Put the water heater in a clean, dry location near the area where you use the most hot water. If the hot water lines are long and they do not have insulation, you will use too much energy and water. Make sure you have access to the heating elements and the controls for inspection and servicing.</i>

Comme nous l'avons noté précédemment, la maintenance aéronautique est un domaine qui est régi par un certain nombre de normes et de réglementations. Celles-ci ne concernent pas uniquement l'activité proprement dite mais également les personnes qui participent à cette activité ainsi que les moyens utilisés pour réaliser les objectifs de la maintenance. Parmi ces moyens figure la DMA. Avant de développer cette dernière, nous décrivons les utilisateurs de cette documentation dans la section suivante.

2.2. Les utilisateurs de la DMA

Dans le cadre strict de notre étude, nous nous intéressons aux opérateurs de maintenance qui travaillent directement sur l'avion. Néanmoins, comme la DMA est aussi utilisée par d'autres opérateurs, ces derniers sont également présentés dans cette partie.

La maintenance aéronautique fait intervenir différents individus, qui se distinguent principalement par :

- leur métier (que nous décrivons ci-dessous) ;
- leur spécialité (électronique, électronique, montage câblage, etc.) ;

³ www.userlab.com/Downloads/SE.pdf

- leur expertise (des débutants ou novices, qui sont des personnes encore en cours de formation ou qui viennent de terminer leurs études et commencent à peine leur vie professionnelle ; des experts qui ont des dizaines d'années d'expérience dans le métier).

Malgré cette diversité, ces utilisateurs se servent de la même documentation dans leur activité respective.

Nous décrivons donc dans la suite de ce document les caractéristiques des utilisateurs principaux de la documentation de la maintenance aéronautique : les mécaniciens, le planificateur, le réviseur, le formateur.

2.2.1. *Les mécaniciens*⁴

Les mécaniciens sont répartis en plusieurs catégories suivant leur spécialité : le mécanicien aéronautique, le mécanicien cellule, le mécanicien électricien/électronicien aéronautique, le monteur-câbleur aéronautique, etc.

2.2.1.1. Le mécanicien aéronautique

Avec le support de la documentation technique, il a pour mission de :

- monter/démonter, déposer/poser, réparer/modifier, effectuer les inspections les composants de la cellule, entretenir les moteurs ou les systèmes mécaniques, hydrauliques, pneumatiques et électriques sur l'avion ;
- faire des essais sur les systèmes et moteurs pour effectuer des recherches de pannes ou s'assurer qu'ils sont correctement remontés et fonctionnent comme il est spécifié dans la documentation ;
- déceler l'origine d'une panne et déterminer les actions à mener pour corriger le dysfonctionnement ;
- contrôler la qualité des opérations qu'il effectue, identifier les anomalies et réaliser les corrections nécessaires.

⁴ Informations extraites du site http://www.aeronautique.ac-versailles.fr/rubrique.php?id_rubrique=11

2.2.1.2. Le mécanicien cellule

Sur la base de la documentation technique, le mécanicien cellule fabrique, assemble, entretient, modifie les pièces de structures métalliques et/ou composites de la cellule (corps de l'avion). Il doit également s'assurer si la forme, la dimension, et l'état des pièces sont conformes aux indications données par la documentation. D'autre part, il doit contrôler la qualité des opérations qu'il effectue, détecter les anomalies et réaliser les corrections nécessaires

2.2.1.3. Le mécanicien électronicien ou électricien aéronautique

Il est spécialisé dans les domaines de l'électricité, des instruments de bord, de la radionavigation, du pilotage automatique et du système radar. Il effectue les inspections de ces systèmes et identifie ceux qui doivent être réparés ou remplacés à partir des actions suivantes :

- des essais sur ces systèmes pour effectuer des recherches de pannes ou s'assurer qu'ils sont correctement remontés et fonctionnent comme il est spécifié dans la documentation ;
- une identification de l'origine d'une panne et une définition des actions à mener pour corriger le dysfonctionnement ;
- des opérations de montage/démontage, dépose/repose, réparation/modification de ces systèmes ;
- un contrôle de la qualité des opérations effectuées, identification des anomalies et réalisation des corrections nécessaires.

2.2.1.4. Le monteur câbleur aéronautique

- il exécute la pose, le montage et la fixation de composants électriques et électroniques, réalise l'installation et la vérification des fils conducteurs reliant les différents matériels électroniques et électriques qui constituent le câblage de l'aéronef ;
- il effectue les raccordements selon la procédure décrite dans les documents techniques ;
- il exécute les opérations de pose et de montage de composants et d'équipements sur des cartes, châssis, tableaux ou armoires ;
- il procède à la connexion par câbles des organes de commandes et des équipements électriques et électroniques ;

- il assure les essais, le réglage, la réparation, la modification d'un ensemble câblé.

Les mécaniciens doivent être capables de lire et appliquer avec rigueur les informations définies dans la documentation.

2.2.2. *Le planificateur*

Le planificateur a un rôle d'organisateur, de coordinateur, de gestionnaire de la flotte et du personnel. Selon les besoins d'une compagnie aérienne, il doit tout mettre en œuvre pour que l'avion maintienne sa navigabilité. Pour cela, il doit s'assurer :

- de la disponibilité de ressources humaines suffisantes pour pouvoir aligner le nombre d'avions que la compagnie lui a demandé, de la quantité de carburant demandée par le pilote, du nombre de sièges suffisant, etc. ;
- de la sécurité (par exemple, le bon remplissage de l'oxygène) ;
- de la conformité des actions des mécaniciens (par exemple : s'assurer que le mécanicien a bien suivi les procédures et signé la carte de travail).

Pour effectuer son travail, le planificateur doit traiter différentes informations, telles que :

- les ressources nécessaires : le nombre de mécaniciens nécessaires pour la tâche et les qualifications requises, ainsi que les outils et les équipements ;
- l'intervalle de temps pendant lequel la tâche doit être réalisée (ou *due window*), qui comprend deux paramètres : le moment auquel la tâche peut commencer (*the ready time*) et le moment auquel elle doit être finie (*deadline*) ;
- la durée de la tâche : le temps nécessaire pour exécuter la tâche ;
- l'information sur la séquence des tâches. Dans ce cadre, il prend en compte des paramètres, tels que la succession des tâches (*task precedence* : la tâche A doit être effectuée avant que la tâche B ne puisse commencer), le conflit entre les tâches (*task conflict* : la tâche A ne peut pas être exécutée en même temps que la tâche B du fait par exemple de l'espace de travail trop exigü, juste assez large pour un seul opérateur), la durée des tâches (*task overlap* : une propriété qui spécifie que les tâches à durée plus longue doivent inclure des tâches plus courtes), la coïncidence (la tâche A doit commencer ou finir en même temps que la tâche B), etc.

2.2.3. *Le formateur*

Le formateur a différents rôles : donner les connaissances nécessaires aux personnes formées pour savoir « faire voler un avion » c'est-à-dire pour assurer le bon fonctionnement de l'avion, pour préparer l'avion au vol, et des connaissances sur tout ce qu'il faut regarder (par exemple, les endroits ou l'élément de l'avion à regarder au cours d'une tâche donnée) et faire dans une tâche de maintenance, notamment les documents à utiliser et à remplir.

2.2.4. *Le réviseur ou record*

Le réviseur est en charge de la mise à jour de la documentation technique de l'avion qui se subdivise en deux catégories :

- la DMA de livraison qui sert à s'assurer que le mécanicien a utilisé au cours de la maintenance la bonne méthode et la documentation appropriée (une documentation à jour, par exemple) afin de délivrer le certificat de navigabilité. C'est une preuve de l'application des méthodes à respecter pour chaque maintenance (*means of compliance*) ;
- la documentation pour la réparation structurale qui est un support de base pour vérifier la conformité de la réparation des structures (méthode utilisée, matériel et matériaux utilisés...).

2.3. *Les opérateurs de maintenance et la qualification technique*

Pour la maintenance aéronautique, la réglementation EASA-EC2042/2003 exige la réalisation de tous les travaux par du personnel qualifié. Un opérateur qualifié est un opérateur détenteur d'une licence de maintenance d'aéronefs dont l'obtention, les conditions d'utilisation et la validité sont définies par la réglementation EASA-EC2042/2003. Dans le cas où l'opérateur n'est pas qualifié (par exemple pour le cas des opérateurs inexpérimentés comme les novices), la supervision, la vérification et la validation de leur travail par un opérateur qualifié sont nécessaires.

Quatre catégories de licence sont ainsi définies par la réglementation EASA suivant l'étendu des actions que l'opérateur a la capacité d'effectuer.

- **la catégorie A** : autorise son titulaire à délivrer des certificats de remise en service après des opérations d'entretien en ligne programmées mineures et des rectifications de défauts simples dans les limites des tâches mentionnées spécifiquement sur l'habilitation. Les prérogatives de certification doivent être limitées aux travaux que le titulaire de la licence a personnellement effectués dans un organisme partie 145 ;

- **la catégorie B1** : autorise son titulaire à délivrer des certificats de remise en service après des opérations d'entretien, y compris les groupes motopropulseurs et les systèmes mécaniques et électriques. Le remplacement d'un élément avionique remplaçable n'exigeant que des tests simples pour démontrer son bon fonctionnement, doit également être inclus dans ses prérogatives ;

Ces deux catégories se décomposent à leur tour à des sous-catégories en fonction du type d'aéronefs (avion ou hélicoptère) et du type de motorisation (à turbines ou à pistons) :

- A1 et B1.1 pour les avions avec moteur à turbines ;
- A2 et B1.2 pour les avions avec moteur à pistons ;
- A3 et B1.3 pour les hélicoptères avec moteur à turbines ;
- A4 et B1.4 pour les hélicoptères avec moteur à pistons.

- **la catégorie B2** : autorise son titulaire à délivrer des certificats de remise en service après des opérations d'entretien sur des systèmes avioniques et électriques ;

- **la catégorie C** : autorise son titulaire à délivrer des certificats de remise en service après des opérations d'entretien en base pour les aéronefs. Les prérogatives s'appliquent à l'aéronef dans son intégralité dans un organisme Partie 145.

Après cette description des différents utilisateurs de la DMA, nous aborderons dans la section suivante l'activité de maintenance aéronautique pour mieux cerner le contexte dans lequel exercent ces différents opérateurs et utilisateurs de la DMA.

2.4. L'activité de maintenance aéronautique

Nous étudierons l'activité de la maintenance aéronautique à travers le poste de travail de maintenance et les outils qui y sont présents, l'environnement de travail, l'organisation, les matériels mis à la disposition des opérateurs de maintenance et les procédures que ces derniers doivent suivre.

2.4.1. Le poste de travail et outils

Les opérations de maintenance ont lieu directement sur le tarmac pour la maintenance non programmée et dans les ateliers, hangars d'entretiens ou des bases de maintenance pour la

maintenance programmée⁵. Chaque opérateur dispose de différents éléments nécessaires à la réalisation de la tâche de maintenance dans une boîte à outils qui lui est propre et qui contient les outils standard, c'est-à-dire les outils utilisés dans le déroulement normal de l'activité. Toutefois, s'il a besoin d'outils spécifiques, il a la possibilité de s'en procurer.

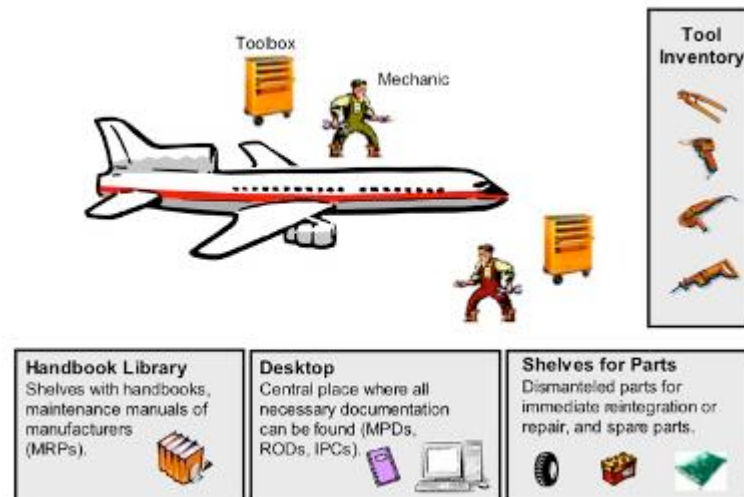


Figure 3 - Environnement classique d'une maintenance programmée
(Lampe, Strassner, & Fleisch, 2004)

Les hangars de maintenance peuvent contenir plusieurs avions et ainsi plusieurs baies (aires de travail séparées pour chaque avion). Ils contiennent également d'autres zones : une partie est réservée aux stocks de matériels (composants, équipements électriques, etc.), des ateliers de peinture, des zones d'essais non destructifs, de nettoyage des pièces, etc.

Outre le MRB (*Maintenance Review Board*), dans lequel il trouve la description des procédures de maintenance pour les différents éléments de l'avion, l'opérateur dispose également à un endroit, généralement dans un bureau aménagé dans le hangar, de toutes les documentations : le *Maintenance Planning Document* ou MPD, le *Discrepancies Reports* ou ROD, l'*Illustrated Parts Catalogue* ou IPC, sous format papier ou électronique consultable sur un ordinateur de bureau.

2.4.2. L'organisation du travail

L'opérateur de maintenance peut travailler de jour ou de nuit, individuellement ou en équipe, selon les exigences de la tâche. Il arrive souvent que plusieurs équipes travaillent en parallèle sur un même avion pour assurer une même activité, notamment dans le cas des opérations

⁵ Plus de détails sur ces deux types de maintenance seront abordés plus loin dans ce document

longues pour lesquelles l'équipe qui les a commencées n'est pas celle qui les finit. Cela a pour objectif d'optimiser la durée de la maintenance, c'est-à-dire d'effectuer le plus d'opérations possibles pendant le temps d'immobilisation de l'avion au sol afin d'en réduire les coûts. Mais dans tous les cas, les membres d'une même équipe doivent collaborer, par exemple pour transmettre les informations lors des relèves entre *l'équipe descendante* (l'équipe qui a fini) et *l'équipe montante* (l'équipe qui commence) (Le Bris, 2010), ou encore quand un opérateur sans licence doit demander à un opérateur certifié de valider son travail. C'est également le cas lors de la communication entre les opérateurs à différents moments de la tâche (De Bonnefoy, 2009) :

- avant la tâche pour comprendre ce qu'il y a à faire, avec qui, etc. ;
- pendant la tâche pour avoir des informations sur la tâche en cours : l'avancement, des précisions, des confirmations sur un point précis ;
- à la fin de la tâche pour signaler les problèmes éventuels, faire des rapports, etc.

Le travail en équipe nécessite une planification rigoureuse et une bonne coordination des mouvements des personnes et de l'activation des organes de l'avion (Cameron, 2002). Ainsi, si un opérateur a ouvert un élément de l'avion pour le besoin de sa tâche, par exemple, les autres opérateurs doivent être prévenus pour qu'ils ne referment pas l'élément.

Du point de vue organisationnel, les ateliers de maintenance sont souvent rattachés aux départements en charge de la qualité et/ou de la documentation. Chaque atelier est ensuite géré par un responsable technique.

2.4.3. L'environnement de travail, les difficultés et les risques

L'exécution d'une tâche de maintenance aéronautique peut entraîner des difficultés pour l'opérateur de maintenance compte tenu de la difficulté d'accès de certaines parties de l'avion. L'opérateur peut ainsi être contraint à adopter des positions plus ou moins confortables pour effectuer sa tâche.



Photo: Colin Drury

Figure 4 - OM en activité - Hobbs (2008)

Aux risques intrinsèques que comportent déjà les opérations de maintenance s'ajoutent d'autres contraintes qui sont :

- une forte contrainte temporelle, liée au fait que la maintenance doit être effectuée avant le départ de l'avion pour éviter l'attente des passagers, la perturbation du trafic en cas de retard et un coût financier lié au retard - car un avion qui ne vole pas engendre un coût d'environ \$23 000 par heure (Brown, 2003 cité par Lampe, 2004). La pression temporelle est un aspect inévitable des opérations sur avion. Toutefois, les pressions imposées par l'heure de départ de l'avion et les programmes de maintenance sont ressenties comme des difficultés par le personnel de maintenance (cet aspect sera détaillé plus tard, dans la partie empirique). La pression temporelle pourrait conduire à une défaillance de la mémoire et aux violations de la procédure (par exemple, le cas d'un opérateur qui a opté pour une procédure raccourcie afin de permettre à l'avion de partir à temps ou celui d'un autre opérateur qui a continué à travailler malgré un problème de vue suite à un fluide hydraulique qu'il a reçu dans l'œil. Hobbs, 2008) ;

- la densité du trafic aérien : la circulation d'autres avions et de différents véhicules (véhicules d'entretiens, d'acheminement des bagages, etc.) ;

- l'exposition aux bruits : le bruit peut provenir de l'avion lui-même. En effet, même si les appareils plus récents sont beaucoup plus silencieux que les modèles antérieurs, les opérateurs de maintenance peuvent être exposés à un niveau sonore important, notamment lors de certaines opérations qui engendrent un bruit plus élevé (par exemple quand l'appareil a besoin de la puissance du moteur pour quitter son point de stationnement). Les sources de bruit

peuvent également provenir d'autres engins et matériels présents, comme les engins remorqueurs, les camions-citernes, les équipements de manutention de marchandises ;

- les conditions climatiques, comme les pics de températures, les vents forts, les précipitations sous forme de pluie ou de neige et de glace, la foudre ;

- les risques d'accidents, notamment le risque d'être aspirés par les réacteurs, d'être heurtés par une hélice ou soufflés, de se faire renverser par des engins mobiles notamment lors d'une visibilité réduite de nuit ou avec des conditions météorologiques défavorables, le risque lié au travail en hauteur.

- l'exposition aux produits irritants ou présentant un risque pour la santé, comme les fluides hydrauliques dont un composant peut provoquer une irritation grave, les résines, les liquides de dégivrage qui contiennent un produit qui peut entraîner une irritation du système respiratoire, etc.

Des mesures existent déjà, même si elles restent insuffisantes, pour protéger les opérateurs suivant les risques auxquels ils sont exposés. Ainsi, pour les risques liés au bruit, des bouchons d'oreilles sont utilisés. Les opérateurs portent également sur leurs vêtements des bandes réfléchissantes pour être facilement repérables et éviter ainsi les accidents. Cameron (2002) propose également une ventilation efficace des locaux, le port d'un équipement de protection individuelle adapté, la protection contre les chutes, la formation aux techniques de levage, les recours à des engins de levage mécaniques et une nouvelle conception ergonomique des équipements.

Des réglementations existent concernant les environnements de travail en maintenance aéronautique, comme celles proposées par l'EASA-EC2042/2003 qui se réfèrent principalement aux environnements pour la maintenance en atelier ou hangar. Les réglementations portent sur les locaux (leur adaptation aux travaux prévus tout en assurant une protection contre les intempéries, etc.), les conditions de travail (les températures, la poussière et toute autre contamination de l'air, l'éclairage, le bruit, etc.).

Nous avons vu précédemment que la maintenance aéronautique fait intervenir différents opérateurs dans un environnement de travail bien défini avec une organisation bien définie et réglementée. Dans cet environnement, l'activité elle-même est également bien structurée, notamment en fonction du type de maintenance à effectuer. Dans la section suivante, nous recensons les différents types de maintenance aéronautique.

2.5. Les différents types de maintenance aéronautique

Selon leur programmation, les opérations de maintenance peuvent être réparties en deux catégories : les opérations de maintenance programmées et les opérations de maintenance non programmées ou maintenance d'escale (Cameron, 2002 ; VanBuskirk et al., 2002).

2.5.1. La maintenance programmée

2.5.1.1. Définition

Les opérations de maintenance programmées, ou maintenance en atelier, consistent en des vérifications périodiques de contrôle, d'entretien et de remise en état de l'appareil (Cameron, 2002). Elles se subdivisent en deux sous-catégories : les opérations effectuées après un nombre déterminé d'heures de vol effectué par l'avion (un avion de ligne⁶ par exemple passe à chaque fois la maintenance après approximativement 650 heures de vol) (Lamp, Strassner, & Fleisch, 2004), et les opérations effectuées à des intervalles de temps réguliers (*calendar-based maintenance*) indépendamment du nombre total d'heures de vol effectué.

Selon Jones (2006), la maintenance programmée correspond à la maintenance préventive. En effet, elle est composée de toutes les actions effectuées à des intervalles définies pour maintenir un produit dans des bonnes conditions d'utilisation à travers différentes actions systématiques : inspection, détection, remplacement d'éléments usés, ajustement, calibrage, nettoyage, etc.

2.5.1.2. Processus

Comme illustré ci-dessous (Figure 5), la maintenance programmée est composée de plusieurs étapes qui vont de la réception de la commande du client à la livraison de l'avion à celui-ci (Zafiharimalala, 2007).

⁶ Avion de ligne : un avion utilisé pour le transport de passagers sur des bases commerciales, le plus souvent exploité par des compagnies aériennes qui en sont propriétaires ou locataires

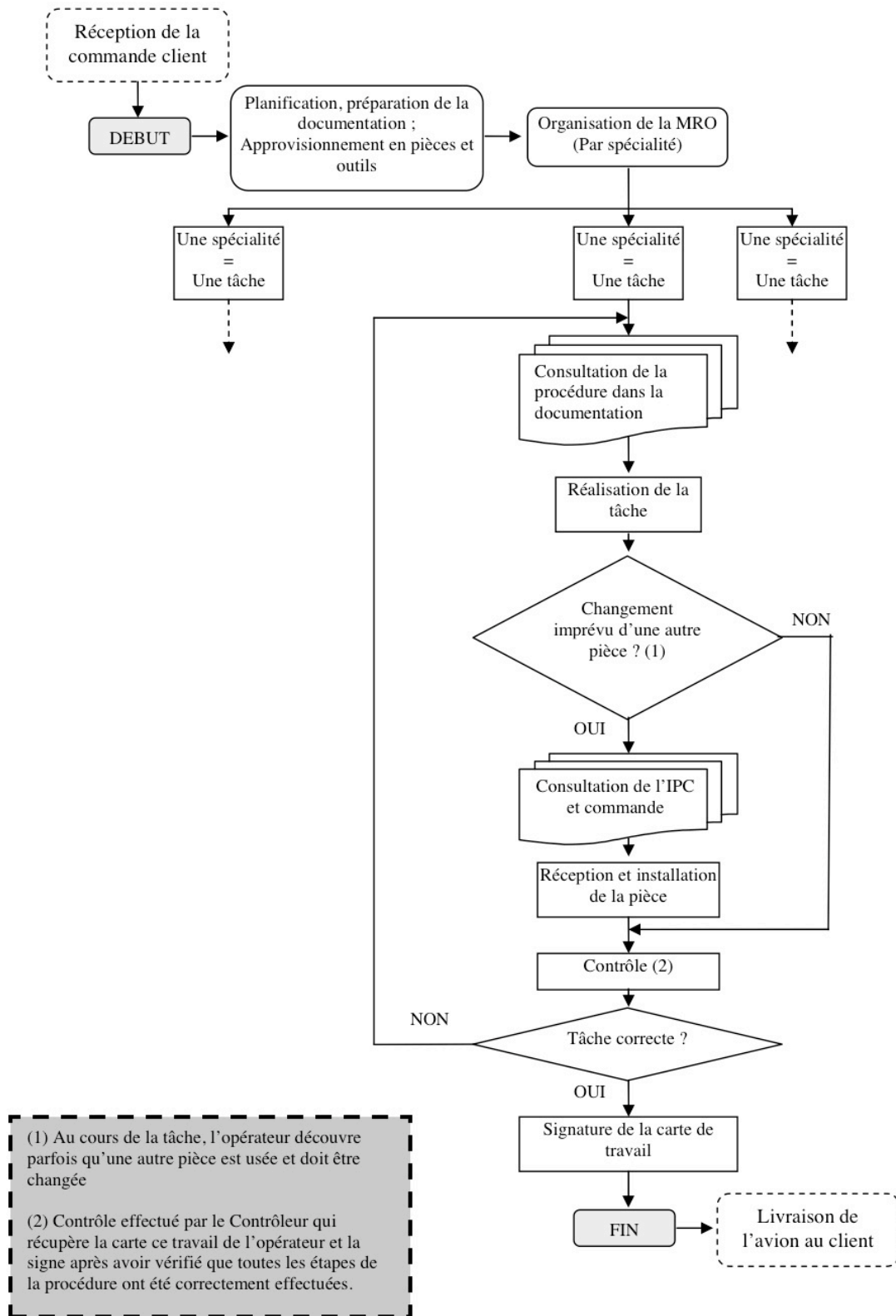


Figure 5 - Processus de la maintenance programmée

Réception de la commande client

Suite à la commande du client, l'avion est réceptionné dans le hangar à la date prévue avec les documents le concernant. Ces documents, appelés *logbooks*, qui correspondent à un journal de bord de maintenance de l'avion, contiennent différents types d'informations tels que le nombre total d'heures de vols effectué, les problèmes constatés sur l'avion, les actions de maintenance déjà effectuées, etc.

Planification, Approvisionnement en pièces et outils

Les opérations de maintenance sont ensuite planifiées sur la base de ces informations. Le planning qui en résulte est enregistré dans un document nommé le MPD (*Maintenance Planning Document*) qui décrit les tâches de maintenance, ou MRO (*Maintenance Repair and Overhaul*) à faire ainsi que les différentes actions nécessaires pour exécuter chaque tâche. Chaque spécialité a une tâche de maintenance à faire et chaque opérateur reçoit une carte de travail qui décrit ce qui lui est demandé de faire sur l'avion ainsi que la documentation correspondante. Si au cours de la réalisation de sa tâche sur l'avion, il a besoin d'informations supplémentaires, il retourne sur l'ordinateur placé généralement dans un bureau pour imprimer les informations voulues.

Sur la base du MPD, les pièces nécessaires sont commandées en se référant à l'IPC (*Illustrated Parts Catalogue*) qui contient des informations détaillées sur les pièces utilisées en maintenance aéronautique (nom de la pièce, description, numéro de série, illustration de la pièce, etc.). L'opérateur identifie les pièces à inspecter, à remplacer ou à réparer à partir de leur numéro de série et décrit l'état de celles-ci. Toujours sur la base du MPD, l'opérateur enregistre toutes les actions effectuées dans le ROD (*Discrepancies Reports*) à partir d'un ordinateur de bureau.

Contrôle et livraison

Une fois la MRO accomplie, l'inspecteur vérifie les résultats. Si tout est correct, il signe la carte de travail et remplit un document pour la livraison de l'avion (*Aircraft Certificate of Release to Service and Maintenance Statement*) qui décrit toutes les opérations qui ont été effectuées (vérification, réparation, remplacement de pièces). L'avion est alors remis au client.

2.5.2. La maintenance non programmée

2.5.2.1. Définition

La maintenance non programmée, appelée également maintenance d'escale, consiste à des opérations nécessaires au déroulement quotidien des activités. Elle se divise en des sous-catégories : la maintenance en ligne, la maintenance en vol (entre le décollage et l'atterrissage) et la maintenance de nuit. La maintenance en ligne comprend des interventions mineures consistant en de contrôles fonctionnels et d'opérations effectués pour remédier aux dysfonctionnements constatés (par exemple, remplacement d'un voyant lumineux, de pneus, etc.). La maintenance de nuit concerne des opérations plus étendues et des interventions reportées durant les vols de jour (Cameron, 2002).

Les opérations de maintenance sont reportées dans les manuels de maintenance qui contiennent les informations sur la programmation, la répartition et la nature de la maintenance aéronautique. Les manuels de maintenance peuvent être soumis à l'approbation des autorités de tutelle et les informations qu'ils contiennent sont contrôlées par chaque compagnie aérienne.

2.5.2.2. Le processus

La maintenance non programmée se décompose en trois principales tâches suivant le moment où elles ont lieu : le *daily*, le *preflight*, le *transit*. Le *daily* correspond aux premières vérifications effectuées quotidiennement. Le *preflight* consiste en des tâches de maintenance exécutées avant le premier vol de la journée et après le *daily*. Le *transit* concerne les tâches entreprises à chaque arrêt de l'avion entre deux vols, c'est-à-dire pendant l'escale. Chacune de ces trois tâches se compose de plusieurs sous-tâches dont certaines sont communes aux trois.

Tableau 2 - Les opérations en maintenance non programmée

DAILY	TRANSIT	PREFLIGHT
<ol style="list-style-type: none">1. arrival2. refueling3. water/waste servicing4. passenger compartment5. final itmes	<ol style="list-style-type: none">1. arrival2. external checks3. waste/water servicing4. flight compartiment5. passenger compartment6. final items	<ol style="list-style-type: none">1. preliminary items2. refueling3. water/waste servicing4. external walkaround5. final items

Pour illustrer ces opérations, quelques exemples d'opérations liées à la tâche de maintenance non programmée *preflight* sont illustrés dans le schéma ci-dessous (les chiffres correspondent aux parties de l'avion concernées par la tâche, en référence à la figure 6 – *les différentes parties de l'avion*).

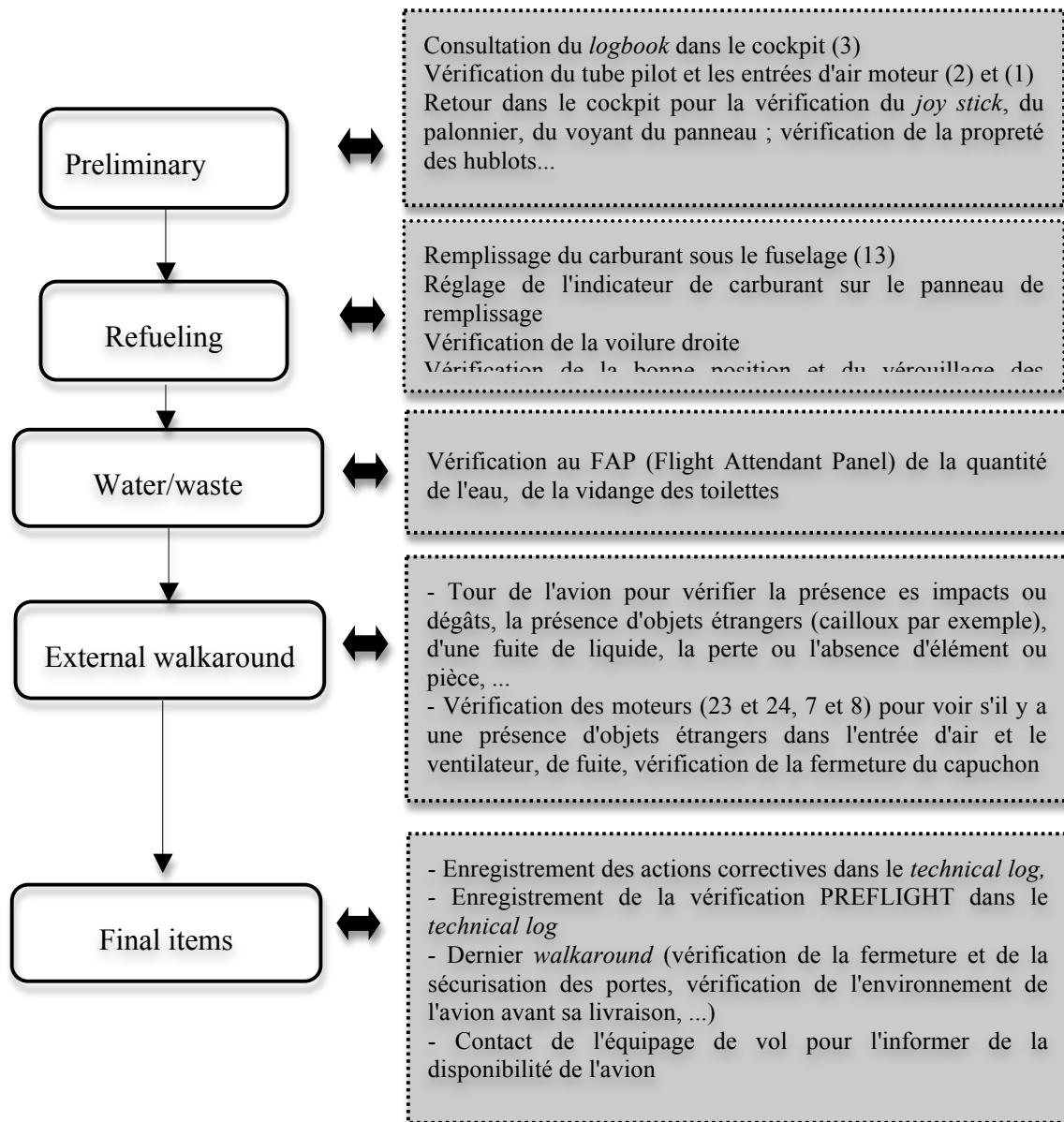


Figure 6 - Processus de la maintenance non programmée – *preflight*

Remarque : le *logbook* contient la description des pannes/défaillances constatées par le pilote et communiquées à la fin de chaque vol (Munro, Kanki, & Jordan, 2008).

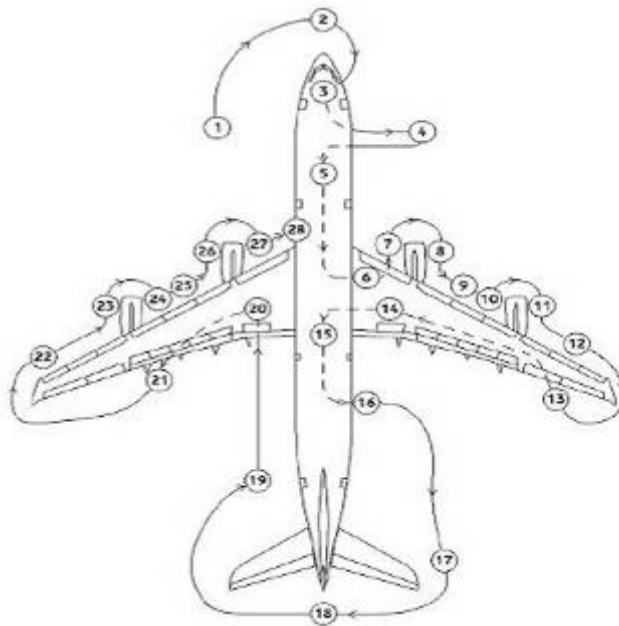


Figure 7 - Les différentes parties de l'avion

2.6. La documentation dans la maintenance aéronautique

Une partie des coûts d'exploitation de l'avion est liée à la maintenance. De ce fait, l'efficacité de celle-ci est cruciale. Cette efficacité concerne non seulement la maintenance elle-même mais également le traitement de la DMA (Kadner & Roussel, 2006) et les rôles qui lui sont assignés.

2.6.1. L'utilisation prescrite de la DMA

L'utilisation prescrite est définie par les prescripteurs. Nous entendons par « prescripteurs » les entités qui définissent les procédures officielles des tâches à exécuter par les OM et celles qui veillent à leur respect. Ces entités sont par exemple les organismes officiels qui définissent les réglementations en matière de procédures, les supérieurs hiérarchiques (les responsables du département qualité, les chefs d'atelier, etc.). Nous avons réparti en différentes fonctions les différents rôles que les prescripteurs attribuent à la DMA aéronautique.

La documentation technique utilisée en maintenance aéronautique est un document de type procédural. En effet, son utilisation a pour but la réalisation d'une action. Le document vise à guider l'opérateur par une liste d'instructions organisées dans la réalisation d'une tâche

(Montmollin, 1997 ; Cellier, 2005). La documentation correspond au travail prescrit de l'opérateur, c'est-à-dire qu'elle décrit le travail tel qu'il doit être fait, tel que la hiérarchie l'a conçu, et tel qu'il est écrit et doit être réalisé (Daniellou, Laville, & Teiger, 1982). En ce sens, c'est un document prescripteur car il définit la tâche prescrite, c'est-à-dire la tâche que l'organisateur (ou le supérieur hiérarchique) désire faire réaliser par l'opérateur (Leplat, 2008). Les procédures sont utilisées comme des listes des actions prescrites afin d'aider les opérateurs à se rappeler et suivre les étapes obligatoires pour assurer la sécurité, la charge de travail et les conditions de performances (Boy & De Brito, 2000). Ainsi, la DMA a une fonction de support à la tâche. Mais, la place des procédures dans l'activité se modifie avec l'expérience acquise par l'agent (Leplat, 2008).

Du point de vue des autorités (hiérarchique et administrative), la DMA a également une fonction légale dans la mesure où son utilisation est obligatoire du point de vue légal. En effet, la DMA constitue une preuve selon laquelle les opérations de maintenance ont été réalisées conformément aux prescriptions. La DMA correspond donc à un moyen de certification de la sécurité et de la sûreté des systèmes de l'avion après les opérations de maintenance. Pour cela, à la fin des opérations de maintenance, l'opérateur doit certifier (par sa signature) qu'il a utilisé la DMA. Cette signature sert de moyen de protection pour le centre de maintenance en cas de conflit avec les clients après la livraison de l'avion. Ainsi, la carte de travail assure une fonction testimoniale (Fraenkel, 1993) : la signature qui est obligatoire à la fin de la réalisation de la tâche a une valeur d'engagement qui atteste que le travail a été réalisé selon la procédure prescrite. Elle assure également une fonction d'archivage puisqu'elle est conservée dans le service de maintenance.

Une erreur étant définie sur la base d'un référentiel, par exemple les prescriptions du concepteur d'un outil de production ou les objectifs que l'opérateur cherche à atteindre (Vanderhaegen, 2003), dans le domaine de la maintenance aéronautique, la documentation joue également ce rôle de référentiel dans la mesure où les erreurs effectuées par les opérateurs sont évaluées à partir de celle-ci.

En plus de ces deux fonctions de support à la tâche et de document légal, la DMA joue une fonction de support à la formation des opérateurs de maintenance. En effet, selon la déclaration de professionnels dans le domaine de la maintenance aéronautique au cours de discussions « informelles » que nous avons eues avec eux, dans les pays développés, la documentation est utilisée dès la formation des novices, ce qui permet alors aux opérateurs de

développer des connaissances sur la documentation dès leur formation, contrairement aux opérateurs des pays moins développés. Ces derniers découvrent la documentation après leur formation.

Dans la maintenance aéronautique, l'utilisation de la documentation doit probablement permettre d'éviter le recours de l'opérateur à sa mémoire et ainsi de s'exposer davantage au risque d'erreurs. En effet, d'après Reason et Hobbs (2006), le recours à la mémoire pour réaliser une tâche pourrait présenter un risque, quand celle-ci est ponctuellement défaillante (par exemple à cause de la fatigue).

De plus, l'utilisation systématique de la documentation permet d'éviter le transfert non pertinent de connaissances et de compétences d'une tâche vers une autre, très similaire. Ainsi, sur certains modèles avions, l'entretoise de roue (*wheel spacer*) est attachée à la roue alors que sur d'autres elle ne l'est pas. Cela peut contribuer à l'omission de l'installation de cette pièce sur les deuxièmes modèles pour lesquels son installation constitue une action à part entière. C'est une situation qui risque de se présenter quand l'opérateur passe d'un modèle d'avion à un autre et qu'il n'existe qu'une infime différence entre les actions à effectuer sur les deux modèles.

2.6.2. L'utilisation réelle de la DMA

2.6.2.1. La déviation à l'utilisation de la DMA

Malgré les différentes fonctions que nous avons décrites et plus particulièrement la fonction légale de la DMA et l'obligation d'utilisation qui en résulte, de nombreuses études en psychologie ergonomique, en psychologie de l'aviation ou la simple expérience du terrain montre que dans la maintenance aéronautique, les différents opérateurs, en acquérant de l'expertise, ont de plus en plus de mal à suivre les procédures. En effet, Chaparro, Groff, Chaparro et Scarlett (2002) ont constaté que 64 % des techniciens déclarent ne pas se servir de la documentation car ils ont trouvé leur propre façon pour exécuter la procédure. McDonald, Corrigan, Cromie, et Daly (2000) rapportent que 34 % des tâches de maintenance de routine sont effectuées d'une manière autre que celle décrite dans la procédure de maintenance. Selon Hobbs et Williamson (2002), 80% des techniciens de maintenance déclarent s'être écartés des procédures au moins 1 fois l'année précédente et 10% reconnaissent le faire souvent ou très souvent.

2.6.2.2. Les raisons de la déviation

Les techniciens ne suivent pas les procédures décrites dans la documentation pour différentes raisons. Parfois, les procédures décrites sont redondantes avec leur expertise. Cette dernière peut alors modifier l'utilisation de la documentation procédurale. En effet, selon Leplat (2008), la place des procédures dans l'activité se modifie avec l'expérience acquise par l'agent. La granularité pertinente n'est pas la même chez le novice et l'expérimenté : le premier a besoin de plus de détails tandis que le second se contente de procédures plus condensées car les unités d'activité sont plus larges. Une procédure adaptée aux novices peut ne pas l'être pour les expérimentés, vice-versa. Dans la maintenance aéronautique, les procédures proposées ne tiennent pas compte de la variété d'expertise de leurs utilisateurs et se révèlent donc parfois inadaptées à leurs utilisateurs. Ce qui a pour conséquence la déviation aux procédures pour la réalisation de la tâche.

Il arrive également que les procédures soient contradictoires avec le mode opératoire habituel des opérateurs. Dans une étude rapportée par Hobbs (2008) sur l'utilisation du manuel de maintenance, 18 % seulement des techniciens interrogés déclarent que le manuel décrit la manière la plus simple pour exécuter une procédure, 13 % seulement reconnaissent que le rédacteur du manuel comprend comment l'opérateur effectue la maintenance. La violation des procédures est la plupart du temps délibérée. L'un des facteurs de cette violation est la confiance qu'a un individu vis-à-vis de son comportement et le sentiment « d'être capable de le faire (sans la procédure) » (Vanderhaegen, 2003).

Une procédure inexploitable ou difficile à utiliser est aussi l'une des principales raisons de la violation de la procédure par les OM en raison du fait qu'ils ont trouvé eux-mêmes la façon la plus facile ou la plus claire d'exécuter la procédure. Dans le projet ADAMS⁷, Van Avermaete et Hakkeling-Mesland (2001) rapportent que 34 % des techniciens se détournent de la documentation. Parfois même, l'opérateur élabore une documentation « privée » (*black book*), une sorte d'aide-mémoire personnel et illégal dans lequel l'opérateur note des informations utiles pour son utilisation personnelle (Barnard & Reiss, 2006) ou encore les conseils d'un collègue plus expérimenté ou des méthodes qu'il a trouvé lui-même plus efficaces que les procédures pour exécuter une action ou résoudre un problème.

⁷ ADAMS (*Aircraft Dispatch and Maintenance Safety System*) : étude des différentes erreurs en maintenance par le *Psychology Department of Trinity College Dublin*

2.6.2.3. Les conséquences de la déviation à l'utilisation de la DMA

L'étude menée par l'A 2004 UK *Flight Safety Committee* (Association de professionnels pour l'amélioration de la sécurité de l'aviation commerciale) a conclu que la documentation de maintenance est l'élément déterminant dans les premières causes d'incidents liés à la maintenance. La non utilisation de cette documentation, par exemple, entraîne selon le CAA (2002), une augmentation du risque d'erreurs humaines. D'ailleurs, les erreurs liées à la documentation font partie des 31 catégories d'erreurs humaines relevées par une étude effectuée par Boeing sur la base de 86 accidents liés à l'erreur de maintenance (CAA, 2002). Certains accidents ont eu lieu suite à la non utilisation du manuel ou à un warning verbal non approprié, tandis que d'autres avaient comme origine l'utilisation d'un mauvais manuel ou d'un manuel pauvre (Lattanzio, Patankar & Kanki, 2008), c'est-à-dire avec des informations insuffisantes. La conséquence en est que les facteurs majeurs de 12% des accidents d'avions relèvent de la maintenance et de l'inspection (Hobbs, 2000).

La compatibilité entre les modes opératoires des professionnels et la conception des documents est donc un enjeu de sécurité important, comme l'ont montré de nombreuses analyses d'accidents (Hobbs, 2000 ; FAA, 2005). Le but de l'utilisation d'une documentation procédurale est d'éviter les erreurs (Mason, 2001). Or, les opérateurs de maintenance jugent parfois que l'utilisation de la DMA les expose au risque de commettre des erreurs pour différentes raisons (nous aborderons ce point plus en détails dans la partie 2 de ce document consacrée à l'étude empirique).

2.6.3. L'enjeu de l'utilisation de la documentation de maintenance

Dans les sections précédentes, nous avons vu qu'il existe un lien entre l'utilisation de la documentation de maintenance et l'arrivée des événements (accidents et incidents) suite à des erreurs, dans le domaine aéronautique. Pour mieux comprendre ce lien, nous allons maintenant décrire l'erreur humaine en général, puis l'erreur en maintenance en particulier.

2.6.3.1. Les erreurs : définitions

Pour Reason (1990), l'erreur humaine se définit, du point de vue du travail, comme suit :

« Human errors are those occasions in which a planned sequence of mental or physical activities fails to achieve its intended outcome and when these failures cannot be attributed to the intervention of some chance agency ».

Dans le domaine industriel, sont considérées comme erreurs uniquement celles qui provoquent des conséquences inacceptables c'est-à-dire les conséquences qui ne sont pas définies par les procédures et les instructions. Selon Amalberti (2001), dans le domaine de la psychologie, une erreur correspond à une action erronée quelles que soient les conséquences, le niveau auquel elle a été détectée et corrigée. Reason et Hobbs (2006) citent différents attributs de l'erreur humaine qui, par ailleurs, sont utilisés dans le domaine de la gestion des erreurs. Ces attributs sont les suivants :

- l'erreur humaine est à la fois universelle et inévitable ;
- les erreurs ne sont pas intrinsèquement mauvaises ;
- on ne peut pas changer les conditions humaines, mais on peut changer les conditions dans lesquelles les humains travaillent ;
- les « meilleurs individus » sont susceptibles de commettre les pires erreurs ;
- les erreurs sont des conséquences plutôt que des causes ;
- plusieurs erreurs sont récurrentes ;
- des erreurs significatives sur la sécurité peuvent apparaître à tous les niveaux du système ;
- la gestion des erreurs consiste à gérer ce qui est gérable ;
- la gestion des erreurs consiste à rendre les bons individus excellents ;
- il n'y a pas une meilleure façon (de faire) ;
- une gestion des erreurs efficace vise à une réforme continue plutôt qu'à une locale/ponctuelle ;
- gérer la gestion des erreurs est le plus grand défi et la plus grande partie du processus de gestion des erreurs.

L'erreur humaine est à l'origine de 65 à 80% des accidents graves concernant les systèmes complexes tels que les transports (Amalberti, 2001).

2.6.3.2. Les erreurs en maintenance

Les erreurs en maintenance sont les effets des actions humaines mais les conditions qui les provoquent émanent du système de maintenance en entier. Les erreurs sont non seulement des causes d'événements (incidents, accidents) mais aussi des conséquences : elles résultent de

circonstances locales liées à la tâche, aux outils et équipements et au lieu de travail (Reason & Hobbs, 2006).

Les erreurs de maintenance sont à l'origine de principales causes d'accidents majeurs dans différentes technologies, comme dans le cas de l'explosion de nuage de cyclohexane dans l'usine chimique de Flixborough au Royaume-Uni en 1974, l'explosion de la plate-forme pétrolière *Piper Alpha* en 1988 ou la perte totale de l'avion B757 à Puerto Plata en République Dominicaine en 1996.

Selon Hobbs (1997), l'omission qui est la plus grande catégorie d'erreurs de maintenance se subdivise en différentes sous-catégories telles que (par ordre d'importance) le non verrouillage du système avionique avant le début de l'opération de maintenance, l'installation inachevée, l'exécution des opérations sans documentation, etc. L'omission d'une tâche est la conséquence d'une défaillance de l'aptitude humaine (Vanderhaegen, 2003).

2.6.3.3. L'origine des erreurs en maintenance

Reason et Hobbs (2006) distinguent deux raisons qui entraînent une personne à commettre une erreur : soit elle a effectué quelque chose qu'elle ne devait pas faire (*commission* en anglais), soit elle n'a pas fait quelque chose qu'elle devait faire (*omission*), par exemple comme dans le cas de la non utilisation de la documentation technique. L'omission constitue la plus importante catégorie de l'erreur de maintenance et concerne le plus souvent la remise en place des pièces ou éléments. Ainsi, par exemple, dans le domaine du nucléaire, 34% des erreurs enregistrées sur les 200 événements significatifs analysés concernent l'omission qui est la plus grande catégorie d'erreurs (Rasmussen, 1980). Une autre étude du même domaine rapporté par Reason et Hobbs (2006) a conclu que 64,5 % des erreurs liées aux activités de maintenance concernent l'omission d'étapes nécessaires. Le même constat apparaît dans le domaine de la maintenance aéronautique. L'analyse de 122 d'erreurs de maintenance enregistrées par une compagnie aérienne anglaise sur une période de 3 ans fait ressortir que l'omission compte pour 56 % de l'ensemble des erreurs (Reason, 1995). Ces omissions sont de différentes formes : fermeture/verrouillage non effectué, élément manquant, éléments laissé déconnecté, manque de lubrification, absence de bouchon, etc.

La production d'une erreur humaine est la conséquence de l'atteinte de la fiabilité humaine par des événements qui peuvent être internes ou externes. Les événements internes peuvent être l'expérience face à une situation courante, le niveau de motivation dans le travail, la

surcharge ou la sous-charge de travail mentale. La charge de travail correspond à la difficulté ressentie par l'opérateur humain, selon son état physiologique, psychologique et son savoir-faire (Sperandio, 1988). Les événements externes sont ceux qui sont liés aux caractéristiques de la tâche à réaliser (par exemple, des exigences élevées de la tâche en nombre ou en fréquence), du procédé piloté (un comportement anormal du procédé par exemple) ou l'environnement de travail (par exemple, des interférences avec d'autres opérateurs humains) (Vanderhaegen, 2003).

L'erreur humaine, au même titre que l'erreur technique ou l'erreur organisationnelle (des mauvaises conditions de travail, l'utilisation de ressources humaines insuffisantes, la répartition inadaptée des tâches, etc.), transforme une situation normale en une situation anormale. Une situation anormale peut être détectée mais peut également ne pas l'être. Dans le deuxième cas, l'opérateur n'envisage aucune action corrective (Vanderhaegen, 2003).

Les travaux de Hobbs (1997) permettent de conclure que certaines situations et la pression liée au travail pourraient amener aux mêmes erreurs indépendamment des caractéristiques de la personne qui effectue le travail.

Nous rappelons que, selon Reason et Hobbs (2006), il existe deux composants des activités de maintenance qui sont d'une part la désinstallation et le démontage/désassemblage de composants, et d'autre part le remontage/réassemblage et la réinstallation. La première activité est plus facile à effectuer que la deuxième qui, de ce fait, est plus vulnérable à l'erreur humaine. En effet, le remontage induit plus de charge aux ressources mentales limitées (mémoire et attention), ce qui accroît la probabilité d'erreurs dont l'occurrence est difficilement détectable. Par exemple, enlever huit écrous étiquetés de A à H sur un boulon est moins fastidieux que les replacer un par un suivant un ordre prédéterminé du fait qu'il faut vérifier à chaque fois l'ordre. En effet, il n'y a qu'une seule façon d'enlever les écrous (l'un après l'autre) alors que la probabilité de se tromper de séquence est importante (plus de 40 000 selon Reason & Hobbs, 2006), mis à part la possibilité d'omission d'un ou plusieurs. Ainsi, lors des opérations de maintenance, principalement la maintenance sur avion, la plupart des erreurs de maintenance sont associées aux remontage/réassemblage et réinstallation comme le montre également les résultats d'une étude menée par Boeing (1994) illustrés dans le tableau suivant.

Tableau 3 - Les raisons de l'immobilisation d'un avion

Causes de l'immobilisation	Pourcentage
<i>Incomplete installation</i>	33
<i>Damaged on installation</i>	14,5
<i>Improper installation</i>	11
<i>Equipment not installed or missing</i>	11
<i>Foreign object damaged</i>	6,5
<i>Improper fault isolation, inspection, test</i>	6
<i>Equipment not activated or deactivated</i>	4

Selon une étude de l'*United Kingdom Civil Aviation Authority* (UK CAA) (1992), les principaux problèmes de maintenance sont liés à l'installation incorrecte des composants, à la mise en place de mauvaises pièces, des erreurs de connexion électrique, et des objets étrangers (outillage, chiffon, effets personnels).

Selon Reason (1995) l'analyse des erreurs de maintenance relevées par une compagnie aérienne britannique pendant trois ans montre que les installations incorrectes constituent la deuxième grande catégorie d'erreurs, avec 30 % de l'ensemble, et après l'omission ; 8 % des erreurs sont liées à l'utilisation de mauvaises pièces.

Les omissions telles que l'absence de joint, de capsule, de fixations, etc. sont la plupart du temps non détectables et souvent ignorées (dans le sens de « inconnues »).

2.6.3.4. Les facteurs provocateurs d'erreurs

Dans l'activité de maintenance, les principaux facteurs conduisant à des erreurs sont : la sollicitation excessive de la mémoire, les interruptions, la pression, la fatigue, la réalisation de tâches non familières, l'ambiguïté, les procédures trop routinières (Reason & Hobbs, 2006, p.104-105).

2.6.3.4.1. La sollicitation excessive de la mémoire

La mémoire humaine peut se révéler plus ou moins performante à un moment donné. En effet, des facteurs comme la fatigue peuvent altérer son bon fonctionnement. La défaillance de la mémoire est la principale source d'erreur en maintenance. Il est plus prudent d'utiliser un aide-mémoire que de garder en mémoire sans aucun autre moyen de mémorisation, une étape critique à exécuter ultérieurement au risque de s'exposer à la défaillance de la mémoire et de commettre une erreur.

2.6.3.4.2. Les interruptions

Les interruptions au cours d'une activité de maintenance (demande de conseils de la part d'un collègue, appel téléphonique, des tâches plus urgentes à finir ailleurs, etc.) accroissent le degré de stress de l'opérateur et augmentent la probabilité de la défaillance de la mémoire qui pourrait entraîner un risque d'erreur dont la plus importante est l'omission. Il est ainsi important d'utiliser un repère pour marquer l'arrêt.

2.6.3.4.3. La pression temporelle

La pression peut prendre différentes formes (pression sur la durée d'exécution de la tâche, sur le rythme de travail, etc.) pourrait amener un opérateur omettre des étapes ou prendre des raccourcis.

2.6.3.4.4. La fatigue

La fatigue peut être due par exemple à une durée de travail supérieure à 12 heures ou à un manque de sommeil. La fatigue augmente la possibilité de commettre des erreurs, principalement la défaillance de mémoire.

2.6.3.4.5. La coordination inadéquate entre opérateurs

Cela se reflète principalement par un manque ou une mauvaise qualité de communication entre les opérateurs : hésitation à poser des questions aux collègues par peur de les offenser, confirmation implicite d'une situation à défaut d'une communication verbale, relève effectuée trop rapidement, etc.

2.6.3.4.6. La tâche non familière

L'exécution d'une tâche nouvelle ou d'une tâche connue mais qui ne fait pas partie des tâches habituellement réalisées augmente la probabilité de les réaliser incorrectement et expose à des risques d'erreurs. En maintenance aéronautique, le « coup de main » donné par le collègue a été relevé comme source d'erreur. En effet, même si un opérateur est qualifié et motivé, sans pratique continue, ses compétences pratiques peuvent se dégrader.

2.6.3.4.7. L'ambiguïté

L'ambiguïté a principalement lieu lors de travail d'équipe où la responsabilité n'est pas clairement définie, créant ainsi une zone de doute entre les individus.

2.6.3.4.8. Les procédures trop routinières

Toute procédure qu'un opérateur juge être capable d'exécuter « les yeux fermés » (par exemple : ouverture/fermeture d'une trappe, vérification du niveau d'huile) peut constituer un facteur d'inattention. En effet, quand la procédure est trop familière, l'attention est moins centrée sur l'action en cours et la vigilance est moindre, ce qui augmente le risque d'erreur.

Outre ces raisons, Reason et Hobbs (2006) mentionnent que les procédures et les manuels ou les cartes de travail dont le texte ou les diagrammes ne correspondent pas à la réalité comme elle est perçue par les personnes qui font une tâche sont à l'origine des erreurs par omission. Autrement dit, si le contenu des documents utilisés ne correspond pas à la représentation que se font les utilisateurs sur celui-ci, il y a un risque d'erreur⁸.

Dans le cas de l'interface homme-machine, la conception peut être la cause d'un nombre important d'erreurs de maintenance. Dans le contexte actuel des activités de maintenance, les opérateurs ont à leur disposition des systèmes munis d'une interface qui permet à l'opérateur d'exécuter des actions et de recevoir des informations. Ces deux niveaux, la réalisation d'une action et l'évaluation d'une information, peuvent être une source d'erreur en cas de mauvaise conception de l'interface qui vient souvent du manque de contact entre l'utilisateur et le concepteur, du manque de prise en compte des points de vue des utilisateurs par les concepteurs. Ces derniers considèrent que concepteurs et utilisateurs ont le même modèle du système et disposent très peu d'information sur les erreurs humaines.

Nous avons vu que l'omission (d'une étape de la procédure par exemple) est la plus grande catégorie d'erreurs de maintenance. Ce facteur mérite ainsi d'être analysé.

2.6.3.5. Un facteur d'erreur : l'omission

L'omission d'une étape d'une procédure de maintenance peut être due à différents facteurs :

- la charge mnésique de la procédure, c'est-à-dire la quantité d'information qu'une personne doit maintenir en mémoire pendant la réalisation d'une étape. Plus la charge liée à cette étape

⁸ Nous aborderons plus en détail cette notion de représentation dans la partie relative à la Recherche d'Information.

de la procédure est élevée, plus la probabilité d'omettre toute ou une partie de la procédure augmente ;

- la visibilité des items : un item qui n'apparaît pas de façon évidente dans une procédure est plus facilement omis ;

- la position d'une étape dans une procédure : les étapes qui se trouvent en milieu et en fin de procédure sont les plus fréquemment omises ;

- le signal local : de nombreuses étapes sont signalées ou amorcées par les précédentes (par exemple, un trou pour vis vide sous entend l'insertion d'une vis. Mais parfois, certaines étapes sont isolées du reste, ce qui les rend plus exposées à l'omission ;

- les textes ou les diagrammes qui ne correspondent pas à la représentation de la tâche par les opérateurs ;

- des modifications récentes (ajout d'étapes supplémentaires ou une étape de vérification) dans la procédure ;

- les tâches *a priori* similaires mais qui dans la réalité comportent des différences selon les modèles d'avions.

- les étapes qui nécessitent la répétition d'actions précédemment entreprises exposent à l'erreur par omission ;

- quand une étape correspond à l'installation de plusieurs composants (par exemple, plusieurs joints, boulons, etc.), certains d'entre eux risquent d'être oubliés ;

- une étape ou un élément qui ne sont pas facilement accessibles ou à portée de main sont plus exposés à l'omission ;

- les étapes finales d'une tâche risquent d'être omises par un opérateur quand il passe à une autre tâche ;

- la pression temporelle et la charge de travail contribuent à l'occurrence d'omission, par exemple dans certaines situations où lorsque l'objet principal de la tâche est atteint avant que toutes les étapes nécessaires pour celle-ci soient effectuées ;

- le risque de commettre une omission est plus grand quand l'opérateur qui a commencé une tâche n'est pas celui qui la finit (par exemple, en cas d'une mauvaise communication entre les deux équipes lors de relève de postes) ;

- beaucoup d'étapes en maintenance nécessitent de garder en mémoire une grande quantité d'informations ou avoir une procédure à portée de main. Comme il est rare que les opérateurs lisent et exécutent à la fois la procédure, il y a une grande probabilité que les informations nécessaires pour exécuter correctement une étape soient oubliées ou omises.

- les étapes qui ne sont pas assez fréquentes et n'apparaissent pas régulièrement à chaque tâche sont susceptibles d'être oubliées quand elles sont nécessaires.

Pour éviter les oublis et omissions des étapes nécessaires, Reason et Hobbs (2006) proposent l'utilisation d'un aide-mémoire qui, même utilisé uniquement pour prévenir le quart de l'ensemble d'omissions possibles, aurait déjà un impact sur des graves problèmes de facteurs humains.

Pour être efficace, l'aide-mémoire doit satisfaire ce que l'on peut appeler les « conditions en C » suivantes : *conspicuous, close, context, content, count, comprehensive, compel, confirm, convenient, conclude* (Reason & Hobbs, 2006). Chacune de ces conditions est détaillée dans le tableau suivant.

Tableau 4 - Les conditions caractérisant un bon aide-mémoire

CONDITIONS	CARACTÉRISTIQUES
<i>Conspicuous</i>	Attirer l'attention de l'opérateur au moment opportun
<i>Close</i>	Être facilement mis en position (en distance et en temps)
<i>Context</i>	Fournir des informations suffisantes concernant le moment et le lieu où doit être réellement réalisée l'étape à ne pas oublier.
<i>Content</i>	Fournir des informations suffisantes pour indiquer au mainteneur ce qui doit être entrepris.
<i>Count</i>	Permettre au mainteneur de décompter le nombre d'actions ou items à inclure pour la bonne exécution de l'étape.
<i>Comprehensive</i>	Contenir un nombre important d'étapes à ne pas oublier
<i>Compel</i>	Obliger l'opérateur à entreprendre une étape nécessaire, en bloquant toute progression tant que celle-ci n'a pas été effectuée.
<i>Confirm</i>	Permettre à l'opérateur de vérifier que les étapes nécessaires ont bien été exécutées comme prévu.
<i>Convenient</i>	Ne doit pas causer un autre problème qui pourrait être plus grave qu'une omission.
<i>Conclude</i>	Être facilement déplacé une fois la réalisation de l'action et sa vérification effectuées

Outre ces conditions, un bon aide-mémoire doit également être le fruit de la collaboration avec ceux à qui ils s'adressent, c'est-à-dire les OM. En effet, ce sont ceux qui exécutent

effectivement la tâche qui savent le mieux les caractéristiques d'un aide-mémoire efficace, donc qui permet d'indiquer les étapes ou items susceptibles d'être oubliés.

Un aide-mémoire doit être réactualisé régulièrement pour qu'il ne devienne pas un outil trop familier qui se fond dans l'environnement habituel.

2.6.3.6. Conséquences des erreurs : les évènements

2.6.3.6.1. Évènement : définition

Un événement concerne tout phénomène indésirable et imprévu allant d'une erreur sans conséquence à un accident catastrophique (Vanderhaegen, 2003). Il est caractérisé par trois composants :

- les causes (erreurs, violations, défaillance technique, etc.) ;
- le moment auquel les causes interviennent ;
- les conséquences dont le degré de la gravité varie d'une simple gêne à une désastreuse perte de vies humaines et de matériels.

Ces différents composants sont mesurés lors des analyses d'un événement.

2.6.3.6.2. Des exemples d'outils de mesures des évènements

Il existe différents types d'outils pour mesurer les événements dont MEDA et MESH

- *Le Maintenance Error Decision Aid (MEDA)*

Maintenance Error Decision Aid ou MEDA (Boeing, 1994) est l'un des outils d'analyse d'évènements les plus utilisés. L'outil regroupe ses résultats en cinq rubriques : (1) les informations concernant la compagnie aérienne, le type de l'avion, le moment d'occurrence de l'évènement, etc. (2) la description de l'évènement sur le plan opérationnel (retard du vol, annulation du vol, arrêt en vol du moteur, etc.), (3) la nature de l'erreur de maintenance (installation incorrecte, inspection/test incorrect, etc.), (4) les facteurs contributifs probables au sein du poste de travail, (5) le moyen défaillant (procédure, documentation, processus, etc. dont l'utilisation aurait pu éviter l'occurrence de l'évènement), (6) les détails des actions correctives suggérées pour prévenir la récurrence de l'évènement.

- *Le Managing Engineering Safety Health (MESH)*

MESH (*Managing Engineering Safety Health*), sert à identifier les facteurs liés au poste de travail et à l'organisation qui pourraient causer ultérieurement un événement affectant la performance humaine, et ainsi pour focaliser les efforts sur ces facteurs. Certains facteurs peuvent être communs à tout type de poste de travail. Les mesures utilisées quel que soit le poste de travail sont : la structure organisationnelle, la gestion du personnel, l'approvisionnement et la qualité des outils et équipement, la formation et la sélection, les pressions commerciale et opérationnelle, planification et programmation, maintenance des bâtiments et des équipements, la communication. Cependant, il existe des facteurs qui varient d'un poste de travail à l'autre. Ainsi, MESH distingue des facteurs comme étant plus spécifiques au hangar pour la maintenance en ligne, qui sont : les connaissances/savoir et compétences, l'état d'esprit, outils/équipements et pièces, le support, la fatigue, la pression, l'horaire, l'environnement, les ordinateurs, les manuels et procédures, le dérangement/gêne, moyens pour la sécurité du personnel. MESH comprend également un outil de recueil des commentaires venant des utilisateurs pour décrire des cas spécifiques de problèmes.

3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit ce qu'est la maintenance au sens large pour ensuite définir la maintenance aéronautique à travers ses objectifs, les différents éléments à prendre en compte dans son contexte, c'est-à-dire les conditions d'exécution de l'activité de maintenance (le poste de travail, l'organisation, etc.), les opérateurs, la documentation de maintenance, le processus de l'activité de maintenance. Nous avons également vu que la maintenance aéronautique est une activité exposée à des risques, principalement à des risques d'erreurs humaines qui peuvent conduire à l'occurrence d'évènements plus ou moins graves tels que les incidents ou des accidents. Après avoir décrit ces évènements, nous avons mentionné ce qui pourrait provoquer les erreurs qui sont à l'origine de ceux-ci.

Dans les différents travaux que nous avons mentionnés, la DMA se présente comme un facteur contributeur à l'arrivée des erreurs en maintenance aéronautique. La DMA contient les informations nécessaires à la réalisation de la tâche de maintenance. Les OM doivent donc l'utiliser pour effectuer les actions de recherche et consultation de ces informations. Ces actions vont faire l'objet du chapitre suivant du document.

CHAPITRE 2. LA RECHERCHE D'INFORMATION ET LE TRAITEMENT COGNITIF DES DOCUMENTS

1. Introduction

Comme nous l'avons mentionné précédemment, pour réaliser les opérations de maintenance, l'OM consulte la documentation de maintenance qui est un document procédural, en effectuant une activité de RI. Avant d'aborder la RI en général et le cas particulier de la RI dans le contexte de la maintenance aéronautique (MA), nous allons tout d'abord décrire la documentation utilisée dans la MA sur le plan matériel ou physique. En effet, selon Caro et Bétrancourt (2001, p.4), « la structuration et la mise en forme d'un texte ont des répercussions sur la représentation que va se construire le lecteur, et par conséquent sur ses performances dans des tâches ultérieures ».

2. La documentation en maintenance aéronautique (ou DMA)

La documentation technique ou manuel de maintenance d'un avion était entièrement sous format papier il y a encore une dizaine d'années. Actuellement, elle est principalement conçue sous format numérique (DVD) et sous la forme d'un document hypertexte. L'hypertexte désigne « un mode de gestion de l'information dans lequel cette dernière est représentée sous la forme de blocs de textes ou unités d'information, appelés nœuds. Les nœuds sont connectés entre eux par des liens » (Caro & Bétrancourt, 2001, p.3). L'affichage d'une nouvelle unité d'information s'obtient par une action à l'aide de la souris sur l'ancre (un zone sensible de l'écran : une chaîne de caractères, une image, un bouton, etc.).

Plusieurs types de documentations sont considérés comme des manuels de maintenance par les constructeurs d'avion et sont indiqués dans le tableau suivant.

Tableau 5 - Manuels de maintenance (adapté de De Bonnefoy, 2009)

AC	Airplane Characteristics	ESPM	Electrical Standard Practices Manual
AMM	Aircraft Maintenance Manual	FDRPL	Flight Data Recording Parameter Library
ASM/AWM	Aircraft Schematic Manual/ Aircraft Wiring Manual	FIM	Fault Isolation Manual
AWL	Aircraft Wiring List	CMPDS	Job-Cards Maintenance Planning Data Support
CCC	Crash Crew Chart	LTM	Livestock Transportation Manual
CLM	Component Location Manual	MFP	Maintenance Facilities Planning
CLS	Cargo Loading System Manual	MPD	Maintenance Planning Document
ELA	Electrical Load Analysis	TSM	Trouble Shooting Manual
ESLD	ECAM System Logic Data	IPC	Illustrated Part Catalog

Comment nous l'avons mentionné précédemment dans ce document, l'élaboration de la documentation technique est réglementée. Les réglementations portent sur les normes à respecter pour la rédaction (langue et syntaxe à utiliser), la numérotation des différents éléments de l'avion, la structure et le contenu des procédures. La DMA peut être décrite à travers son contenu, sa structure, les fonctions qui y sont disponibles et les moyens de mise en saillance des informations qu'elle contient.

2.1. Le contenu de la documentation de maintenance - Exemple de l'AMM

La DMA met à disposition de l'utilisateur différentes catégories d'informations qui sont :

- les titres et les références des tâches de maintenance ;
- la liste de figures (une figure illustre la procédure de la tâche qui a été sélectionnée par l'utilisateur) ;
- les messages de *warning* (indiquant une situation présentant des risques susceptibles de provoquer la mort, des blessures graves ou des dommages matériels) et de *caution* (indiquant une situation potentiellement dangereuse et susceptible d'entraîner des lésions corporelles ou des dommages matériels) ;
- la rubrique *Job set-up information* qui donne des informations sur le contexte de la tâche (c'est-à-dire les modèles d'avions qui sont concernés par la procédure consultée) et les noms des matériels nécessaires (outils, équipements, etc.) pour la réaliser ainsi que les références de

ceux-ci et la quantité nécessaire ;

- la zone de travail (localisation sur l'avion) ainsi que l'accès à celle-ci ;

- la rubrique *Job set-up* donne des détails sur les informations nécessaires pour la mise en configuration de l'avion avant la tâche, avant la réalisation de la procédure principale, comme les précautions à prendre au niveau de la sécurité ou *Safety precautions* (par exemple : “*Put the warning notice in the cockpit to tell persons not to operate the landing gear*”, « *Make sure that the Wheel chocks are in position* »), les vérifications à faire avant la tâche, des informations sur la configuration de la maintenance (Par exemple : “*make sure that the PARK BRK control switch is set on ON*”).;

- la rubrique *Procedure* qui contient des informations sur la référence, l'objet de la procédure et le détail de chaque sous-tâche (dans le cas d'une procédure composée de plusieurs sous-tâches) ;

- la rubrique de fermeture ou *Close-Up* qui correspond à des informations relatives aux actions à effectuer après l'opération de maintenance (par exemple : nettoyage du lieu de travail).

La DMA donne une description de la tâche de maintenance qui correspond au formalisme MAD ou Méthode de Description Analytique de Sébillotte (1991) et selon laquelle une tâche comporte différentes caractéristiques qui sont les suivantes :

- une identification (titre, référence) ;

- des éléments qui correspondent au but de la tâche, à l'état initial de la tâche, aux conditions préalables (des contraintes concernant l'état initial et qui correspondent aux *warnings* et *cautions* dans la DMA), au « corps » de la tâche (information concernant la manière d'exécution de la tâche et qui correspond aux sous-tâches dans la DMA), aux postconditions (des contraintes concernant l'état final de l'objet et qui correspond à la rubrique *Close-Up* dans la DMA), à l'état final de l'objet (une liste des éléments modifiés par la tâche) ;

- des attributs de la tâche qui sont relatifs aux caractéristiques spécifiques de certaines sous-tâches (une sous-tâche peut être optionnelle, itérative, prioritaire, interruptible). Dans la DMA par exemple, certaines tâches ne peuvent être réalisées sous certaines conditions météorologiques ou nécessitent une qualification spécifique de l'OM.

2.2. La structure de la DMA

Dans cette description, nous prenons l'exemple d'un outil (une application) de consultation de la DMA distribué par Airbus appelé AirN@v (qui est l'une des deux applications que nous avons utilisées pour l'expérimentation sur l'utilisation du petit écran pour la RI). Nous étudions la disposition des différentes rubriques de l'application au niveau de l'affichage des informations et les moyens utilisés pour distinguer les informations importantes.

Du point de vue structurel, une fenêtre de procédure est divisée en différentes parties :

- une première zone qui occupe la largeur de la partie supérieure de l'écran et contient la barre de navigation ;



Figure 8 - La barre de navigation de l'application AirN@v

- une deuxième zone qui se trouve sur la partie gauche de l'écran et qui affiche une liste sous forme de liens hypertextuels. Les intitulés des procédures de tâche de maintenance ne sont pas directement visibles dès sur la liste, particulièrement si elle n'est pas déroulée. En effet, les premiers niveaux de cette liste hypertextuelle sont constitués d'éléments correspondant aux différentes parties de l'avion qui sont identifiées par des codes (par exemple : 32 – Landing Gear ; 52 – Doors, etc.), mis à part quelques actions qui ne sont pas destinées à une partie particulière de l'avion, comme le Servicing (lubrification, nettoyage, etc.). Les différentes procédures correspondant à chaque partie sont ensuite visibles et accessibles après déroulement du lien, comme dans l'illustration ci-dessous. La zone qui contient la procédure complète occupe le reste de l'écran.

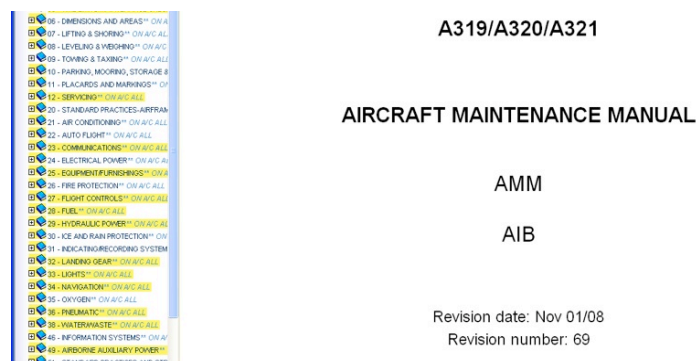


Figure 9 - La zone 2 et la zone d'affichage de la procédure dans AirN@v

2.3. La mise en saillance des informations dans la DMA

Certaines informations dans la DMA sont mises en avant. Nous détaillerons dans les paragraphes suivants les natures de ces informations et les moyens utilisés pour les distinguer.

Cette étude des différents moyens de mise en saillance est basée sur les travaux de Caro et Bétrancourt (2001) sur l'étude ergonomique du document électronique, ainsi que sur la définition donnée par Terrier, Lemerrier, Mojahid (2005) sur les moyens utilisés pour attirer l'attention des lecteurs. Pour ces derniers auteurs, les éléments et informations importants dans un texte sont distingués par l'utilisation de différents types de moyens appelés Mise en Forme Matérielle (ou MFM) qui se divisent en trois catégories : propriétés typographiques, les propriétés dispositionnelles, et les couleurs.

2.3.1. Les propriétés dispositionnelles

Ces propriétés concernent l'utilisation de différents éléments pour mettre en forme le texte et afficher les différents éléments de celui-ci. Elles peuvent prendre différentes formes.

2.3.1.1. L'espace

L'espace est utilisé pour rendre la présentation des informations plus agréable à la consultation et à la lecture. Dans certaines documentations de maintenance, par exemple, le texte n'est pas assez aéré par manque d'utilisation d'espaces pour séparer les différents items (titre, paragraphe, phrases, etc.) ou à l'intérieur d'un paragraphe comme dans la figure suivante.

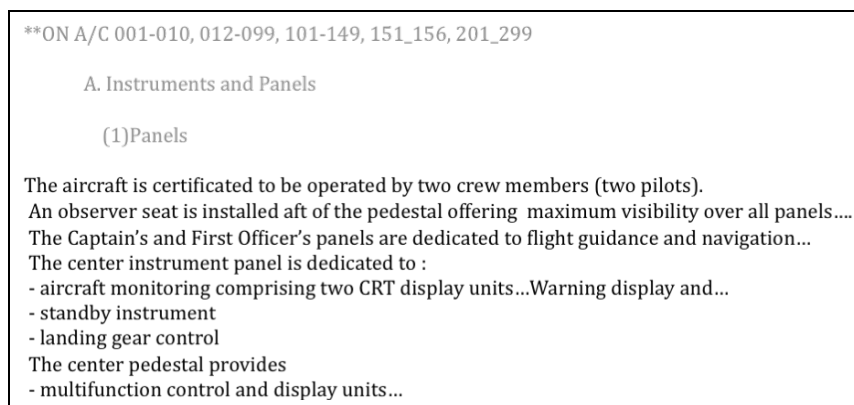


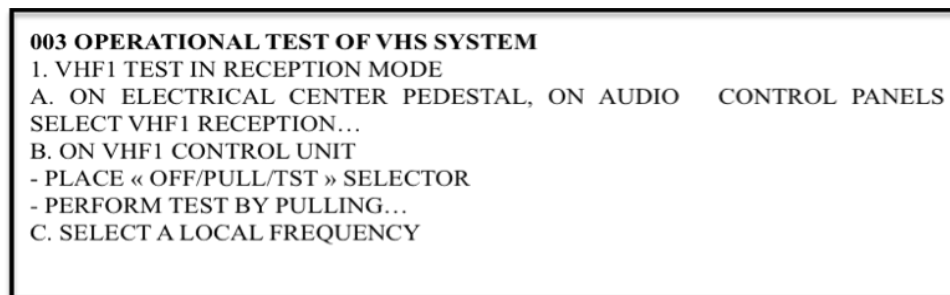
Figure 10 - Espace dans une DMA

D'après Caro et Bétrancourt (2001), l'existence d'espaces améliore la vitesse de la lecture. Ainsi, un manque d'espace entre les différents items induit la difficulté de lecture de la documentation.

2.3.1.2. Indentation

Indenter correspond au fait d'agrandir la marge sur un paragraphe pour mettre en valeur la structure d'un texte. L'indentation définit la distance entre la marge d'un paragraphe et le début de la première ligne.⁹

Certaines documentations de maintenance n'utilisent pas l'indentation pour organiser les informations. Les textes forment ainsi un seul bloc sans aucune distinction entre les différentes sections, comme illustré dans la figure ci-dessous.



003 OPERATIONAL TEST OF VHS SYSTEM
1. VHF1 TEST IN RECEPTION MODE
A. ON ELECTRICAL CENTER PEDESTAL, ON AUDIO CONTROL PANELS
SELECT VHF1 RECEPTION...
B. ON VHF1 CONTROL UNIT
- PLACE « OFF/PULL/TST » SELECTOR
- PERFORM TEST BY PULLING...
C. SELECT A LOCAL FREQUENCY

Figure 11 - Texte sans indentation dans la DMA

2.3.1.3. La liste

Les listes numériques et alphabétiques sont utilisées dans la DMA. Chaque item de la liste numérique est introduite par un numéro qui est suivi d'un point quand il s'agit d'une section dans la procédure (par exemple : 4. *Job set-up*) ou par un numéro mis entre parenthèses pour indiquer chaque étape dans la procédure (par exemple : (1) *Put the safety barriers in position*). Dans la liste alphabétique, un item peut commencer par une lettre en majuscule suivi d'un point pour indiquer une sous-section (cf. Figure 11) ou par une lettre minuscule entre parenthèses pour lister les différentes actions d'une étape de la procédure (cf. Figure ci-dessous).

⁹ Définition issue du Centre de ressources d'aide d'Adobe® (<http://livedocs.adobe.com>)

- | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>A. Visual Inspection of the Brake</p> <p>(1) Make sure that there are no leaks of hydraulic fluid on the pistons...</p> <p>(2) Examine thhe wear indicator.</p> <p>(3) Make sure that the heat packs are in the correct condition.</p> <p>(a) Make sure that the disks can move easily on the torque tube</p> <p>(b) Examine the rotors and make sure that...</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Figure 12 - Liste alphabétique avec des lettres minuscules

- | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>3. Job Set-Up Information</p> <p>A. Safety Precautions</p> <p>B. Aircraft Maintenance Configuration</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Figure 13 - Liste alphabétique avec des lettres en capitales

L'utilisation de la liste numérique d'instructions courtes présente un avantage car cela facilite la mémorisation de l'action et la localisation dans la page quand l'utilisateur reconsulte la documentation et alterne lecture et action, comme dans l'exemple de la cuisine où l'utilisateur réalise la recette étape par étape et ne mémorise pas l'ensemble de la recette avant de la réaliser (Ganier, 2004).

2.3.2. Les propriétés typographiques

2.3.2.1. Utilisation des lettres majuscules

Le texte de la DMA combine lettres majuscules et minuscules. Les majuscules sont utilisées dans différents cas :

- pour la lettre initiale de chaque mot du titre de chaque rubrique (Par exemple : *Job Set-up Information, Fault Confirmation, Procedure, etc.*) et de chaque sous-titre (*par exemple : Safety Precautions, Aircraft Maintenance Configuration, etc.*). L'utilisation de la majuscule en début de mot facilite la localisation de l'information. De plus, contrairement aux lettres minuscules, les majuscules sont plus lisibles à une certaine distance (Smith & Mosier, 1986) ;
- pour mentionner les outils et équipement même si ceux-ci se trouvent en milieu d'une procédure, comme dans l'exemple *Lock the impeller with the DISASSEMBLY TOOL ;*
- pour indiquer une information concernant l'hygiène et la sécurité (*WARNING, CAUTION, NOTE*).

Ces lettres majuscules visent à attirer l'attention de l'utilisateur (Smith & Mosier, 1986) sur un élément précis du texte.

2.3.2.2. Utilisation des caractères en gras

Selon Foster (1979), l'utilisation des caractères en gras est meilleure que l'utilisation des lettres en capitales en matière de tâche de RI. Pour Rivlin, Lewis et Cooper (1990) cités par Caro et Bétrancourt (2001), c'est l'un des meilleurs moyens pour mettre en avant un élément d'un texte. Dans la DMA, c'est un moyen utilisé uniquement pour les titres des colonnes dans un tableau.

Table 1 - utilisation des caractères en gras

REFERENCE	QTY	DESIGNATION
No specific		Warning notice
MG174-04	1	DISASSEMBLY TOOL

2.3.2.3. Le soulignement

Dans la DMA, le soulignement est utilisé pour certains éléments tels que les *WARNING*, *CAUTION*, *NOTE*, ou les titres de rubriques (cf. Figure ci-dessous). Le soulignement a comme effet de distinguer ces éléments comme ayant un statut supérieur par rapport aux autres éléments du texte.

1. Reason for the Job
2. Job Set-up Information
3. Job Set-up
4. Procedure
5. Close-up

Figure 14 - Le soulignement dans la DMA : exemple 1

Le soulignement est également utilisé pour indiquer des liens hypertextuels qui permettent d'accéder aux sous tâches incluses dans la procédure principale ou visualiser les figures liées à une procédure.

** ON A/C 035-099, 201-299
[\(Ref. Fig. 401/TASK 32-41-11-991-014-A SHEET 401.1\)](#)
 ** ON A/C 101-149, 151-156
[\(Ref. Fig. 401A/TASK 32-41-11-991-014-G SHEET 401A.1\)](#)
 ** ON A/C 157-199
[\(Ref. Fig. 401B/TASK 32-41-11-991-014-F SHEET 401B.1\)](#)

Figure 15 - Le soulignement dans la DMA : exemple 2

2.3.2.4. Les couleurs

Les couleurs utilisées prennent en compte d'une part les normes standard et d'autre part les normes de l'*Air Transport Association* (ATA). Ainsi, pour le texte, la couleur Ambre est utilisée pour les cautions, le rouge pour les warnings, le bleu pour les liens hypertextuels, le noir pour le texte principal et le jaune pour surligner un texte qui a subi une modification dans la procédure. Il est à noter que sur les figures, la couleur orange est utilisée pour signaler les outils tandis que le bleu est la couleur de la pièce à illustrer.

En général, cinq couleurs sont utilisées dans la DMA. Ceci est en accord avec les recommandations ergonomiques sur les documents qui conseillent d'éviter l'utilisation de plus de cinq couleurs différentes dans un document afin d'éviter la difficulté de lecture. De plus, une constance est constatée dans l'utilisation des couleurs dans la DMA dans le sens où une couleur est toujours utilisée pour le même type d'information et en aucun cas pour une autre.

Nous avons effectué l'inventaire des moyens utilisés pour rendre une information saillante afin que l'utilisateur consacre le minimum d'effort pour repérer celle-ci. L'absence de ces moyens rend la lecture difficile et cognitivement coûteuse en raison de la nécessité de la lecture intégrale du texte pour repérer l'information voulue. La présentation et la disposition des informations présentent ainsi un enjeu important. Selon Leplat (2008), un document bien présenté et intelligible a des chances de mieux atteindre son objectif que celui qui n'a pas ces qualités.

2.4. Les fonctions disponibles dans la DMA

Dans les DMA électroniques actuellement opérationnelles, différentes fonctions sont disponibles, telles que :

- la recherche par mots clés et plein texte ;
- les flèches de navigation (suivant/précédent) ;
- l'accès à des informations par la référence ;
- l'accès à des informations par des liens hypertextuels ;
- l'affichage de l'historique des liens visités ;
- le multifenêtrage (présentation de plusieurs fenêtres à l'utilisateur).

La nature des textes procéduraux et le contexte de leur utilisation, comme dans le cas de la DMA, induisent la construction de représentation du modèle de la situation et des actions à réaliser (Fayol, 2002). Il nous semble ainsi important de comprendre comment s'opère ce mécanisme de la construction de la représentation dans le contexte de la RI en maintenance aéronautique.

3. RI et représentation mentale

Dans le cas de documents techniques, « une mauvaise interprétation du contenu peut avoir des conséquences matérielles et humaines désastreuses » (Caro & Bétrancourt, 2001, p.4). De plus, la représentation mentale que se fait le lecteur de ce qui est dit par le document est fortement influencée par les dispositifs de présentation des informations. Cette représentation mentale, appelée modèle mental (MM) par Johnson-Laird (1983) se construit à partir tout d'abord du déchiffrement linguistique du texte puis de l'interprétation du sens littéral (Caro & Bétrancourt, 2001).

Déchiffrement linguistique → Interprétation du sens littéral → Représentation (MM) de « ce que veut dire le texte »

Figure 16 - La construction du modèle mental

Ce schéma de la construction du MM s'apparente au modèle de la compréhension du document procédural que nous traiterons plus tard dans ce document.

Après la définition du MM dans la section suivante, nous aborderons ses fonctions et son utilisation.

3.1. Définitions du modèle mental

Le terme « modèle mental » a été mentionné pour la première fois par Craik (1943). Actuellement, plusieurs définitions du MM existent dans la littérature. Deux idées générales peuvent être dégagées de celle-ci : le MM comme anticipation et le MM comme représentation.

3.1.1. Modèle mental comme anticipation

Certains auteurs considèrent le MM comme une forme d'anticipation des faits et des événements élaborée mentalement par l'individu. Selon ce courant, avant même que l'individu entreprenne une action ou assiste à un événement, il voit déjà mentalement l'action ou l'événement. Selon Craik (1943), « *the mind constructs "small-scale models" of reality to anticipate events, to reason, and to underlie explanation* ». L'anticipation va concerner non

seulement le déroulement d'une action mais aussi ses résultats. Elle va servir également à l'individu pour déterminer les moyens qu'il va utiliser pour atteindre ses buts.

Pour Johnson-Laird (1983), le MM est le processus par lequel les humains passent pour résoudre un problème. Ce sont des représentations des situations à la fois réelles et imaginaires (Johnson-Laird, 1999).

3.1.2. Modèle mental comme représentation

Le modèle mental intervient également dans le rapport de l'individu avec son environnement. Ainsi, pour Norman (1983) « les MM sont les représentations conceptuelles et opérationnelles internes que les individus développent pour interpréter et expliquer leur propre comportement avec leur environnement ». Cet environnement peut être le système avec lequel l'individu interagit et pour les spécialistes de la cognition, un MM est une représentation interne de la réalité externe de l'utilisation d'un système. Et c'est par le moyen du MM que les humains disposent des informations sur le fonctionnement des systèmes physiques (Gentner & Stevens, 1983).

Mais les deux considérations, c'est-à-dire celle du MM comme anticipation et celle du MM comme représentation, se recouvrent souvent. En effet, l'anticipation peut également inclure une représentation. Si l'anticipation concerne les actions ou événements futurs, la représentation se rapporte aussi bien aux faits ou événements futurs qu'à ceux qui sont déjà passés. D'autre part, l'anticipation est liée à l'action (donc, une propriété dynamique) tandis que la représentation est statique.

Après avoir défini ce qu'est un MM, nous allons nous intéresser à présent à son cycle de vie.

3.2. Cycle de vie d'un MM

Le MM a un cycle de vie qui peut être représenté comme suit :

Construction → Maintien ou renouvellement/reconstruction → Mise à jour/mort du MM

Figure 17 - Le cycle de vie d'un modèle mental

Pour illustrer ce cycle, nous prenons l'exemple de l'utilisation d'un système. Avant l'utilisation d'un nouveau système, l'utilisateur n'a pas encore le MM correspondant à celui-ci. Son MM se construit une fois qu'il est en contact avec celui-ci en l'utilisant ou en observant les réponses du système à ses sollicitations. Ensuite, si le système subit un

changement, le MM de l'utilisateur se reconstruit. Il dispose alors d'un nouveau MM mis à jour concernant le système qu'il a manipulé. Dans le domaine de l'apprentissage, les modèles mentaux constituent à la fois le(s) résultat(s) et le(s) moyen(s) d'apprentissage. Le MM est le résultat de l'apprentissage dans la mesure où il résulte de la connaissance construite à partir de l'information par l'intermédiaire de l'apprentissage. Le MM est un moyen d'apprentissage puisqu'il facilite celui-ci en constituant un moyen pour faciliter la construction de nouvelles représentations ou le changement et le remplacement de celles existantes. Un MM construit permet de réduire le temps d'apprentissage.

Information → APPRENTISSAGE → Connaissance → MM

Figure 18 - Lien entre modèle mental et apprentissage

3.3. Fonctions et utilisation des MM

Selon Winn (1997), le MM a différentes fonctions. Tout d'abord, le MM permet d'établir une relation itérative et réciproque entre anciens et nouveaux savoirs. En effet :

- un MM aide à acquérir des connaissances et peut être changé durant ce processus. On parle alors du phénomène d'accommodation ;
- un nouveau MM peut aussi être créé par analogie avec des modèles préexistants.

Le MM sert également de pré-requis pour une communication effective sur un sujet, sur un comportement, un outil. Enfin, le MM constitue une aide à la RI et à la compréhension d'un document. C'est le cas pour les MM qui sont complexes ou abstraits pour représenter des domaines entiers de connaissances, par exemple dans le cas des concepts liés à la littérature (*auteur, œuvre, thème, etc.*).

De plus, comme nous l'avons mentionné précédemment, un MM construit permet de réduire le temps d'apprentissage, et d'augmenter les performances des utilisateurs d'un système. Mais le MM présente également des limites que nous traitons dans le paragraphe suivant.

3.4. Les limites du MM

Le MM correspond souvent à une représentation fragmentaire et incomplète du fonctionnement d'un système. Dans ce cas, il ne constitue pas une aide efficace pour l'utilisateur du système. De ce fait, Platteaux (2001) dit que la facilité avec laquelle un utilisateur parvient à exploiter les fonctions d'un système dépend des différents MM qu'il

peut utiliser, parce qu'il les a construits antérieurement, pour décrire les éléments et les interactions d'un système ou d'un problème. S'il a des MM complets et précis, il aura moins de difficulté à utiliser le système et vice-versa.

Ainsi, le MM peut être une aide pour un individu pour se représenter ou anticiper une action ou un événement à condition qu'il soit complet, précis et adapté.

3.5. MM de la documentation procédurale

Pour le cas de la documentation procédurale ou technique, le MM correspond à la représentation que l'utilisateur se fait des données et du système qu'il est en train d'utiliser (Barnard, Mazoyer, Reiss, & Tapie, 2006). Cette représentation concerne, par exemple :

- le contenu global de l'information dans le manuel ;
- les différents niveaux d'informations qu'il peut y trouver ;
- le mode d'accès à l'information et les différents moyens de recherche et d'extraction d'informations disponibles ;
- la disponibilité de l'aide ;
- l'information qui n'est pas disponible et qui doit être cherchée ailleurs.

La documentation procédurale électronique utilisée actuellement, notamment dans le domaine aéronautique, est la plupart du temps sous forme d'un hyperdocument pour lequel le MM correspond à la représentation des objets du document et les relations sémantiques entre ceux-ci (Thüring, Hannemann, & Haake, 1995). Lors d'un changement de format, le MM doit être reconstruit par une formation ou en donnant à l'utilisateur une introduction qui lui permet d'avoir une vue d'ensemble explicite du contenu du manuel et de son fonctionnement.

Pour notre étude sur la recherche et la consultation d'information (RCI) dans la documentation de maintenance, la notion de MM joue un rôle fondamental. C'est un élément important qui doit être pris en compte tout autant que le contexte de l'activité de maintenance. En effet, la connaissance de la représentation qu'a l'utilisateur de l'outil étudié permettrait d'adapter les recommandations pour fournir un outil mieux adapté aussi bien au contexte de l'activité qu'à l'utilisateur de l'outil pour une utilisation efficace.

Nous avons dit plus haut que l'opérateur effectue une activité de RI lors de l'utilisation de la documentation de maintenance. C'est le sujet que nous allons traiter dans la suite de ce document.

4. L'activité de RI

Nous donnons tout d'abord la définition de la RI avant de parler de la lecture et de la compréhension qui sont deux activités associées à la RI lors de l'utilisation de la documentation technique.

4.1. Définition de la RI

Dans le domaine de la maintenance aéronautique, quand l'opérateur utilise la documentation, il effectue une activité de RI. L'Association Française de Normalisation (AFNOR) définit la RI comme étant une action, des méthodes et procédures ayant pour objet d'extraire d'un ensemble de documents les informations voulues. Dans un sens plus large, toute opération (ou ensemble d'opérations) ayant pour objet la recherche, la collecte et l'exploitation d'informations en réponse à une question sur un sujet précis¹⁰. Une RI est, selon Mizzaro (1998), une consultation de la documentation qui se manifeste par une interaction entre l'utilisateur qui a besoin d'information et un document qui fournit les informations pouvant répondre plus ou moins à ce besoin. Feiyu Xu (2002) définit la RI comme étant le processus qui vise à trouver l'information qui satisfait le besoin d'information de l'utilisateur, et qui est habituellement exprimé sous forme de requête.

Le chapitre suivant consiste à approfondir le domaine de la RI par l'analyse de différents modèles relatifs à cette activité pour ensuite présenter une modélisation de l'activité de RI de l'utilisateur de la documentation technique de maintenance.

4.2. Les différents modèles de RI

Plusieurs modèles spécifiques à la RI existent dans la littérature tels que le modèle de Guthrie (1988), le modèle EST de Tricot et Rouet (1998), le TIMS de Dillon (1994), le modèle du cycle d'action de Norman (1988). Chaparro et al. (2004) ont également utilisé un modèle pour décrire le comportement de l'opérateur lors de l'utilisation du manuel de maintenance afin d'exécuter une tâche. Nous détaillons chacun de ces modèles dans les paragraphes suivants avant de présenter le modèle de RI de l'utilisateur.

¹⁰ Information extrait du site <http://www.uhb.fr/urfist/Supports/RechInfoInit/>
URFIST Bretagne-Pays de Loire, Alexandre Serres, 2002

4.2.1. Le modèle de Guthrie

Guthrie (1988) considère l'activité de RI comme un cycle d'opérations élémentaires qui commence par la formation d'un but cognitif suivi de la sélection d'une catégorie d'informations et l'extraction d'information puis l'intégration à l'information préalablement extraite. Ce cycle recommence jusqu'à ce que le but soit atteint. Ce modèle se compose de différentes phases :

- la phase de traitement de la question : c'est la construction d'une représentation cognitive du but avant toute recherche ;
- la phase de la sélection d'un thème qui est influencée par la formulation de la question ;
- la phase d'extraction de l'information : c'est la construction de la représentation sémantique d'un passage de texte ;
- la phase d'intégration : correspond à la mise en relation de plusieurs passages (pour les questions complexes dont la résolution nécessite plus d'une sélection) et se fait par la lecture. Cette phase est suivie par la décision de prolonger ou de cesser la recherche.

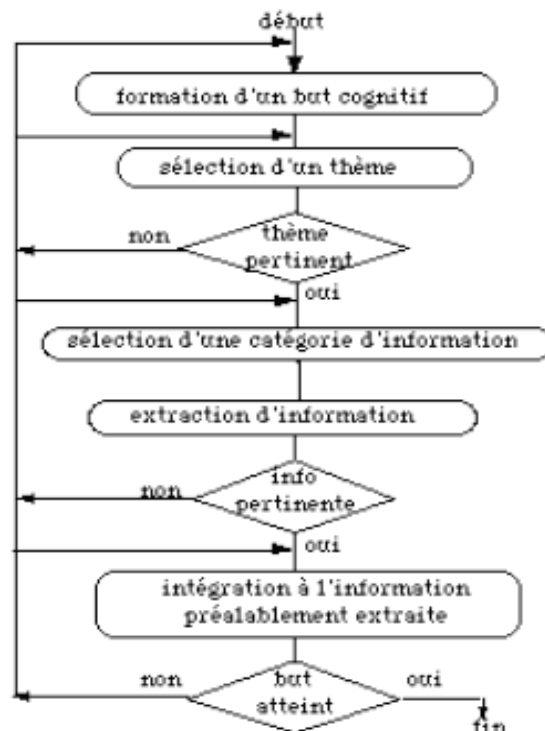


Figure 19 - Modèle de Guthrie (1988)

Ce modèle présente l'avantage de prendre en compte la sélection, la compréhension et la gestion du but. Mais il ne prend pas en considération la tâche principale dans la mesure où il

n’y a pas de distinction entre la représentation de la tâche principale, qui est la raison de l’activité de RI (apprendre, exécuter une tâche technique, etc.), et la représentation de la tâche secondaire qui est la RI elle-même.

4.2.2. Le cycle EST de Rouet et Tricot (1998)

Le cycle *Evaluation-Sélection-Traitement* (EST) considère que la consultation d’un document hypertexte ou hypermédia est cyclique et constituée de trois phases principales : la sélection de l’information, le traitement de l’information traitée et l’évaluation de la pertinence de cette information traitée en fonction du but visé par le sujet. Le modèle met en relation le cycle EST et les activités de planification, de contrôle métacognitif (évaluation des documents sélectionnés par rapport au but de recherche) et la régulation (le système est un mémoire externe pour l’utilisateur qui l’utilise pour garder sa représentation du but). De plus, le modèle du cycle EST articule la compréhension du contenu du document et le processus de RI comme résolution de problème. Contrairement au modèle de Guthrie (1988), le cycle EST de Rouet et Tricot (1998) prend en compte la représentation que se fait l’usager de la tâche et inclut une représentation du but. Il permet de comparer la représentation du but à la représentation du contenu traité et prend en compte les deux composants du but dans une activité de RI : le versant général (apprendre, concevoir, exécuter une tâche, etc.) qui correspondrait à la tâche principale, et le versant opérationnel (trouver telle information dans le système). La figure suivante présente le cycle EST.

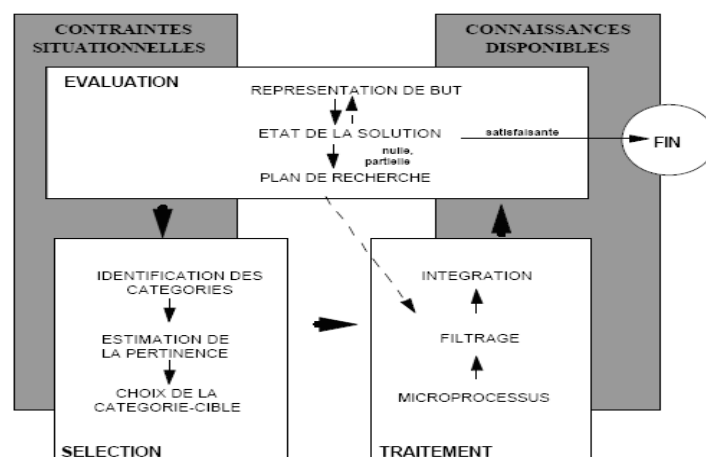


Figure 20 - Le cycle EST (Rouet & Tricot, 1998)

4.2.3. Le cadre TIMS de Dillon (1994)

Pour le cadre TIMS de Dillon (1994), une activité de RI est formée de quatre composantes appelés aussi « niveaux de traitement » qui sont :

- la gestion de la tâche ou *Task processor* : le lecteur doit décider quelle information extraire du système information pour satisfaire son but (apprendre, exécuter une tâche, etc.) ;
- le modèle d'information ou *Information model* : c'est la représentation que possède l'utilisateur de la structure du document au sens formel et au sens rhétorique ;
- les habiletés à manipuler le système d'information (objets et fonctions) ou *Manipulation skills and facilities* ;
- l'activité de lecture du texte ou *Standard reading processor*.

Les premières lettres de ces composantes forment l'acronyme TIMS (*T*ask processor, *I*nformation model, *M*anipulation skills and facilities, *S*tandard Reading processor).

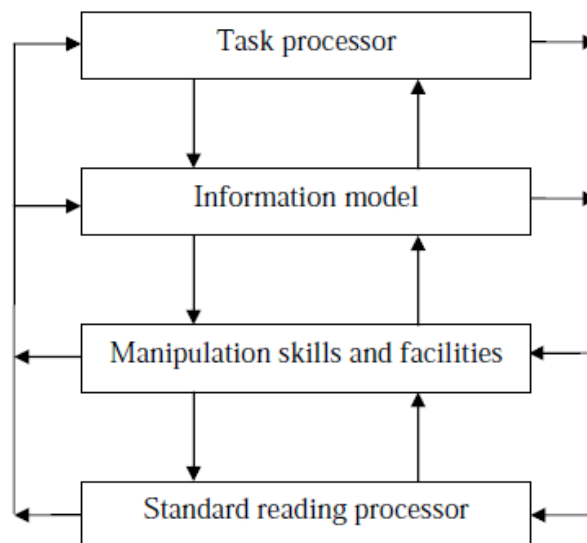


Figure 21 - Le cadre TIMS (Dillon, 1994)

Ce modèle prend ainsi en compte le lecteur sur différents niveaux et met l'accent sur l'interaction entre l'utilisateur et le SI. Toutefois, il ne décrit pas le processus de RI proprement dit.

4.2.4. Le modèle *The action cycle de Norman (1988)*

Selon le modèle de Norman, quand un individu veut réaliser une action intentionnelle, il met en jeu un cycle à différentes phases : pour atteindre un but, il élabore une commande, l'exécute, perçoit son effet et l'évalue.

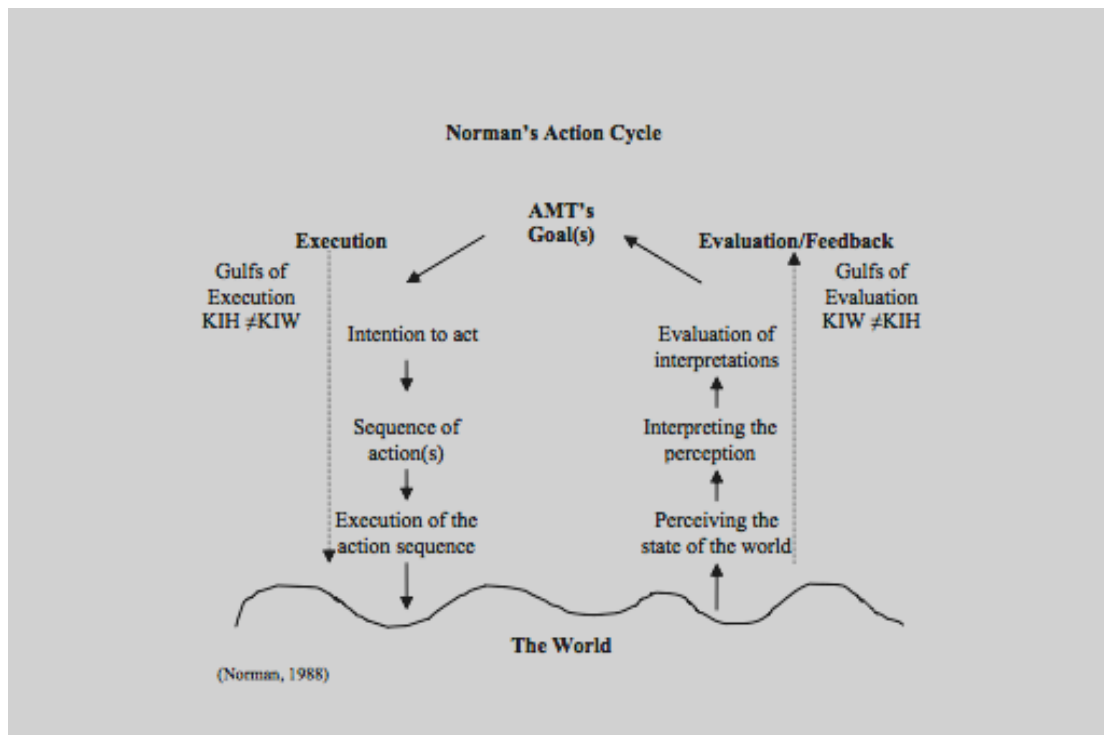


Figure 22 - The action cycle (Norman, 1988)

Ce modèle illustre bien le comportement de l'opérateur dans le domaine de la maintenance aéronautique qui ne suit pas littéralement les procédures du manuel mais interprète l'information qui se trouve dans celui-ci. Et quand cette information n'est pas claire, il se sert de sa propre connaissance ou celle de ses collègues. Appliqué au domaine de la maintenance aéronautique, le modèle est présenté comme dans la figure suivante par Barnard et al. (2006).

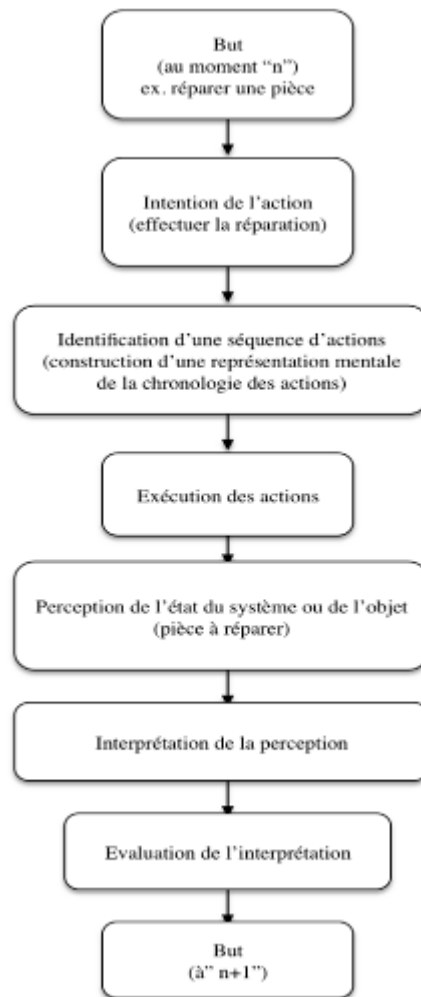


Figure 23 - Modèle du comportement de l'utilisateur lors la RI en maintenance aéronautique

(Barnard et al., 2006)

L'étape « exécution des actions » consiste par exemple à suivre étape par étape la procédure. Celle de la « perception de l'état de la pièce réparée » a pour objet de comparer l'état actuel de la pièce réparée avec la description mentionnée dans les données de la documentation. L'interprétation de la perception vise à vérifier que l'état de l'objet est correct et, si ce n'est pas le cas, à rechercher d'autres informations.

4.2.5. Le modèle cognitif de Tricot (2003)

Le modèle cognitif de Tricot (2003) intègre une description de ce qui se passe sur le plan cognitif quand un utilisateur traite des documents. Ainsi, il distingue trois niveaux de traitement cognitif lors de l'utilisation et la compréhension des documents multimédias : le niveau sensoriel (la sélection et la perception de l'information), le niveau sémantique (l'organisation de l'information, c'est-à-dire la compréhension de ce que présente le

document et l'intégration dans ce que l'opérateur connaît déjà), le niveau technique (l'action qui résulte de la lecture de la documentation multimédia).

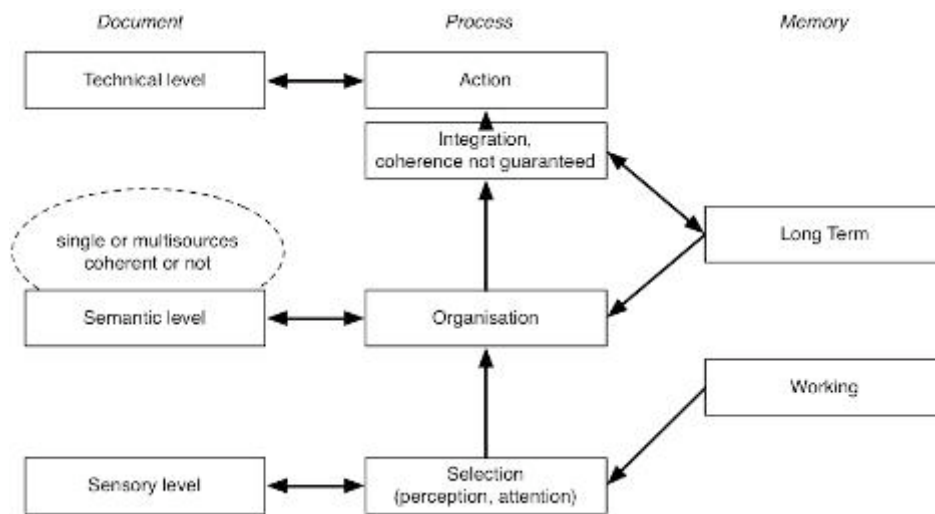


Figure 24 - Le modèle cognitif (Tricot 2003)

Ces différents modèles (Guthrie, 1988 ; EST de Tricot & Rouet, 1998 ; TIMS de Dillon, 1994 ; The action cycle de Norman, 1988) forment les bases de la modélisation du processus de RI dans la DMA établie par Zafiharimalala et Barnard (2007) selon qui le modèle du processus de l'activité de RI dans le domaine de la maintenance aéronautique :

- correspond à un modèle cyclique comme celui proposé par Guthrie (1988), car quand l'opérateur ne réussit pas à trouver l'information voulue à la première tentative, il recommence les différentes opérations de recherche
- doit prendre en compte, comme ce qui est décrit dans le cycle EST de Rouet et Tricot (1998), la représentation que se fait l'opérateur des deux tâches impliquées dans une activité de RI : la tâche principale (dans le cas de notre étude, c'est la maintenance aéronautique) et la tâche secondaire qui est la RI
- doit prendre en compte, en référence au cadre TIMS de Dillon (1994), des connaissances que possède l'utilisateur de la documentation.

Cette modélisation est présentée dans la section suivante.

4.2.6. Modèle du processus de RI dans la documentation de maintenance

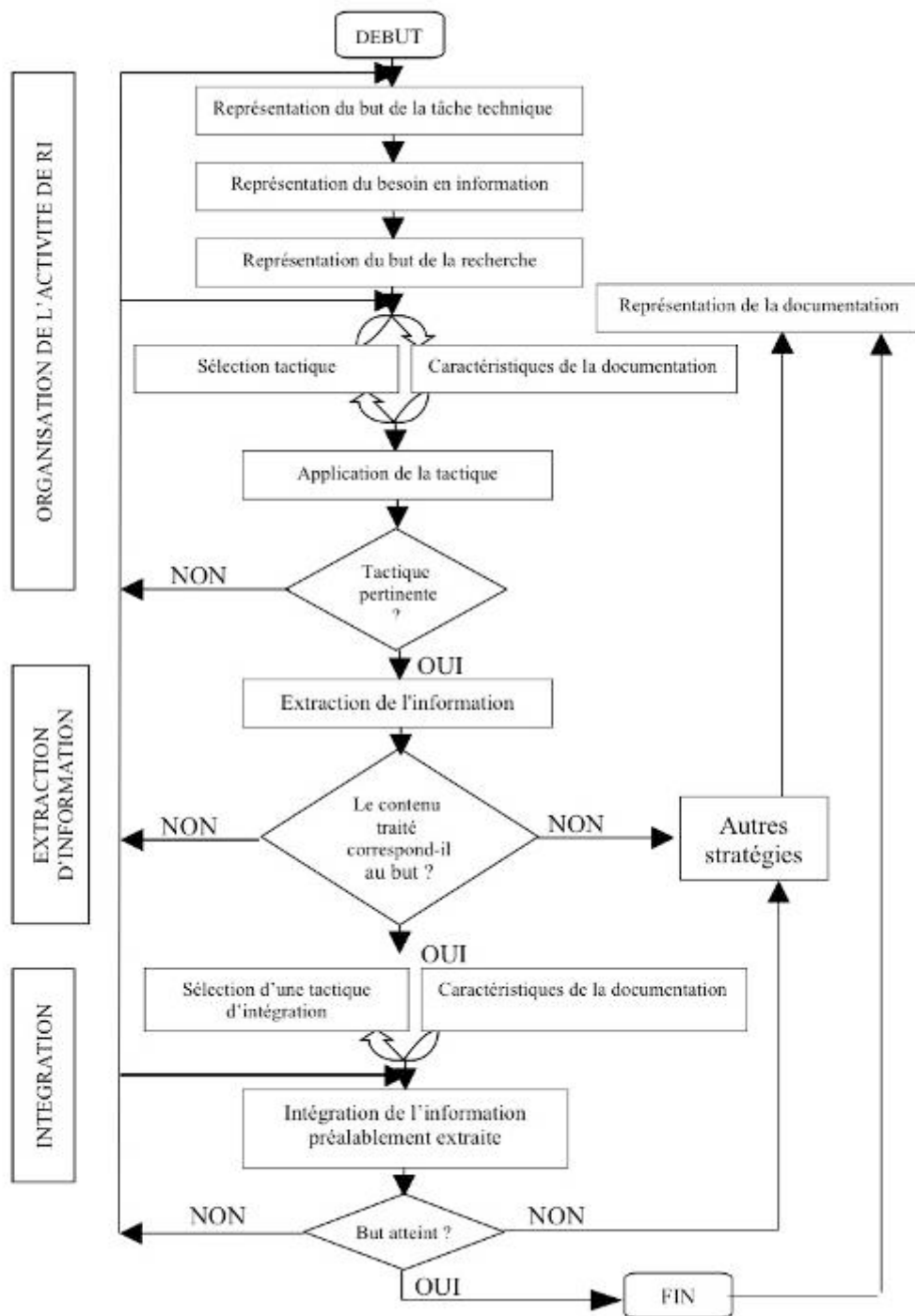


Figure 25 - Modèle du processus de RI dans la documentation de maintenance

(Zafiharimalala & Barnard, 2007)

Comme le montre le schéma, ce modèle comporte différentes phases :

- La phase « **La représentation du but de la tâche technique** » : c'est la représentation de l'objet de la tâche de maintenance que l'opérateur doit exécuter, en réponse à la question « quelle tâche de maintenance dois-je faire ? » et qui est conçue en fonction de ses connaissances et de son expertise (tâche connue ou nouvelle)
- La phase « **La représentation du besoin en information** » : le besoin en information peut découler de deux raisons différentes selon Tricot et Rouet (2004) :
 - soit l'opérateur n'a pas la connaissance nécessaire pour exécuter la tâche et qu'il veut chercher une information qui lui permettra de réaliser la tâche ;
 - soit il veut exécuter la tâche de façon optimale et a besoin de ce fait d'une information qui lui permettra d'optimiser son activité.

Le besoin d'information est défini par Tricot et Rouet (2004) comme étant le besoin de réduction d'incertitude. L'incertitude est elle-même définie non pas comme un manque de connaissances mais comme la prise de conscience d'un manque de connaissances. Mais, selon toujours Tricot et Rouet (2004), avoir de l'incertitude implique également avoir des connaissances car pour prendre conscience qu'on manque de connaissances, il faut des connaissances, notamment des métaconnaissances¹¹. Ceci est confirmé par les résultats des études de Barnard et al. (2006) qui montrent que certains utilisateurs pensent que naviguer dans la documentation est intéressant quand on connaît déjà la procédure qui y est décrite. La navigation dans la documentation est donc profitable pour ceux qui ont déjà une certaine connaissance du contenu et éventuellement de la structure et de la présentation. Dans l'exemple du domaine de l'orientation scolaire et professionnelle, les individus qui ont très peu de connaissances recherchent moins d'informations que ceux qui ont déjà des connaissances (Tricot, 2006). Pour Millar et Shevlin (2003) cités par Tricot et Rouet (2004), « la décision de rechercher une information est influencée par le fait d'avoir préalablement recherché de l'information ». Autrement dit, un individu décide d'effectuer une RI après s'être rendu tout d'abord compte qu'il ne dispose pas de l'information dont il a besoin dans ses propres ressources, par exemple sa mémoire.

¹¹ Une métaconnaissance est une connaissance qui porte sur des connaissances au lieu de porter sur les éléments d'un domaine particulier comme les mathématiques, la médecine ou la géologie » (Pitrat, 2003). Littéralement, cela désigne la connaissance que le sujet a de ses propres connaissances ainsi que le contrôle qu'il exerce sur son propre système cognitif (<http://www.emergence-talents.fr/metaconnaissance.htm>). Exemples de métaconnaissances : connaissances sur le thème, compétences documentaires, savoir-faire (Tricot, 2003).

Une fois que les individus ont réalisé le besoin d'information, il se peut qu'ils ne sachent pas où trouver l'information (Harris & Dewdney, 1994). Ce phénomène peut faire perdre du temps. D'où la nécessité de la connaissance de la localisation de l'information pour éviter la perte de temps occasionnée par la consultation de passages qui ne sont pas pertinents (Barnard et al., 2006).

- la phase « **La représentation du but de la RI** » : lorsque l'utilisateur a pris conscience qu'il a besoin d'information, il se représente le but de sa RI. Cette phase correspond à la conceptualisation et la mise en forme du besoin d'information. L'utilisateur définit les mots clés qui correspondent au mieux à son besoin d'information ; il détermine également si les mots clés choisis sont trop généraux ou trop précis. La représentation du but de recherche se divise en deux composantes :

- la composante conceptuelle qui correspond à la question « qu'est-ce que je vais chercher ? » ;
- la composante procédurale qui correspond à la question « comment vais-je chercher ? ».

Ces deux composantes sont influencées par les connaissances antérieures de l'utilisateur qui sont de deux types : les connaissances relatives au contenu qui influencent la formation de la composante conceptuelle, et les connaissances relatives au mode opératoire, c'est-à-dire l'utilisation du système d'informations, qui influencent la formation de la composante procédurale.

- la phase « **Sélection de la tactique** » : à cette phase, l'utilisateur procède à son activité de RI en commençant par la planification de celle-ci. Il met en œuvre la composante procédurale de sa représentation du but. Il transforme alors la représentation de RI en requête et choisit un mode de recherche parmi les possibilités offertes par la documentation : formulation explicite, choix d'une entrée parmi les mots clés proposés par le système, repérage des indicateurs paralinguistiques ou des signaux (mots en gras ou en couleur, etc.)

- la phase « **Application de la tactique** » : c'est la phase qui correspond à la recherche proprement dite dans la documentation pour accéder à l'information voulue par l'utilisateur.

- La phase « **Tactique pertinente** » : c'est la phase pendant laquelle l'utilisateur vérifie si la tactique appliquée lui a permis d'avoir des catégories d'informations pertinentes. Si ce n'est pas le cas, il doit reformuler la requête pour préciser, compléter ou généraliser celle-ci. Si le

résultat ne contient aucune information pertinente, il est amené à réviser la requête, le choix de la fonctionnalité utilisée et/ou la représentation du but. Dans cette phase, l'utilisateur compare le résultat de la requête à la représentation du but informationnel. La connaissance de la structure du document joue un rôle important dans cette phase puisque cela aide l'utilisateur à chercher la catégorie appropriée (Guthrie, 1988).

- La phase « *Extraction d'informations (EI)* » : à cette phase, l'utilisateur traite en profondeur les documents pertinents qu'il a retenus. Cela consiste en la compréhension du contenu et évaluation des informations dans la catégorie qu'il a retenue pour savoir s'ils correspondent au but : l'utilisateur détermine en quoi ces informations sont pertinentes, c'est-à-dire en quoi elles permettent de réaliser la tâche, en quoi elles satisfont le besoin d'information.

- La phase « *Le contenu traité correspond-il aux buts ?* » : Il s'agit pour l'utilisateur d'évaluer si l'information récupérée correspond au but informationnel, si elle satisfait le besoin en information.

- La phase « *Intégration de l'information extraite* » : il s'agit de la mise en relation de l'information extraite avec des connaissances antérieures de l'opérateur.

- La phase « *Autres stratégies* » : l'opérateur choisit un autre moyen que la documentation pour trouver l'information (par exemple en cas de contrainte temporelle ou rejet/non familiarisation avec le système) :

- demander à quelqu'un ;
- essayer de se remémorer l'information ;
- déduire l'information à partir d'autres informations ;
- chercher dans une autre source ou un autre support d'information (notes personnelles, par exemple).

En effet, la documentation n'est pas la seule source d'informations dont l'utilisateur dispose. Dans le cas de la maintenance aéronautique, les collègues (généralement les plus expérimentés) constituent également des sources d'informations qui se substituent à la DMA ou la complètent. D'autres ressources sont également disponibles, comme les propres connaissances de l'utilisateur, la familiarité avec le dispositif sur lequel il agit, le dispositif lui-même avec le degré des affordances de celui-ci. Les affordances d'un objet sont, d'après Gibson (1979), les informations optiques qui véhiculent des propriétés fonctionnelles de celui-ci. Ces informations vont déterminer les gestes et les mouvements de la personne qui va

utiliser l'objet. L'affordance appliquée dans le domaine de la technologie est définie par Norman (1999) comme étant un concept selon lequel l'apparence d'un objet, par exemple l'interrupteur, fournit les principaux indices pour son utilisation.

La prise en compte de ces différentes autres ressources, même si cela s'avère une tâche complexe, est importante lors de la conception d'un système d'information.

- La phase « **But atteint ?** » : il s'agit de l'évaluation du résultat de la RI en vue de décider de son arrêt ou de sa poursuite

Pour illustrer les différentes phases du processus, nous avons pris un exemple de tâche de maintenance ou tâche technique (*réparer une pièce sur l'avion*) et donnons dans le tableau suivant des exemples correspondant à chacune des phases.

Tableau 6 - Les différentes étapes du modèle de RI illustrées

PHASES DU PROCESSUS	EXEMPLES
La représentation du but de la tâche technique	Représentation de la tâche de réparation de la pièce sur l'avion
La représentation du besoin en information	Représentation du besoin en information sur l'accès à la pièce à réparer sur l'avion
Sélection de la tactique	Sélection de la tactique par code FIN à partir du menu déroulant
Application de la tactique	Application de la tactique par code FIN en cherchant celui-ci sur le menu
Tactique pertinente	L'opérateur réussit à accéder à la partie de la documentation qui donne l'information sur l'accès à la pièce.
Extraction de l'information	L'opérateur lit l'information donnée sur la voie d'accès à la pièce à changer sur l'avion
Le contenu traité correspond-t-il au but ?	L'opérateur évalue si ce qui est décrit dans ce qu'il a lu lui permettra vraiment d'accéder à la pièce
Autres stratégies	L'opérateur va demander à un collègue qu'il considère plus expérimenté l'information sur l'accès à la pièce
Intégration de l'information préalablement extraite	L'opérateur mémorise l'information pour accéder à la pièce
But atteint ?	L'opérateur évalue s'il dispose de toutes les informations pour exécuter la tâche de réparation de la pièce

- La phase « **Représentation de la documentation** » : selon Tricot et Rouet (2004), un autre type de connaissances influence la représentation du but. Ce sont les connaissances métadocumentaires (par exemple, les connaissances des différentes fonctionnalités

disponibles : disponibilité d'un moteur de recherche, possibilité de choisir une entrée parmi les titres, etc.)

- La phase « *Sélection d'une tactique d'intégration en fonction des caractéristiques de la documentation* » : si l'opérateur est satisfait du résultat de la recherche, c'est-à-dire s'il juge que l'information trouvée est suffisante pour la réalisation de la tâche, il choisit une tactique pour la récupérer parmi les possibilités que le système lui offre (mémorisation, notes dans les carnets, impression).

L'utilisation de la documentation technique vise à la RI. Cette action implique également une activité de lecture et la compréhension du texte lu. Nous décrivons dans la suite les activités de lecture et de compréhension d'un document procédural comme la DMA.

4.3. Lecture d'un document procédural

La lecture d'un document procédural a pour but la construction d'une représentation cognitive des activités à entreprendre pour réaliser les connaissances délivrées par le document (Mills, Diehl, Birkmire & Mou, 1993). Cela correspond à un processus de transformation des informations issues du document en actions. Ces informations peuvent être de nature linguistique (texte) et/ou graphique (Heurley, 1994). Deux facteurs influencent ce processus : les caractéristiques du document et du dispositif, et les connaissances de l'utilisateur (Ganier, Gombert & Fayol, 2001).

Selon Sticht (1985) cité par Ganier et Heurley (2005), la lecture d'un document procédural vise à deux objectifs différents. Ce sont : « lire pour apprendre », c'est-à-dire pour comprendre et se souvenir, se rappeler du contenu, et « lire pour faire », c'est-à-dire lire pour réaliser une tâche en utilisant immédiatement l'information. Pour le cas de la DMA, l'objectif est de *lire pour faire* car il s'agit d'une lecture au service de l'action. La DMA vise à donner des procédures et à guider la réalisation d'actions.

La lecture d'un document procédural peut se faire selon deux modes (Ganier & Heurley, 2005) : le mode linéaire et le mode opportuniste. L'utilisateur adopte un mode opportuniste quand il rencontre un problème, a des doutes, veut approfondir ses connaissances sur le système. La lecture linéaire a lieu avant l'utilisation de l'équipement et est utilisée par les débutants ou les utilisateurs « précautionneux » tandis que la lecture opportuniste est plutôt le mode adopté par les utilisateurs plus expérimentés et peut avoir lieu aussi bien avant, pendant ou au cours de l'action.

Le mode de lecture, appelé aussi l'objectif de lecture (Ganier & Heurley, 2005), détermine le type de mémoire sollicitée lors de la lecture du document. Ainsi, pour « lire pour apprendre », c'est la mémoire à long terme (MLT) qui est sollicitée. L'utilisateur intègre et stocke les informations lues en MLT pour y accéder ultérieurement. Pour le mode de lecture « lire pour faire », c'est la mémoire de travail qui est sollicitée. L'utilisateur utilise immédiatement (après interprétation) les informations lues et n'a pas besoin de les stocker en MLT (Kern, 1985).

Schrivier (1997), cité par Ganier et Heurley (2005), a relevé quatre types d'utilisation des documents procéduraux par les individus qui doivent résoudre des problèmes informatiques en situation de travail. Le premier type d'utilisation des documents procéduraux est l'apprentissage par l'action : les utilisateurs interviennent pour la première fois sur le produit à maintenir mais ne lisent pas le document du fait qu'ils connaissent des produits analogues ou pensent qu'ils peuvent en deviner le fonctionnement. L'apprentissage par l'action intervient lors de la réalisation de tâches orientées par un/des objectifs et reposant sur une représentation de la situation. Il a lieu lorsque l'on ne dispose pas a priori de la réponse appropriée et qu'on doit donc trouver une solution par rapport à l'objectif fixé. Ce type d'apprentissage est caractérisé par la répétition : les tentatives successives de résolution d'un même problème ou lors de la résolution d'une suite de problèmes relevant du même domaine permettent l'apprentissage. L'individu est censé trouver une solution à un problème dont il n'a pas la solution immédiate, mais dont il peut trouver la solution en raisonnant, par essais et erreur, etc. Par opposition, l'apprentissage par instruction permet à un individu de comprendre ce qui est expliqué ou décrit dans un discours oral ou écrit, ce discours pouvant être illustré ou non (cours magistral, lecture, explication). Les apprentissages par instruction sont fondés sur une activité de compréhension. Les connaissances sont déterminées a priori et transmises aux novices par un tuteur ou un expert qui planifie la succession des informations, les activités et les contrôles. Cette activité a pour but l'élaboration d'un modèle de situation ou représentation mentale (Tricot, Pierre-Demarcy & Boussarghini, 1998), et donc un modèle mental.

Un individu peut également lire le document procédural pendant la manipulation de l'équipement. C'est le deuxième type d'utilisation de ce genre de document défini par Schrivier (1997). De plus, selon l'auteur, l'individu peut lire le document avant l'utilisation de l'équipement (mode de lecture linéaire selon Schrivier, 1997 ; Szlichcinski, 1979a ; Wright,

1999a) ou effectuer une consultation ponctuelle et non linéaire (ou lecture opportuniste) quand des questions spécifiques apparaissent au cours de la manipulation de l'équipement.

Schriver (1997) définit ainsi les types d'utilisation en fonction à la fois du moment de lecture (avant, pendant), du type de lecture (opportuniste ou linéaire) et des objectifs visés par l'utilisateur (apprentissage par l'action). Pour le domaine de la maintenance aéronautique, Barnard, Moal, et Tapie (2007) ont relevé quatre types d'utilisation de la documentation technique suivant les objectifs visés par l'utilisateur. Ce sont :

- suivre scrupuleusement les étapes prescrites (pour exécuter une tâche de maintenance donnée, l'opérateur de maintenance se réfère à la documentation et suit étape par étape la procédure décrite dans la documentation qui correspond à la tâche prescrite) ;
- trouver de l'information spécifique sur un sujet précis (l'utilisateur cherche uniquement une information précise qui lui manque pour pouvoir exécuter la tâche) ;
- vérifier si rien d'important n'a été oublié (l'opérateur connaît la procédure mais veut s'assurer qu'il a bien suivi la procédure décrite dans la documentation pour savoir si la tâche effectuée correspond bien à la tâche prescrite) ;
- acquérir des connaissances sur une tâche ou un système (l'opérateur utilise la documentation pour mieux connaître la procédure liée à une tâche ou le système sur lequel il travaille).

4.4. La compréhension d'un document procédural

La compréhension d'un document procédural nécessite deux processus (Ganier & al., 2001). Le premier consiste au processus d'élaboration d'une représentation (modèle mental) de la situation, du dispositif, et de la base de connaissance de l'utilisateur (connaissance du dispositif, stratégies de lecture de documents techniques). Trois composantes participent à l'élaboration du modèle de la situation (Denhière & Baudet, 1992) : les informations symboliques constituant le texte (énoncés, dessins, schémas, expressions symboliques), la tâche à réaliser (les objectifs poursuivis), les connaissances dont dispose le sujet.

Le deuxième processus qui aboutit à la compréhension d'un document procédural (Ganier & al., 2001) est celui de l'élaboration d'une représentation de la procédure décrite par le texte, appelé également le plan d'action. Le plan d'action correspond au passage de la représentation construite par le processus de compréhension à la réalisation de l'action, et donc à la traduction de la représentation déclarative de la procédure en une représentation

procédurale, ou transformation/conversion d'une représentation déclarative externe, non directement exécutable de la procédure, le texte, en connaissances procédurales stockées en mémoire à long terme directement exécutables et autonomes (Heurley, 2001). En psychologie, les connaissances déclaratives sont celles qui sont facilement verbalisables et conscientes, par opposition aux connaissances procédurales qui, elles, sont des connaissances généralement non conscientes et difficiles à verbaliser et qui se produisent sous forme d'actions (Parkin, 1994).

La compréhension d'instructions écrites implique différentes représentations que l'on retrouve dans les modèles sur la lecture des textes (exemple, Van Dijk & Kintsch, 1983). Ces différentes représentations sont classées par Dixon, Harrison et Taylor (1993) en trois niveaux :

- les représentations du niveau des mots (*word-level representation*) ou de la structure de surface (forme linguistique du texte selon Schmid & Baccino, 2001). Elles sont construites puis stockées en mémoire de travail pendant quelques secondes au cours desquelles le lecteur conserve la forme exacte de la partie du texte lu. Elles préservent les caractéristiques formelles des énoncés, c'est-à-dire les caractéristiques lexicales et syntaxique (ordre des mots, voix passive ou active, etc.) ;

- les représentations sémantiques des énoncés (*semantic representation*). Il s'agit de la représentation des informations communiquées par le texte, c'est-à-dire la signification du texte mais pas sa forme exacte ;

- la représentation référentielle (*referential representation*) ou modèle des situations (Schmid & Baccino, 2001). Cela correspond à quoi se réfère le texte, c'est-à-dire à la procédure à exécuter. Dans le cas de textes procéduraux, ce troisième niveau correspond au deuxième processus qui est l'élaboration du plan d'action mentionné précédemment.

Ces trois niveaux sont illustrés dans la figure suivante par Heurley (2001) à travers les instructions concernant l'utilisation d'une clé de contact pour débloquer le système anti-vol d'une voiture.

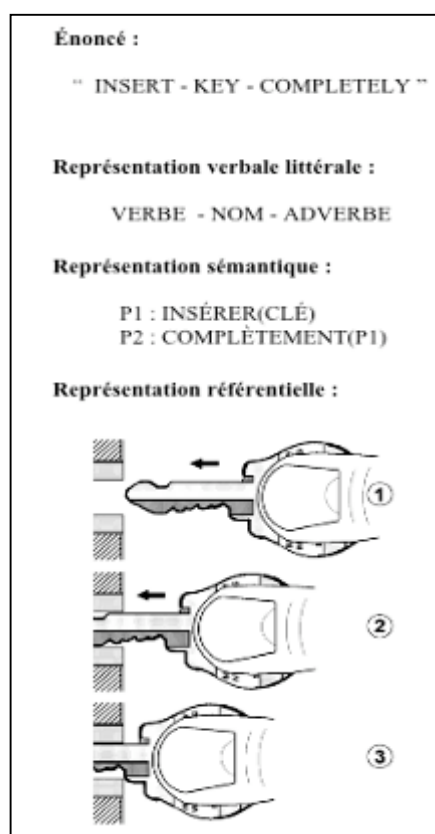


Figure 26 - Les niveaux de représentations dans la compréhension d'instructions procédurales
 (Heurley, 2001)

La compréhension des textes procéduraux est influencée par les caractéristiques de ces derniers qui, la plupart du temps, communiquent des informations peu précises et qui suscitent ainsi beaucoup d'implicite. Pour réaliser les actions relatives à certaines instructions, les informations contenues dans l'instruction ne suffisent pas, comme dans la figure 26 qui n'indique pas par exemple que la partie large de la clé doit être tenue entre le pouce et l'index. Pour rendre l'instruction exécutable, c'est à l'utilisateur d'ajouter des informations inférentielles. Ce processus est plus aisé si le domaine d'application lui est familier car il dispose déjà des connaissances préalables (Heurley, 2001). En revanche, un manque de connaissance du domaine entraîne des coûts en temps et en ressources attentionnelles liés à la production pas à pas de nombreuses inférences de la part de l'utilisateur pour la construction du plan d'action (Richard, 1994 cité par Heurley, 2001).

Dans cette partie, après avoir présenté la DMA qui est l'outil qui est utilisé pour la recherche et la consultation de l'information dans le domaine de la maintenance aéronautique, nous avons traité l'activité de RI en présentant les différents modèles qui mettent en exergue le

processus cognitif qui y est lié ainsi que les différentes phases qui constituent cette activité. Cela nous a permis d'introduire la RI dans le domaine particulier de la maintenance aéronautique. Cette activité (la RI en MA) évolue avec l'évolution technologique. Cela se traduit par l'utilisation progressive de la documentation électronique et, depuis peu, par l'introduction du petit écran pour, entre autres, la consultation de la DMA en raison de la mobilité de l'OM. C'est le sujet de la suite de notre document.

CHAPITRE 3. LECTURE ET TRAITEMENT DES PROCEDURES SUR PETITS ECRANS

1. Introduction

L'OM est un opérateur nomade et mobile. En effet, pour effectuer sa tâche, il peut être amené à se déplacer dans ou autour de l'avion et/ou à l'intérieur des hangars et les différents locaux où il doit se rendre par exemple pour chercher un outil ou une pièce. Son besoin en matière de support pour la consultation et la recherche d'informations tend alors vers l'utilisation des appareils mobiles qui leur permet à la fois de bénéficier de la mobilité et d'accéder aux informations n'importe où et à tout moment. Nous présentons dans les sections suivantes la notion de nomadisme et de mobilité. Mais auparavant, pour formuler des recommandations pour la conception d'un SI (objet de notre étude) qui prend en compte ses utilisateurs, il est important de savoir comment l'utilisateur navigue dans un système d'information (SI) d'une façon générale et les moyens qui y sont disponibles pour guider et aider les utilisateurs dans leurs actions de navigation. Nous présentons également les appareils mobiles ou à petits écrans à travers leurs caractéristiques, leurs limites ainsi que les effets de ces limites et l'utilisation de ce type d'appareil.

2. Navigation dans un SI

La conception d'un SI efficace implique la prise en compte des utilisateurs. Dans la maintenance aéronautique, comme dans tout autre domaine qui utilise un SI, prendre en compte les utilisateurs consiste à avoir des connaissances sur le contexte de travail et l'utilisation du SI par ces utilisateurs. Il est ainsi important de comprendre comment l'utilisateur navigue dans un SI afin d'éviter la conception d'une documentation inappropriée et non adaptée.

2.1. Navigation : définition et description

Dans un sens plus large, la navigation est définie comme étant le comportement ou le mouvement à partir d'un point vers un autre (Yoo & Yoon, 2006). Rouet et Tricot (1998) considèrent la navigation comme une activité cyclique constituée de différentes actions menées par l'utilisateur pour transformer un environnement d'un état initial vers un état final. L'utilisateur entreprend alors une activité de régulation en comparant l'état actuel avec le but.

D'après Yoo and Yoon (2006), la similarité entre la navigation dans un SI et la navigation dans un espace physique peut être établie dans la mesure où les utilisateurs peuvent rencontrer des problèmes d'utilisabilité avec un SI et des problèmes cognitifs avec l'espace physique.

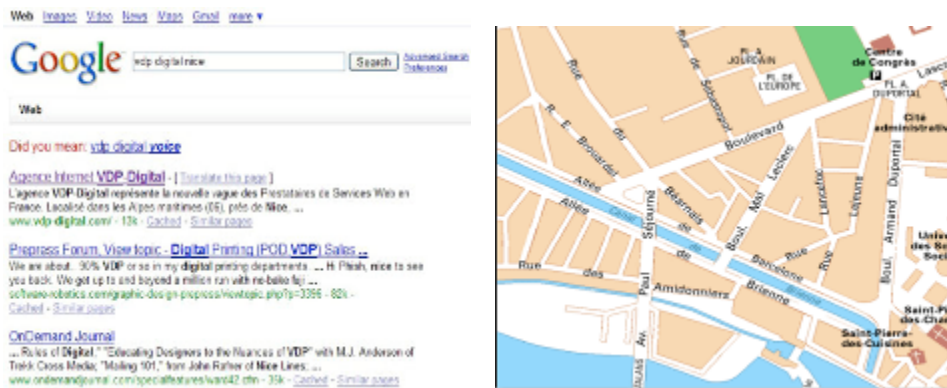


Figure 27 - Navigation dans un SI et navigation dans un espace physique

Cette similarité entre les deux types de navigations peut être analysée à travers différents éléments qui sont l'acquisition des connaissances, le but de navigation, les composants de la navigation et les moyens de navigation.

2.1.1. Acquisition des connaissances

L'utilisateur se sert de trois types de connaissances pour naviguer dans un espace physique :

- la connaissance de l'espace/endroit (une représentation visuelle des repères dominants dans une région, par exemple) ;
- la connaissance du chemin qui correspond à la connaissance procédurale sur comment se rendre d'un endroit vers un autre ;
- la connaissance topographique qui est constituée par la connaissance géographique accumulée au cours de plusieurs expériences.

Les trois types de connaissances sont liés en raison de l'impact de chacune sur les autres. Elles forment également une aide à l'utilisateur pour mieux comprendre l'espace.

Pour le SI, la connaissance des repères correspond au moyen utilisé par l'utilisateur pour localiser les éléments importants d'une page ; la connaissance du chemin permet à l'utilisateur de comprendre comment il est arrivé à la page courante ; la connaissance topographique donne la possibilité à l'utilisateur de reconnaître la disposition des différentes icônes et d'avoir des informations sur la page.

La similarité entre la navigation dans un SI et la navigation dans un espace physique est illustrée dans la figure suivante.

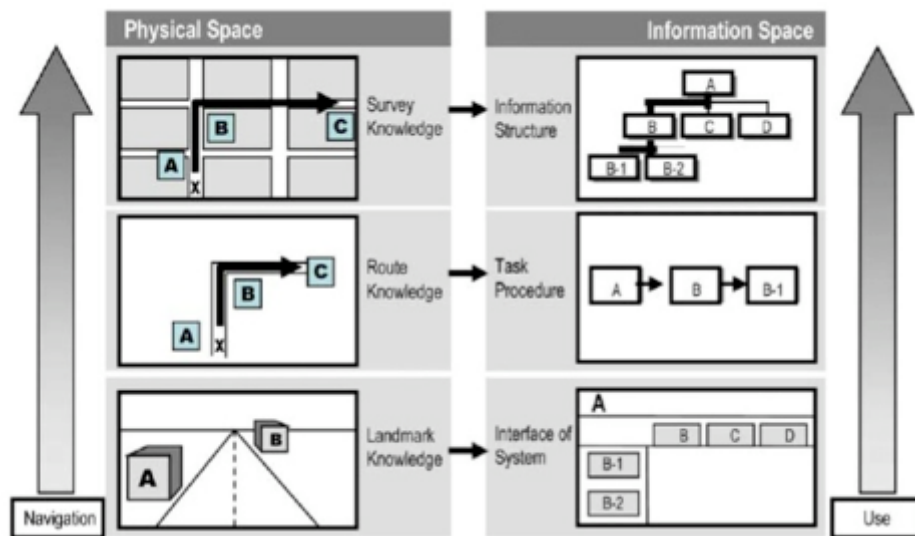


Figure 28 - L'acquisition de connaissance dans l'espace physique et dans un SI
(Yoo & Yoon, 2006)

2.1.2. But de navigation

La navigation dans un environnement électronique a différents buts : chercher des informations à un emplacement connu ou inconnu, parcourir pour avoir une nouvelle information ou juste pour explorer un espace (Canter, Rivers, & Storrs, 1985 ; McAleese, 1989). Par équivalence, lors d'une navigation dans un espace physique, l'utilisateur peut voyager pour aller dans une destination familière et prédéfinie, ou vers une nouvelle destination ou juste pour un voyage exploratoire sans destination prédéfinie.

2.1.3. Les composants de la navigation

Selon Darken (1997), la navigation est formée de deux composants : un composant cognitif et un composant moteur. Le composant cognitif correspond, dans une navigation physique à la recherche d'itinéraire alors que le composant physique correspond au déplacement (locomotion) physique. L'activité de planification pendant une tâche de RI (formulation de la requête, choix de stratégie, traitement des résultats de la recherche, etc.) avec un SI constitue une partie du composant cognitif de la navigation dans un SI (Tricot & Rouet, 2004).

2.1.4. Les moyens de navigation

Pour la navigation dans un environnement physique, différents moyens peuvent être utilisés, tels que l'habitude, la référence à la carte cognitive¹², les différents repères basés sur la connaissance du chemin, etc. (Allen, 1999). Pour la navigation dans un SI, différentes fonctionnalités sont disponibles, comme le moteur de recherche, le lien hypertexte, l'index (Tricot & Rouet, 2004). L'utilisateur navigue en utilisant un répertoire, un moteur de recherche par mot-clé, liens ou séquence connue (Sorrows & Hirtle, 1999). Dans les deux espaces (physique et électronique), l'utilisateur rencontre des difficultés. Pour y faire face, il utilise alors des repères. D'après Sorrows et Hirtle (1999), il existe un lien entre la navigation et le repère : *« our ability to function depends on forming an understanding or representation of the environment and to plan routes to areas that are not in view. Inherent in navigation is the use of landmarks »*.

2.2. Utilisation des repères

Les repères sont des points de référence dans l'environnement qui aident l'utilisateur à organiser l'espace. L'utilisateur s'en sert pour trouver sa position au cours de la navigation, c'est-à-dire savoir où il se trouve, où il va, etc. Selon Golledge (1999b), les repères ont deux fonctions : comme concept de l'espace et comme aide à la navigation.

2.2.1. Les repères comme concept d'organisation de l'espace

Pour organiser l'espace, les repères peuvent représenter une classe d'objets avec un fort ancrage (Golledge, 1999b). Les concepts d'organisation peuvent être un repère symbolique, comme la Tour Eiffel qui représente la ville de Paris, ou des points de référence spatiaux, par exemple l'Hôtel de ville qui se trouve souvent au cœur d'une ville et souvent facilement repérable à travers de la domination du bâtiment par rapport aux autres, de sa façade et de son environnement (place publique, drapeau, statue, etc.). Un point de référence est défini par la combinaison de plusieurs caractéristiques : grande familiarité, emplacement dominant visible de loin, forte importance culturelle (Sadalla, Burroughs, & Staplin, 1980). Dans la navigation

¹² La carte cognitive signifie la représentation mentale qu'un individu se fait de l'organisation de l'espace dans lequel il se trouve (Tolman, 1948). C'est une représentation mentale des connaissances environnementales. L'information sur l'environnement est stockée par l'individu pour ensuite être utilisée pour prendre des décisions spatiales. Une carte cognitive est multiple et dynamique : elle se construit en fonction d'évènements spécifiques.

électronique, certains nœuds constituent des repères et aident l'utilisateur à structurer la mémoire.

2.2.2. Les repères comme aide à la navigation

Selon Golledge (1999b), les repères servent à différents buts : identifier les choix à faire lors de la prise de décision de navigation, identifier les points de départ et d'arrivée, avoir un moyen de contrôle de la progression du chemin et influencer les attentes de l'utilisateur.

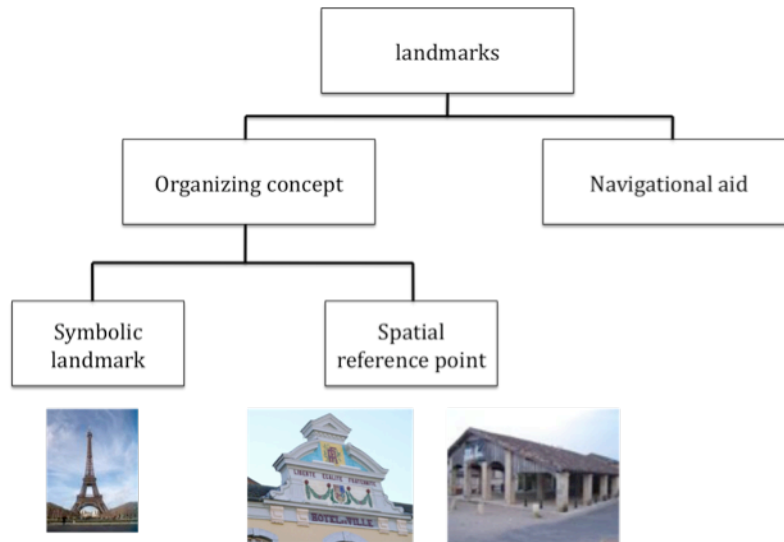


Figure 29 - Caractéristiques des repères - à partir de Golledge (1999b).

Les repères offrent des informations sur les relations entre la localisation, les objets et le chemin. Par exemple, pour la page d'identification (login page) de Tarmak, la vue des deux rubriques “login” et “password” permet à l'utilisateur de reconnaître qu'il se trouve à cette page là.



Figure 30 - Login page de Tarmak

Les repères aident les utilisateurs à structurer la mémoire lors de la RI grâce à deux types de relations : relation *repère-but* (les repères sont des signaux à travers le chemin jusqu'au but) et relation *repère-repère* qui donne une compréhension globale de l'environnement. Dans

Tarmak, la présence de la liste d'applications constitue un repère pour l'utilisateur en indiquant à l'utilisateur qu'il se trouve au portail de l'application.



Figure 31 - Liste d'applications dans Tarmak

Les repères correspondent aux informations se trouvant en haut de la fenêtre. Cela permet à l'utilisateur de savoir à quel endroit de l'application il se trouve. Il dispose également d'autres informations provenant d'autres repères : l'icône *home* permet à l'utilisateur de faire le lien entre le portail et l'endroit où il se situe (relation repère-repère).



Figure 32 - Relation repère-repère dans Tarmak

2.3. Navigation et désorientation cognitive

Parfois, l'espace physique ou le document électronique ne contient pas de repères suffisants. Cela peut se caractériser par un manque d'unités distinctives ou par une apparence uniformisée de l'environnement comparable à un labyrinthe. Ce manque peut conduire à des difficultés pour comprendre la disposition spatiale de l'environnement et ainsi pour naviguer.

Concernant le document électronique, ses caractéristiques elles-mêmes facilitent l'apparition des problèmes cognitifs. En effet, l'évolution et parfois la perte du but de navigation dans un SI sont accentuées par le système hypertexte. D'après Conklin (1987), cité par Tricot et Rouet (2004), ce problème peut être interprété comme le résultat d'une charge cognitive. L'utilisateur ne se souvient plus de son but, des documents déjà consultés, du chemin traversé jusqu'à l'état courant du SI. Malgré l'existence des principales fonctionnalités des documents électroniques (moteur de recherche, liens hypertextes, index), le problème existe toujours (Tricot & Rouet, 2004). Le moteur de recherche, par exemple, peut donner une quantité de

documents pertinents en réponse à une requête de l'utilisateur qui, en retour, doit fournir un effort cognitif et effectuer un contrôle métacognitif avec l'hypertexte. L'utilisation d'index requiert également de la part de l'utilisateur une connaissance structurée du domaine. Ces problèmes justifient l'importance de l'évaluation des nouvelles fonctionnalités, par exemple par une étude de l'utilisabilité. Cela permettra d'avoir des informations sur leur impact sur les utilisateurs et d'optimiser le niveau de l'utilisabilité du système. Dans le cas des appareils mobiles, qui constituent le sujet de notre étude, les efforts devraient donner une importance au niveau de la conception de l'interface. En effet, l'interface constitue la part du système par laquelle les utilisateurs obtiennent des informations concernant l'état du système. De plus, l'interface est l'un des trois facteurs (avec l'information et la procédure de la tâche) qui influencent la performance de l'utilisateur dans la tâche (Yoo & Yoon, 2006). C'est également à partir de l'interface que les utilisateurs acquièrent la connaissance sur la structure de l'information dans le système. Ainsi, nous avons mené une étude de l'interface de l'application destinée aux appareils à petits écrans (Tarmak) dont l'utilisation est caractérisée par la mobilité de son utilisateur cible (l'OM). Avant de présenter les résultats de cette étude, nous abordons tout d'abord la notion de la mobilité.

3. La mobilité

3.1. Mobilité et nomadisme

Le nomadisme permet l'accès à distance avec un même support à une information pertinente et interactive, à différents contenus avec une différente dynamique d'accès (Chevalet & De Bonnefoy, 2003). Il sous entend la possibilité pour toute personne mobile de pouvoir utiliser son environnement de travail personnel quel que soit l'endroit où il se situe.

Marchand, Salembier et Zouinar (2000) cités par Calvet-Inglada (2010) ont effectué une classification de l'activité en situation de mobilité sur la base de trois critères qui sont la définition de l'espace de déplacement de l'agent, son niveau de mobilité et le niveau de mobilité des outils qu'il utilise. Trois situations sont ainsi distinguées :

- les situations de nomadisme niveau 1 : l'agent se déplace dans un espace prédéfini (d'un espace de travail à un autre) en utilisant des outils fixes, avec une possibilité d'accès à d'autres ressources stockées sur d'autres postes de travail via un réseau. C'est le cas par exemple d'un opérateur qui peut accéder au réseau interne de l'entreprise dans les différents bureaux au sein de celle-ci.

- les situations de nomadisme niveau 2 : l'agent se déplace d'un point à un autre dans un espace non prédéfini et emporte ses propres outils, en utilisant un ordinateur portable par exemple et avec un accès à un serveur distant pour accéder à des ressources non disponibles sur son portable. C'est le cas par exemple d'un opérateur de maintenance qui est amené à effectuer une mission à l'étranger à la demande d'un client (De Bonnefoy, 2009).
- les situations de mobilité « réelle » : l'agent se déplace dans un espace non prédéfini et utilise en même temps des outils embarqués.

Ainsi, la distinction entre la mobilité et le nomadisme réside essentiellement dans la situation de l'agent lors de son interaction avec un dispositif : dans la mobilité réelle, il interagit tout en se déplaçant tandis que dans le cas de nomadisme, il s'arrête quand il interagit avec le dispositif qui, de plus, est plus ou moins mobile ou transportable.

Les OM sont des opérateurs mobiles et nomades dans la mesure où les opérations de maintenance ont lieu dans différents contextes et zones, ce qui contraint l'OM à se déplacer continuellement (De Bonnefoy, 2009). Les activités de l'OM sont ainsi mobiles et pourraient avoir de ce fait des caractéristiques semblables à celles que Pascoe, Ryan & Morse (2000), cités par Calvet-Inglada (2008), ont identifiées dans le cadre de travaux visant à l'instrumentation d'activité de recueil de données (archéologie, éthologie animale) pour les activités mobiles de terrain. Ces caractéristiques des activités mobiles sont :

- « la configuration dynamique de l'utilisateur qui doit être en mesure de réaliser son activité quelles que soient les conditions environnementales, qu'il soit en situation stationnaire ou déambulatoire ;
- la capacité d'attention limitée de l'utilisateur qui doit être en mesure de pouvoir concentrer son attention sur la réalisation de sa tâche principale ; les ressources mobilisées par l'interaction avec le système doivent donc être limitées au minimum ;
- l'interaction rapide (en fonction des exigences de la situation, l'utilisateur doit pouvoir si nécessaire effectuer des traitements rapides avec le système, par exemple l'acquisition de volumes importants d'information) ;
- la dépendance contextuelle (en mobilité, les activités doivent souvent être indexées par rapport à des données du contexte, notamment la localisation géographique)» (Calvet-Inglada, 2008).

3.2. Les appareils mobiles

Même si l'on se réfère souvent aux téléphones portables quand on parle d'appareils mobiles, ces derniers peuvent également désigner différents types d'appareils : « Mobile means more than 'mobile phone': handhelds, wearables, badges, etc. » (Jones & Marsden, 2006). En voici quelques exemples (Figure 33).



Figure 33 - Exemples d'appareils mobiles

Les appareils mobiles peuvent être décrits à travers deux facteurs : les éléments physiques à travers desquels les utilisateurs peuvent interagir avec ceux-ci et les types de fonctions qu'ils offrent (Jones & Marsden, 2006). A propos des éléments physiques comme moyens d'interactions à la disposition des utilisateurs, les auteurs disent que certains appareils mobiles permettent d'organiser les rendez-vous et les tâches à faire ; d'autres permettent d'éditer des MMS (*Multimedia Messages*), une image qu'on peut envoyer à un ami à partir de l'appareil même ; d'autres encore fournissent des applications de bureau, comme le traitement de texte. Des appareils destinés aux jeux ou encore à des fins médicaux existent également. Quant aux fonctions :

« Most have physical buttons you can press and many have touch-sensitive displays. Then there's usually a stylus, cursor control pad or wheel for pointing to and selecting from the information displayed. Less conventionally, some devices are beginning to have position, movement and tilt sensors » (Jones & Marsden, 2006).

Certains éléments mobiles combinent la plupart, sinon la totalité de toutes ses fonctions.

3.2.1. Exemples d'utilisation d'appareils mobiles

Sycara, Paolucci, Velsen et Giampapa, (2001) (cités par Barnard & Reiss, 2006) mentionnent que ces appareils présentent l'avantage de faciliter l'interaction de l'OM avec la

documentation technique. Par exemple, quand l'opérateur rencontre des anomalies au cours de son activité, il remplit un formulaire à partir de l'appareil. Ce dernier analyse alors le formulaire, cherche les informations appropriées, affiche les informations trouvées et les recommandations et remplit le formulaire pour un usage futur. A l'US Airforce, les opérateurs utilisent les PMA (*Portable Maintenance Aids*) qui sont des ordinateurs portables ou appareils attachés sur la tête ou le poignet de l'OM, et dotés d'une fonction de reconnaissance vocale et de communication sans fils pour des connexions à distance. Au sein de la compagnie FLS Aerospace, les techniciens travaillent dans le hangar avec des appareils portables (*mobile benches*) sur lesquels la documentation complète est disponible. Les techniciens disposent d'une fonction qui leur permet de pointer le nombre d'heures de travail effectué et d'accéder à d'autres informations concernant la compagnie.

Dans le cadre de notre étude, nous nous focalisons sur un type d'appareils mobiles : l'ordinateur à petit écran ou PDA.

3.2.2. Caractéristiques des appareils mobiles à petits écrans

Les appareils mobiles sont considérés comme la substitution des ordinateurs de bureau (PC) : ils permettent un accès mobile aux données électroniques en donnant aux utilisateurs la possibilité d'accéder aux informations et aux services de communications partout et à tout moment (Lumsden, 2008). Actuellement, l'appareil mobile est un système techniquement finalisé, justifie un réel usage et fournit une variété de modes d'interactions en constante évolution. Il permet à l'utilisateur d'avoir la mobilité, ce qui veut dire que l'utilisateur est mobile avec un système mobile dans un environnement ubiquitaire (Jambon et al., 2008).

Toutefois, les appareils mobiles ont des caractéristiques qui peuvent être considérées comme leurs limites et doivent être prises en compte dans la conception. En effet, l'appareil mobile est caractérisé par une faible résolution, une faible puissance, une sensibilité à l'environnement et à la variabilité de la situation (intérieur/extérieur) (Jambon, Mandran, Meillon & Perrot, 2008) qui sont à l'origine d'une mauvaise qualité de la vision dans les endroits peu adaptés à la lecture (Noirhomme, Randolet, Chittaro et Custinne, 2005). Leur portabilité implique la limite de leur taille et de ce fait de leur écran.

Selon Noirhomme et al. (2005), les limites des appareils mobiles peuvent être réparties en deux catégories : les limites fonctionnelles (pour un affichage d'une quantité d'informations suffisantes) et les limites physiques (mémoire, puissance, qualité, taille et définition de

l'écran). Pour Kamba, Elson, Harpold, Stamper et Sukaviriya (1996), les appareils mobiles sont limités par deux facteurs : la dimension du texte affiché et celle de l'écran sur lequel le texte est affiché.

3.2.3. Effets des limites sur l'utilisation des appareils mobiles

Les limites peuvent causer des problèmes d'utilisation. La taille réduite de l'écran entraîne une difficulté qui peut se matérialiser par exemple par l'accroissement du degré d'interaction de l'utilisateur avec le système pour obtenir l'information voulue (Kamba et al., 1996) et la visualiser intégralement (pour le cas d'un texte sur plusieurs lignes par exemple) par rapport à l'utilisation d'un écran standard. De plus, le manque de définition de l'écran rend une information difficilement lisible (Noirhomme et al., 2005) et a un impact majeur sur la performance de l'utilisateur (Jones, Buchanan & Thimbleby, 2002) en raison de l'effort supplémentaire qu'il doit fournir (Giller, Melcher, Schrammel, Sefelin & Tscheligi, 2003). En matière de RI sur internet, par exemple, si l'utilisateur veut avoir un affichage optimal (avec une taille des caractères plus lisible) de l'ensemble des résultats, il est amené à interagir à l'aide des défilements (scrolling) vertical et horizontal (cf. Figures 34 et 35) (Jones, Jones, & Deo, 2003) ou aller à d'autres pages de résultats pour consulter l'ensemble des résultats. Pour ce faire, il doit effectuer des actions supplémentaires par rapport à la visualisation sur écran standard. De plus, il est beaucoup plus difficile pour l'utilisateur de juger efficacement la pertinence des résultats de sa recherche. Ces interactions sont coûteuses pour l'utilisateur (Jones & Marsden, 2006).

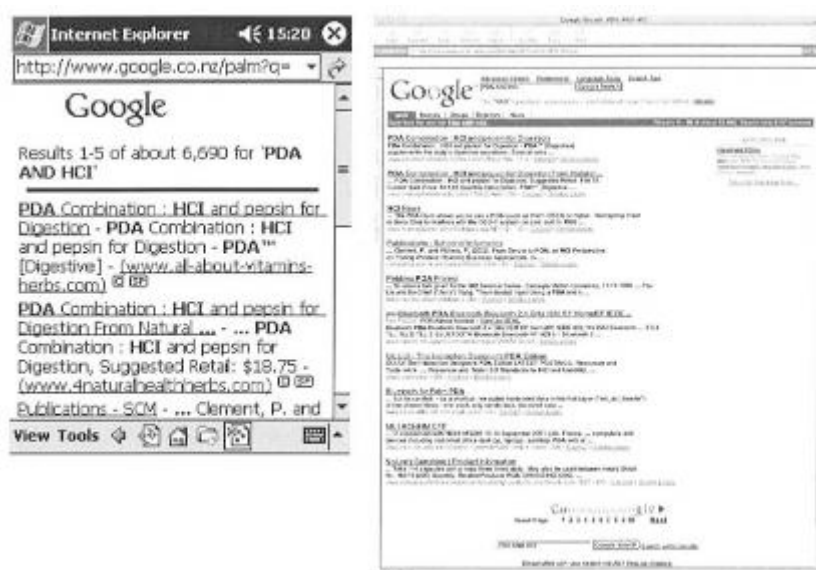


Figure 34 - Page de résultats sur Google sur PDA (à gauche) et sur un écran large (à dr.)
(Jones et al., 2003)



Figure 35 - Vue sur PDA de l'affichage d'une page d'un des résultats de recherche
(Jones et al., 2003)

Le fait de devoir aller consulter plusieurs pages pour consulter l'ensemble des résultats de la recherche pourrait ne pas être considéré comme un obstacle dans l'usage pour la vie quotidienne de la RI (par exemple lors d'une recherche sur internet), puisque selon Jansen, Spink et Saracevic (2000), les utilisateurs consultent rarement plus d'une page de résultats. Mais dans le contexte du travail, particulièrement en maintenance aéronautique, l'utilisateur doit consulter l'ensemble des résultats de la recherche (par exemple si la recherche a pour but de trouver une procédure entière relative à une tâche, l'opérateur doit lire celle-ci du début à la fin). La nécessité de consulter plusieurs pages et de faire autant d'actions pour les visualiser pourrait être une source de difficulté pour l'utilisateur. De plus le temps de réponse du SI peut parfois être assez long, ce qui accroît le temps d'attente de l'utilisateur.

3.2.4. Effets des limites sur le plan cognitif lors de la RI

Les différents modèles de l'activité de RI cités précédemment présentent celle-ci comme une activité cyclique formée de différentes phases et composantes. L'utilisation du petit écran pourrait modifier certains de ces éléments. Si on prend comme exemple le cadre TIMS de Dillon (1996), l'activité de RI est formée de différentes composantes, qui correspondent à des niveaux de traitement (Tricot, 2006) : gestion de la tâche, le modèle informationnel, les habilités à manipuler les SI et l'activité de lecture du texte. L'utilisation du petit écran comme format de consultation de la documentation pour la tâche de maintenance aéronautique serait un facteur déterminant pour la 3^{ème} composante relative aux habilités à manipuler les SI. En effet, la manipulation du SI à petit écran et de ses fonctions pourrait être difficile du fait que son utilisation est encore inhabituelle aussi bien chez la population des novices que celle des experts. Chez les novices, ce n'est pas tant l'utilisation du format petit écran qui est inhabituelle mais le contexte de son utilisation, c'est-à-dire son utilisation comme support à la

tâche, et de ce fait le caractère inhabituel de son contenu pour cette population. Pour les experts, les connaissances du contenu de la DMA sont déjà disponibles mentalement mais c'est essentiellement l'utilisation du format petit écran qui est à prendre en considération et qui influencerait l'activité de RI en raison des caractéristique de celui-ci qui demandent de la part de l'utilisateur plus d'interactions que lors de l'utilisation d'un écran standard ou conventionnel. Ces difficultés peuvent être coûteuses sur le plan cognitif. En effet, selon le modèle de Rouet et Tricot (1998), le cycle EST que nous avons mentionné précédemment, l'individu doit, lors d'une RI, maintenir en mémoire de travail (MDT) une représentation du but, une représentation de la stratégie de sélection et une représentation du contenu traité. Une surcharge cognitive au niveau de la gestion de l'activité de sélection ou de traitement provoquerait la sortie du but de la MDT. Cette surcharge peut être due, dans le contexte de l'utilisation du petit écran, à la longue manipulation (*scrolling* de haut en bas, de gauche à droite ; trop de navigations page par page) car l'utilisateur doit penser à garder en mémoire le but et en même temps gérer les actions de navigations (planifier les actions à faire, traiter les informations affichées par le système pour le comparer au but, etc.

3.2.5. Enjeu avec les appareils mobiles

L'utilisation de l'écran limitée des appareils mobiles doit être optimisée tout en offrant un haut niveau d'utilisabilité. Concevoir un appareil mobile qui offre le même niveau d'utilisabilité que l'écran standard est un défi pour les concepteurs, mais cela constitue une étape inévitable. En effet, la littérature montre que l'utilisabilité joue un rôle pour l'acceptabilité du système par l'utilisateur (Jamet & Février, 2008). Des chercheurs (Hassenzahl, Beu & Burmester, 2001; Schenkman & Jonsson 2000) cités par Acton, Golden, Gudea et Scott (2004) ont montré le lien entre l'utilisabilité et l'acceptabilité en ce sens que l'utilisabilité apparente affecte les perceptions qu'a l'utilisateur vis-à-vis de l'interface d'un système et pourrait affecter de façon significative l'acceptabilité du système entier.

Un produit mobile réussi est un appareil qui est utile et utilisable, et qui tient compte de l'expérience utilisateur. En effet :

- si l'appareil mobile n'offre pas une forte valeur de fonctionnalité, il ne sera pas utilisé même avec une interface bien conçue ;
- l'utilisabilité d'un appareil mobile est influencée par des facteurs comme sa facilité d'utilisation intrinsèque, le retour (feedback) donné à l'utilisateur et sa capacité à satisfaire les besoins de l'utilisateur. L'esthétique a également sa place dans le facteur de succès d'un

appareil mobile (Jones & Marsden, 2006).

Selon Weiser (1993), « *good tools are those that don't require a (great deal of) conscious effort and though in order to operate* ». Pour Fallman (2002), les meilleures solutions de conception sont celles qui offrent le plus de fonctionnalités possibles de l'ordinateur de bureau aux petits appareils. Les appareils mobiles doivent justifier le même niveau d'utilisabilité que les appareils standard en permettant à la fois à l'utilisateur d'avoir des interactions et pas uniquement de consulter des informations. Toutefois, la présentation des informations ne peut être juste adaptée d'un ordinateur standard vers les appareils mobiles (Noirhomme & al., 2005). Un bon niveau d'utilisabilité est ainsi important pour assurer une bonne performance des appareils mobiles.

4. Conclusion

Dans les sections précédentes, nous avons parlé des différents domaines concernés par notre étude relative à la consultation de la documentation de maintenance aéronautique sur petit écran. Nous avons commencé par décrire ce qu'est la maintenance aéronautique. Nous avons dit que celle-ci est une activité complexe (hétérogénéité des opérateurs et des acteurs, des tâches, de l'environnement de travail) très réglementée (tâche exécutée avec des outils, environnement et procédures très réglementés). En parallèle à ces caractéristiques, des évolutions s'opèrent quant aux moyens utilisés pour réaliser les opérations de maintenance. Ces évolutions se traduisent, concernant la documentation de maintenance, par l'adoption des nouvelles technologies comme les appareils mobiles pour la consultation des informations utiles à la préparation et à la réalisation de la tâche de maintenance, et au bon déroulement de l'activité de maintenance en général (par exemple pour la communication avec les autres acteurs). Ceci est d'autant plus justifié par le fait que l'OM est un opérateur mobile et nomade et de ce fait justifie le besoin de disposer d'un outil de travail adapté à cette mobilité. Mais le changement de l'écran de taille standard ou conventionnelle jusque là utilisé vers le petit écran ne constitue pas un simple passage d'un système à l'autre compte tenu de différents paramètres (influence de la taille d'écran sur l'activité de lecture par exemple), comme nous l'avons exposé à travers les différentes données issues de la littérature. Le petit écran ainsi conçu doit répondre à certains critères afin de rendre son utilisation facile et efficace. Toutefois, très peu d'études ont été consacrées à l'analyse de l'activité de l'OM lors de l'utilisation de la documentation de maintenance en contexte de travail. Nous avons donc mené une étude dans ce sens sur le terrain, ce que nous décrirons dans la suite de ce document.

PARTIE 2 - CONTRIBUTION EMPIRIQUE

CHAPITRE 1. ETUDE SUR LE TERRAIN : UTILISATION DE LA DMA DANS LE CONTEXTE DE LA MAINTENANCE AERONAUTIQUE

1. Introduction

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 1 de la Partie I, l'utilisation de la documentation est légalement obligatoire dans le domaine aéronautique. En effet, la DMA est une garantie de la sécurité de l'avion après les opérations de maintenance et sert de preuve que celles-ci ont été exécutées suivant les prescriptions. En cas de conflit avec un client (par exemple suite à un incident ou un accident) après la livraison de l'avion, le document sert également de preuve pour le centre de maintenance pour appuyer sa défense. La signature effectuée par le MO qualifié et le responsable de qualité sur le document (cf. Chapitre I) certifie l'exactitude des opérations de maintenance. Or, cette documentation n'est pas utilisée de façon systématique. Il a été constaté que les OM réalisent assez fréquemment les opérations de maintenance selon leur propre manière (Hobbs & Williamson, 2002 ; Chaparro et al., 2004). Les OM adoptent une procédure autre que celle décrite dans la DMA (Van Avermaete & Hakkeling-Mesland, 2001), par exemple pour des tâches de routine (McDonald et al., 2000), c'est-à-dire des tâches qui, le plus souvent, se répètent à chaque intervention, comme le *walk around* (tour de l'avion pour vérifier qu'il n'y a aucun anomalie, dégât, ... sur la structure, les pneus, etc.). Ainsi, la littérature dans ce domaine donne des informations sur le fait qu'il y a une proportion d'OM qui n'utilise pas la documentation. Mais peu d'informations existent sur la raison de cette déviation qui est assez paradoxale si on considère l'exigence légale et le caractère réglementaire du domaine de la maintenance aéronautique (cf. Chapitre I). Selon Lattanzio, Patankar et Kanki (2008), la qualité de l'information (information non compréhensible, insuffisante, incorrecte ou tout simplement inexistante) et la non utilisation des informations dans la DMA sont des facteurs contributifs aux erreurs qui conduisent à l'arrivée des incidents et des accidents. Toutefois, la façon dont les OM utilisent réellement sur le terrain la DMA n'est pas traitée dans la littérature disponible. Avant d'avancer plus loin et d'aborder la problématique centrale de notre étude qui est l'utilisation du petit écran pour la consultation de la DMA, il nous semblait donc primordial d'aller récolter sur le terrain des informations sur l'utilisation de la DMA dans son format actuel afin de rencontrer les réels utilisateurs finaux et de recueillir leurs opinions sur l'utilisation mais également sur la non utilisation éventuelle de la DMA.

2. Objectif de l'étude

L'étude était exploratoire. L'objectif était de savoir quand, comment, pour quelles tâches l'OM utilise la DMA. Pour avoir des informations les plus pertinentes possibles, nous nous sommes fixé comme but de prendre en compte d'une part différentes catégories d'OM, et d'autre part différents types de situations de travail.

L'étude consistait à analyser les usages, les contextes et les conditions d'utilisation du manuel de maintenance en situation de travail. Elle visait à :

- vérifier si le manuel de maintenance est « sous-utilisé » et déterminer les raisons de cette sous-utilisation (déterminer quels sont les problèmes réels rencontrés par les utilisateurs du manuel de maintenance) ;
- déterminer quel type de stratégie est utilisé pour quelle tâche, étant donné la grande diversité des tâches techniques à effectuer ;
- déterminer si les caractéristiques de la tâche technique à effectuer (connue/nouvelle, fréquente/moins fréquente, facile/difficile, etc.) influencent le choix de la stratégie pour l'utilisation de la documentation et le type d'information à chercher.

Cette étude de terrain sur l'utilisation de la DMA avait lieu pendant le passage du format papier en format électronique pour la documentation. Cela nous a amené à prendre également en considération ce phénomène. Nous avons voulu évaluer si le passage en format électronique avait complètement « effacé » l'utilisation de la documentation papier, ou si les deux formats étaient complémentaires dans l'usage de la documentation. Il nous paraissait donc important dans ce cas de poser différentes questions, telles que « pourquoi le papier est encore utilisé à la place de la documentation électronique, pour quelle tâche, à quel moment de la tâche ? ».

3. Obstacles dans la conduite de l'étude

Tous ces objectifs n'ont pas pu être atteints. La raison réside essentiellement dans le fait que la maintenance aéronautique est un domaine assez protégé et donc difficile d'accès. Ainsi, concernant les différentes situations de maintenance définies plus haut sur la localisation de celle-ci, par exemple, nous n'avons pu accéder qu'à la maintenance programmée en hangar, l'accès à la maintenance en ligne (non-programmée) étant très réglementée. De plus, nous

n'avons pas pu mener l'étude sur l'ensemble d'un *shift*¹³, c'est-à-dire pendant la durée totale de travail d'une équipe qui est généralement de 8 heures, en raison de la limite de la durée pendant laquelle nous étions autorisée à rester dans les locaux des centres de maintenance. Toutefois, en plus de l'observation des OM en cours d'activité, nous avons assisté, quand cela était possible, à la relève de postes entre deux équipes, et ainsi rencontrer l'équipe descendante et l'équipe montante pour étudier comment elles utilisent la DMA au début et à la fin de leur intervention (comme indiqué plus haut, l'équipe descendante est l'équipe qui a fini son *shift* et l'équipe montante celle qui prend le relais).

Nous avons effectué notre étude dans trois centres de maintenance différents. Mais, toujours en raison de la difficulté d'accès dans les centres plus importants (en matières de types et de volumes d'activités et d'effectif du personnel), l'un d'eux était un atelier d'entretien, de réparation et de maintenance. Les interventions s'y opèrent non pas dans un hangar mais dans un atelier sur des systèmes et des pièces d'avions isolés disposés sur des établis. Mais compte tenu du caractère exploratoire de notre étude, les informations issues de ce contexte là nous intéressaient également puisque les personnes qui y travaillent sont des professionnels de la maintenance, régis par les mêmes réglementations que ceux qui travaillent directement sur un avion. Ainsi, nous considérons que le contexte n'altérerait en rien notre objectif qui était de récolter des informations sur l'utilisation de la DMA dans les situations de maintenance les plus diverses possibles.

Les questions que nous avons posées sont synthétisées dans le schéma suivant.

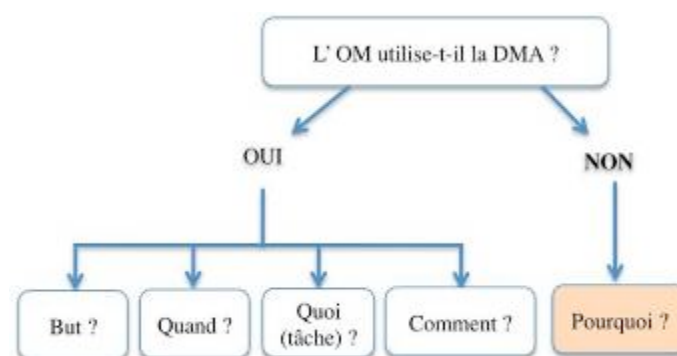


Figure 36 - Questions sur l'utilisation de la DMA par les OM

¹³ *Shift* : terminologie anglaise qui signifie "équipe de relève" ou "poste". "Un *shift* peut être défini comme étant une équipe ou un ensemble d'équipes d'opérateurs travaillant sur un certain créneau horaire pour couvrir une partie d'une amplitude horaire maximale choisie pour effectuer un travail défini, pour atteindre un objectif commun" (De Bonnefoy, 2009).

4. Méthodologie

4.1. Participants

Cette étude exploratoire sur le terrain a vu la participation de treize opérateurs âgés de 22 à 50 ans, avec douze hommes et une femme. Onze d'entre eux sont des OM issus de différentes spécialités (électriciens, électroniciens et mécaniciens cellules). Un responsable d'atelier et un responsable qualité ont également participé à l'étude. Les participants disposaient d'une expérience qui varie entre quatre et une trentaine d'années.

4.2. Localisation

L'étude a eu lieu dans trois centres de maintenance à Toulouse. Le premier est un centre de maintenance et de réparation des pièces du système de ventilation pour différents types d'avions civils et militaires. Le poste de travail se trouve dans un atelier où chaque OM dispose d'une chaise et d'un établi sur lequel il dépose les pièces et les systèmes à réparer et à maintenir. Les OM manipulent ainsi des pièces/systèmes qui sont détachées de l'avion et ne travaillent pas directement sur l'avion. Ils disposent d'un ordinateur pour consulter sur réseau la documentation sous format électronique, et également d'une étagère sur laquelle sont disposés des classeurs contenant la version papier de la documentation électronique.

Le deuxième centre de maintenance est un centre de rénovation, de maintenance et de modification des aviations d'affaires. La spécialité du centre est la modification des avions pour les personnaliser aux goûts du client. Mais le centre effectue également des entretiens et maintenance habituels sur ces types d'avions. Les opérations ont lieu généralement à l'intérieur d'un hangar.

Le troisième centre est un centre de maintenance « classique » dont les opérations ont lieu dans un hangar ou à l'extérieur (lors des essais, par exemple).

4.3. Procédure

L'étude a commencé par l'entretien avec les responsables (chef d'atelier, responsable de qualité). Le but était d'avoir leurs points de vue concernant la DMA et son utilisation dans les opérations de maintenance. L'étude se poursuivait ensuite par les observations et les entretiens des OM. Il est intéressant d'avoir des informations issues des deux populations en raison des caractéristiques de chacune d'elles. En effet, l'entretien avec les responsables visait à avoir la description de la tâche prescrite de maintenance, dans la mesure où ce sont ces

personnes qui planifient les opérations de maintenance en fonction de la commande des clients et commandent la réalisation des actions. L'entretien avec les OM avait pour but d'avoir des informations sur le contexte réel de la tâche de maintenance. De plus, les conditions d'utilisation sont différentes pour les deux types de populations (les responsables et les OM). En effet, les responsables travaillent principalement dans les bureaux alors que les OM sont généralement sur avion (à l'intérieur de celui-ci ou à l'extérieur), dans un atelier ou dans un hangar. Ils sont ainsi parfois exposés à différentes conditions météorologiques, particulièrement quand ils sont à l'extérieur, au bruit (bruit du moteur, par exemple), et doivent opérer régulièrement dans un espace réduit (comme les soutes).

Les observations ont été effectuées à différents moments de la tâche de maintenance, comme nous l'avons mentionné auparavant : au début, à la prise de poste et pendant la préparation, pendant la réalisation de la tâche de maintenance et à la fin quand l'opérateur effectuait la tâche de vérification à la fin de la procédure. Comme les durées des tâches de maintenance sont variables, certaines tâches nécessitant plus de temps que d'autres (changer un joint prend beaucoup moins de temps que démonter une hélice, par exemple), les durées des observations étaient également variables, allant de dix minutes à une heure.

Il a été demandé à tous les participants d'effectuer la tâche de maintenance qui leur était assignée le jour des observations, comme ils avaient l'habitude de les faire, c'est-à-dire sans tenir compte de notre présence.

Avant chaque observation et entretien, le but était exposé clairement aux participants : il ne s'agissait pas de les évaluer personnellement sur leur travail ou leur utilisation de la documentation mais vraiment de récolter des informations de façon globale sur l'utilisation de la DMA. Cette mise en confiance était essentielle pour obtenir des informations les plus pertinentes possible, c'est-à-dire celles qui sont les plus proches possible de la réalité. Cependant, il était évidemment impossible de faire oublier complètement notre présence par les OM. Cela s'est d'ailleurs manifesté par le fait qu'ils avaient tendance à verbaliser toutes les actions qu'ils exécutaient. Ces verbalisations spontanées ont été enregistrées et notées tout autant que la communication verbale avec les OM qui en découlaient (reformulation, demande de précision ou d'explication sur ce qu'ils exprimaient). Les observations et les verbalisations ont été complétées par des entretiens individuels après celles-ci afin d'avoir plus de précision sur les informations issues des observations ou avoir les réponses à des questions dont les réponses n'ont pas pu être tirées à partir des observations (par exemple les

questions relatives à la représentation qu'a l'opérateur de la documentation, de la qualité de celle-ci, etc.).

4.4. Matériels

Une liste de questions a été élaborée pour nous servir de grille pour la conduite des observations et des entretiens. En voici le contenu :

(1) Utilisez-vous la documentation de façon systématique ?

- *SI OUI,*

- *dans quel but l'utilisez-vous ?*

- *l'utilisez-vous plus tôt avant la tâche, ou pendant la tâche, ou après la tâche, ou tout le temps ?*

- *l'utilisez-vous pour toutes les tâches ?*

- *comment l'utilisez-vous ? (lisez-vous tout du début à la fin à chaque fois ?)*

- *SI NON,*

- *pourquoi ?*

- *quand vous utilisez la documentation,*

- *dans quel but l'utilisez-vous ?*

- *l'utilisez-vous plus tôt avant la tâche, ou pendant la tâche, ou après la tâche, ou tout le temps ?*

- *l'utilisez-vous pour toutes les tâches ?*

- *comment l'utilisez-vous ? (lisez-vous tout du début à la fin à chaque fois ?)*

(2) Que proposeriez-vous pour améliorer la DMA ?

Les informations issues des observations ont été notées sur une feuille. Un enregistreur audio a été utilisé en complément.

5. Résultats

Nous rappelons que l'étude sur le terrain visait principalement à récolter des informations sur l'utilisation de la documentation par les OM dans le contexte de la maintenance aéronautique. Les résultats qui en sont issus sont présentés ci-après en deux parties. Nous présentons tout d'abord les résultats des entretiens et des observations effectués dans les centres de maintenance. Ensuite, ceux-ci seront complétés par des résultats relatifs aux liens qui existent entre l'utilisation de la DMA et la tâche de maintenance.

5.1. Résultats des entretiens

Nous présentons ci-dessous quelques réponses aux questions posées au cours de cette étude. Chaque opérateur est désigné par « OP » suivi de son numéro d'identification pendant l'étude.

- Question 1 : Utilisez-vous la documentation de façon systématique ?

« Normalement, la doc, on doit l'avoir du début à la fin de la réparation. On doit l'avoir tout le temps. J'utilise la doc mais pas systématiquement » (OP1).

« Oui bien sûr, j'utilise ça. C'est obligatoire pour n'importe quoi. Tu es obligé de chercher la référence. Même si je connais déjà la tâche. Il y a tellement de choses différentes » (OP12).

« Oui, j'utilise la doc tout le temps » (OP13).

- Dans quel but l'utilisez-vous ?

« On va lire ce qui nous intéresse, on regarde les schémas quand c'est lisible [...] On utilise le chapitre test, le chapitre démontage, le chapitre outillage spécifique, les valeurs de couple de serrage, les graphiques à la fin » (OP1).

« Je l'utilise tout le temps pour chercher les outillages » (OP5).

« J'aurai besoin de la consulter pour tout ce qui est valeur de serrage, référence de joint ou d'outillage, les matériels à utiliser, les nettoyants, tout ce que je ne peux pas retenir. Je peux retenir les savoir – ça on fait comme ça comme ça – mais après tout ce qui est composant, valeur de torquage, je n'ai pas envie de les apprendre » (OP10).

- L'utilisez-vous plus tôt avant la tâche, ou pendant la tâche, ou après la tâche, ou tout le temps ?

« Quand c'est un truc qu'on ne connaît pas et qui est bien spécifique, on lit la doc avant au calme. Sinon, si c'est un truc routinier, on consulte seulement en cas de doute. On regarde aussi à la fin pour le test. Parfois, on ne regarde la doc que pour le test [...] Je m'appuie sur la documentation pendant la tâche pour enlever tout doute et aussi à la fin pour effectuer le test » (OP9).

« On peut avoir prévu de changer des pièces, et par rapport à ces éléments suffisants tu reprends la doc et tu recherches à nouveau les pièces pour compléter l'intervention pendant la tâche. Tout le temps t'es obligé de l'utiliser. Sans arrêt, on ne peut pas se passer de la doc. » (OP12).

« On le consulte avant - pendant ; on imprime pour l'avoir avec nous pendant la tâche » (OP13).

- *L'utilisez-vous pour toutes les tâches ?*

« Je l'utilise tout le temps pour les tests » (OP4).

« La documentation, en fait, je l'utilise pour le démontage et pour le remontage, et les pages de vue de l'ensemble, pour chercher, lire, regarder les matériels qu'il faut » (OP7).

« On regarde aussi pour le test. Parfois, on ne regarde la doc que pour le test » (OP9).

- *Comment l'utilisez-vous ? (lisez-vous tout du début à la fin à chaque fois ?)*

« On survole plus que lire, ce qu'on doit faire normalement » (OP7).

« Pour une grosse opération, on a la carte du constructeur, on suit les instructions du dépose jusqu'à l'étape de repose et le test » (OP9).

« Nous là-dedans, c'est à nous de choisir par où commencer. Elle ne vous dit pas, si vous avez un tel cas de panne, faites comme ça, ça... » (OP1).

- *Pourquoi (n'utilisez-vous pas la documentation de façon systématique) ?*

« Puisque la CMM (la documentation) ne permet pas de tout effectuer, sans aide extérieur » (OP1).

« Et même pour démonter et remonter la machine, la doc n'est pas très efficace : une personne novice ne peut pas y arriver. Il faut de l'expérience (OP2) ».

« En fait, il vous dit de démonter tout et de remonter tout et parfois, on n'a pas besoin de toutes ces informations [...] Elle ne prévoit pas les différentes sous-tâches, les différents opérations de réparation possibles qu'un réparateur peut faire sur un équipement. Elle ne dit pas pour tel cas de panne, référez-vous à telle partie de la doc » (OP2).

« Dans ce cas là on ne cherche pas (à comprendre). Traduire une phrase mot à mot ... » (OP3).

« Pour nous déjà, la première difficulté, c'est l'anglais. La tournure des phrases. On cherche dans le dictionnaire des fois, on se renseigne » (OP5).

« Déjà il n'y a pas de couleurs, tout en anglais, ça peut être confus » (OP6).

« C'est quelque chose qu'on fait régulièrement (à propos de la tâche qu'il était en train d'effectuer lors de notre passage). La carte (la DMA), je n'ai pas besoin de la consulter. Je ne

l'ai même pas là. Puis, ce n'est pas une grosse tâche de maintenance comme le dépose d'hélice. Je sais la faire. Même si en sachant la faire je devrais l'avoir » (OP10).

« On regarde les schémas quand c'est lisible. On a beaucoup plus de risque de faire des erreurs, ça demande beaucoup plus d'efforts qu'avec l'utilisation des photos récupérées (personnellement) sur le réseau. En terme d'ergonomie, il y a quelque chose à reprendre. Il n'y a pas assez de détails, pas assez de photos avec des vues éclatées. Les textes ne sont jamais en rapport avec les photos : il faut rechercher plusieurs pages derrière » (OP1).

« [...] Après il y a des dessins qui sont incompréhensibles. Alors on se demande comment on arrive à réparer. Heureusement que les gens communiquent entre eux pour savoir comment il faut faire » (OP2).

« Quand il faut vérifier les différents outillages. Il faut chercher les pages, connaître un peu déjà le manuel » (OP4).

5.2. Résultats des observations

Les observations nous ont permis de recueillir des informations sur les actions menées par les OM pendant la tâche de maintenance et qui sont liées à l'utilisation de la DMA.

Lors de la prise de poste, par exemple, l'OM reçoit de la part du chef d'équipe ou du responsable d'atelier le *job-card* qui est le document qui contient la tâche qu'il a faire au cours de son *shift*. L'OM se rend alors sur le poste PC sur lequel est disponible la documentation de maintenance afin d'y chercher et consulter la procédure relative à la tâche de maintenance qu'il doit faire. Une fois la procédure trouvée, il imprime celle-ci et l'emporte sur le poste de travail. Il se procure également des pièces et outillages ainsi que les matériaux dont il a besoin. Ceux-ci ont été préalablement rassemblés par le préparateur. Au poste de travail, il dépose la documentation à proximité et vérifie sur la base de celle-ci la disponibilité des matériels, outillages et pièces dont il a besoin. Certains opérateurs suivent ensuite étape par étape la documentation pour effectuer chaque action. D'autres ne la consultent que quand ils ont un doute ou quand le résultat d'une action effectuée ne correspond pas à ce que l'OM attendait. Ainsi, nous avons pu constater par exemple au cours de notre étude sur le terrain qu'un OM, après avoir vérifié la liste des pièces, a pu constater au cours de l'opération qu'une pièce (en l'occurrence un joint) initialement prévu dans la liste lui posait une difficulté car ne correspondait pas au système réparé (il n'arrivait pas à le poser). Le problème venait d'une erreur de la référence indiquée dans la procédure. Dans ce cas précis, l'OM reconsultait d'abord la documentation qu'il avait imprimée, il quittait son poste de travail pour aller

consulter la documentation électronique sur le poste PC pour vérifier la procédure et la liste des pièces liées à la tâche. Cette consultation avait alors lieu pendant la tâche et avait pour but de relever un doute. A l'appui, il avait également demandé l'avis d'un collègue qui travaillait à côté de lui.

Lors de notre étude, nous avons pu assister également à la fin d'*un shift*. Un OM non qualifié avait fini sa tâche et nettoyait le poste de travail. Outre le souci de propreté, cela lui permettait de vérifier qu'aucun élément n'a été oublié lors du montage d'un système. L'OM allait rencontrer un autre OM pour certifier la conformité de sa tâche. Il expliquait que n'étant pas un opérateur qualifié, il ne pouvait pas effectuer lui-même cette certification. L'OM qualifié vérifiait alors la conformité de la tâche par rapport à la procédure prescrite et demandait à l'OM qui effectuait la tâche si aucun incident n'a perturbé son opération. La documentation sert également comme support pour la certification de la conformité de la tâche à la prescription.

6. Discussion

6.1. Synthèse des résultats sur l'utilisation de la DMA

D'après les informations issues de l'étude, nous pouvons répartir les types d'utilisation de la DMA en deux catégories : l'utilisation prescrite et l'utilisation non prescrite. La première catégorie concerne l'utilisation de la DMA selon la prescription relative à la tâche de maintenance aéronautique (en référence à la définition de la tâche prescrite de Leplat et Hoc, 1983, Visser et Falzon, 1992) qui est de lire entièrement la documentation et de s'en servir à tout moment, pour toutes les tâches et dans toutes les conditions. La deuxième catégorie, l'utilisation non prescrite de la DMA, correspond à l'utilisation de celle-ci d'une manière différente que celle prévue par la prescription.

Sur les treize participants, l'utilisation prescrite de la documentation ne concerne que deux opérateurs qui utilisent celle-ci pour toutes les tâches (qu'elles soient connues ou nouvelles), tout le temps :

- avant la tâche pour lire la procédure à suivre et avoir une vue globale de celle-ci ;
- pendant la tâche afin de consulter, de vérifier des informations, (en particulier celles qui sont complexes et difficilement mémorisables), d'enlever les doutes éventuels et pour suivre étape par étape la procédure (notamment quand celle-ci est relative à un tâche complexe, c'est-à-dire qui est composée de plusieurs sous-tâches) ;

- après la tâche pour effectuer la vérification finale (vérifier si l'objectif est atteint, c'est-à-dire si l'état final de l'élément sur lequel l'OM est intervenu correspond à l'état attendu) et/ou pour vérifier si la procédure a été respectée.

Ainsi, l'utilisation de la DMA par les OM que nous avons rencontrés correspond aux quatre principaux motifs de consultation de la DMA que Barnard et al. (2007) ont relevés.

L'utilisation non prescrite de la DMA concerne les onze autres MO. En effet, ils n'utilisent pas systématiquement la documentation. Ils l'utilisent parfois pour avoir une vue générale de la procédure uniquement, par exemple pour les tâches non familières. Certains d'entre eux consultent la documentation uniquement pour avoir des informations spécifiques ou encore pour être sûrs de la régularité de la procédure mise en œuvre. La plupart d'entre eux se réfèrent à la documentation à la fin de la tâche pour effectuer le test ou l'évaluation finale.

Les OM lisent la documentation de façon linéaire quand ils la consultent pour suivre étape par étape la procédure, ou de façon non linéaire quand ils l'utilisent pour un besoin ponctuel, tel que la consultation des références ou la vérification d'une information spécifique (localisation d'un système, par exemple).

6.2. La raison de la non utilisation de la documentation

Nous avons mentionné dans la description de cette étude que celle-ci visait également à déterminer si le document sous format papier est toujours utilisé en MA et que si tel était le cas dans quel contexte. Nous décrivons dans les sections suivantes les raisons de la non utilisation de la MDA pour chacun de ces deux formats.

6.2.1. L'utilité

Il s'agit de déterminer si la documentation technique permet à l'opérateur d'atteindre son but qui est celui d'effectuer la tâche de maintenance, si l'utilisation de la documentation permet à l'opérateur de résoudre le problème de réparation d'une panne, etc.

Pour Senach (1990), « l'utilité détermine si le système permet à l'utilisateur de réaliser sa tâche, s'il est capable de réaliser ce qui est nécessaire pour l'utilisateur. L'utilité couvre : la capacité fonctionnelle, les performances du système, les qualités d'assistance ». En résumé, l'utilité détermine si le produit satisfait des contraintes fonctionnelles et opérationnelles.

Pour cette analyse, nous distinguons l'utilité perçue et l'utilité réelle.

6.2.1.1. Utilité perçue

Davis (1989) définit l'utilité perçue comme étant « le degré selon lequel une personne croira que l'utilisation d'un système augmentera sa performance dans le travail ». Dans le domaine de la maintenance aéronautique, la documentation est conçue comme étant incontournable. Le seul moyen d'être efficace et de s'assurer l'application de la bonne procédure en évitant les erreurs est la consultation de la documentation. Cela confirme Mason (2001) qui dit que l'une des raisons de l'utilisation de la documentation est pour éviter les erreurs.

6.2.1.2. Utilité réelle

Dans la pratique, la documentation à elle seule ne suffit pas pour effectuer la tâche de maintenance. Parfois, l'expérience est plus utile que la documentation elle-même. Ainsi, pour exécuter les tâches de façon plus simple, plus efficace et apprendre les différentes astuces du métier, les conseils des collègues plus expérimentés sont jugés plus utiles que les procédures décrites dans la documentation.

D'autre part, l'opérateur ne se sert pas de la documentation de façon systématique. La documentation lui est utile pour certaines tâches et non pour d'autres. Ainsi, il se sert de la documentation pour les tâches annexes ou accessoires à effectuer avant ou après la tâche principale qui fait l'objet de l'intervention ou en vue de la réalisation de la tâche principale (préparation des pièces, démontage, remontage, etc.). La raison en est que, d'après les observations et les entretiens avec les utilisateurs, les informations nécessaires pour la réalisation de ces tâches sont principalement constituées de données chiffrées, difficiles à mémoriser par les opérateurs. Et compte tenu de la variabilité des pièces et équipements sur lesquels ils interviennent, l'opérateur ne veut pas et ne peut pas retenir même si celles-ci concernent des tâches qu'il effectue de façon régulière. C'est le cas des informations sur la valeur de serrage, la référence de joints ou d'outillage, les composants, l'huile ou le nettoyant à utiliser. L'opérateur de maintenance pense que retenir ce type d'informations ne peut que le perturber du fait de l'importance de la quantité et de la variabilité des informations de cette nature. Ainsi, la documentation est utile pour l'opérateur pour consulter ces informations, quand elles sont nombreuses, pour avoir les données complètes nécessaires afin de réaliser correctement la tâche principale qu'il a à effectuer.

D'après les informations récoltées auprès des OM, la DMA contient des erreurs qui peuvent conduire à leur tour les OM à effectuer des erreurs dans la réalisation de la tâche de maintenance. Or, la consultation de la documentation a pour but d'éviter les erreurs qui

pourraient avoir une influence sur la performance de l'opérateur (Barnard et al., 2007; CAA, 2002 ; Mason, 2001). Ce dernier choisit alors souvent de ne pas la consulter, plus particulièrement au niveau de la procédure. Les erreurs rendent ainsi la documentation inutile.

6.2.2. *L'utilisabilité*

Ici, la question est de savoir si le dispositif est aisément manipulable par les opérateurs. Selon la norme ISO 9241-18, « une technologie est utilisable lorsqu'elle permet à l'utilisateur de réaliser sa tâche avec efficacité, efficience et satisfaction dans un contexte d'utilisation spécifié ». L'efficacité renvoie à la réussite ou non des objectifs de l'activité par l'utilisateur, l'efficience au coût des processus cognitifs induits pour la réalisation de ces objectifs, et la satisfaction au bien être, au confort et au plaisir ressenti par l'utilisateur lors de son activité. Pour Ganier et Heurley (2005), l'utilisabilité correspond à l'adaptation de la documentation aux besoins des utilisateurs et l'appropriation de la documentation par ces derniers.

L'utilisabilité de la documentation dépend des tâches pour lesquelles l'opérateur veut avoir des informations.

6.2.2.1. Utilisabilité perçue

L'utilisabilité perçue peut être distinguée suivant le format de la documentation, papier ou électronique. Concernant l'utilisabilité perçue de la documentation sous format papier :

- la consultation de la documentation en gros volume est plus facile sur le support papier ;
- la documentation papier est plus facilement consultable qu'un texte écrit en tout petit sur l'écran ;
- avec le livre, on peut trouver plus facilement une information qu'avec le format électronique : on tourne la page au fur et à mesure et on trouve par exemple les figures ;
- la lecture des longues procédures est plus facile sur papier que sur l'écran ;
- pour les plus âgés, c'est le format le plus adapté au métier puisque c'est plus facile à utiliser : on peut l'emporter sur le lieu de travail.

En ce qui concerne l'utilisabilité perçue de la documentation électronique, elle est jugée nécessitant trop de temps. Selon les opérateurs, « avec l'ordinateur, il faut parfois traverser plusieurs pages, et on ne sait plus où on est ». L'utilisateur se retrouve alors en situation de surcharge et de désorientation cognitive. Mais d'après Tricot (1995), comparée à une lecture qui a juste pour but de s'informer, la lecture de l'hypertexte pour accomplir une tâche occasionne moins de désorientation cognitive.

6.2.2.2. Utilisabilité réelle

Dans la réalité, la présentation et la structure de l'information de la DMA conduisent à des difficultés lors de la recherche et la consultation des informations. La raison en est que la DMA ne prend pas assez en compte le contexte de la MA, tel que l'existence de la pression temporelle de plus en plus forte, l'environnement et les caractéristiques de la tâche (espace d'exécution de la tâche parfois exigüe rendant difficile le repérage d'une information spécifique par exemple, obligeant l'OM d'arrêter la tâche technique), les caractéristiques de l'OM (son niveau d'expertise par exemple), etc. L'utilisateur éprouve une difficulté pour consulter une information en raison de la mauvaise qualité de la présentation des informations : caractères de taille trop petite, manque d'organisation hiérarchique des textes, insuffisance de signaux ou de mise en forme matérielle (espace, indentation, caractères en gras, couleur, etc.). Un texte dans lequel les informations importantes ne sont pas suffisamment mises en exergue par l'intermédiaire des signaux rend la lecture plus difficile, ce qui peut causer un coût cognitif élevé pour l'OM. Les opérateurs jugent que la documentation de maintenance est un document sans structure logique : des informations qui doivent se trouver au début sont localisées à la fin (par exemple les *special materials*), et vice versa ; ou encore des précisions qui doivent être incluses dans le texte même de la procédure se trouvent parfois ailleurs, ce qui oblige l'utilisateur à les chercher à chaque fois.

La documentation comporte souvent des phrases complexes ayant une certaine tournure qui entraîne diverses fausses interprétations du sens. Cela s'ajoute au fait que les opérateurs ont un niveau d'anglais insuffisant. Ils reconnaissent eux-mêmes cette lacune.

L'écart entre la procédure dans la documentation et l'opération demandée, le manque d'information ou parfois l'excès d'information rend également la consultation de l'information et la réalisation de la tâche difficiles. L'excès d'information entraîne une difficulté pour l'OM car celui-ci doit traiter une grande quantité d'informations. A l'inverse, le manque d'information lui cause une perte de temps dans la mesure où il doit chercher le reste d'information qui lui manque ailleurs, ce qui peut accroître le coût lié à la pression temporelle. En effet, il est obligé de lire le texte entièrement, ou même tourner plusieurs pages ou aller sur le réseau, par exemple pour savoir l'outillage spécifique à utiliser, à commander, et même pour connaître la fonction de celui-ci. Parfois, la procédure indique un outillage à utiliser mais aucune description de celui-ci n'est disponible dans la documentation. Ainsi, il arrive qu'il y a des outillages que les opérateurs n'utilisent jamais même s'ils sont indiqués dans la procédure, parce qu'ils ne savent pas à quoi ils servent. Ils travaillent « sans ». Il

arrive aussi à l'OM de réparer de très vieux équipements. Dans ce cas, l'OM doit utiliser à la fois les vieilles documentations et surtout tenir compte des SB (*Service Bulletin* qui contient des textes qui sont relatifs aux modifications à apporter au contenu de la documentation) et des fiches d'évolution qui ne sont pas disponibles au même endroit.

Ces difficultés sont communes aux deux types de formats, papier et électronique. Mais des caractéristiques liées à l'utilisabilité propres à chaque format existent également. Nous présentons alors l'utilisabilité de chacun des deux formats.

6.2.2.2.1. Utilisabilité de la documentation électronique

La présentation des informations peut varier d'une documentation à l'autre. Par exemple, pour un centre de maintenance visité, la liste d'outillage qui doit normalement se trouver au début de la documentation peut se trouver également à la fin de celle-ci ; la description d'un outillage spécifique qui devrait se trouver à l'intérieur même de la procédure où il est cité est à chercher ailleurs dans la documentation. Il faut se rendre à telle partie précise de la documentation. Les utilisateurs affirment que même après des années d'expérience dans le métier, ils éprouvent encore des difficultés à trouver les informations dont ils ont besoin.

L'une des difficultés également est que lorsqu'utilisateur clique sur un lien hypertexte relatif à l'information qu'il veut, le résultat donné par le système ne correspond pas au contenu attendu. Ainsi, la tâche de RI de l'utilisateur n'aboutit pas à ce qu'il s'attend à trouver. Celui-ci risque également de se tromper de lien, c'est-à-dire de cliquer sur un lien autre que celui qu'il vise. Le système ne peut pas détecter cette erreur. C'est la limite de l'efficacité des systèmes d'information non humains dans le traitement des demandes des utilisateurs, contrairement aux demandes formulées à un « humain », par exemple auprès d'un documentaliste qui, pour comprendre la demande, construit une représentation spécifique de la demande en vue de la compréhension du problème posé par la personne qui demande une information (Ciaccia, 2008).

La documentation électronique est efficace pour certaines actions, par exemple, pour chercher une pièce rapidement (l'utilisateur a la possibilité d'effectuer la recherche à partir de la référence ou à partir d'un lien hypertexte), ou encore pour avoir la vue globale de l'avion. Mais, selon les opérateurs en maintenance, pour suivre la procédure de réparation d'une panne, la documentation électronique est moins efficace. La visualisation des figures peut également être problématique quand celles-ci sont larges.

6.2.2.2. Utilisabilité de la documentation papier

L'utilisation de la documentation papier est coûteuse en effort et en temps. En effet, dans le cas de la MA, l'utilisateur est sans cesse conduit à tourner les pages pour rassembler différentes informations qui devraient être présentes ensemble sur la même page (par exemple, pour trouver les schémas correspondant à une procédure). Le temps passé pour la consultation de la procédure se répercute sur le temps de réalisation de la tâche de maintenance proprement dite. Cela a comme conséquence une pression temporelle encore plus importante qui entraîne une surcharge cognitive sur les opérateurs. La difficulté liée à la consultation de la documentation papier affecte ainsi la productivité et la performance de l'opérateur.

6.2.3. L'acceptabilité

L'acceptabilité est le sentiment positif ou négatif à l'égard du produit, l'intention d'utilisation en fonction de nombreux paramètres : motivation, affects, culture, valeurs (Tricot et al., 2003). Du point de vue de l'acceptabilité, la documentation électronique n'est pas utilisée pour différentes raisons :

- la représentation de l'outil et l'âge : sans même l'avoir utilisée, certains opérateurs, en majorité les plus âgés, pensent qu'il y a un risque de désorientation avec l'utilisation d'une documentation électronique et qu'ils ne sauront plus se repérer à l'intérieur de celle-ci. Certains opérateurs plus âgés pensent que la nouvelle technologie et donc la version électronique de la documentation est destinée aux plus jeunes qui ne risquent pas d'oublier leur but initial de RI. Cela confirme l'idée que le maintien et le traitement du but de la RI et les informations sont difficiles pour les plus âgés à cause du vieillissement cognitif (Chevalier, 2008) ;
- la représentation concernant les concepteurs : les concepteurs de la documentation électronique ne travaillent pas directement dans les ateliers et ne connaissent pas la réalité du métier. Certains opérateurs pensent donc qu'un support conçu par eux ne peut pas être efficace. Il y a une certaine méfiance des opérateurs vis-à-vis des concepteurs.
- la culture d'entreprise : dans certains centres de maintenance, l'usage est d'imprimer systématiquement la documentation électronique. On peut relever deux cas : dans certains centres, c'est l'opérateur lui-même qui fait la recherche sur le système électronique et imprime la procédure qui l'intéresse ; pour d'autres centres, c'est le service documentation qui imprime et met à la disposition des utilisateurs la version imprimée. Dans ce cas, parfois l'opérateur ne sait pas à quoi ressemble vraiment la version électronique à partir de laquelle la

version papier a été imprimée. Ils ne sont donc pas en mesure d'évaluer l'utilité ni l'utilisabilité du système d'information électronique.

Pour les opérateurs de maintenance, la consultation de la documentation au cours du travail peut être une charge lourde car ils doivent gérer en même temps la tâche technique (la progression, l'exactitude de celle-ci par exemple). Mais tout dépend, selon eux, de la façon dont est conçue la documentation, certaines documentations étant faciles à utiliser. Pour les opérateurs, une documentation difficile à utiliser est une documentation qui contient des explications vagues sur les procédures. L'effort à faire pour la compréhension est coûteux. Une documentation facile serait celle dont les tâches sont bien expliquées, les informations bien présentées.

Comme précisé précédemment, cette étude sur le terrain visait également de récolter des informations sur le contexte de la tâche de maintenance aéronautique et la relation entre celle-ci et la DMA. Les résultats sont présentés dans la section qui suit.

6.3. Résultats complémentaires : catégorisation des tâches de maintenance aéronautique

L'étude nous a également permis de constater une autre caractéristique des tâches de maintenance aéronautique qui consiste au fait que celles-ci, selon la prescription mais pas selon certains usages, ne sont pas limitées à la seule tâche technique pour réparer une panne par exemple. Elles peuvent être divisées en deux parties : la tâche de préparation et la tâche de réalisation. Chacune des deux tâches se subdivise à son tour en deux sous-catégories : la tâche principale et la tâche secondaire. La tâche principale correspond à la tâche technique proprement dite (inspection, réparation, etc.), celle qui fait l'objet de l'intervention, tandis que la tâche secondaire consiste en l'utilisation de la DMA pour chercher et consulter les différentes informations concernant la tâche technique ou principale. La tâche secondaire joue le rôle de support à la tâche principale.

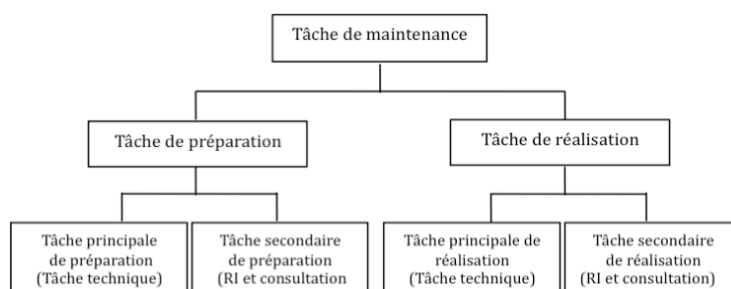


Figure 37 - Catégorisation des tâches de maintenance aéronautique

La tâche principale de préparation est directement liée à la maintenance (par exemple : commande de pièces) tandis que la tâche secondaire de préparation correspond à la consultation de la documentation pour exécuter la tâche principale (pour l'exemple de la commande de pièces, la tâche secondaire consiste en la consultation des références des pièces).

La tâche principale d'exécution se réfère à la tâche technique réelle, c'est-à-dire à l'intervention effectuée directement sur l'avion ou sur un système ou pièce. La tâche secondaire d'exécution est relative à la consultation de la documentation pour la réalisation de la tâche technique (lecture de la procédure, par exemple).

Des exemples sont donnés dans le tableau ci-dessous pour illustrer cette catégorisation.

Tableau 7 - Catégorisation des tâches - Exemples

Tâche de préparation		Tâche d'exécution	
Tâche principale	Tâche secondaire	Tâche principale	Tâche secondaire
Vérification de la disponibilité des pièces nécessaires	Consultation de la liste des pièces	Démontage d'un système	Lecture de la procédure

La tâche secondaire est considérée comme une activité de RI selon les définitions que nous avons mentionnées précédemment (Chapitre II).

Les résultats de cette étude exploratoire nous ont permis de mettre à jour le modèle de processus de la RI en maintenance informatique établi par Zafiharimalala & Barnard (2007) (cf. Figure suivante).

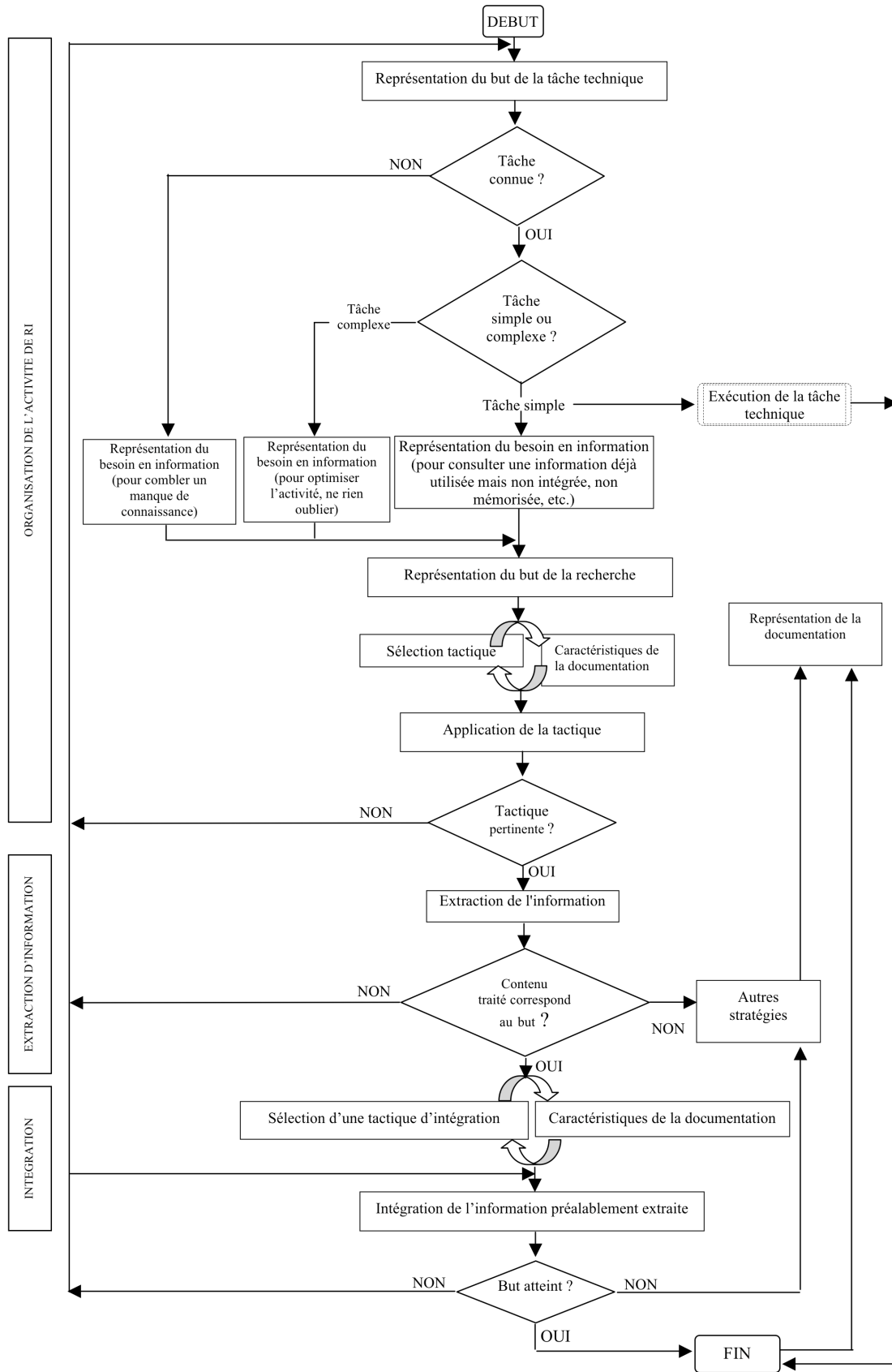


Figure 38- Modèle du processus de RI en maintenance aéronautique de Zafiharimalala & Barnard (2007) modifié

Dans le chapitre 2 de la Partie 1, nous avons présenté un modèle relatif au processus de RI dans la documentation de maintenance établi par Zafiharimalala et Barnard (2007). Certaines informations issues de cette étude exploratoire sur l'utilisation de la documentation nous entraînent à préciser et à compléter ce modèle dont la version modifiée est présentée ci-dessus.

Par rapport à la première version, ce modèle modifié précise qu'après avoir pris connaissance de la tâche technique à faire, l'opérateur de maintenance se pose d'abord une question avant de se faire une représentation du besoin en information. Cette question est relative au fait si la tâche technique à faire est une tâche connue par l'opérateur ou une tâche nouvelle. Sa représentation du besoin est alors fonction de la réponse à cette question. S'il s'agit d'une nouvelle tâche pour lui, son besoin en information découle du manque de connaissances pour réaliser la tâche (cf. Tricot & Rouet, 2004). En revanche, si la tâche est une tâche qui lui est familière (connue), il se pose alors une deuxième question qui est de savoir s'il s'agit d'une tâche simple ou d'une tâche complexe (par tâche complexe, on attend une tâche composée de plusieurs sous-tâches différentes, et donc le plus souvent contenant plusieurs étapes). Si l'opérateur est en face d'une tâche connue mais complexe, son besoin en information a pour but d'optimiser son activité, par exemple en évitant d'omettre une ou des étapes de la tâche. S'il doit réaliser une tâche connue mais simple (composée d'une seule tâche par exemple) :

- soit il réalise la tâche sans avoir aucun besoin en information car il possède déjà les connaissances nécessaires « Non, non, je ne lis pas tout à chaque fois car je l'ai déjà lu » (OP4) ; « C'est quelque chose qu'on fait régulièrement. La carte (la DMA), je n'ai pas besoin de la consulter. Je ne l'ai même pas là. Puis, ce n'est pas une grosse tâche de maintenance comme le dépose d'hélice. Je sais la faire...» (OP10) ;

- soit son besoin d'information est justifié par le fait que l'information dont il a besoin est difficilement mémorisable (la suite de chiffres qui composent la référence d'une pièce par exemple), donc n'a pu être intégrée dans sa mémoire lors des précédentes utilisations (« J'aurai juste besoin de consulter tout ce qui est valeur de serrage, référence de joint ou d'outillage, les matériels à utiliser, les nettoyeurs, tout ce que je ne peux pas retenir », OP10).

A la phase « représentation du but de la recherche », l'opérateur fait le choix entre la consultation de la procédure entière, ou une section particulière de celle-ci seulement, ou encore une information isolée incluse dans la procédure comme dans l'exemple du témoignage de l'OP1 : « on va lire ce qui nous intéresse. ... On utilise le chapitre test, le

chapitre démontage, le chapitre outillage spécifique, les valeurs de couple de serrage, les graphiques à la fin ».

A la phase « autres stratégies » : quand l'opérateur n'arrive pas à localiser l'information dans la documentation, cela entraîne un changement dans sa représentation de la documentation (la documentation est mal structurée, mal présentée, difficile à utiliser, etc.) : « Ce n'est pas fait pour de la maintenance. Nous là-dedans, c'est à nous de choisir par où commencer. Elle ne vous dit pas, si vous avez un tel cas de panne, faites comme ça, ça » (OP1) ; Elle ne prévoit pas les différentes sous-tâches, les différentes opérations de réparation possibles qu'un réparateur peut faire sur un équipement. Elle ne dit pas pour tel cas de panne, référez-vous à telle partie de la doc » (OP2).

7. Vers une définition d'une documentation idéale

À partir des informations recueillies lors de la revue de littérature, des observations et des entretiens sur le terrain, nous avons essayé de déterminer ce qui constituerait une documentation idéale pour soutenir efficacement la tâche de l'opérateur de maintenance.

Cette documentation idéale permettrait de rechercher l'information à moindres coûts du point de vue cognitif, physique et temporel. En effet, le gain obtenu par la tâche de RI se répercuterait sur la performance de l'opérateur à exécuter la tâche principale (tâche de maintenance). Selon Kerr (1973), « quand deux tâches sont exécutées simultanément, comme ce sont les besoins en capacité de la première tâche qui sont prioritaires, la performance de la deuxième tâche pourrait donner une mesure des ressources mentales restantes non utilisées par la première tâche, et du degré de la difficulté ou de la charge cognitive associée à la première tâche ». Dans ce cas, on peut parler de la double tâche.

Nous avons défini ce document idéal à partir de certains critères. Ces critères concernent principalement la présentation des informations car, d'après Marcus et al. (1996), deux facteurs influencent la meilleure compréhension des instructions : la complexité intrinsèque de l'information et la manière dont l'information est présentée.

7.1. La présence de photos des pièces ou équipements à réparer et/ou à entretenir

Selon les utilisateurs, cela permettra d'avoir une documentation plus claire et plus conviviale que de simples schémas comme ceux qui sont présents dans la documentation actuelle. Des informations importantes pour la tâche tel que la localisation des pièces et les branchements sont plus explicites. Les schémas existants peuvent entraîner les opérateurs à des erreurs.

D'autre part, leur utilisation demande beaucoup plus d'effort que celle des photos (d'après les observations effectuées auprès de mécaniciens).

Selon la littérature (Macedo-Rouet, 2006), un document multimédia, i.e. la combinaison d'informations verbales (textes) et picturales (images) aide à la compréhension, à condition que les images soient pertinentes par rapport au texte. Ainsi, l'utilisation d'image « décorative » est à bannir.

L'utilisation des images a des impacts sur la compréhension des documents. Les effets du multimédia sur la compréhension sont liés au traitement des informations dans la mémoire humaine. Lorsque l'on lit un document, on fait appel à la mémoire à court terme ("mémoire de travail") pour stocker des informations lues. Or, la mémoire à court terme a une capacité de stockage limitée et elle est vite surchargée. Cependant, les informations verbales et visuelles sont traitées par deux canaux différents dans la mémoire. Le fait d'utiliser du texte+images répartit le traitement de l'information entre les canaux, allège la tâche de traitement, et diminue la charge cognitive. Il est moins coûteux de traiter un document où texte et image se complètent que de traiter un texte seul contenant au total les mêmes informations (Macedo-Rouet, 2006).

Toutefois, utiliser le multimédia à la place d'un texte seul demande beaucoup plus de réflexion si on veut que cela ait des effets bénéfiques sur la charge cognitive. Mayer et Moreno (2002) proposent quelques recommandations, à savoir :

- présenter texte et image plutôt que texte seul ;
- utiliser des images pertinentes par rapport au texte ;
- placer les images près du texte qui leur correspond ;
- utiliser un style informel dans le texte.

7.2. Présence d'illustration (exemple animation 3D)

Cela permettrait d'avoir une vue globale de l'avion et un aperçu de l'emplacement de la pièce sur l'avion. D'après les utilisateurs rencontrés au cours des observations, ces informations sont utiles pour réparer la panne et expliquer par exemple l'état dans lequel se trouve la pièce à réparer quand celle-ci arrive dans l'atelier.

Selon Tapie et *al.* (2006), l'animation 3D présente différents avantages : clarté des informations, orientation spatiale, bonne visualisation de la tâche, bonne compréhension de la

tâche, point de vue global, un moyen pour reconnaître un système et les composants, un moyen pour identifier la localisation des vis, convivialité, etc. Ces avantages correspondent à certaines caractéristiques d'une bonne documentation voulue par les utilisateurs selon les données recueillies au cours des observations sur le terrain et les entretiens. Une étude en cours traite de cet aspect sur l'utilisation de l'animation 3D en maintenance aéronautique¹⁴.

La question est de savoir quels éléments doivent être représentés car il faut être attentif au type d'informations à illustrer. En effet, d'après Macedo-Rouet (2006), une image statique peut être plus efficace pour la compréhension qu'une image dynamique. Tversky et *al.* (2002) souligne que « les images simplifiées, même statiques sont plus intéressantes à utiliser, y compris dans le cas de concepts dynamiques (par exemple, le fonctionnement d'une pompe à vélo ». Macedo-Rouet (2006) propose des recommandations pour le matériel pédagogique mais qui sont également valables pour une documentation procédurale. Ainsi, une animation illustrant un matériel pédagogique doit suivre les recommandations suivantes

- bien représenter le phénomène en question et être facile et rapide à percevoir
- plus schématique que réaliste (trop de détails la rendent complexe à comprendre)
- l'utiliser pour des changements continus dans le temps pour lesquels elle est plus appropriée que pour des changements pas à pas
- contrôlable par l'utilisateur (arrêter, avancer, revoir, faire un zoom sur une partie, etc.)

7.3. Textes concis et clairs

La documentation doit permettre à l'utilisateur de « lire pour faire », d'effectuer une lecture « au service de l'action » (Ganier & Heurley, 2005). Le problème de la documentation actuelle, compte tenu de la difficulté sur la langue anglaise, est que les opérateurs effectuent inévitablement une lecture pour comprendre afin d'effectuer l'action. Plus les phrases sont longues, plus la consultation de la documentation leur demande d'effort supplémentaire. Les lignes très longues ou très courtes, ralentissent la lecture en contrariant les séquences de mouvements oculaires (Caro Dambreville, 2007). Cela entraîne alors un coût temporel supplémentaire. Une documentation avec des textes concis et clairs permettrait d'éviter la surcharge liée à la double tâche qui est la consultation de la documentation couplée avec la tâche de maintenance proprement dite.

¹⁴ « Usage et bénéfices de la 3D en maintenance aéronautique », Thèse de doctorat menée par David Robin.

La documentation doit permettre en même temps une lecture intégrale et une lecture opportuniste. La documentation doit être utilisable par un utilisateur qui choisit « d'atomiser son action » (Ganier & Heurley, 2005), c'est-à-dire qui procède par étape en fragmentant son activité, donc en alternant consultation de la documentation et action. Ceci pour tenir en compte des stratégies des utilisateurs lorsqu'ils consultent la documentation (Barnard et al., 2007), à savoir : recherche d'une information précise, lecture de la procédure dans son intégralité pour en prendre connaissance, vérification d'une information spécifique, connaissance du système et apprentissage de son fonctionnement. Ainsi, avant d'effectuer une action, l'opérateur lit le paragraphe correspondant à l'étape qu'il va exécuter.

L'harmonisation du texte serait donc nécessaire, car d'après les opérateurs rencontrés au cours des observations sur le terrain, il n'y a aucune cohérence dans l'organisation du texte, ce qui les oblige, pour la documentation papier, de feuilleter sans cesse celle-ci, et pour la documentation électronique d'aller sur d'autres pages pour retrouver la suite de la procédure. Ainsi, il serait plus efficace de diviser le texte de la procédure en différents paragraphes. Chaque paragraphe doit comporter un titre pour faciliter davantage la localisation de l'information. Mais il est nécessaire de déterminer quels éléments vont constituer le titre pour qu'il soit un moyen efficace pour la RI.

7.4. Utilisation de la MFM de certains éléments de la procédure

D'après Britton et al. (1982), Spyridakis et Standal (1987) cités par Lemarié (2008), les signaux sont des dispositifs textuels tels que les titres, les énumérations ou les vues d'ensemble dont la fonction est d'indiquer au lecteur l'importance d'une idée et de révéler les relations que les idées du texte entretiennent. Ces signaux, la Mise en Forme Matérielle (MFM), doivent servir de guide pour la consultation de la documentation par les utilisateurs. Dans le cas de la DMA, cette mise en saillance peut prendre la forme de propriétés typographiques (mise en gras, en italique, etc.) ou de propriétés dispositionnelles (saut de ligne, indentation) (Terrier et al., 2005), ou encore de couleur pour distinguer les éléments et informations importants. Ainsi, plutôt que de parcourir intégralement à chaque consultation la documentation, l'utilisateur repère uniquement les éléments mis en saillance (par exemple, les caractères en gras des titres leur permettent de ne s'intéresser qu'à ces parties pour chercher le paragraphe ou la partie de la procédure voulue). Ces titres peuvent servir de repères à l'utilisateur afin d'effectuer une auto-évaluation, pour savoir à quelle étape de la procédure il se trouve (Ganier, 2002).

Certaines documentations utilisées actuellement comportent des figures en noir et blanc. Pour les figures montrant des branchements, par exemple, la couleur est inscrite en dessous de chaque fil. Les utilisateurs préfèrent directement des figures en couleurs pour éviter de passer par la lecture des légendes écrites en tout petit caractère.

7.5. Documentation avec les informations jugées utiles par les utilisateurs

Des informations importantes pour les utilisateurs, telles que les informations sur les fonctions des systèmes ou pièces à réparer ainsi que leur emplacement dans l'avion, manquent souvent dans la documentation alors qu'elles sont utiles pour les opérateurs. Dans leurs travaux concernant l'utilisation des instructions pour une tâche d'assemblage, Bieger et Glock (1984) ont fait ressortir que la présence à la fois de trois types d'information, à savoir l'information procédurale qui indique comment s'y prendre à chaque étape de l'assemblage, l'information spatiale qui indique l'emplacement des pièces et leur orientation spatiale et l'information contextuelle qui indique la fonction du produit fini permettrait d'avoir un temps d'assemblage significativement plus court et un nombre d'erreurs significativement moins élevé.

7.6. Signalisation des changements ou mises à jour

Selon les opérateurs, les mises à jour ne sont pas signalées de façon efficace ou sont mentionnées assez tardivement dans le support, ce qui les amène souvent à travailler avec une documentation obsolète.

8. Conclusion

Au début de cette section, nous avons mentionné que cette étude était de caractère exploratoire en raison du manque d'informations disponibles concernant le contexte de la maintenance aéronautique et l'utilisation de la documentation. Dans ce contexte, l'efficacité et l'efficience de la documentation passent comme des éléments prioritaires au détriment de la sécurité qui est la raison principale de la prescription de l'utilisation systématique de la DMA. Les résultats qui en résultent nous offrent plus de connaissances en ce sens ainsi que sur les points de vue des utilisateurs sur la qualité de la DMA et ce qu'ils espèrent avoir comme amélioration pour celle-ci. Nous avons pu avoir l'opinion des utilisateurs particulièrement concernant la non-utilisation de la documentation. Cela nous a permis de comprendre, même seulement en partie, les raisons pour lesquelles l'OM n'utilise pas cet outil malgré la fonction légale de celle-ci et la prescription des autorités légale et hiérarchique. Il est à noter que les

OM qui utilisent systématiquement la DMA ne sont ni le responsable d'atelier ni le responsable de qualité qui ont participé à nos études. Nous avons vu que les raisons de la non utilisation de la DMA évoquées par les OM se rapportent principalement à la qualité de la présentation et de la structure ainsi que le contenu de la DMA. Le contexte « physique » (pression temporelle, contraintes environnementales, etc.) sont autant de raisons qui affectent l'utilisation de la documentation. Les résultats montrent également qu'il y a un lien entre l'utilisation de la documentation et la tâche de maintenance à exécuter qui détermine le type d'information nécessaire et la manière d'y accéder et de la consulter. Actuellement, même si des changements ont lieu dans le but de mettre à la disposition des utilisateurs une documentation contextualisée (dans le sens « adaptée à l'utilisateur, à la tâche et au contexte d'utilisation »), il est encore courant de trouver que la même et unique documentation est utilisée pour toute tâche dans tout contexte. Une étude prenant en compte les différents types de contexte physiques tels que la localisation de la tâche (dans le hangar, sur l'avion, sur le tarmac, etc.), l'environnement de la tâche (différents niveaux lumineux, sonores) est nécessaire afin de fournir une documentation qui assure toutes les fonctions qui lui sont assignées : un document légal et particulièrement un support efficace de la tâche de maintenance, c'est-à-dire un support qui permet à l'utilisateur de chercher et de consulter une information d'une façon moins coûteuse sur les plans cognitif, physique et temporel, tout en sachant que les trois peuvent être liés. Du point de vue légal, l'opérateur n'est pas sollicité à acquérir une automatisation pour la réalisation de la procédure. Toutefois, la littérature dit que la résolution efficace des problèmes demande au moins un certain degré d'automatisation (Kotovsky, Hayes, & Simon, 1985). Ce degré d'automatisation permettrait un gain de temps par exemple pour la résolution d'un problème de panne en maintenance aéronautique. En effet, les schémas automatiques de résolution de problème permettent de reconnaître instantanément à quelle catégorie particulière relève un problème. Si le schéma pertinent n'est pas automatisé, on a besoin de prendre en considération attentivement l'information avant de savoir la catégorie à laquelle relève l'information. Selon Marcus et *al.* (1996), l'automatisation permet de traiter l'information en sollicitant au minimum la MDT. La question est de savoir à quel degré cette automatisation devient critique pour la sécurité dans le domaine aéronautique.

Dans l'objectif de rendre l'utilisation de la DMA plus efficace en réduisant les coûts qui y sont liés, l'utilisation du petit écran pour la recherche et la consultation d'information destinée à la réalisation de la tâche de maintenance est envisagée. Pour cela, deux aspects doivent être

pris en compte : la présentation et l'affichage de l'information et la portabilité du matériel à petit écran. Ces deux aspects feront l'objet de la suite de notre document. Dans un premier temps, nous présenterons l'étude effectuée sur l'utilisation des appareils mobiles à petits écrans pour la recherche et la consultation de l'information, puis nous présenterons l'étude sur leur portabilité dans le contexte « physique » de la maintenance aéronautique.

CHAPITRE 2. EXPERIMENTATION SUR L'UTILISATION DU PETIT ECRAN POUR LA RECHERCHE ET LA CONSULTATION DE L'INFORMATION EN MAINTENANCE AERONAUTIQUE

1. Introduction

L'étude sur la consultation de la documentation de maintenance aéronautique sur petit écran constitue la suite logique de l'évolution de cette même documentation de la version papier à la version numérique. En effet, cette évolution est considérée comme un progrès en raison des différents moyens mis à la disposition de l'utilisateur pour naviguer et interagir avec le système dans le but de consulter, de chercher et parfois d'ajouter des informations. Toutefois, lors de l'utilisation de la version électronique, les utilisateurs expriment la nécessité de bénéficier à la fois de la mobilité que leur offre la version papier et des fonctionnalités disponibles sur la version électronique. Actuellement, la plupart des documentations électroniques sont consultées sur un écran standard (PC avec un écran de 15 ou 17 pouces).

L'objectif de cette étude est de contribuer à la conception d'une documentation de maintenance adaptée à la fois aux supports mobiles (PDA), à l'utilisateur et au contexte de la maintenance aéronautique. Certains éléments des résultats pourraient toutefois être généralisés aux systèmes d'informations utilisés comme support de travail (par exemple l'étude de l'affichage des informations afin de minimiser l'effort de l'utilisateur).

Cette expérimentation touche deux problématiques issues de la littérature. La première concerne l'impact du format de l'écran sur la performance de l'utilisateur. En effet, selon la littérature, les appareils à petits écrans ont des conséquences (négatives) sur la performance de l'utilisateur (Jones, Buchanan, & Thimbleby, 2002). La deuxième problématique traitée concerne la caractéristique de l'application utilisée pour la recherche et la consultation de l'information (RCI) du point de vue du format de l'écran pour lequel elle a été conçue (application pour écran standard et application pour petit écran). En effet, comme mentionné plus haut, utiliser les appareils mobiles pour consulter ou interagir avec la documentation ne consiste pas en un simple ajustage de la présentation de l'information sur grand écran vers le petit écran (Noirhomme & al., 2005). Dans cette étude, il s'agira aussi de vérifier l'impact négatif sur la performance de l'utilisateur de la consultation d'une documentation conçue pour un appareil à écran standard sur un appareil à petit écran et vice-versa.

Dans un premier temps, nous présenterons la méthodologie utilisée dans les expérimentations. Ensuite, les résultats seront présentés sous deux catégories : les résultats quantitatifs et les résultats qualitatifs. Enfin, des solutions seront proposées afin de résoudre les problèmes constatés lors de l'utilisation de la documentation et de répondre aux besoins formulés par les utilisateurs.

2. Objectif

L'objectif de l'expérimentation consiste tout d'abord à évaluer de façon empirique l'application Tarmak qui présente une documentation conçue pour le petit écran (type PDA) en identifiant les défauts du système, les types d'erreurs que l'utilisateur pourrait effectuer en l'utilisant, le temps consacré à la recherche, la consultation et l'extraction d'information, et d'autre part à proposer des recommandations pour l'affichage et la présentation des informations sur petit écran. Le but recherché étant l'efficacité de l'utilisateur dans ces tâches documentaires ou informationnelles. L'expérimentation vise à la fois à récolter des informations quantitatives objectives (sur le comportement de l'utilisateur avec le système) et des informations qualitatives subjectives (opinions/commentaires des participants à propos de l'utilisation du système). Les performances des utilisateurs lors de l'utilisation de l'application pour grand écran (AirN@v) et l'application pour petit écran (Tarmak) sont comparées. Des détails supplémentaires sur ce point sont donnés dans la partie méthodologie.

3. Méthodologie

Au cours de l'expérimentation, le participant effectue une tâche de consultation d'un document procédural qui a donc pour but la réalisation d'une action et vise à guider l'opérateur par une liste d'instructions organisées dans la réalisation d'une tâche (Montmollin, 1997 ; Cellier, 2005 ; Heurley, 1994) et à lui fournir les définitions et les descriptions des conditions des actions et les résultats de celles-ci (Kieras & Bovair, 1984). Il est placé dans une situation proche de certaines situations de travail dans lesquelles il doit chercher et collecter des informations en vue d'exécuter une tâche de maintenance.

3.1. Population

Les participants aux tests sont au nombre de 45. Ils relèvent de deux catégories du point de vue de l'expertise en maintenance aéronautique : des opérateurs de maintenance experts et des opérateurs de maintenance novices. Les experts (N=17 ; femmes=2 ; hommes=15) sont des opérateurs de maintenance ayant au moins six années d'expérience dans le métier. Les

novices (N=28, femmes =3 ; hommes=25) sont des élèves en formation de maintenance aéronautique, de niveau BTS première et deuxième années, au Lycée Saint-Exupéry de Blagnac. Ils peuvent être divisés en deux catégories compte tenu de leur cursus avant cette formation : ceux qui sont issus du cursus scolaire normal et qui n'ont aucune connaissance en aéronautique, et ceux qui possèdent déjà des connaissances en aéronautique mais n'ont jamais utilisé la documentation de maintenance.

3.2. Matériels

Les matériels utilisés sont constitués de deux applications de consultation de documentations de maintenance, AirN@v et Tarmak, un livret de consignes, des stylos, des PC (15 et 17 pouces), des PDA (HTC SMARTPHONE X9500 SHIFT – 7 pouces), un logiciel traceur, un serveur.

3.2.1. Présentation de l'application Tarmak

Nous présentons l'application Tarmak à travers une évaluation ergonomique de son interface par comparaison avec celle de l'iPhone. Cette évaluation porte sur la version de l'iPhone existant lors de la conduite de cette étude. L'iPhone a été choisi pour cette comparaison en raison de son niveau d'utilisabilité jugé comme acceptable du fait de la qualité de son interface.

L'étude est fondée sur les critères ergonomiques définis par Bastien et Scapin (1993) : guidage, charge de travail, contrôle explicite, adaptabilité, gestion des erreurs, homogénéité/cohérence, signification des codes, compatibilité. Ces critères englobent les quatre principes définis par Norman (1988). Selon ces principes, les systèmes utilisables (notre traduction) :

- assurent un haut degré de visibilité en permettant à l'utilisateur de comprendre l'état courant du système et les actions possibles ;
- fournissent des retours en donnant des informations permanentes et claires sur les résultats des actions ;
- présentent un bon modèle de concept en permettant à l'utilisateur de se construire une représentation correcte des relations entre les différents composants et du moyen disponible pour passer d'un état donné à l'état suivant ;
- offrent de bons schémas qui présentent clairement les relations entre les actions entreprises par l'utilisateur et les résultats obtenus.

Le choix des critères de Bastien et Scapin (1993) est également justifié par le fait qu'ils répondent à des exigences liées au fonctionnement de l'humain et sont à l'origine des normes d'évaluation et de conception de produits. De plus, ils recouvrent les éléments des heuristiques de Nielsen (1994) et surtout s'adaptent aux différents contextes et interfaces (web, logiciel, etc.).

Chacun des critères de Bastien & Scapin (1993) dont nous nous servons dans cette étude sera défini au fur et à mesure au cours de l'analyse.

3.2.1.1. Guidage

Le guidage de l'utilisateur se réfère à l'ensemble des moyens mis en œuvre pour conseiller, orienter, informer, et conduire l'utilisateur lors de ses interactions avec le système (messages, alarmes, labels, etc.). Ce critère se subdivise en quatre sous-critères : l'incitation, le groupement/distinction des items, la réponse (*feedback*) immédiate, et la lisibilité.

3.2.1.2. Incitation

Ce critère se réfère aux moyens mis à la disposition de l'utilisateur pour l'amener les utilisateurs à effectuer des actions spécifiques, à connaître les alternatives quand plusieurs actions sont possibles en fonction du contexte dans lequel ils se trouvent. Il correspond également aux informations relatives aux différents états courants : état et/ou contexte du système, état ou contexte dans lequel se trouvent les utilisateurs, les outils d'aide disponibles et leur accessibilité.

3.2.1.2.1. Incitation dans Tarmak

Dans Tarmak, certains éléments facilitent la navigation de l'utilisateur, tels que ceux qui indiquent la localisation de l'utilisateur dans le système et la nature de la page courante. Ces éléments sont :

- les indications *login* et *password* sur la page d'accueil (cf. Figure 30) ;
- la liste des applications sur la deuxième page. Cette liste constitue un repère pour l'utilisateur et le guide dans sa navigation (choix de la destination, information sur les autres destinations accessibles sur les systèmes) ;



Figure 39 - Le guidage à partir de la liste des applications dans l'application Tarmak

- le titre surligné en blanc en haut à gauche de la fenêtre indique à l'objet de la page (*application, Job card 1/1, fault causes*) et la localisation de l'utilisateur dans le système.

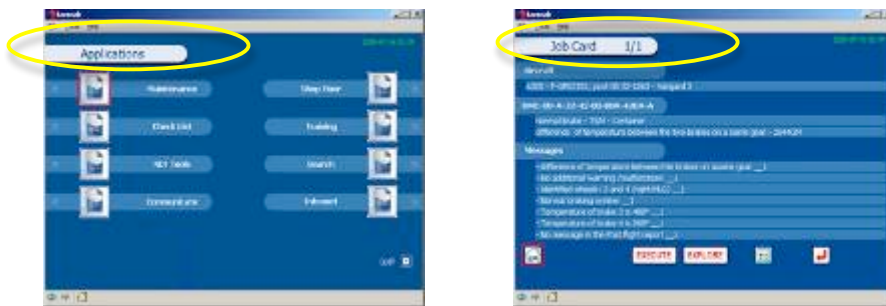


Figure 40 - le guidage à partir du titre dans l'application Tarmak

Toutefois, les titres ne sont pas permanents car ils disparaissent dans les pages suivantes (cf. Figure 41). L'utilisateur pourrait ainsi se retrouver en désorientation.



Figure 41 - Exemple d'une page sans titre dans l'application Tarmak

- la barre de progression en bas de chaque page offre une indication à l'utilisateur concernant sa progression dans la tâche principale et ainsi dans la documentation ;

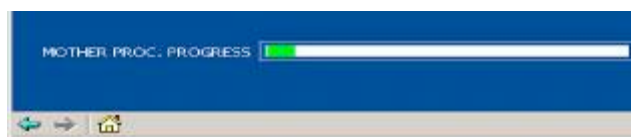


Figure 42 - la barre de progression comme guidage dans l'application Tarmak

- les flèches suivantes/précédentes, l'icône « accueil » (matérialisée par la petite maison) guident l'utilisateur et lui suggère les directions disponibles ;



- le fait d'avoir l'intitulé de la page suivante inscrit sur le bouton permettant d'y accéder (par exemple, le bouton sur lequel est inscrit *supplies* permet d'accéder à la page suivante qui contient la *supplies list*) rassure l'utilisateur.

3.2.1.2.2. Incitation dans l'Iphone



L'incitation dans l'Iphone se matérialise par l'utilisation d'icônes et de titres.

3.2.1.2.3. Les icônes

Certaines icônes représentent efficacement les actions auxquelles elles se réfèrent. C'est le cas des icônes qui sont les plus fréquemment utilisées dans la vie quotidienne et donc facilement interprétable par l'utilisateur, comme l'icône représentant l'horloge pour l'alarme, l'icône représentant le soleil pour la météo.

D'autres icônes sont, au contraire, difficilement interprétables sans le texte qui les accompagne. Tel est le cas pour l'icône pour la prise de photographie représentée par une fleur  ou l'icône pour la prise de notes .

Les icônes qui ne contiennent que du texte sont également efficaces du fait que l'action qui résulte de leur utilisation est facilement compréhensible par l'utilisateur à travers ce texte, par exemple :

- « SMS » pour l'icône qui correspond aux actions liées aux SMS  ;
- « Tuesday 9 » pour le calendrier .

3.2.1.2.4. Les titres

Les titres se situent toujours au même endroit de chaque page (centré dans la partie supérieure), du moins pour celles qui en contiennent.



Figure 43 - Les titres de page dans l'Iphone

A partir du portail, l'utilisateur dispose d'une vue globale des applications disponibles, ce qui constitue un guide et des repères pour lui.



Figure 44 - La liste des applications dans l'Iphone

3.2.1.3. Groupement/distinction entre les items

Ce critère correspond à l'organisation visuelle des items d'information les uns par rapport aux autres (localisation, format) et l'organisation des items dans une classe (leur appartenance ou non appartenance à une même classe d'items).

3.2.1.3.1. Groupement/distinction des items dans Tarmak

Les commandes de navigation et de déplacement se trouvent en bas de la page. De plus, tous les titres sont ajustés à gauche. Concernant le format d'information, les flèches rouges semblent ne pas être cohérents avec les couleurs et la taille des autres items de la page (cf. Figure 45).

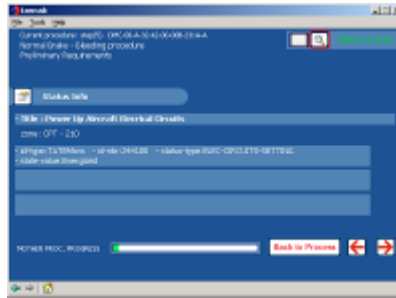


Figure 45 - La disposition des titres dans Tarmak

3.2.1.3.2. Groupement/distinction des items dans Iphone

La disposition des items sur la configuration par défaut présente sur le système lors de l'achat de celui-ci présente le groupement d'icônes en bas de la page. Trois des quatre icônes présentées sont destinées aux communications extérieures (appel téléphonique, mail, navigation internet), ce qui permet à l'utilisateur de repérer facilement ces services utilisés fréquemment. Ce groupement d'icônes correspond pour la marque à la présentation du concept même de l'iPhone (l'iPhone est la combinaison de l'iPod, du téléphone et d'internet). Mais sur le plan stricte de l'utilisabilité, l'appartenance de la quatrième icône dans ce groupe d'items qui est relative à l'iPod semble discutable.



Figure 46 - Groupement dans l'Iphone

3.2.1.4. Réponse immédiate

C'est un critère qui concerne la réponse du système suite aux actions de l'utilisateur (par exemple : un clique). Les réponses du systèmes doivent s'effectuer dans les plus brefs délais, avec un délai de réponse approprié et homogène selon les types de transactions.

3.2.1.4.1. La réponse immédiate dans Tarmak

Dans Tarmak, les réponses données à l'utilisateur sont immédiatement visibles, par exemple par le surlignage en blanc et le changement de la couleur des caractères qui passe du blanc au rouge d'un item sélectionné par l'utilisateur.

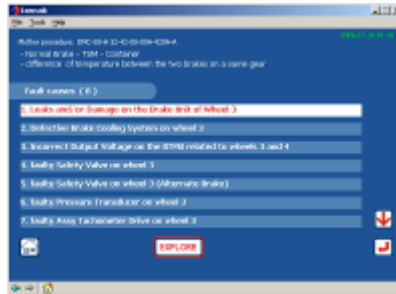


Figure 47 - Feedback dans Tarmak

3.2.1.4.2. Réponse immédiate dans l' iPhone

Le système réagit aux actions de l'utilisateur assez rapidement. De plus, quand l'utilisateur clique sur une icône, celle-ci devient moins brillante. La réponse du système se traduit par une baisse du niveau de luminosité de l'icône.

3.2.1.5. La lisibilité

La lisibilité concerne les caractéristiques de présentation des informations pouvant entraver ou faciliter la lecture de ces informations (luminance, contraste entre les caractères et le fond, la dimension des objets, espace entre les mots et les lignes, longueur des lignes, etc.).

3.2.1.5.1. La lisibilité dans Tarmak

Dans l'application Tarmak, le contraste entre le texte qui est en police de couleur blanche et le fond de l'écran en bleu foncé offre un bon degré de lisibilité. La présentation des items (supplies, explore, etc.) dans un encadré clair de couleur blanche (cf. Figure 47) offre un bon contraste avec le fond bleu foncé. De plus, la disposition bien espacée des items facilite la consultation. Les lignes ne sont pas trop longues (elles contiennent moins de 100 caractères) et le nombre de couleurs utilisées respecte la recommandation ergonomique qui est l'utilisation de moins de 7 couleurs (Williges & Williges, 1984).

3.2.1.5.2. La lisibilité dans l'iPhone

Dans l'iPhone, l'écran est clair et adopte un bon contraste. En effet, quand le texte est écrit avec des caractères de couleur claire, le fond est sombre, et vice-versa.

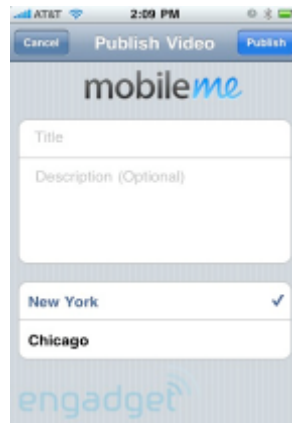


Figure 48 - Le contraste dans l'iPhone

Les icônes sont suffisamment espacées sur le portail. Cela permet à l'utilisateur d'appuyer sur une autre icône que celle qu'il cible. De plus, globalement, les lignes sont suffisamment espacées et de longueur acceptable (généralement formée d'un seul mot, parfois avec deux mots et très rarement avec trois mots).

3.2.1.6. Charge de travail

Le critère charge de travail concerne l'ensemble des éléments de l'interface qui ont un rôle dans la réduction de la charge perceptive, mnésique ou physique des utilisateurs et dans l'augmentation de l'efficacité du dialogue. Il se subdivise en deux sous-critères : la brièveté (qui inclut les critères « concision » et « actions minimales ») et la densité informationnelle.

Une charge de travail élevé accroît les risques d'erreurs. De même, moins l'utilisateur sera distrait par des informations non pertinentes, plus il pourra effectuer sa tâche efficacement. Par ailleurs, les actions courtes permettent d'avoir des interactions plus rapides.

3.2.1.6.1. La charge de travail dans Tarmak

Concernant le critère de la brièveté, les étapes pour atteindre un but sont trop nombreuses. Par exemple, la page contenant la procédure se trouve 5 pages après le portail, ce qui correspond à cinq cliques si l'utilisateur suit le chemin normal et ne se perd pas.



Figure 49 - Les différentes étapes pour accéder à la page de procédure

Quant à la densité informationnelle, la disposition des informations dans Tarmak n'est pas coûteuse pour l'utilisateur en terme de durée de traitement et d'effort cognitif en raison de l'absence d'éléments inutiles qui pourraient perturber l'utilisateur.

3.2.1.6.2. La charge de travail dans l'iPhone

Concernant la brièveté, la séquence d'actions pour atteindre un but n'est pas très longue. Parfois, l'utilisateur doit interagir une fois seulement avec l'écran, par exemple dans le cas ces applications qui ne nécessitent pas trop de précision (un exemple d'application qui nécessite des précisions est celle pour les SMS dans la mesure où il faut préciser l'adresse d'envoi. Dans ce cas, plus d'une interaction sont nécessaires).

Pour ce qui est du critère densité informationnelle, tous les éléments présents sur chaque page de l'iPhone sont utiles à l'utilisateur et concernés par les actions que celui-ci a à effectuer pour la page courante. Aucun élément n'est superflu.

3.2.1.7. Contrôle explicite

Le critère « contrôle explicite » concerne d'une part la nécessité de prise en compte par le système des actions explicites des utilisateurs, et d'autre part, le contrôle dont disposent les utilisateurs sur le traitement de leurs actions. Il se réfère au fait que les utilisateurs devraient toujours avoir le contrôle du système (interruption, annulation, pause, continuation, etc.). Le contrôle de l'utilisateur peut correspondre à la réversibilité de son action. L'action explicite de l'utilisateur implique que le système traite seulement les actions demandées par l'utilisateur et uniquement quand il le demande, c'est-à-dire que les opérations ont lieu suite à des actions de l'utilisateur.

3.2.1.7.1. Contrôle explicite dans Tarmak

Dans l'application Tarmak, la présence de flèches directionnelles permet à l'utilisateur d'interrompre son action. Le système agit uniquement en réponse à l'action de l'utilisateur.

3.2.1.7.2. Contrôle explicite dans l'iPhone

Le bouton pour annuler et celui pour revenir au portail permettent à l'utilisateur un contrôle sur le système. De plus, le système opère uniquement à partir de l'action de l'utilisateur.

3.2.1.8. L'adaptabilité

Le critère de « l'adaptabilité » se réfère à la capacité du système à réagir selon le contexte, et selon les besoins et préférences des utilisateurs. Il est divisé en deux critères : la prise en compte de l'expérience de l'utilisateur et la flexibilité.

La prise en compte de l'expérience de l'utilisateur correspond aux moyens disponibles qui permettent de prendre en compte le niveau d'expérience de l'utilisateur. Quant à la flexibilité, elle se réfère aux moyens que dispose l'utilisateur pour personnaliser l'interface dans le but de prendre en compte ses stratégies de travail, ses habitudes et les besoins de la tâche effectuée. C'est la capacité de l'interface à s'adapter aux besoins spécifiques de l'utilisateur.

3.2.1.8.1. L'adaptabilité de Tarmak

- L'expérience de l'utilisateur


L'application ne prend pas en compte l'expérience de l'utilisateur. Ainsi, pour l'action d'identification (login), l'utilisateur s'attend à avoir le choix entre la touche entrée du clavier et le bouton « OK » pour valider son action au lieu d'avoir uniquement le deuxième (le bouton « OK »).

- La flexibilité

Des choix sont donnés à l'utilisateur pour atteindre le même objectif. Ainsi, la flèche « précédent » et la commande « go back to process » après la consultation du volet « status » permettent d'atteindre le même but. Toutefois, une deuxième flèche « précédent » de couleur rouge apparaît parfois et permet d'effectuer la même action. Cela pourrait présenter une redondance et causer une surcharge d'informations.

3.2.1.8.2. L'adaptabilité dans l'iPhone

- L'expérience utilisateur

Certaines icônes sont facilement reconnaissables par les utilisateurs habitués de la marque Apple (par exemple : l'icône de l'application calendrier affichant le jour et la date ). D'autres icônes ne sont pas intuitives mais le texte inscrit en dessous aide les utilisateurs à comprendre leur signification.

- La flexibilité

Le système ne présente aucune flexibilité. L'utilisateur dispose uniquement d'une possibilité pour accomplir une action ou pour atteindre un but.

3.2.1.9. La gestion des erreurs

Cela correspond aux moyens disponibles qui permettent d'une part d'éviter et réduire les erreurs (actions incorrectes, saisies de commandes avec une syntaxe incorrecte, etc.), et d'autre part de les corriger lorsqu'elles surviennent. Pour ce critère, la protection contre les erreurs et la qualité du message d'erreurs sont prises en compte.

3.2.1.9.1. Gestion des erreurs dans Tarmak

Dans Tarmak, quand l'utilisateur veut sauter une étape de la procédure, il doit confirmer et justifier cette action. C'est considéré comme un message d'erreur dans la mesure où l'OM est sensé consulter toutes les étapes relatives à une procédure de maintenance. C'est un moyen qui protège l'OM contre une erreur également qui se matérialise par un message qui lui demande de confirmer son action.

3.2.1.9.2. Gestion des erreurs dans l'iPhone

Les espaces qui séparent les icônes permettent à l'utilisateur d'éviter d'effectuer des erreurs en appuyant sur une autre icône que celle qui est ciblée.

La nature des erreurs et les actions pour les corriger sont clairement exprimées. Le message d'erreur est affiché dans une fenêtre ponctuelle (pop-up) qui diffère de son environnement par sa couleur et son cadre. L'utilisateur doit d'abord presser sur « OK » afin de continuer à interagir avec le système (Figure 50). Cela permet de s'assurer que l'utilisateur a bien lu le message.

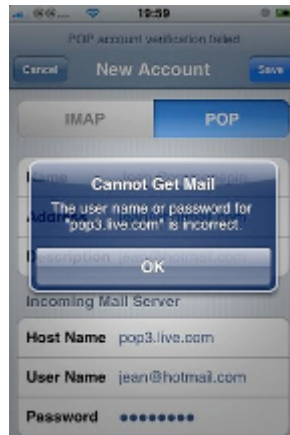


Figure 50 - Le message d'erreur dans l'iPhone

3.2.1.10. L'homogénéité/la cohérence


Le critère homogénéité/cohérence se réfère à la façon selon laquelle les choix de conception de l'interface (dispositifs, modalités, codes, dénominations, formats, procédures, comportements, etc.) sont conservés pour des contextes identiques, et sont différents pour des contextes différents (par exemple, titre au même endroit).

3.2.1.10.1. L'homogénéité/la cohérence dans Tarmak

Dans l'application Tarmak, du point de vue général, les icônes se réfèrent toujours aux mêmes actions (par exemple pour *warning* et *equipment*), à l'exception d'une icône qui est utilisée à la fois pour "to do task" et "NOTE" (cf. Figure 50).



Figure 51 - Une icône pour deux références dans Tarmak

L'icône  peut correspondre à différentes actions : elle correspond à la flèche « précédent » (pour retourner à la page précédente) et permet également à l'utilisateur de se rendre à d'autres pages (par exemple, *fault causes* et *procedures*). Cette double référence de l'icône pourrait perturber l'utilisateur et le désorienter.

3.2.1.10.2. L'homogénéité/la cohérence dans l'iPhone

Une forte similarité peut être constatée entre l'icône correspondant à « réglages » (au niveau du portail) et l'icône correspondant à « *general* » qui est une sous-rubrique de « préférences système » (cf. Figure 51). Cette similarité entre l'icône de la rubrique et celle de la sous-

rubrique pourrait créer une confusion pour l'utilisateur et entraîner une difficulté de repérage et de localisation dans le système.



Figure 52 - La cohérence dans l'iPhone

Certaines pages contiennent des titres qui correspondent aux applications auxquelles ils se réfèrent (par exemple, contacts, calendrier, etc.) et d'autres non (par exemple, l'application pour la consultation de la météo).

Le symbole « + » est parfois utilisé pour accéder aux détails relatifs à une application. Ainsi, pour l'application « météo » par exemple, le « + » est utilisé pour ajouter le nom d'une ville. Mais le symbole « > » est également utilisé pour la même fonction.

3.2.1.11. Signifiante des codes

Ce critère concerne l'adéquation entre l'objet, le comportement ou l'information présentée ou entrée, et son référent. Codes et dénomination sont signifiants pour l'utilisateur quand il existe une forte relation sémantique entre ces codes et les items ou actions auxquels ils se réfèrent.

3.2.1.11.1. Signifiante des codes dans Tarmak

La commande « explore » présente une forte relation sémantique avec l'action à laquelle elle se réfère qui est d'accéder au détail de la procédure afin d'avoir d'informations supplémentaires concernant les *fault causes, equipment, cautions, etc.*

3.2.1.11.2. Signifiante des codes dans l'iPhone

Les objets, le comportement et les informations dans l'iPhone présentent une forte relation avec les actions concernées (par exemple, la commande « explore »).

3.2.1.12. La compatibilité

Le critère de la compatibilité se réfère à l'accord pouvant exister entre les caractéristiques des utilisateurs (mémoire, perception, anatomie, habitudes, compétences, âge, attente, etc.) et des


tâches, d'une part, et l'organisation des sorties, des entrées et du dialogue d'une application donnée, d'autre part. Cela concerne également le degré de similitude entre divers environnements ou applications.

3.2.1.12.1. La compatibilité dans Tarmak

Le problème précédemment cité (cf. paragraphe I.4.1.1. L'expérience de l'utilisateur) concernant l'impossibilité par l'utilisateur d'utiliser la touche entrée pour la validation de l'action d'identification (login) peut également être considéré comme un problème de compatibilité puisque l'habitude de l'utilisateur pour ce type d'action n'a pas été prise en compte.

3.2.1.12.2. La compatibilité dans l'iPhone

Parfois, le système ne prend pas en compte l'usage habituel des symboles. Par exemple le symbole « + » est à la fois utilisé pour permettre à l'utilisateur de mieux préciser sa requête (par exemple, pour accéder à la liste de contacts afin de choisir un nom) et pour zoomer (par exemple pour l'application PDF).

Le symbole  est habituellement utilisé comme un signe d'interdiction d'entrée. Dans le système, ce symbole est utilisé pour annuler une action.

La loupe est utilisée pour accéder à la page précédente alors que son usage habituel correspond à l'action de recherche.

Dans l'application relative au calendrier, le symbole « ▶ » ne signifie pas « suivant », donc aller au mois suivant comme c'est souvent le cas dans la pratique courante.

Le symbole « ✕ » qui est relatif à l'action qui correspond à l'action « Go » dans des navigateurs pour internet n'est pas intuitif.

Nous synthétisons dans le tableau suivant cette comparaison de l'interface de Tarmak et celle de l'iPhone.

Table 2 - Comparaison de Tarmak et iPhone

Critères ergonomiques	Tarmak			iPhone		
	Appréciation	Détails	Commentaires/Remarques	Appréciation	Détails	Commentaires/Remarques
1. Guidage	+	Liste des applications, titre	Les titres disparaissent sur certaines pages	+	Certaines icônes représentent efficacement les actions	Toutefois, des icônes nécessitent un apprentissage
2. Charge de travail	-	Nombre de pages traversées avant la procédure	Trop d'étapes avant d'atteindre la cible	+	La séquence d'actions est courte pour atteindre un but	
3. Contrôle explicite	+	Les flèches directionnelles		+	Le bouton "cancel", bouton pour revenir au portail	Il y a une possibilité de revenir en arrière
4. Adaptabilité	-	La commande « OK » sur le portail	L'utilisateur ne peut pas valider son action par le bouton « OK »	+	Icônes reconnaissables, icônes accompagnées de texte	Certaines icône ne sont pas intuitives mais compréhensibles à partir des textes qui les accompagnent
5. Gestion des erreurs	-	Confirmation d'une action non prévue	Quand l'OM veut sauter une étape dans la procédure, il doit le confirmer par une commande	+	Disposition des icônes	Les espaces entre les icônes permettent d'éviter les erreurs
					message d'erreur	Message clair
6. Homogénéité / Cohérence	+	Les mêmes icônes se réfèrent aux mêmes actions	Toutefois, grande similarité entre l'icône pour accéder au portail et l'icône pour accéder à la page d'identification	-	- Icônes	Une même icône correspond à deux références : réglage et général
					- Titres	Certaines pages contiennent des titres, d'autres pas
					- Utilisation de symboles (« + » et « > »)	Utilisation de deux symboles pour une même action
7. Signification des codes	+	Exemples : la commande "explore"	Forte relation sémantique avec l'action concernée	+	Signification des commandes	Les commandes sont claires, à l'exception de certaines icônes qui ne sont pas intuitives
8. Compatibilité	-	la commande « OK » sur la page d'identification	Ne tient pas compte l'habitude de l'utilisateur qui peut valider son action par la touche entrée	-	Les symboles " + ", " X ", " > "	Non prise en compte des habitudes des utilisateurs

3.2.2. Présentation de l'application AirN@v

Une description plus détaillée de l'application AirN@v, notamment en terme de structure et de contenu a été déjà effectuée dans la première partie de ce document (cf. Chapitre 2, section 2). Dans cette partie, nous la présentons donc très succinctement.

Contrairement à Tarmak qui est encore en cours de développement, AirN@v est une application déjà opérationnelle et utilisée depuis déjà quelques années. De plus, les deux applications diffèrent au niveau de la taille du support destiné à leur consultation : AirN@v a été conçu pour l'écran de taille standard et Tarmak pour le petit écran (type PDA). La présentation, la structure et l'agencement des informations ont été définis compte tenu de la taille de l'écran cible. Dans AirN@v la procédure liée à une tâche donnée est présentée sous forme hiérarchisée et affichée verticalement sur une page de l'écran (toutes les étapes d'une même procédure sont visibles sur la même page) (cf. Figure 53), la même procédure dans Tarmak est déroulée sur plusieurs fenêtres successives, chaque étape constituant une page (cf. Figure 54).



Figure 53 - Une fenêtre d'AirN@v



Figure 54 - Fenêtres relatives à une procédure dans Tarmak

3.3. Les consignes

Les consignes pour l'ensemble de l'expérimentation ainsi que pour chacune des six tâches proposées au participant sont données dans un carnet (cf. Annexe) dans lequel le participant doit également apporter les réponses aux questions qui lui sont posées. Les six tâches proposées aux participants sont :

- **première tâche** : chercher une procédure dans la documentation à partir de sa référence et de son intitulé, puis lire la procédure. Cette tâche correspond au motif « avoir une vue globale de la procédure.

- **deuxième tâche** : consulter la même procédure qu'en première tâche et remplir un schéma avec comme information à relever le nom de chaque pièce/système concerné par chaque étape, ceci tout en respectant l'ordre des étapes de la procédure. L'action se traduit ici par l'inscription de la réponse sur le schéma dans le carnet. Cette tâche correspond au motif « consultation de la documentation pour suivre étape par étape une procédure ».

- **troisième tâche** : remplir un tableau avec comme informations à chercher dans la documentation, les actions à faire et les pièces ou systèmes concernés pour effectuer la procédure mentionnée dans la première tâche. Pour cette tâche, le participant doit également respecter l'ordre des étapes. Comme pour la deuxième tâche, cette troisième tâche a pour motif de suivre étape par étape la procédure mais avec un motif supplémentaire, « extraire des informations spécifiques mentionnées dans la procédure qui sont les pièces ou système concernés », car tous les pièce/systèmes mentionnés dans la procédure ne sont pas systématiquement concernés par l'action d'une étape de la procédure. C'est le cas pour l'élément *tachometer* dans l'étape « *remove the debris guard (16) of wheel 3 along the centerline of the wheel axle to prevent damage to the drive shaft of the tachometer (22)* ».

- **quatrième tâche** : identifier la référence d'une pièce donnée. Cette tâche correspond à la recherche et l'extraction d'une information spécifique au sein de la documentation (Barnard et al., 2007). Au delà de la mesure de la durée de la réalisation de la tâche, il s'agit ici de savoir si le participant a identifié et mémorisé la localisation des informations sur la référence des pièces au cours des précédentes consultations et lectures de la procédure. En effet, la référence demandée se trouve à deux emplacements différents dans la documentation : d'une part à une page spécifique aux données relatives aux outils et équipements (dans la partie Equipment de la page *Proc overview page Navigation* dans Tarmak, sur la Figure 55 ; dans

AirN@v, dans un tableau récapitulant les pièces et outils nécessaires au début de la page) et d'autre part à l'intérieur des procédures.

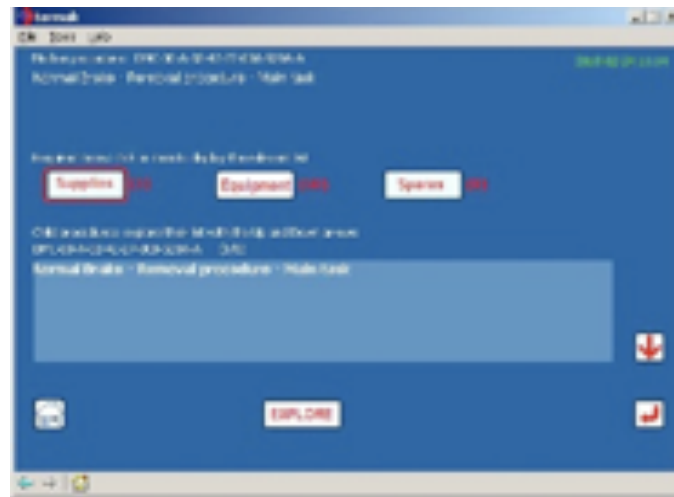


Figure 55 - Procedure overview page Navigation de Tarmak
(Page d'accès aux informations sur les pièces, outils et ingrédients)

- **cinquième tâche** : chercher des références de plusieurs pièces et équipements puis remplir un tableau avec ces informations. Cette tâche correspond également au motif d'utilisation de la documentation pour la recherche et l'extraction d'une information spécifique au sein de la documentation de Barnard et al. (2007). En plus de la mesure de la durée de la tâche, de la mémorisation de la localisation des références, certaines informations pouvant être oubliées ou non trouvées par le participant, le but est également de mesurer l'efficacité de la présentation des informations à chercher pour cette cinquième tâche. En effet, quand l'utilisateur sélectionne une pièce dans la liste de pièces présentée, les informations sur celle-ci sont affichées en bas de la page (cf. Figure 56). Ainsi, les informations affichées en bas de l'écran changent en fonction de l'élément sélectionné. La question est de savoir si le participant repère cette modification des informations affichées en fonction de l'élément sélectionné et d'identifier la stratégie appliquée par celui-ci pour trouver les différentes références (repasser en revue la procédure pour extraire les différentes références au fur et à mesure ou aller directement à la page dédiée aux équipements et outils).

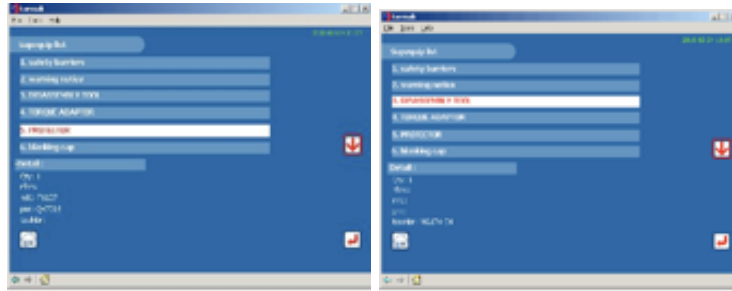


Figure 56 - Fenêtre de la liste des pièces (rubrique *Equipment* dans Tarmak (1)
(Changement des informations en bas de la page suite à la sélection d'une autre pièce)

- **sixième tâche** : demander au participant de vérifier si la procédure qu'il a exécutée à la tâche 3 (Test 3) est conforme à celle qui est indiquée dans la documentation. Cela correspond au quatrième motif évoqué par Barnard et al. (2007) qui consiste à l'utilisation de la documentation pour vérifier la conformité de la procédure suivie pour exécuter la tâche par rapport à ce qui est prescrit. Dans la réalité, cela correspond à l'action effectuée par l'opérateur à la fin de son intervention.

Les tâches demandées et les intitulés des procédures de maintenance sont identiques dans Tarmak et AirN@v. Seules les références des procédures de maintenance diffèrent. Cela est dû au fait que les procédures dans AirN@v sont en codes ATA alors que les procédures dans Tarmak appliquent la norme S1000D¹⁵.

Pour l'expérimentation, les deux documentations sont affichées sur les deux formats (écran de taille standard et petit écran).

En ce qui concerne le questionnaire post-test, les questions sont :

Question 1 : comment avez-vous trouvé l'utilisation du petit écran ?

Question 2 : comment avez-vous trouvé la présentation de l'information ?

Question 3 : avez-vous des suggestions pour améliorer le système ?

3.4. Protocole

Une séance de test se divise en trois parties. La première partie dure environ 7 minutes et consiste à l'explication de l'objectif de l'étude, du déroulement du test et en un recueil

¹⁵ La norme S1000D est une spécification internationale pour l'approvisionnement et la production de publications techniques. La spécification s'appuie sur les standards technologiques SGML/XML et CGM pour définir les règles de production de modules documentaires stockés dans une *base de données source commune*. Son objectif vise, entre autres, la définition de règles communes pour les participants d'un projet, l'amélioration de l'interopérabilité, l'amélioration de la clarté des contenus et réduction des coûts de traduction par l'utilisation du *Simplified English*. (Source : <http://www.tireme.fr/glossaire/SPEC-S1000D.html>, consulté en janvier 2011)

d'informations concernant les participants (âge, expérience dans le métier de la maintenance aéronautique, expérience dans l'utilisation de la documentation de maintenance sous les formats papier et électronique, expérience dans l'utilisation des petits écrans et de l'écran tactile). La deuxième partie de la séance correspond au déroulement du test proprement dit et dure en moyenne 45 minutes. La troisième partie est consacrée aux questions qui visent à récolter les opinions et les ressentis des participants sur l'utilisation de la documentation. La durée de celle-ci n'est pas limitée pour avoir le maximum d'informations.

Au cours du test proprement dit, il est demandé à chaque participant d'effectuer six tâches de recherche et consultation d'information définies sur la base des travaux de Barnard et al. (2007) qui distinguent quatre types de motifs qui amènent un opérateur à utiliser la documentation de maintenance, à savoir :

- suivre étape par étape la procédure ;
- avoir une vue globale de la procédure ;
- extraire une information spécifique ;
- vérifier si rien n'a été oublié ou si tout a été effectué conformément à ce qui est mentionné dans la documentation.

Chacun de ses motifs n'est pas exclusif. Ainsi, l'opérateur pourrait très bien lire la documentation étape par étape puis, à la fin de son intervention, effectuer une lecture globale pour vérifier que rien n'a été oublié.

Ces consignes sont appliquées aux expérimentations avec les deux applications (AirN@v et Tarmak) et avec la population de novices et d'experts. Le tableau ci-dessous présente le plan expérimental.

Tableau 8 - Plan d'expérience et effectifs de chaque groupe expérimental

Application	Format	Effectifs		TOTAL
		Novices	Experts	
Tarmak	PC	7	3	10
	PDA	4	8	12
Airn@v	PC	7	2	9
	PDA	10	4	14
TOTAL		28	17	45

3.5. Mesures (critères d'évaluation)

Les mesures des performances des utilisateurs se rapportent à l'efficacité (nombre de tâches correctement résolues) et à l'efficience (durée consacrée à chaque tâche). Pour ce faire, trois types de données sont à considérer : le temps mis pour effectuer chaque tâche (mesurée en secondes), l'exactitude des réponses dans le carnet (score = 1 pour une réponse correcte ; score = 0 pour une réponse incorrecte) et à partir des traces d'interactions, le chemin suivi pour effectuer la tâche.

- *l'exactitude des réponses* sur le carnet sert à mesurer la compréhension et la mémorisation des informations contenues dans les documents ;

- *le chemin suivi* permet de déterminer si celui-ci correspond au chemin « attendu » qui a été déterminé à partir des essais et simulation de test pour déterminer le modèle de la tâche (cf. un exemple de traces de Tarmak en annexe). Si les traces correspondant à un utilisateur comptent une ou plusieurs étapes de plus ou si la séquence des données n'est pas similaire à celle attendue, cela se traduit par un échec de la tâche demandée. Le score attribué est alors égal à 0. En cas de réussite, le score est égal à 1 ;

- *le temps* (ou la durée) mis par l'utilisateur pour chacune des 6 tâches demandées ainsi que la durée totale du test pour chaque utilisateur. Ils sont mesurés en secondes.

Les tâches demandées aux participants et les informations et mesures à récolter sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau 9 - Informations à collecter pour les tâches

Tâches	Informations/mesures
Tâche 1 : chercher une procédure	- Durée de chaque tâche - Exactitude des réponses - Ecart par rapport au chemin optimal
Tâche 2 : remplir un schéma	
Tâche 3 : identifier l'ordre des actions	
Tâche 4 : chercher une référence	
Tâche 5 : chercher plusieurs références	
Tâche 6 : vérifier la procédure effectuée	

3.6. Préparation des tests

Compte tenu de l'objectif de l'expérimentation, la particularité des matériels à utiliser (documentation très réglementée) et le domaine concerné (domaine très réglementé), la

préparation du protocole a nécessité une attention particulière quant à la sélection des différentes tâches à proposer, à la formulation des consignes pour chaque tâche, à l'ordre des différentes tâches à proposer, à la sélection des matériels à utiliser, au nombre et catégories de participants à sélectionner (et à leur recrutement), au lieu où les tests allaient se passer. L'accès aux lieux de travail des opérateurs de maintenance pour effectuer l'ensemble des tests étant impossible, il était indispensable de trouver une situation qui reflète le plus fidèlement possible le contexte réel de la maintenance aéronautique. Dans cet objectif, différentes actions ont été entreprises comme le contact avec des experts en maintenance et des essais avec des logiciels traceurs des interactions des utilisateurs.

3.6.1. Contact avec des experts en maintenance aéronautique

Le contact avec les experts (des formateurs en maintenance aéronautique) avait pour but de valider le protocole et les consignes afin de savoir si les tâches proposées reflètent la réalité du métier et permettraient de récolter efficacement les informations ciblées dans l'expérimentation. En tant que formateurs, ces experts présentent l'avantage de connaître à la fois les novices (leur niveau de connaissance en matière de maintenance aéronautique et de documentation de maintenance aéronautique), et les experts avec lesquels ils collaborent régulièrement. Ainsi, leur avis sur les éléments à prendre en compte pour le protocole s'avère plus que pertinent. Cela a permis de modifier le contenu, la présentation et la formulation des consignes et de choisir le schéma pertinent compte tenu de l'objectif de l'expérimentation (c'est-à-dire un schéma qui correspond à une procédure comportant plusieurs étapes, des références, des actions) et des caractéristiques des participants (par exemple, comme les novices ont encore une habitude très scolaire, c'est-à-dire d'être «dirigés», et les experts ne sont pas très motivés à lire une longue consigne, pour chaque tâche il fallait donner une consigne sans ambiguïté et de longueur moyenne).

3.6.2. Choix final d'outil

A l'issue de la comparaison des résultats obtenus avec deux applications de traçage des interactions de l'utilisateur (Camtasia et le traceur de l'INRP), le traceur INRP a été choisi en raison de son efficacité. En effet, les informations récoltées sont beaucoup plus détaillées et le traitement plus aisé. L'utilisation de Camtasia rend floue la visualisation de l'interface, ralentit le déplacement du pointeur, ce qui provoque une gêne importante à l'utilisateur.

Dans le cadre de la préparation technique pour Tarmak, un certain délai de préparation a été nécessaire pour ajuster l'application aux besoins de l'expérimentation afin de pouvoir récupérer toutes les traces voulues. En effet, aux premiers essais, les données obtenues ne reflétaient pas toutes les interactions de l'utilisateur car certaines actions n'ont pas pu être répertoriées dans les traces.

3.7. Résultats

Comme nous l'avons déjà mentionné, deux catégories de résultats sont présentés : résultats quantitatifs (analyse des comportements lors de l'utilisation de la documentation) et résultats qualitatifs correspondant aux informations issues de la verbalisation, de l'observation, des commentaires libres des participants et de leurs réponses au questionnaire.

3.7.1. Résultats quantitatifs

Nous rappelons que dans cette étude, nous cherchons à déterminer l'influence du format (PC et PDA), du type d'application (Tarmak pour le petit écran et AirN@v pour le grand écran) et de l'expertise sur la performance de l'utilisateur. Pour cela, nous avons formulé des hypothèses qui sont de deux niveaux :

- Hypothèse 1 (H1) : on s'attend à ce que

- les performances de l'ensemble de la population soient meilleures sur PC que sur PDA en raison de l'habitude d'utilisation ; avec AirN@v sur PC qu'avec AirN@v sur PDA et avec Tarmak sur PDA qu'avec Tarmak sur PC, et ce en raison de l'adéquation de l'application au format pour lequel elle a été conçue. On considère ainsi que AirN@v sur PC et Tarmak sur PDA constituent des configurations « réalistes » ;

- les novices aient de meilleures performances sur PDA par rapport aux experts en raison de l'habitude d'utilisation du petit écran et de l'écran tactile ;

- les performances des experts soient moins bonnes avec l'utilisation de Tarmak qu'avec l'utilisation d'AirN@v en raison de la non familiarité avec l'application.

- Hypothèse 2 (H2) : on s'attend à ce que les experts soient meilleurs que les novices sur toutes les configurations et sur le test global du fait de leur expertise. En effet, même avec le format PDA avec lequel on pourrait supposer une performance moindre de la part des experts, cette lacune pourrait être compensée par la connaissance de la documentation, la tâche et l'expérience dans le métier.

Pour effectuer l'analyse des données recueillies lors des expérimentations, nous nous servons des tests non paramétriques en raison du nombre limité de sujets d'une part pour l'ensemble du test, et d'autre part pour certains scénarii. Comme cette étude est largement exploratoire, et qu'elle concerne un domaine très nouveau, nous nous sommes autorisés des traitements peu canoniques, en particulier l'étude d'effets simple même quand les interactions n'étaient pas significatives.

Nous commençons nos analyses par l'étude des interactions entre les trois facteurs pris en considération dans cette étude qui, rappelons-le, l'expertise, le format et l'application pour le test global et pour les six tâches afin d'évaluer leur impact sur les performances des sujets en matière de durée de la tâche, du nombre de réponses correctes (NRC) et du score relatif au suivi du chemin optimal (SCO). Nous analyserons ensuite l'effet de chacun de ces facteurs.

3.7.1.1. Interaction entre les trois facteurs

Tableau 10 - Interactions entre les trois facteurs : performances moyennes (et écart-type)

			Durée totale du test (en sec.)	Nb de réponses correctes	Suivi du chemin optimal
Airm@v	PC	Experts	1916 (238)	4.5 (2.12)	2.5 (3.54)
		Novices	3216 (2016)	3.2 (0.49)	0.29 (0.49)
	PDA	Experts	2075 (390)	5 (2)	0 (0)
		Novices	2998 (997)	3.3 (1.77)	1 (0.67)
Tarmak	PC	Experts	2662 (879)	2.6 (2.08)	0.67 (0.58)
		Novices	2022 (602)	4 (1)	0.43 (0.79)
	PDA	Experts	2852 (841)	4.6 (0.74)	2.18 (1.39)
		Novices	1782 (209)	3.5 (1.29)	1.25 (1.50)

Pour analyser les interactions entre les facteurs, nous avons utilisé le test de Kruskal-Wallis. Au niveau du test global, une différence significative a été constatée uniquement pour le score lié au suivi du chemin optimal (SCO) : $H(7) = 20.376$; $p < .005$.). Les experts réalisent leurs tâches en suivant un chemin plus proche de l'optimum que les novices, dans les conditions Airm@v PC et Tarmak PDA, c'est à dire les deux conditions "réalistes" (ou "congruentes"), ainsi que dans la condition Tarmak PC, alors que cela ne semble pas être le cas dans la condition Airm@v PDA.

Pour ce qui concerne les durées du test, elle ne présentent pas de différences significatives ($H(7) = 11.094$; $p = 0.135$) alors que les données semblaient correspondre à un cas de figure intéressant : les experts semblaient plus rapides que les novices avec Airm@v tandis que les novices semblaient plus rapides que les experts avec Tarmak.

Enfin, pour ce qui concerne le nombre de réponses correctes, les différences ne sont pas non plus significatives ($H(7) = 10.400 : p = 167$). Les experts semblaient plus performants que les novices, sauf dans la configuration Tarmak PC.

Globalement donc, aucune configuration ne semble entraîner de performances meilleures ou moins bonnes que les autres, même s'il semble que les experts soient en général plus performants que les novices, notamment avec Airn@v sur PC. Contrairement à notre hypothèse, Tarmak ne semble pas entraîner une baisse de performance générale.

Dans les paragraphes qui suivent, nous allons analyser plus en détails l'effet des trois facteurs, puis nous analyserons les performances non pas sur l'ensemble du test, mais tâche par tâche.

3.7.1.2. Interactions entre expertise et les autres facteurs

3.7.1.2.1. Interactions entre expertise et format

- Analyse au niveau du test global

Tableau 11 - Interactions entre expertise et format: performances moyennes (et écart-type)

	Durée (en sec.)		Nombre de Réponses Correctes		Suivi du Chemin Optimal	
	PC	PDA	PC	PDA	PC	PDA
NOVICES	2619 (1558)	2650 (1012)	3.64 (0.84)	3.36 (1.6)	0.36 (0.63)	1.07 (0.92)
EXPERTS	2363 (753)	2593 (799)	3.4 (2.07)	4.75 (1.21)	1.40 (2.07)	1.83 (1.75)

L'analyse des interactions entre l'expertise et le format, à partir du test de Kruskal-Wallis, montre qu'au niveau global du test, aucune différence significative n'a été relevée pour les performances des sujets sur les trois mesures (durée, nombre de réponses correctes et score lié au suivi du chemin optimal). Aucun format n'affecte alors les performances même si les données semblent confirmer notre hypothèse en indiquant qu'experts et novices réalisent les tâches plus rapidement avec PC qu'avec PDA et que les novices réussissent mieux le test (plus de NRC) avec le PC qu'avec le PDA. En revanche, contre toute attente, les experts réussissent mieux et suivent un chemin plus proche de l'optimum sur PDA que sur PC.

- Analyse au niveau de chaque niveau d'expertise (population)

Nous voulions analyser l'effet de l'interaction entre l'expertise et le format au niveau des performances de chacune des deux populations. Pour ce faire, nous avons utilisé le test U de Mann Whitney.

Chez les experts, le test U de Mann Whitney n'a montré aucune différence significative pour le test dans sa globalité concernant la durée ($U = 23$; $p = .461$), le NRC ($U = 18.5$; $p = .205$) et le SCO ($U = 25.5$; $p = .624$). Contrairement à notre hypothèse, l'utilisation du PDA n'affecte négativement ni la durée du test global, ni la réussite de celui-ci (en NRC), ni le suivi du chemin optimal pour les experts.

Chez les novices, l'analyse du test dans sa globalité montre une différence significative pour la mesure du SCO ($U = 52.5$; $p = .023$). Les novices sont plus proches du chemin optimal avec le PDA qu'avec le PC, ce qui confirme notre hypothèse.

- Analyse au niveau de chaque type de format

Nous avons comparé les performances des sujets (novices et experts) pour chacun des formats (PC et PDA) et pour les trois mesures (durée, NRC et SCO). Pour effectuer cette analyse, nous avons utilisé le test U de Mann-Whitney.

Aucune différence significative n'est sortie de l'analyse concernant la durée globale du test entre les deux populations.

Aucune différence significative n'est également constatée sur le format PC concernant le NRC. Sur le format PDA, le test U de Mann-Whitney fait ressortir une différence significative au niveau des réponses correctes ($U = 40$; $p = .018$). Les experts réussissent mieux le test ($MEx = 4.75$; $\sigma = 1.21$) comparés aux novices ($MNo = 3.36$; $\sigma = 1.6$) sur un format qui pourtant n'était pas prévu pour être le plus avantageux pour les experts selon notre hypothèse.

Aucune différence significative n'a été relevée pour le suivi du chemin optimal ni sur PC ($U = 23$; $p = .194$) ni sur PDA ($U = 66$; $p > .339$). Les deux populations ont des performances équivalentes même si pour le format PC les données vont dans le sens de notre hypothèse dans la mesure où elles montrent une meilleure performance des experts sur PC ($MEx = 1.40$; $\sigma = 2.07$) par rapport aux novices ($MNo = 0.36$; $\sigma = 0.63$). C'est également le cas sur PDA : contrairement à notre hypothèse, les experts semblent mieux suivre le chemin optimal sur PDA ($MEx = 1.83$; $\sigma = 1.75$) par rapport aux novices ($MNo = 1.07$; $\sigma = 0.92$).

Conclusion

Très peu de différences significatives ressortent de l'analyse de l'interaction entre l'expertise et le format. Des différences ont été constatées uniquement pour le SCO lors de la comparaison de l'utilisation du PC et celle du PDA pour les novices, et le NRC pour la

comparaison des performances entre novices et experts pour le format PDA. Ainsi, plus globalement, chacune des deux populations enregistrerait des performances équivalentes pour l'utilisation des deux formats. De plus, pour chaque format, les deux populations ne montrent pas de différence de performances contrairement à l'hypothèse que nous avons formulée qui donne l'avantage aux experts pour le PC et aux novices pour le PDA.

3.7.1.2.2. Interaction entre expertise et application

Tableau 12 - Interactions entre expertise et format: performances moyennes (et écart-type)

	Durée (en sec.)		Nombre de Réponses Correctes		Suivi du Chemin Optimal	
	AirN@v	Tarmak	AirN@v	Tarmak	AirN@v	Tarmak
NOVICES	3088 (1447)	1934 (495)	3.29 (1.36)	3.82 (1.08)	0.70 (0.68)	0.72 (1.1)
EXPERTS	2022 (331)	2800 (811)	4.83 (1.83)	4.09 (1.4)	0.83 (2.04)	2.18 (1.54)

- Analyse au niveau du test global

L'analyse des interactions entre l'expertise et l'application à l'aide du test de Kruskal-Wallis montre qu'une différence significative existe au niveau global du test pour la durée ($H(3) = 10.444$; $p = .015$) : les experts réalisent le test plus rapidement ($MEx = 2022$ s ; $\sigma = 331$) que les novices ($MNo = 3088$ s ; $\sigma = 1447$) avec AirN@v tandis qu'avec Tarmak contrairement à notre hypothèse, le cas s'inverse car les novices sont plus rapides ($MNo = 1934$ s ; $\sigma = 495$) que les experts ($MEx = 2800$ s ; $\sigma = 811$).

Pour le SCO, une différence significative a également été relevée ($H(3) = 10.378$; $p = .016$) : les experts sont plus proches du chemin optimal pour réaliser le test avec AirN@v ($MEx = 0.83$; $\sigma = 2.04$) par rapport aux novices ($MNo = 0.70$; $\sigma = 0.68$). Avec Tarmak, c'est également le cas : les experts se rapprochent plus du chemin optimal ($MEx = 2.18$; $\sigma = 1.54$) par rapport aux novices ($MNo = 0.72$; $\sigma = 1.1$).

Conclusion

Les deux populations enregistrent les mêmes performances pour l'utilisation des deux applications, sauf pour Tarmak du point de vue de la durée pour laquelle les novices sont plus rapides, avec une différence significative, et du point de vue du SCO pour lequel les experts ont enregistré un score plus élevé que celui des novices avec une différence significative. Pour les autres critères (utilisation de AirN@v du point de vue durée, NRC et SCO ;

utilisation de Tarmak du point de vue NRC), les deux populations ont des performances équivalentes avec l'utilisation des deux applications. Cela va à l'encontre de notre hypothèse selon laquelle les experts sont plus performants que les novices avec les deux applications du fait de leur expertise et de la connaissance de la tâche.

- Analyse à chaque niveau d'expertise (population)

Il nous paraissait intéressant d'analyser l'interaction entre expertise et application chez les novices d'une part et chez les experts d'autre part. Pour ce faire, le test de Mann-Whitney a été utilisé. Celui-ci a montré une différence significative chez les experts pour le test dans sa globalité entre l'utilisation de l'application AirN@v et celle de Tarmak au niveau du SCO ($U = 13$; $p < .038$). Avec AirN@v, contrairement au résultat attendu, les experts sont plus éloignés du chemin optimal ($MExTarmak = 0.83$; $\sigma = 2.04$) qu'avec Tarmak ($MExAirN@v = 2.18$; $\sigma = 1.54$) qui est une application qui ne leur est pas familière.

Chez les novices, une différence significative a été relevée entre l'utilisation de l'application AirN@v et de l'application Tarmak pour la durée totale du test ($U = 6.099$; $p < .014$). Les novices sont plus proches du chemin prévu pour le test en utilisant l'application Tarmak ($MNoTarmak = 0.72$; $\sigma = 1.1$) qu'en utilisant l'application AirN@v ($MNoAirN@v = 0.70$; $\sigma = 0.68$).

3.7.1.3. Interactions entre application et format

Tableau 13 - Interactions application et format : performances moyennes (et écart-types)

	Durée (en sec.)		Nombre de réponses correctes		Score de suivi du chemin optimal	
	PC	PDA	PC	PDA	PC	PDA
AirN@v	2927 (1839)	2734 (954)	3.56 (1.01)	3.79 (1.93)	0.78 (1.64)	0.71 (0.72)
Tarmak	2214 (713)	2495 (860)	3.60 (1.43)	4.25 (1.06)	0.5 (0.71)	2.25 (1.54)

L'analyse sur le plan global avec le test de Kruskal-Wallis montre une différence significative uniquement au niveau du SCO ($H(3) = 11.345$; $p < .010$). Avec AirN@v, les sujets réalisent le test en suivant un chemin plus proche de l'optimum sur le format PC ($MPC = 0.78$; $\sigma = 1.63$) que sur le format PDA ($MPDA = 0.71$; $\sigma = 0.72$). Avec Tarmak, les sujets sont plus proches du chemin optimal avec PDA ($MPDA = 2.25$; $\sigma = 1.54$) qu'avec PC ($MPC = 0.5$; $\sigma = 0.71$). Comme prévu dans notre hypothèse, les sujets ont de meilleures performances, pour

le SCO, avec les configurations réalistes (AirN@v sur PC et Tarmak sur PDA). Plus globalement, aucune configuration ne semble rendre les performances moins bonnes ou meilleures : l'utilisation des applications sur les deux formats ne diffèrent pas.

Bien que très peu d'effets significatifs ont été relevés, nous avons pris comme option d'effectuer une analyse des effets de chaque facteur, c'est-à-dire le format, l'application et l'expertise.

3.7.1.4. Effet de chaque facteur sur les performances des sujets

Afin de mener cette analyse, nous nous servons du test U de Mann-Whitney. L'effet de chacun des facteurs est étudié un par un.

3.7.1.4.1. Effets du format

Tableau 14 - Performances moyennes (et écart-type) selon le format

Formats	Durée du test (en sec.)	Nombre de réponses correctes	Suivi du chemin optimal
PC	2552 (1375)	3.57 (1.22)	0.63 (1.21)
PDA	2624 (902)	4 (1.57)	1.42 (1.39)

Les sujets réalisent le test aussi longtemps sur PC ($M_{PC} = 2552$; $\sigma = 1375$) que PDA ($M_{PDA} = 2624$; $\sigma = 902$) car la différence obtenue par le test U de Mann-Whitney n'est pas significative ($U = 201$; $p > .290$).

La population a autant de réponses correctes sur PDA que sur PC (différence non significative avec $U = 198$; $p = .245$) même si les données montrent un score plus élevé sur PDA ($M_{PDA} = 4$; $\sigma = 1.57$) que sur PC ($M_{PC} = 3.57$; $\sigma = 1.22$). Cela contredit notre hypothèse.

En ce qui concerne le SCO, une différence significative a été relevée ($U = 151.5$; $p = .020$) : le groupe est plus proche du chemin prévu sur PDA ($M_{PDA} = 1.42$; $\sigma = 1.39$) que sur PC ($M_{PC} = 0.63$; $\sigma = 1.21$). Cela ne confirme pas notre hypothèse.

Conclusion

Le type de format n'influence ni la durée moyenne totale de l'activité de recherche et de consultation d'information, ni le nombre moyen de réponses correctes. En revanche, le format a un effet sur le nombre de score relatif au suivi du chemin optimal. Ainsi, plus globalement, les performances des sujets sont les mêmes en terme de durée et de nombre de réponses correctes quel que soit le format utilisé, ce qui va à l'encontre de notre hypothèse qui prévoyait de meilleures performances sur PC que sur PDA.

3.7.1.4.2. Effets de l'application

Tableau 15 - Performances moyennes (et écart-type) selon l'application

	Durée du test (en sec.)	Nb réponses correctes	Suivi du chemin optimal
AirN@v	2810 (1333.2)	3.69 (1.6)	0.74 (1.14)
Tarmak	2367 (791)	3.95 (1.25)	1.45 (1.5)

L'analyse de la durée par le test U de Mann-Whitney montre une différence non significative ($U = 209$; $p > .318$) entre l'utilisation des deux applications. Les sujets passent donc autant de temps sur AirN@v que sur Tarmak pour réaliser le test, même si les données nous montrent que le groupe passe plus de temps sur AirN@v ($MAirN@v = 2810$ s) que sur Tarmak ($MTarmak = 2367$ s). En ce qui concerne le nombre de réponses correctes, la différence n'est pas significative ($U = 229$; $p > .574$). Les performances du groupe en matière de NRC sont ainsi équivalentes quelque soit l'application utilisée même si le groupe semble enregistrer plus de bonnes réponses avec Tarmak ($MTarmak = 3.95$; $\sigma = 1.25$) qu'avec AirN@v ($MAirN@v = 3.69$; $\sigma = 1.6$).

L'analyse au niveau du SCO ne montre pas de différence significative ($U = 182.5$; $p > .089$). L'écart (ou le rapprochement) par rapport au chemin optimal pour réaliser le test est donc équivalent avec l'utilisation des deux applications malgré les données qui montrent un score moyen plus élevé sur Tarmak ($MTarmak = 1.45$; $\sigma = 1.5$) par rapport à AirN@v ($MAirN@v = 0.74$; $\sigma = 1.14$).

Conclusion

L'application AirN@v et l'application Tarmak ont donc la même efficacité et il n'existe aucune différence entre l'utilisation de l'application AirN@v et l'utilisation de l'application Tarmak sur la durée du test, sur la réussite (NRC) et le SCO.

3.7.1.4.3. Effets de l'expertise

Tableau 16 - Performances moyennes (et écart-type) selon l'expertise

	Durée du test (en sec.)	Nombre de réponses correctes	Score de suivi du chemin optimal
Experts	2525 (769)	4.35 (1.58)	1.7 (1.79)
Novices	2635 (1289)	3.5 (1.26)	0.71 (0.85)

L'analyse de la durée du test par le test de Mann-Whitney ne fait pas apparaître une différence significative entre les performances des experts et des novices ($U = 209$; $p = .497$). Pourtant, les données semblent attribuer une meilleure performance des experts qui sont plus rapides ($M_{Ex} = 2525$; $\sigma = 769$) que les novices ($M_{No} = 2635$; $\sigma = 1289$) pour l'ensemble du test. Les novices consacrent alors autant de temps que les experts pour réaliser le test, ce qui contredit notre hypothèse.

Concernant le nombre de réponses correctes, une différence significative a été relevée ($U = 151.5$; $p = .037$) : sur l'ensemble du test, on enregistre plus de bonnes réponses de la part des experts ($M_{Ex} = 4.35$; $\sigma = 1.58$) que des novices ($M_{No} = 3.5$; $\sigma = 1.26$). L'hypothèse sur la meilleure performance des experts par rapport aux novices est donc confirmée.

Pour le SCO, aucune différence n'a été observée entre les deux populations.

Conclusion

L'expertise n'influence ni la durée de la tâche ni le SCO. Les experts et les novices ont donc les mêmes performances sur la base de ces deux critères. En revanche, l'expertise a un effet sur le NRC. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle les experts sont plus performants que les novices est confirmée en ce qui concerne le NRC mais elle est contredit en ce qui concerne la durée et le SCO.

3.7.1.5. Analyse au niveau des six tâches

Tableau 17 - Durée moyenne de chaque tâche (et écart-types)

			t1	t2	t3	t4	t5	t6
AirN@v	PC	Experts	173 (36.06)	844 (98.28)	339 (9.89)	154 (147.07)	172 (1.41)	235 (17.67)
		Novices	1263 (1195.24)	406 (586.74)	665 (636.83)	513 (410.72)	167 (160.78)	201 (140.27)
	PDA	Experts	281 (103.74)	603 (536.79)	430 (339)	203 (89.79)	297 (154.83)	261 (318.16)
		Novices	773 (484.59)	749 (520.48)	356 (255.48)	305 (359.07)	445 (559.74)	370 (290.02)
Tarmak	PC	Experts	354.33 (108.51)	256 (199.53)	708 (548.98)	258 (141.18)	759 (594.3)	326 (156.31)
		Novices	342 (146.77)	285 (259.87)	367 (345.94)	393 (333.83)	413 (328.62)	223 (400.59)
	PDA	Experts	770 (311.93)	954 (435.06)	471 (148.27)	213 (310.17)	291 (118.97)	153 (63.03)
		Novices	318 (115.08)	428 (298.38)	351 (306.33)	173 (237.83)	354 (142.04)	159 (18.28)

L'analyse des interactions entre les facteurs (avec les test de Kruskal-Wallis) concernant les six tâches montre une différence significative en ce qui concerne la durée pour la tâche t1 – *recherche d'une procédure* ($H(7) = 17.333$; $p = .015$). Les experts réalisent la tâche t1 plus rapidement que les novices avec les conditions AirN@v sur PC et AirN@v sur PDA. Les novices sont plus rapides que les experts sur Tarmak, mais la différence est très légère avec la condition Tarmak sur PC. Ainsi, globalement, Tarmak ne semble pas entraîner une baisse des performances sur l'ensemble des six tâches et aucune configuration n'affecte ni positivement, ni négativement les performances.

Tableau 18 - Nombre moyen de réponses correctes par tâche (et écart-types)

			t1	t2	t3	t4	t5	t6
AirN@v	PC	Experts	1 (0)	0.5 (0.7)	0.5 (0.7)	1 (0)	1 (0)	0.5 (0.7)
		Novices	0 (0)	0.9 (0.37)	0 (0)	1 (0)	0.8 (0.37)	0.6 (0.53)
	PDA	Experts	1 (0)	0.8 (0.5)	0.7 (0.5)	1 (0)	0.7 (0.5)	0.8 (0.5)
		Novices	0 (0)	6 (0.51)	0.4 (0.51)	0.9 (0.31)	0.9 (0.31)	0.5 (0.52)
Tarmak	PC	Experts	0 (0)	0.3 (0.57)	0.3 (0.57)	1 (0)	0.7 (0.57)	0.3 (0.57)
		Novices	0 (0)	0.6 (0.53)	0.6 (0.53)	1 (0)	1 (0)	0.8 (0.37)
	PDA	Experts	0 (0)	0.8 (0.46)	1 (0)	0.9 (0.35)	1 (0)	1 (0)
		Novices	0 (0)	0.5 (0.57)	0.2 (0.5)	0.7 (0.5)	1 (0)	1 (0)

Au niveau du nombre de réponses correctes, des différences significatives ont été relevées pour la tâche t1 – *recherche d'une procédure* ($H(7) = 44$; $p = .000$) et la tâche t3 –

remplissage d'un tableau ($H(7) = 1.466$; $p = .001$). Les Experts réussissent mieux à la recherche d'une procédure dans la documentation dans les deux conditions avec AirN@v (sur PC et sur PDA) par rapport aux novices, ce qui ne semble pas être le cas avec les deux conditions avec Tarmak sur PC et Tarmak sur PDA pour lesquelles les novices sont meilleurs. Pour la tâche de remplissage d'un tableau avec les différentes actions d'une procédure (tâche t3), ce sont encore les experts qui s'en sortent le mieux sur les deux conditions réalistes (avec AirN@v sur PC et Tarmak sur PDA) et avec AirN@v sur PDA. Mais globalement, au niveau des six tâches, même s'il semble que les experts réussissent beaucoup mieux que les novices avec AirN@v, aucune configuration ne semble améliorer ou détériorer les performances.

Tableau 19 - Score moyen de suivi du chemin optimal (et écart-types)

			t1	t2	t3	t4	t5	t6
AirN@v	PC	Experts	0.5 (0.7)	0 (0)	0.5 (0.7)	0.5 (0.7)	0.5 (0.7)	0.5 (0.7)
		Novices	0.1 (0.37)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.1 (0.37)
	PDA	Experts	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
		Novices	0.4 (0.51)	0.1 (0.31)	0.1 (0.31)	0 (0)	0.2 (0.42)	0.2 (0.42)
Tarmak	PC	Experts	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.7 (0.57)	0 (0)	0 (0)
		Novices	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.3 (0.48)	0.1 (0.37)	0 (0)
	PDA	Experts	0.1 (0.35)	0.4 (0.51)	0.5 (0.53)	0.7 (0.46)	0.4 (0.51)	0.6 (0.51)
		Novices	0 (0)	0 (0)	0.2 (0.5)	0.5 (0.57)	0 (0)	0.5 (0.57)

Pour ce qui est du score lié au suivi du chemin optimal (SCO), une différence significative existe uniquement pour la tâche t4 – recherche d'une référence ($H(7) = 17.749$; $p = .006$). Les experts réalisent la tâche en suivant un chemin plus proche de l'optimum par rapport aux novices avec AirN@v et avec Tarmak sur PC. Avec les deux configurations réalistes, les experts ont donc des performances meilleures que les novices pour la tâche 4. Avec AirN@v sur PDA, les deux populations ont les mêmes performances. Plus globalement, aucune des configurations ne semble rendre les sujets plus performants ou moins performants.

Conclusion

L'analyse au niveau des six tâches proposées pendant le test nous donne comme résultats que les experts s'en sortent mieux que les novices, mais uniquement sur certaines tâches et au niveau de certaines mesures (la durée pour la tâche t1, le NRC pour les tâches t1 et t3, le SCO pour la tâche t4). L'utilisation de Tarmak n'entraîne pas une baisse des performances, ce qui

contredit notre hypothèse. De plus, la majorité des configurations ne semble affecter les performances ni négativement ni positivement.

3.7.1.5.1. Interaction expertise et format - analyse tâche par tâche

L'analyse au niveau des six tâches par le test de Kruskal-Wallis montre qu'une différence significative existe pour la tâche t2 (remplissage d'un schéma) concernant la durée ($H(3) = 8.598$; $p = .035$) : pour remplir le schéma lié à une procédure, experts et novices passent plus de temps sur PDA ($MExPDA = 837.3$; $\sigma = 478.4$ et $MNoPDA = 657.4$; $\sigma = 480.3$) que sur PC ($MExPC = 491.2$; $\sigma = 354.6$ et $MNoPC = 345.5$; $\sigma = 440.5$). Pour la tâche de vérification (t6), une différence significative a également été constatée ($H(3) = 8.652$; $p = .034$) : les experts passent plus de temps avec le format PC ($MExPC = 289.2$; $\sigma = 121.6$) qu'avec le PDA ($MExPDA = 188$; $\sigma = 181$) pour vérifier la tâche. Cela contredit notre hypothèse. Par contre, les novices passent plus de temps sur PDA ($MNoPDA = 309$; $\sigma = 260$) que sur PC ($MNoPC = 211$; $\sigma = 288$).

Une différence significative a été relevée concernant le SCO pour la tâche t1 – *recherche d'une procédure* ($H(3) = 11.282$; $p = .010$). Pour chercher une procédure (t1), les experts se rapprochent plus du chemin optimal avec le format PC ($MExPC = 0.2$; $\sigma = 0.44$) qu'avec le format PDA ($MExPDA = 0.08$; $\sigma = 0.28$). En revanche, les novices sont plus proches du chemin optimal avec le format PDA ($MNoPDA = 0.28$; $\sigma = 0.46$) qu'avec le format PC ($MExPC = 0.071$; $\sigma = 0.267$) pour la même tâche. Pour la tâche t3 – remplissage d'un tableau, une différence significative a également été constatée pour le SCO ($H(3) = 11.960$; $p = .008$). Pour réaliser cette tâche, les experts sont plus proches du chemin optimal avec le PDA ($MExPDA = 0.33$; $\sigma = 0.49$) qu'avec le PC ($MExPC = 0.2$; $\sigma = 0.447$), ce qui semble également le cas des novices. Notre hypothèse n'est donc pas confirmée.

3.7.1.5.2. Interaction expertise et application : analyse tâche par tâche

Tableau 20 - Interaction expertise et application : analyse par tâche - durées moyennes (et écart-type)

	Durée (en sec.)		NRC		NRC		SCO	
	t1		t1		t3		t4	
	Airn@v	Tarmak	Airn@v	Tarmak	Airn@v	Tarmak	Airn@v	Tarmak
NOVICES	974.7(854.2)	342(146.7)	0(0)	0(0)	0.23(0.43)	0.45(0.52)	0(0)	0.36(0.50)
EXPERTS	244.8(99.2)	354.3(108.5)	1(0)	0(0)	0.66(0.51)	0.81(0.40)	0.16(0.40)	0.72(0.46)

L'analyse au niveau des six tâches par le test de Kruskal-Wallis montre une différence significative pour la durée de la tâche t1 ($H(3) = 14.301$; $p = .003$) : les novices passent plus de temps pour chercher une procédure avec AirN@v qu'avec Tarmak alors que les experts présentent un cas inverse en prenant moins de temps avec AirN@v qu'avec Tarmak. Une différence significative concerne également le NRC pour la tâche t1 ($H(3) = 44$; $p = .001$) : les experts arrivent mieux à chercher une procédure avec AirN@v qu'avec Tarmak quand les novices ont des moyennes égales pour les deux applications.

Pour la tâche de remplissage d'un tableau avec les actions liées à une procédure (tâche t3), une différence significative a été constatée ($H(3) = 9.738$; $p = .021$) pour le NRC également : contre toute attente les experts réussissent mieux la tâche avec Tarmak qu'avec AirN@v, ce qui est également le cas des novices.

L'analyse des SCO donne une différence significative pour la tâche t4 – *recherche d'une référence* ($H(3) = 17.534$; $p = .001$). Les experts comme les novices sont plus proches du chemin optimal pour chercher une référence sur Tarmak que sur AirN@v contrairement à l'hypothèse formulée.

3.7.1.5.3. Interaction application et format : analyse tâche par tâche

Quelques différences significatives ont été observées à partir du test de Kruskal-Wallis. Tout d'abord, au niveau de la durée, une différence significative a été relevée pour la tâche t2 ($H(3) = 8.092$; $p = .044$) pour laquelle la population passe plus de temps avec le format PC qu'avec le format PDA. Pour le NRC, une différence significative existe pour la tâche t3 ($H(3) = 8.239$; $p = .041$) pour laquelle la population enregistre plus de bonnes réponses sur PDA que sur PC. Au niveau du SCO, une différence significative existe pour les tâches t3 ($H(3) = 8.761$; $p = .033$), la tâche t4 ($H(3) = 15.654$; $p < .001$) et la tâche t6 ($\chi^2(3) = 11.248$; $p = .010$). Ainsi, sur les tâches proposées, des effets des interactions entre application et format existent uniquement pour ces quelques tâches (t2 = remplissage d'un schéma ; t3 = remplissage d'un tableau ; t4 = recherche d'une référence ; t6 = vérification) pour lesquelles des différences significatives ont été relevées. Pour les autres tâches, les performances des sujets seraient équivalentes quelque soit la combinaison application/format.

3.7.1.6. Conclusion et discussion sur les résultats quantitatifs

Le but de cette expérimentation était d'étudier l'utilisation du petit écran pour la recherche et la consultation d'information dans le contexte de la maintenance aéronautique. L'objectif était

alors de déterminer l'influence du format (PC et PDA), du type d'application (Tarmak pour le petit écran et AirN@v pour le grand écran) et de l'expertise sur la performance de l'utilisateur en matière de durée de la tâche, du nombre de réponses correctes et du score relatif au suivi du chemin optimal. Les différents niveaux d'analyses, que ce soit au niveau de chaque facteur (expertise, format et application) ou au niveau des interactions entre ces facteurs font ressortir très peu de différences significatives. Les hypothèses que nous avons initialement formulé (notamment, des meilleures performances des sujets sur PC que sur PDA en raison de l'habitude d'utilisation ; avec AirN@v sur PC qu'avec AirN@v sur PDA et avec Tarmak sur PDA qu'avec Tarmak sur PC, et ce en raison de l'adéquation de l'application au format pour lequel elle a été conçue ; meilleures performances des novices par rapports aux experts avec le PDA en raison de l'habitude d'utilisation du petit écran et de l'écran tactile ; des meilleures performances des experts par rapport aux novices sur toutes les configurations du fait de leur expertise) ne sont pas retenues pour tous les cas et sont même la plupart du temps rejetées.

Nous avons fait le choix de ne formuler aucune hypothèse par rapport aux performances des novices entre l'utilisation de l'application Tarmak et l'utilisation de l'application AirN@v, cela en raison du fait qu'ils n'ont aucune expérience sur les deux applications. L'expérimentation était alors un moyen de déterminer avec quelle application les novices auraient de meilleures performances. Les résultats montrent très peu de différence significative entre l'utilisation de Tarmak et d'AirN@v chez les novices. Nous en concluons donc que cette population enregistreraient les mêmes performances quelque soit l'application utilisée.

Dans la majorité des cas, les sujets ont donc des performances équivalentes sur toutes les configurations, quelque soit leur niveau d'expertise. Ce qui permet de conclure que l'utilisation du petit écran comme format ainsi que l'utilisation de l'application pour petit écran est tout à fait envisageable pour la maintenance aéronautique d'après les résultats de notre étude. Des réserves sont toutefois à formuler : des différences significatives ont été notées lors de cette étude, et même si celles-ci sont très peu nombreuses, les cas où elles apparaissaient doivent être pris en compte et examinés de plus près. Une différence significative concernant le SCO entre l'utilisation d'AirN@v et celle de Tarmak pourrait par exemple être liée à la difficulté pour atteindre une cible, ce qui pourrait se traduire par un problème de navigation ou de repères (absence ou inefficacité) au sein de l'application pour guider l'utilisateur (cf. Partie 1, Chapitre 3, section 2). Les résultats obtenus lors des entretiens avec les sujets nous confirment l'importance des repères pour éviter la

désorientation et l'égaréement lors de l'utilisation de la documentation (« pas facile d'arriver à la liste des procédures » (Novice 2) ; « l'ordre des références des sous-tâches trompe : on s'attend à ce que la sous-tâche DMC-XX-040-XX soit avant la sous-tâche DMC-XX-095-XX par exemple, et cela conduit à des allers-retours dans la documentation » (Novice 4).

Nous avons mentionné que les quelques cas où des différences significatives existent doivent être considérés dans ces résultats. Tout d'abord, pour le groupe entier, l'utilisation du format PDA semble être plus bénéfique que le format PC en matière de SCO pour l'ensemble du test. Cela contredit l'hypothèse selon laquelle le groupe a une meilleure performance sur PC que PDA. Au niveau des six tâches, le format PC est plus efficace que le PDA pour la tâche t2 en matière de durée de réalisation de la tâche. Cela confirme l'hypothèse H1. La tâche t2 consiste, rappelons-le, à compléter un schéma à partir de la procédure trouvée en t1. Elle est caractérisée par l'alternance entre la consultation de la documentation et l'écriture de chaque réponse sur le schéma. D'après le résultat du test, le format PC d'une façon générale, c'est-à-dire sans distinction d'application, semble donc être propice à ce type de tâche du point de vue de la durée. Aucune différence de performance liée au type de format n'a été relevée du point de vue du NRC et du SCO pour la tâche t2. Pour la tâche t3 qui consiste à remplir un tableau avec chaque action liée à la procédure de la tâche de maintenance et le nom de l'équipement ou pièce concernée par l'action (cf. le livret de consigne en annexe), un meilleur résultat avec le PDA a été constaté par rapport au PC concernant le NRC. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que le PDA permet à l'utilisateur de se focaliser sur un petit périmètre d'écran et de quantité limitée d'informations affichées, et ainsi de ne pas être perturbé par d'autres informations affichées mais qui ne sont pas utiles à la tâche qu'il fait sur le moment. Cela permet un meilleur repérage des informations. Aucune différence de performance concernant les trois variables n'a été constatée pour les autres tâches entre l'utilisation du PC et du PDA.

Au niveau des applications, nous notons une meilleure efficacité de l'application AirN@v par rapport à Tarmak pour la tâche t1 en matière de NRC et de SCO. Nous pourrions en conclure que pour la recherche d'une procédure (objet de la tâche t1), l'affichage de l'application AirN@v qui permet d'avoir des informations et des indications sur le chemin à suivre ou des repères pour arriver à la procédure voulue apporte une aide importante à l'utilisateur dans sa navigation et facilite ainsi l'accès à la procédure. En revanche, pour la tâche t6, le groupe a une meilleure performance (NRC) avec l'application Tarmak. Celle-ci semble alors être plus efficace pour les tâches de vérification, telle que la tâche t6 du test, car l'affichage étape par

étape de la procédure permet une focalisation sur chacune des étapes et évite la dispersion de l'attention de l'utilisateur sur d'autres informations inutiles mais affichées sur l'écran.

En distinguant les applications utilisées suivant le format, on peut constater que le groupe a une meilleure performance avec AirN@v sur PDA qu'avec AirN@v sur PC en matière de NRC. Cela contredit notre hypothèse puisque l'application AirN@v n'a pas été conçue pour le format PDA et on ne s'attendait pas à ce que cette combinaison soit bénéfique pour le groupe. La raison de ce résultat reste à déterminer.

En comparant chaque population, les résultats montrent une meilleure performance des experts par rapport aux novices en terme de NRC sur le format PDA. Les experts ont bénéficié de leur expérience en maintenance et de l'utilisation de la documentation pour compenser la lacune liée à l'âge ou à la familiarité plus faible avec le petit écran par rapport aux novices. En ce qui concerne les applications, les résultats montrent une différence entre les deux populations. Cette différence concerne tout d'abord l'utilisation de l'application Tarmak pour laquelle les experts sont plus performants que les novices en terme de SCO. La connaissance de la documentation et de la tâche semble être à l'origine de cette performance puisque les experts disposent déjà de la représentation mentale du découpage de la procédure et étaient donc plus disposés que les novices à estimer la localisation des informations demandées pendant le test. La différence relevée entre les deux populations concerne aussi l'utilisation de l'application Tarmak en termes de durée d'exécution du test : les novices sont plus rapides que les experts. Cela contredit notre hypothèse mais montre une meilleure adaptation des novices à l'application qui est destinée au petit format, probablement en raison du fait que cette population est plus familière avec l'utilisation du petit format qui la plupart du temps adopte la même navigation que l'application Tarmak, c'est-à-dire avec un déroulement des informations page par page. Il y aurait donc un transfert des connaissances liées à l'utilisation d'un format et d'une application utilisés dans la vie quotidienne vers l'utilisation d'un système destiné au milieu professionnel. Ce ne serait pas uniquement l'expertise métier qui influencerait l'utilisation d'un système d'information mais l'expertise acquise à partir de la vie de tous les jours jouerait également un rôle. En l'absence de connaissance métier, l'utilisateur se servirait alors des autres connaissances qu'il a en stock dans sa mémoire. Ce mécanisme a également été observé à partir du comportement des participants au cours du test : alors que les novices effectuaient le test silencieusement, les experts, eux, passaient le test en verbalisant les actions qu'ils étaient entrain d'entreprendre et en pensant à voix haute. Ils repassaient alors en revue les différentes étapes de la procédure

demandée telle qu'ils le feraient dans la réalité concernant la succession des étapes, les outils utilisés pour une étape mais aussi la disposition et l'affichage des différentes rubriques sur l'interface (« cet élément est un ingrédient, qu'est-ce que ça fait avec les *sparcs* », selon un OM concernant l'affichage des informations dans l'application Tarmak ?).

3.7.2. Résultats qualitatifs

3.7.2.1. Analyse des réponses au questionnaire

Pour rappel, les tests avec les novices ont eu lieu pendant les séances de Travaux Pratiques (TP), avec des groupes différents à chaque séance de test. Pour ne pas perturber le cours de TP, quelques élèves seulement participaient au test dont le nombre variait, allant de 2 à 8, en fonction de la disponibilité des élèves de chaque groupe. Pour chaque groupe de test, un élève a été sollicité pour répondre aux questions post-tests, sauf à une séance qui a vu la participation de deux élèves. Au total, 6 novices ont répondu aux questions. Quant aux experts, tous les participants aux tests ont répondu aux questions, soit 17 personnes.

Les trois questions posées visaient à avoir l'avis des participants sur l'utilisation du petit écran comme support quelque soit l'application qui y est utilisée, sur la présentation et l'affichage des informations avec l'application T qui a été conçue pour le petit écran et les suggestions des participants pour l'amélioration de la même application. Nous présentons ici quelques réponses. L'ensemble des réponses des participants sont rapportées en annexes. Nous donnons

Question 1 : Comment avez-vous trouvé l'utilisation du petit écran ?

Pour les participants, l'utilisation du petit écran « C'est chouette quand même » (Novice 4) ;
« C'est bien, c'est pratique » (Novice 5) ;

« C'est, bien » (Expert 2) ;

« C'est très bien pour gagner du temps au lieu de feuilleter plusieurs pages en papier et pour amener la documentation sur avion » (Novice 2) ;

« Ce système présente un avantage par rapport au papier quand il pleut ou il vente » (Expert 6) ;

« Peut-être utilisable mais avec beaucoup d'adaptation. Le stylet n'est pas pratique, n'est pas adapté. On peut le perdre » (Expert 4). « il faut avoir des lunettes pour la lisibilité sur petit

écran » (Expert 6). « Le petit écran c'est bien pour les essais dans les postes, par exemple pour les équipements cabines, mais pas pour dehors (car on a besoin des deux mains pour les tâches à l'extérieur) » (Expert 6) ; « C'est efficace pour le dépannage peut-être » (Expert 3).

Question 2 : Comment avez-vous trouvé la présentation de l'information (sur Tarmak) ?

« J'ai de la difficulté pour trouver les procédures » (Experts 6) ; « pas facile d'arriver à la liste des procédures » (Novice 2) ;

« J'ai eu des difficultés pour trouver (la rubrique sur) les équipements », (Novice 3) ; « l'ordre des références des sous-tâches trompe : on s'attend à ce que la sous-tâche DMC-XX-040-XX soit avant la sous-tâche DMC-XX-095-XX par exemple, et cela conduit à des allers-retours dans la documentation » (Novice 4) ;

« Le découpage des procédures est trop micro. On perd les repères par rapport à nos habitudes (c'est-à-dire la présentation de la liste de procédures en arborescence). Il y a une confusion entre les boutons et les titres surlignés. On ne repère pas le début et la fin d'une sous-procédure. Concernant l'affichage de la référence d'une pièce, on n'est pas tout le temps attentif à ce qui se passe en bas de l'écran (Expert 1). Selon l'Expert 2, « vérifier à chaque fois le changement du numéro de la tâche est assez contraignant » et « La barre de progression n'est pas assez réaliste : on n'a pas un indicateur de temps ».

Pour l'Expert 4, la surface de l'écran n'est pas utilisée de façon optimale, surtout la partie de droite. Il s'attendait à ce que « en cliquant sur le numéro de la procédure, celle-ci s'affiche ».

Pour l'Expert 6, les fenêtres à la suite sont gênantes : « Il faut avoir les suites à la verticale pour qu'on les voie de suite. Puis, le fait de ne pas pouvoir revenir à l'étape précédente en cas de doute pose problème (en mode *execute*) ».

Pour l'Expert 7, la présentation des informations ne correspond pas à ses habitudes : « d'habitude, j'utilise directement la rubrique recherche, je tape directement le n° de la tâche. J'utilise beaucoup tout ce qui est recherche et raccourcis ».

Pour les participants, « il faut plutôt mettre *Equipment & Tools* au lieu de *Equipment* ; *ingrédients* au lieu *supplies* (Expert 2). « Je trouve que les termes *explore* et *execute* créent une confusion et j'ai des difficultés pour chercher la sous-procédure. Ca change quand même d'AirN@v. La tournure n'est pas habituelle : il faut que ça parle aéronautique » (Expert 3) ;

« On a besoin d'utiliser les figures. Les figures manquent » (Novice 1) ; « Il n'y a que du texte dans cet outil. Nous, ça dépend des tâches mais on se réfère souvent au schéma quand on travaille (Expert 3) ; « Il n'y a pas de schéma. Mais le visuel est important pour notre travail » (Expert 6).

Question 3 : avez-vous des suggestions pour améliorer le système ?

« Il faut ajouter une recherche par mot clé » (Novice 2) ; « en double cliquant sur une procédure, ça l'ouvre » « et des boutons plus familiers semblables à ceux de Windows » (Novice 5). Au niveau du contraste, il faut prendre en compte les différentes conditions de travail (Expert 1).

« A partir des *faults causes*, on devrait déjà avoir la liste des tâches concernées sans avoir à explorer tous les *faults causes* pour chercher une procédure. Idem pour les sous-tâches », et aussi « Reprendre la représentation sous forme arborescente des procédures comme dans la documentation utilisée actuellement » (Expert 2).

« Je trouve que ce serait bien d'avoir un schéma car on s'y réfère pour faire une procédure, mais ça dépend des tâches, par exemple pour le serrage, pour savoir quel écrou utiliser, j'aurais besoin d'un schéma » et « Il faut une taille de police plus grande pour le texte et plus petite pour le schéma ». « En cliquant sur la flèche « suivant », cela coche l'étape précédente (effectuée) » (Expert 3).

Il faut reprendre les mêmes termes utilisés dans la documentation actuelle : au lieu de *supplies*, utiliser *consumables* et au lieu de *equipment*, utiliser *support Tools* » ; « Il faut respecter les codes couleurs » ; « La barre de progression doit être un indicateur de l'objectif et doit tenir compte de la progression dans la tâche principale et les sous tâches » ; « Il faut regrouper les informations pour éviter trop de clics » (Expert 4).

« Il faut faciliter la navigation : éviter l'empilage de plusieurs fenêtres ; améliorer la traçabilité de la navigation » (Expert 5).

« Le visuel est important : ça fait gagner du temps » (Expert 6).

« Ajouter un moteur de recherche » (Expert 7)

3.7.2.2. Analyse des difficultés d'utilisation rencontrées

Globalement, chez les novices comme chez les experts, les réactions sont positives quant à l'utilisation du petit écran comme support de consultation de la documentation de

maintenance. Pour les novices, le support sur petit écran est jugé comme étant une solution alternative au support papier. Les experts trouvent également un avantage pour l'utilisation du petit écran par rapport au papier. Toutefois, pour certains experts, l'outil ne peut pas être utilisé tel quel. Des adaptations et des modifications doivent être apportées.

Les participants ont relevé des difficultés et des problèmes d'utilisation quant à l'utilisation de l'application pour petit écran (T). Les réponses des participants concernent la difficulté d'accès aux informations recherchées, la difficulté liée à l'affichage et la présentation des informations, le problème lié à la terminologie utilisée et l'absence de figure/schéma. Ces remarques sont présentées autour des trois points qui synthétisent les problématiques traitées dans le cadre de la thèse, à savoir :

- la recherche et le traitement de l'information ;
- la navigation ;
- la présentation de l'information.

3.7.2.2.1. La Recherche d'information

Le fait de ne pas retrouver des éléments qui leur sont familiers dans l'outil pénalise les utilisateurs. Ainsi, ils éprouvent une difficulté pour effectuer une recherche que ça soit d'une procédure ou d'une référence en raison de

- l'inexistence d'outil de rechercher dans Tarmak, ce qui va à l'encontre de leurs habitudes
- l'utilisation de terminologie inhabituelle ou la confusion entre les termes utilisés (Par exemple, *toolnbr* et *refcsn*, illustrée dans Figure 57). En effet, quand il a été demandé aux participants de relever la référence d'une pièce, ils se demandaient s'il fallait regarder la ligne correspondante à *toolnbr* et ou à *refcsn*, car parfois, les deux lignes sont renseignées. Pour rappel, dans AirN@v, l'outil utilisé habituellement par les opérateurs de maintenance, la référence d'une pièce est désignée par le terme *Reference*.



Figure 57 - Information sur la référence des pièces et équipements

Dans leur pratique habituelle, les opérateurs de maintenance utilisent fréquemment l'historique pour vérifier les étapes accomplies et également pour effectuer une recherche d'information, par exemple pour avoir une information contenue dans la procédure précédente et qui est nécessaire pour la procédure en cours. L'inexistence de l'historique dans Tarmak est handicapant pour les utilisateurs dans le sens où non seulement ils doivent se souvenir de la procédure précédente mais également rechercher à nouveau celle-ci avant de rechercher l'information qui l'intéresse pour l'étape en cours. Ceci entraîne des coûts cognitif et temporel.

3.7.2.2.2. La navigation

Les principales difficultés des utilisateurs en matière de navigation sont :

- la désorientation : au bout d'un moment, parfois même dès le début de la navigation, l'utilisateur ne sait plus où il se trouve dans la documentation ni quelle action entreprendre. Cela est dû notamment par la localisation de la fenêtre des sous-procédures (cf. Figure 58) qui se trouve quatre pages après la page d'accueil. Cela ne correspond pas à ce que l'utilisateur s'attende de la documentation et pourrait le perturber.

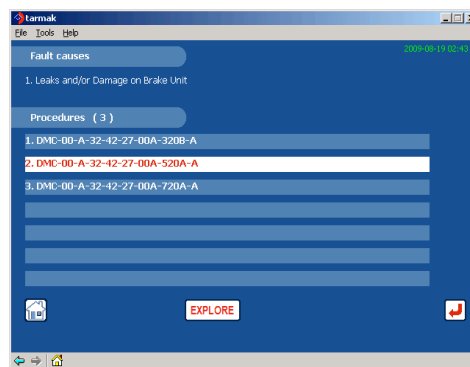


Figure 58 - Fenêtre des sous-procédures

- l'accès à certaines informations qui ne paraît pas intuitif pour l'utilisateur en raison des moyens proposés qui ne tiennent pas compte de la pratique habituelle lors de l'interaction avec un document numérique. Par exemple, pour voir les détails de la tâche **DMC-00-A-32-42-27-00A-520A-A Normal brake - Removal procedure - Main task**, l'utilisateur doit d'abord cliquer sur la ligne correspondante dans la liste des procédures (cf. Figure 58) puis cliquer sur « explore ». Habituellement lors de l'utilisation d'un document numérique, il suffit d'un double clic sur la ligne. Ceci éviterait un déplacement supplémentaire sur la fenêtre et réduirait ainsi les actions à effectuer par l'utilisateur.

3.7.2.2.3. La présentation de l'information

Dans la documentation utilisée actuellement (AirN@v), une page contient des informations trop denses pour les utilisateurs. Le découpage de la procédure en plusieurs pages correspondant à chaque étape est reçu comme étant une solution pertinente par les experts. Toutefois, ce découpage dans Tarmak est trop détaillé rendant ainsi la procédure trop éclatée et parfois difficile à suivre. Comme conséquence, cela pourrait amener l'utilisateur à marquer une coupure dans la réalisation de la tâche principale (maintenance) à un moment peut-être crucial au cours de la procédure pour pouvoir consulter les informations dans la documentation. Au-delà de la perte de temps que cela peut engendrer, l'utilisateur risque d'être perturbé par les multiples actions à effectuer pour accéder aux informations nécessaires. En effet, la réalisation de certaines tâches, comme les tâches sur le *circuit breaker* par exemple, nécessite d'avoir sous les yeux une vue simultanée des étapes à faire. Si ce n'est pas le cas, l'utilisateur aura plus de difficulté de se faire une représentation mentale de la tâche à faire qui est une étape jugée indispensable par les opérateurs de maintenance avant la réalisation de la tâche.

L'absence d'indication des frontières entre les différentes sous-tâches d'une même procédure principale est gênante pour l'utilisateur du fait qu'il lui est difficile d'identifier la limite de chaque sous-tâche. D'ailleurs, le changement de la référence de la tâche indiquée en haut de la fenêtre à chaque fin de sous-procédure et au début de la suivante n'a pas été repéré par la majorité des participants. Leur demander de vérifier à chaque fois si la référence de la sous-tâche en haut de l'écran change peut être coûteux en effort.

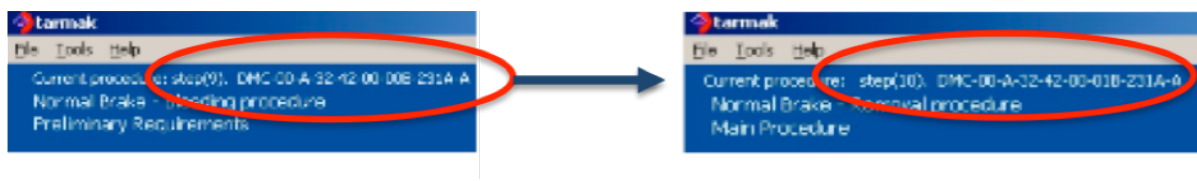


Figure 59 - Passage d'une étape à l'autre : absence de signal

En outre, la perte de la référence de la procédure principale après le clic sur *equipment* perturbe l'utilisateur puisqu'il n'a plus d'indication sur la tâche pour laquelle il consulte des informations sur l'équipement. L'absence de cette information est cognitivement coûteux pour lui qui doit en même temps garder en mémoire la référence de la tâche principale et naviguer dans la documentation pour chercher une information. Dans la version de la documentation testée, les informations détaillées (référence, quantité utile, etc.) sur un

outil/équipement s'affichent en bas de l'écran et changent à chaque fois qu'on clique sur un autre outil/équipement (figure 60). Les deux informations (nom de l'outil et détails) sont liées mais sont présentées de façon éclatée sur la fenêtre, ce qui peut provoquer une gêne chez l'utilisateur qui doit fournir un effort en déplaçant son regard d'un endroit à l'autre (en l'occurrence de haut en bas) de l'écran.



Figure 60 - Affichage actuel des informations sur les équipements

La gêne liée à la lecture du fait de la taille des polices inadaptée à certains utilisateurs, notamment les plus âgés, pourrait pénaliser l'utilisateur sur la tâche de maintenance du fait qu'il aura besoin de plus de temps et d'attention pour la lecture.

La non prise en compte des pratiques habituelles perturbe l'utilisateur dans le cas de l'absence de schémas dans Tarmak. En effet, avoir des schémas disponibles en même temps que le texte de la procédure est également indispensable pour les utilisateurs car certaines tâches nécessitent la consultation à la fois du texte et du schéma. C'est le cas par exemple d'une tâche de serrage pour laquelle la consultation de la figure correspondante à la procédure aide à savoir l'écrou à utiliser.

Au niveau du contraste, l'affichage (police blanche sur fond bleu foncé) pourrait ne pas être compatible avec les différentes conditions de travail en maintenance aéronautique du point de vue de la luminosité (par exemple pour les tâches effectuées dans les endroits sombres comme les soutes). La non compatibilité pourrait avoir comme conséquence une gêne de consultation de la documentation pour l'utilisateur. Cela pourrait le pénaliser dans la tâche de maintenance.

3.7.2.3. Synthèse

Au vue des différentes difficultés rencontrées par les utilisateurs lors de l'utilisation de la documentation sur petit écran, nous synthétisons ci-dessous les besoins formulés par les

utilisateurs et les solutions qui pourraient les satisfaire en ce qui concerne la recherche et le traitement de l'information, la navigation et la présentation des informations.

3.7.2.3.1. La recherche et traitement de l'information

Proposer un outil de recherche (par mots-clés, code FIN, etc.) pour donner à l'utilisateur la possibilité de retrouver leur pratique métier et ainsi pour une meilleure acceptation du système qui est nouveau pour lui. En effet, selon Dubois et Bobillier-Chaumon (2009), un système pour être acceptable doit avoir une utilité répondant aux exigences des utilisateurs en termes de fonctionnalités attendues, mais aussi de métiers. Le système doit donc être «flexible» pour s'adapter aux stratégies ou habitudes de travail et exigences de la tâche. Dans la réalisation de la tâche de maintenance, l'opérateur a parfois besoin de vérifier par exemple les données sur un outil lorsqu'il arrive à l'étape où il doit utiliser celui-ci. Un outil de recherche lui permettra d'effectuer cette action d'une façon plus aisée et moins coûteuse en temps et cognitivement. Cela est confirmé par Barnard et Reiss (2006) qui disent que quand la documentation est utilisée au cours de la réalisation d'une tâche de maintenance, l'utilisateur ne peut pas focaliser son attention sur la documentation par manque de temps et en raison du fait que son attention est également déjà concentrée sur la tâche. Les auteurs notent alors que le système (d'information) doit être adapté à la tâche réalisée, que les informations doivent être présentées clairement et par petites unités. De plus, différentes fonctions de recherche doivent aussi être mises à la disposition de l'utilisateur, comme la recherche (en) plein texte, par mots-clés, par synonymes, etc.

Dans le but également de prendre en considération le contexte et la pratique métier, la documentation doit reprendre la terminologie utilisée habituellement dans le métier de la maintenance aéronautique pour éviter une surcharge supplémentaire sur le traitement de l'information. En effet, l'utilisation de termes nouveaux pourrait perturber le modèle (représentation) mental(e) que l'utilisateur s'est construit sur la documentation au cours des utilisations de celle-ci. L'utilisateur s'attend à retrouver les mêmes termes que dans la documentation qu'il a l'habitude d'utiliser, notamment compte tenu du fait que la maintenance aéronautique est un domaine réglementé du point de vue terminologique. Une gêne au niveau du modèle mental pourrait avoir comme conséquence une recherche d'information inefficace et coûteuse.

3.7.2.3.2. La navigation

Avoir une vue globale des étapes déjà exécutées permet à l'utilisateur d'effectuer une auto-évaluation (se situer par rapport à la procédure), de savoir où il est dans la documentation et où il peut aller et d'éviter ainsi une désorientation dans la procédure.

De plus, l'affichage d'une vue globale du contenu de la documentation constitue une aide à la navigation pour l'utilisateur, notamment pour une documentation présentée sous un nouveau format, en lui permettant de se construire un modèle mental adéquat (Barnard & Reiss, 2006).

Les moyens pour se localiser dans la documentation peuvent se réaliser sous plusieurs formes :

- un historique (affichage des étapes exécutées) ;
- un affichage permanent de la référence de la tâche mère (ou principale) sur toutes les fenêtres concernées par celle-ci, et pour Tarmak dans la partie *equipment* ;
- ajout d'un indicatif/signal entre les sous-tâches pour avertir l'utilisateur de la transition d'une sous-tâche vers une autre.

3.7.2.3.3. La présentation de l'information

Un affichage plus convivial (une interface plus élaborée avec plus de couleurs, utilisation d'icônes et de symboles plus élaborés) renforcerait l'acceptation du système par les utilisateurs. Cet aspect relève de la dimension esthétique de la conception de la documentation qui est un facteur non négligeable pour « séduire » les futurs utilisateurs. En effet, d'après Barcellina et Bastien (2009), les propriétés esthétiques d'un produit sont parmi les facteurs qui définissent le degré de l'acceptabilité de celui-ci. Les autres facteurs sont par exemple l'utilité perçue, la valeur culturelle véhiculée par le produit, le coût économique, etc. Il est donc nécessaire de prendre en compte des aspects non instrumentaux, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas liés directement à l'efficacité et à l'efficacité de l'activité (Barcellina & Bastien, 2009). Et selon Norman (2004), les choses attractives fonctionnent mieux. Mahlke et Thüring (2007) a établi un modèle qui démontre que l'esthétique entre effectivement dans les dimensions à prendre en compte pour l'acceptation d'un produit. Les réactions émotionnelles (réactions physiologiques, jugement cognitifs, tendances comportementales, etc.) seraient influencées par la perception des qualités à la fois instrumentales (utilité, utilisabilité, etc.) et non instrumentales (par exemple l'esthétique).

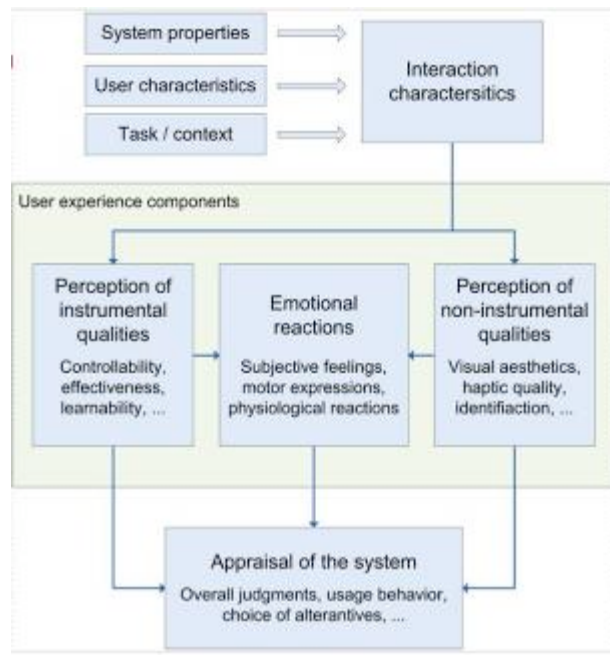


Figure 61 - Modèle de Mahlke et Thüring (2007)

La définition de l’affichage, même du point de vue esthétique (couleur et contraste par exemple), doit être effectuée en respectant les critères ergonomiques. Ainsi, l’utilisation des couleurs et contrastes doit prendre en compte le contexte réel d’utilisation. Caro et Bétrancourt (2001) conseillent d’utiliser au maximum 7 couleurs faciles à distinguer et d’utiliser la couleur pour mettre en saillance les éléments en rapport, en mettant la même couleur de fond pour ces éléments. Ainsi, dans le cas de Tarmak, on pourrait mettre le même fond de couleur pour la rubrique procédure. Le gris foncé a été donné comme exemple de fond utilisable dans différentes conditions de luminosité selon un expert qui a participé à notre expérimentation. Mais cela a été contredit par les résultats des tests effectués sur avion (cf. l’expérimentation sur la portabilité des appareils à petits écrans dans le chapitre suivant). Toutefois, l’utilisation des couleurs est moins adaptée pour distinguer les détails. Dans ce cas, il est plus efficace d’opter pour la différence d’intensité lumineuse en noir/gris/blanc. Pour le changement des sous-tâches dans Tarmak, cela peut être signalé par un changement de contraste qui est plus efficace qu’un changement de couleur car l’œil utilise davantage les différences de contraste que de couleur (Caro & Bétrancourt, 2001).

Une taille de police adaptée à l’utilisateur doit également être prise en considération. Pour cela, on pourrait mettre à la disposition de l’utilisateur un moyen pour ajuster la taille de la police à sa convenance.

Le choix d'icônes ne présentant pas de risque de confusion avec d'autres icônes réduiraient également l'effort cognitif à fournir, et ce suivant les critères d'homogénéité/cohérence et de la signifiante des codes (Bastien & Scapin, 1993)¹⁶.

Pour la présentation de la liste de procédures sur la fenêtre des procédures, il faut également afficher l'intitulé de la tâche à côté de la référence correspondante (cf. Figure 61) pour aider l'utilisateur à comprendre ce qui lui est demandé, à se représenter le contenu de la tâche et à anticiper l'ordre des actions à faire. En effet, la compréhension des instructions inclut deux sous-processus : la construction préalable d'une représentation de la situation et l'élaboration d'un plan d'action (Ganier et al., 2001).

Ci-dessous un exemple pour la deuxième procédure : ***DMC-00-A-32-42-27-00A-520A-A Normal brake - Removal procedure - Main task***



Figure 62 - Affichage actuel et proposition d'affichage

La tâche sélectionnée se met en surbrillance et les détails des sous-tâches s'y rattachant s'affichent dans une petite fenêtre à la demande de l'utilisateur.



Figure 63 - Proposition d'affichage : sélection d'une tâche et affichage des sous-tâches

¹⁶ Le critère Homogénéité/Cohérence : façon selon laquelle les choix de conception de l'interface (dispositifs, modalités, codes, dénominations, formats, procédures, comportements, etc.) sont conservés pour des contextes identiques, et sont différents pour des contextes différents. Le critère Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements : adéquation entre l'objet, le comportement ou l'information présentée ou entrée, et son référent. (Bastien & Scapin, 1993)

Pour les outils/équipements, afficher les détails des informations correspondant à proximité du nom de l'outil. Par exemple en passant la souris sur le nom de l'outil ou en cliquant dessus, les informations détaillées sur celui-ci s'affichent.

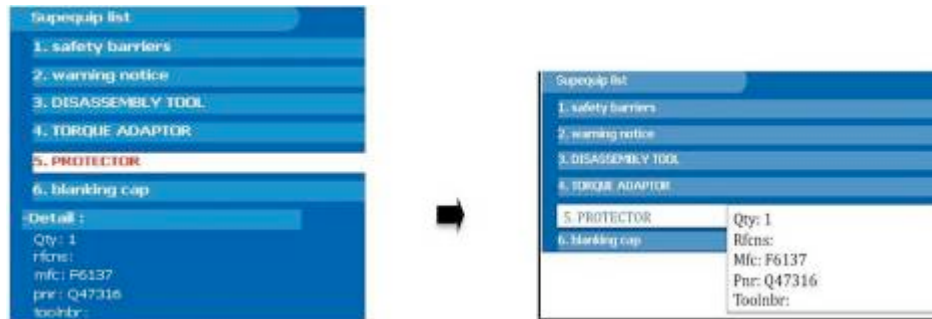


Figure 64 - Affichage actuel des détails sur les équipements et proposition d'affichage

La proposition de la procédure sous forme textuelle accompagnée de figures aiderait l'opérateur pour la réalisation de sa tâche. Selon Tricot (1998), la proximité physique des sources d'information visuelles facilite la mise en relation des éléments textuels et illustrés et une utilisation plus efficace du document. Pour Mayer (1997), le format « texte + image » faciliterait la construction d'un modèle mental. De plus, cela améliore la performance dans la réalisation d'une tâche d'assemblage dans un temps limité (Morrell & Park, 1993).

La taille de l'écran de la documentation que nous étudions étant limitée, la solution pour l'affichage « texte+image » pourrait résider dans l'organisation dynamique de l'espace de l'écran, par exemple en utilisant la fonction « collapse-to-zoom » (Zwick, Schmitz & Kühl, 2005) : les contenus sont divisés en colonnes, en deux par exemple, avec la possibilité de réduire la colonne non consultée pour afficher en plein écran la colonne consultée, suivant le modèle illustré ci-dessous.

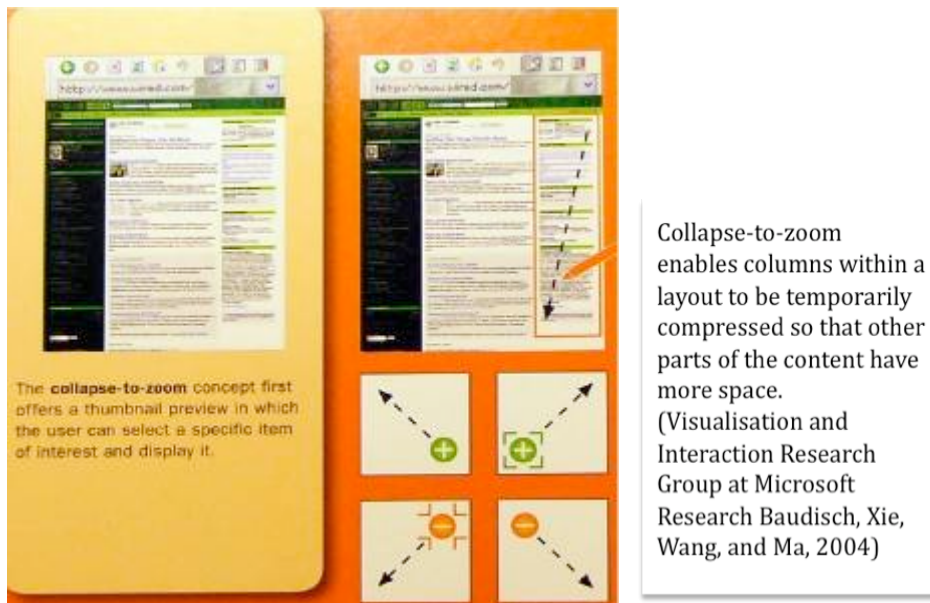


Figure 65 - Proposition affichage texte + image

Si le schéma reste réduit sur le petit écran, la fonction de zoom, à l'image de l'exemple dans la figure 66 ci-dessous (Zwick et al., 2005), peut également être proposée pour donner à l'utilisateur la possibilité d'agrandir et se focaliser sur une partie qui l'intéresse sur le schéma affiché sur l'écran et ceci en se déplaçant sur celui-ci.

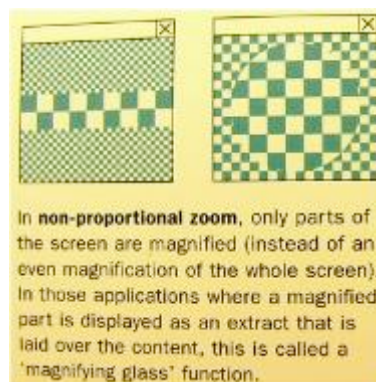


Figure 66 - Proposition schéma et figure

3.8. Conclusion sur les tests d'utilisation du petit écran pour la RCI

Cette expérimentation sur l'utilisation du petit écran pour la RCI montre que le type de format, le type d'application et l'expertise n'ont pas systématiquement un effet sur la performance de l'utilisateur. Ils ont un effet dans certains cas qui sont largement minoritaires mais qui malgré cela devraient être pris en compte dans la conception de la documentation. Du point de vue du comportement d'utilisation, au cours des tests avec Tarmak, nous avons noté que certains participants (des experts) avaient tendance, pendant le test, à formuler leurs

appréciations avant même d'avoir essayé des fonctions de l'application. Cela correspond à un comportement des individus face à un dispositif souligné par Deconde (2009) qui dit qu'avant même d'utiliser un dispositif, les individus pourraient préjuger de la qualité de celui-ci par ignorance. Toutefois, l'ensemble des résultats nous permet de dire que l'utilisation du petit écran pour la RCI dans le contexte de la maintenance aéronautique est envisageable, cela en raison de l'utilisation de l'expertise chez les experts pour se servir des nouveaux outils, et de l'adaptation des novices au système qu'ils n'ont jamais utilisé auparavant. En effet, ces derniers ont une habitude d'utilisation dans la vie quotidienne d'un système similaire à celui qui a été utilisé pour le test (petit écran). En effet, là où nous attendions un mauvais résultat des novices, les novices enregistraient de bonnes performances.

Le petit écran semble être un outil qui répond à un certain nombre des besoins des opérateurs, notamment parce qu'il permet d'avoir accès aux différentes informations de façon permanente et rapide au cours de la réalisation de la tâche. Néanmoins, l'outil est mieux accepté par les novices que leurs collègues experts qui, sans être tout à fait opposés à son utilisation, montrent encore une certaine résistance. Ce comportement pourrait se justifier par la nouveauté de l'usage du format petit écran comme le PDA dans le domaine de la maintenance aéronautique. Les experts qui témoignent déjà d'une certaine habitude d'utilisation des systèmes existants ont alors du mal à adopter les systèmes à petits écrans. En effet, selon Deconde (2009), les caractéristiques démographiques (ici l'âge) peuvent influencer l'intention comportementale d'utilisation d'un dispositif par les individus. Toutefois, les résultats de l'étude nous permettent de dire que l'utilisation du petit écran est envisageable aussi bien avec des novices qu'avec des experts, avec une application adaptée à ce format mais également avec une application pour écran standard lorsque l'utilisation n'est pas permanente ni continue pour avoir une bonne performance de l'utilisateur. L'application pour la consultation sur petit écran gagne à être améliorée pour satisfaire les besoins des utilisateurs qui sont déjà prêts à l'utiliser mais souhaitent plus d'adaptation à leurs habitudes et contexte de travail et pour faciliter l'acceptabilité de l'outil auprès des autres, c'est-à-dire de ceux qui sont encore réticents mais pas complètement opposés à l'utilisation de ce genre d'outil de consultation d'information. Dans cet objectif, nous avons participé à une étude qui vise à prendre en compte le contexte de la maintenance aéronautique, notamment en ce qui concerne l'ambiance lumineuse, dans le développement d'un système mobile (appareil mobile) pour la consultation d'informations au cours de la tâche de maintenance sur avion. Nous décrivons l'étude et les résultats obtenus dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 3. ETUDE SUR AVION DE L'UTILISABILITE ET DE LA PORTABILITE DE L'APPAREIL MOBILE A PETIT ECRAN

1. Introduction

Comme mentionné dans le chapitre II, l'outil utilisé pour le support de la tâche de maintenance aéronautique doit être adapté au contexte de la maintenance aéronautique et de l'OM, plus particulièrement le nomadisme et la mobilité de celui-ci. Dans cet objectif, l'utilisation du petit écran pour la consultation et la RI est envisagée. Mais pour l'optimisation de l'outil, sa conception doit bien tenir compte des utilisateurs finaux et du contexte d'utilisation. Nous avons participé à une étude dont l'objectif allait dans ce sens.

2. Contexte de l'étude

Le projet @Most (*Airbus Total maintenance Operations Solutions and Technologies*) dont fait partie cette étude sur le terrain est un projet de recherche qui a été lancé en 2007. L'un des sujets traités par le projet est la proposition de solutions innovantes pour améliorer l'efficacité de la maintenance en mettant à la disposition des OM les informations dont ils ont besoin sur le lieu de travail.

Cette étude sur le terrain est un travail d'équipe. Nous l'avons menée avec les personnes de l'équipe en charge des problématiques facteurs humains du projet @most.

3. Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude sur l'appareil mobile à petit écran était double. Il s'agissait tout d'abord de tester, par simulation de tâche de maintenance, la lisibilité des informations affichées sur l'interface (le texte, les icônes et un schéma IPC) selon différents paramètres (couleur de fond, couleur des polices, taille des polices) et selon différentes conditions de localisation : à l'extérieur, dans la soute cargo, dans la soute avionique. Ces différentes localisations ont été choisies car elles correspondent à des niveaux de luminosités différents, allant du plus clair (tarmac) au plus sombre (soute avionique). Le niveau de luminosité constitue un facteur important pour la lisibilité de l'interface. Le but était de comparer plusieurs solutions d'affichage afin de repérer les avantages et inconvénients selon certains critères ergonomiques (cf. Chapitre II), à savoir : la lisibilité des informations présentées ; la

charge de travail (la réduction de la charge perceptive, mnésique ou physique des utilisateurs et l'augmentation de l'efficacité du dialogue) ; l'homogénéité/cohérence.

En résumé, il s'agissait de tester :

- la lisibilité de la configuration taille de police et couleurs de fond d'écran (blanc, noir, gris foncé et gris clair) sur un petit écran sous 3 conditions lumineuses différentes (extérieur, soute avionique, soute cargo) ;
- la lisibilité des phrases écrites en couleur (panel de couleur) et d'un icône (triangle) selon quatre couleurs de fonds (blanc, noir, gris foncé et gris clair) sous 3 conditions lumineuses différentes (extérieur, soute avionique, soute cargo) ;
- la lisibilité des schémas IPC selon plusieurs couleurs de fond (blanc, noir, gris foncé et gris clair), sous 3 conditions lumineuses différentes (extérieur, soute avionique, soute cargo).

Le deuxième objectif de l'étude était de tester la maniabilité, la portabilité, l'accès aux différentes parties de l'avion et la facilité d'utilisation de l'appareil mobile dans les différentes parties de l'avion en réalisant deux tâches : une tâche de *walkaround* (tour avion), une tâche d'un remplacement d'un calculateur et une tâche qui consistait à ouvrir et *tagger* des *circuits breakers*. Ces tâches ont été choisies car elles sont courantes en maintenance et qu'elles impliquent de la mobilité. Elles ont été définies avec l'aide d'un OM expert. Elles permettent de bien illustrer la façon dont l'OM utilise l'appareil de consultation d'informations au cours de sa tâche selon la localisation de celle-ci et de son accessibilité compte tenu notamment du caractère exigü ou de la difficulté d'accès de certaines parties de l'avion (pour la soute avionique, par exemple).

Le niveau de luminosité a été préalablement mesuré pour bien définir les conditions dans lesquelles les tests de lisibilité ont été menés et obtenir des résultats fiables. Ces relevés sont présentés dans la section relative aux résultats. Ils pourraient être utilisés pour réitérer des tests sous les mêmes conditions de luminosité.

4. Méthodologie

4.1. Matériels

Pour les deux tests (celui de la maniabilité et celui de la lisibilité), un appareil mobile à petit écran a été utilisé (CFU1 Panasonic – écran 5,6 pouces).



Figure 67 - Appareil mobile à petit écran (CFU 1 Panasonic – 5,6 pouces)

Un luxmètre a également été utilisé pour mesurer le niveau de luminosité dans les différentes conditions. Pour le test de lisibilité, deux types d'informations ont été affichés :

- un texte affiché sur Powerpoint sur l'appareil mobile composé de plusieurs lignes. Le même texte a été reproduit sur plusieurs pages avec des tailles de polices différentes (11, 12, 13) et sur un fond d'écran de couleurs différentes (blanc, noir, gris foncé et gris clair) ;
- un schéma tiré de l'IPC (catalogue contenant les illustrations des pièces et systèmes d'avion).

Trois séries de planches (c'est-à-dire des pages de Powerpoint) ont été utilisées (toutes les planches sont numérotées) : la première série est composée de planches de 4 couleurs de fond d'écran différentes (noir, gris foncé, gris clair, blanc). Chacune des 4 couleurs est déclinée en trois versions qui correspondent respectivement aux trois tailles de police testées (11, 12, 13) de couleur noire. Le tableau suivant récapitule la configuration des planches.

Couleurs du fond	Tailles de police	Couleur du texte
Noir	11 12 13	Noir (ou Blanc pour le fond Noir)
Gris foncé		
Gris clair		
Blanc		

Tableau 21 - Caractéristiques des planches pour le test de lisibilité

Ci-dessous l'exemple d'une planche avec un fond gris.

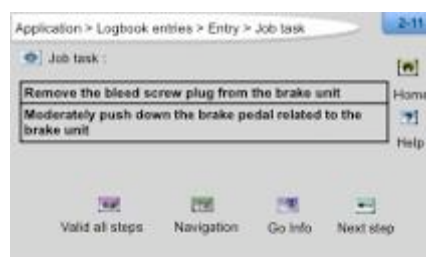


Figure 68 - Exemple de planche sur fond gris

La deuxième série est composée de planches de 4 couleurs de fond d'écran différentes (noir, gris foncé, gris clair, blanc). Chacune des 4 couleurs est déclinée en trois versions qui correspondent respectivement aux trois tailles de police testées (11, 12, 13), mais contrairement à la première série, le texte de la deuxième série est formé de phrases de couleurs variées (orange, jaune, rouge, vert clair, vert foncé, bleu, blanc). Une icône sous forme d'un triangle est placée à gauche de chaque phrase et est de la même couleur que celle-ci. Le tableau suivant récapitule la configuration de cette deuxième série.

Tableau 22 - Caractéristiques de la deuxième série de planches

Couleur du fond et codes	Tailles de police	Couleur du texte, de l'icône et codes
Noir (0/0/0)	11 12 13	Orange (255/179/34) Jaune (255/255/0) Rouge (255/0/0) vert clair (0/255/0) vert foncé (0/176/80) Bleu (0/153/255) Blanc (255/255/255) (sauf pour fond Blanc) Noir (0/0/0) (sauf pour fond Noir)
Gris foncé (204/204/204)		
Gris clair (243/243/243)		
Blanc (255/255/255)		

Ci-dessous un exemple de planche avec ces configurations.



Figure 69 - Une planche avec fond noir et phrases de couleurs différentes

Le caractère de police utilisé était l’Arial. En effet, il apparaît dans la littérature (cf. notamment De Lange, Esterhuizen & Beatty, 1993 ; Caro & Bétrancourt, 2001) que les polices de type Arial qui font partie des polices sans sérif (c'est-à-dire sans empattements, comme Arial, Geneva, Calibri) sont les plus agréables à lire quand il s’agit d’une lecture sur écran par rapport aux polices avec serifs (Time New Roman, Albertus, Palatino).

La troisième série est formée de quatre planches de quatre couleurs de fond d'écran différentes (blanc, noir, gris foncé et gris clair) avec non plus du texte mais un schéma IPC. En voici un extrait.

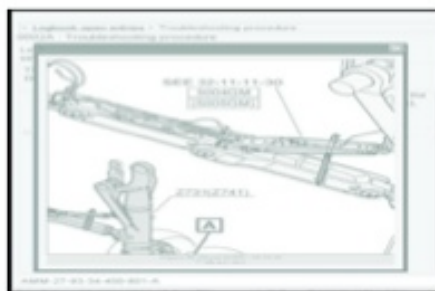


Figure 70 - Une planche avec un schéma IPC

Une grille de questions a été élaborée pour recueillir les avis des OM participants. Elle a été préparée avec un OM expert qui connaît bien les tâches sur le modèle de l'avion (un A320) où a eu lieu les tests. Ci-dessous un extrait des questions qui ont été posées pour le test de lisibilité et celui de la portabilité. Toutes les questions qui ont été posées pour les différents tests sont mentionnées en annexe.

4.1.1. Exemples de questions posées pour le test de lisibilité :

- Sur fond noir, parmi ces 3 planches (de 1 à 3), quelle taille de police vous semble être la plus lisible ?

- ...

- Parmi les douze planches que vous venez de passer (de 1 à 12), quelle configuration (de taille de police, de couleur de police et de couleur de fond d'écran) vous paraît être la plus adaptée à la luminosité ambiante actuelle?

Une fois le choix fait par le mainteneur, la planche qu'il a choisie a été reprise et les questions suivantes lui ont été posées sur celle-ci :

- Les phrases qui vous sont présentées en couleur sur cette planche vous paraissent-elles toutes lisibles ?

- En terme de préférence, quelle couleur vous semble être la plus acceptable sur fond noir : ambre (orange), jaune, rouge, vert clair, vert foncé, bleu et blanc ?

- [...]

- Les icônes en forme de triangle disposées à gauche de l'écran sont-elles visibles ? Et avez-vous des préférences de couleur au niveau de ces icônes ?

- Etc.

4.1.2. Exemples de questions posées pour le test sur la portabilité de l'appareil mobile

- Quels sont vos premiers commentaires sur le mobile device ? Que pensez-vous globalement du mobile device ?

- Quels risques éventuels verriez-vous dans le fait d'utiliser le mobile device ?

- *Est-ce que cette solution vous paraît-elle envisageable pour le futur ?*
- *Quels types d'améliorations envisageriez-vous d'apporter au mobile device ?*

4.1.3. Exemples de questions posées pour la mise au point finale

- *Quels sont vos commentaires sur l'utilisation de l'équipement que vous venez de tester ?*
- *Pensez-vous qu'il est adapté aux tâches de maintenance que nous venons de passer ? et plus généralement, à toutes les situations de maintenance ?*
- *Pouvez-vous nous citer les avantages et les inconvénients de l'appareil ?*

Les réponses des participants ont été notées sur papier.

4.2. Participants

Quatre OM en ligne hommes âgés de 30 à 50 ans ont participé aux tests. Tous ont une expérience en maintenance sur le modèle A320 afin d'avoir une situation qui se rapproche plus de la réalité et d'éviter que la méconnaissance de l'avion ou de la tâche perturbe le déroulement du test.

4.3. Procédure

Le test a eu lieu individuellement (un participant/séance) et a duré environ 3 heures pour chacun. Chaque test est décomposé en quatre étapes :

- la première étape (de 15 minutes environ) consistait en la mise au point préalable : il s'agissait d'expliquer aux participants l'objectif du test (c'est-à-dire celui de comparer différentes solutions - interface et équipements - pour permettre une plus grande mobilité de l'OM lors d'opérations de maintenance sur avion, et de recueillir leurs avis), d'expliquer le déroulement de la séance, de les mettre en confiance en leur expliquant que le but n'était pas de les évaluer, puis de leur demander de se mettre en situation la plus proche possible de la réalité ;
- la deuxième étape (de 45 minutes environ) consistait au test de la lisibilité sur petit écran sous trois conditions lumineuses avec 4 couleurs de fond d'écran différentes et des tailles de polices de couleurs et de tailles différentes.

Le test de lisibilité se déroulait comme suit :

Dans un premier temps, chaque participant passe en revue les 12 planches (4 couleurs de fond d'écran avec les trois tailles de polices différentes pour chaque fond d'écran) sans émettre

aucune opinion. Ensuite, les planches sont revisionnées par groupe de couleur de fond : le participant regarde les trois planches d'une couleur de fond et indique la taille de police qui lui paraît la plus lisible sur les trois tailles proposées (Par exemple : « c'est la taille 12 qui est la plus lisible sur le fond gris »). On procède ainsi sur chacune des quatre couleurs de fond d'écran. Après cela, l'ensemble des 12 planches sont revisionnées par le participant afin qu'il indique ses choix finaux (au moins deux), c'est-à-dire les trois planches qui lui paraissent les plus lisibles, toutes couleurs de fond d'écran et tailles de polices confondues, par ordre décroissant de préférence. Enfin, le participant visualise les quatre planches avec l'illustration de l'IPC. Le participant indique alors sa préférence parmi les quatre.

La consigne complète du test et les différentes questions sont données en annexe. Les conditions des tests sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 23 - Les différentes conditions lumineuses du test sur avion

Environnement	Objectifs de tests IHMs	Critères
Condition 1 : sur le tarmac (74400 lux)	Contraste entre la taille de la police sur plusieurs couleurs de fond d'écran	Visibilité/lisibilité et comparaison entre les solutions.
	Taille de la police sur plusieurs couleurs de fond d'écran	
	Schema IPC	
Condition 2 : A l'intérieur - Soute Cargo (158,6 lux)	Contraste entre la taille de la police sur plusieurs couleurs de fond d'écran	
	Taille de la police sur plusieurs couleurs de fond d'écran	
	Schema IPC	
Condition 3 : A l'intérieur - soute avionique (62,3 lux)	Contraste entre la taille de la police sur plusieurs couleurs de fond d'écran	
	Taille de la police sur plusieurs couleurs de fond d'écran	
	Schema IPC	



Figure 71 - La soute avionique (avec une lumière artificielle)



Figure 72 - La soute cargo



Figure 73 - Sur le tarmac

- La troisième étape (de 1h 10 minutes environ) correspondait à la conduite du test sur la portabilité/maniabilité de l'appareil mobile en réalisant 3 tâches de maintenance. Il s'agissait de tâches de simulation dans la mesure où aucune intervention physique réelle sur l'avion (remplacement, démontage, etc.) n'a été effectuée par les participants. Les trois tâches sont :

Tâche 1 : Effectuer *walkaround* de l'avion

Tâche 2 : Remplacer un calculateur dans la soute avionique

Tâche 3 : Ouvrir et tagger des *circuits breakers*.

Deux équipements ont été testés : l'appareil mobile « détaché » et l'appareil mobile attaché à une veste et accrochable à différents endroits de l'avion à l'aide d'un support pieuvre (cf. figures ci-dessous).



Figure 74 - Appareil mobile « détaché »



Figure 75 - Le support pieuvre



Figure 76 - Appareil mobile attaché à une veste et accroché/attaché à l'aide d'une pieuvre

Après chaque mise en situation, un certain nombre de questions sur la facilité de bouger et de réaliser des tâches de maintenance avec l'appareil mobile ont été posées.

- La quatrième étape (de 45 minutes) consistait en une mise au point finale pour recueillir les opinions des participants sur la lisibilité de l'interface et sur l'utilisation de l'appareil mobile dans un contexte de mobilité afin de repérer les avantages et inconvénients sur l'utilisation de l'appareil mobile.

5. Résultats sur les tests de lisibilité sur l'appareil mobile (CFU1)

Nous présentons dans cette partie les résultats obtenus lors de ces tests. Dans un premier temps, nous présenterons les niveaux de luminosité dans chaque localisation de l'avion où avaient lieu les tests. Ensuite, nous présenterons les résultats des tests sur la lisibilité dans les trois conditions de luminosité (tarmac, soute avionique et soute cargo) avec les différentes couleurs de fond d'écran, de couleur et de taille de police. Nous notons que pour le choix d'un critère (de la taille de police, de couleur de fond, etc.), l'utilisateur avait la possibilité de donner plus d'un choix, par exemple dans le cas où il trouve que la taille de police 12 et la taille de police 13 sont toutes les deux visibles). Les résultats sont donc calculés en nombre de fois où un critère a été choisi.

5.1. Les niveaux de luminosité dans les trois localisations

Les mesures (en lux) ont été prises en journée au mois de juillet entre 13H00 et 15H00, avec un fort ensoleillement et la présence de quelques nuages.

Tableau 24 - Les niveaux de luminosité mesurés

	Description de la localisation	Mesures (en Lux)
1	Sur le tarmac et en plein soleil (à 13H00)	74400 lux
2	Sur le tarmac avec un temps nuageux/couvert	17830 lux
3	Soute Cargo sans lumière	70,6 lux
4	Soute Cargo avec lumière (la soute est ouverte au trois quart, et les mesures ont été prises à l'intérieur)	158, 6 lux
5	Dans la soute avionique sans lumière	0,50 lux
6	Dans la soute avionique avec la lumière	62,3 lux

Afin d'évaluer le niveau de ces mesures, voici quelques indications sur les niveaux de luminosité de lieux et conditions habituels :

- Une nuit sombre a un niveau de luminosité de 0,01 lux ;
- Une journée d'été : 100 000 lux ;
- Une rue de nuit bien éclairée : 20 à 70 lux ;

- Un local de vie : 100 à 200 lux ;
- Un local de travail : 200 à 300 lux.

5.2. Résultats des tests de lisibilité sur l'appareil mobile CFUI

5.2.1. Choix de la taille de police en fonction de la couleur de fond et du niveau de luminosité

Les résultats concernent les choix des tailles de police (11, 12, 13), sur CFUI avec une taille d'écran de 5,6 pouces en fonction de 4 couleurs de fonds et sous 3 conditions de luminosité différentes : sur le tarmac, dans la soute avionique et dans la soute cargo.

Tableau 25 - Résultats des tests de lisibilité

	Taille Police	Fond noir	Fond gris foncé	Fond gris clair	Fond blanc	TOTAL	Meilleure configuration
Condition 1 : Tarmac (74400 lux)	11	0	0	0	0	0	Fd Bl. + police 12 = 2 Fd Bl. + police 11 = 1 Fd Gr. Cl. + police 12 = 1
	12	1	2	3	4	10	
	13	3	2	1	0	6	
Condition 2 : Soute Cargo (158, 6 lux)	11	0	0	0	1	1	Fd N. + police 12 = 1 Fd Bl. + police 12 = 2 Fd Gr. Cl. + police 12 = 1
	12	3	3	4	3	13	
	13	1	1	0	0	2	
Condition 3 : Soute avionique (62,3 lux)	11	1	1	1	1	4	Fd Noir + police 13 = 2 Fd Bl. + police 13 = 1 Fd Gr. F. + police 11 = 1
	12	2	1	2	2	7	
	13	1	2	1	1	5	

Lors du passage en revue des planches par série en fonction de la couleur de fond (cf. procédure), pour la première condition (forte luminosité/plein soleil, sur le tarmac), c'est la taille de police 12 qui a été globalement choisie par les participants (10 fois sur 16). Le fond blanc a été privilégié pour cette taille de police. Pour la deuxième condition (luminosité faible/soute cargo), la police 12 a été largement choisie (13 fois sur 16). Pour la troisième condition (luminosité très faible/soute avionique), c'est également la taille 12 qui est la plus choisie (7 fois sur 16 contre 4/16 pour la taille 11, et 5/16 pour la taille 13) sur l'ensemble des couleurs de fonds (blanc, gris clair, gris foncé, blanc). Toutefois, la meilleure configuration (choix final) pour cette condition du point de vue des utilisateurs était la police 13 sur fond noir/gris foncé/blanc.

Ainsi, les participants ont majoritairement opté pour la taille 12 (37 fois sur 60, soit 62 %) dans les trois conditions, toutes couleurs de fond confondues.

5.2.2. Résultats sur le choix de la couleur de fond en fonction des conditions de luminosité sur l'appareil mobile CFUI

Tableau 26 - Résultats sur le choix de la couleur de fond

	Fond noir	Fond gris foncé	Fond gris clair	Fond blanc
Condition 1 : Tarmac (74400 lux)	0	0	0	3
Condition 2 : Soute Cargo (158,6 lux)	2	0	2	2
Condition 3 : Soute avionique (62,3 lux)	2	1	0	2
TOTAL	4	1	2	7

Globalement, les résultats montrent que les choix de couleur de fond sont assez hétérogènes pour des conditions de luminosité assez peu importantes, c'est-à-dire en condition 2 (soute cargo, 158,6) et en condition 3 (soute avionique, 62,3 lux). Ainsi, en condition de luminosité 2 ou 3, aucune couleur de fond n'est privilégiée par rapport aux autres. En revanche, en plein soleil et en condition de forte luminosité, le fond blanc semble avoir une meilleure lisibilité (3 fois choisi contre 0 fois pour les trois autres couleurs).

5.2.3. Résultats sur la configuration taille, couleur de police, et couleur de fond

Sur les différentes tailles de police avec les phrases en différentes couleurs (ambre/orange, jaune, rouge, vert clair, vert foncé, bleu, blanc et noir), la taille 12 a été choisie comme la plus lisible et visible par les utilisateurs. Ci-dessous les différentes figures qui illustrent les choix des utilisateurs en fonction de la couleur de fond (les niveaux de lisibilité sont indiqués en abscisse : 0 = lisibilité nulle ; 2 = lisibilité médiocre ; 4 = lisibilité très satisfaisante)

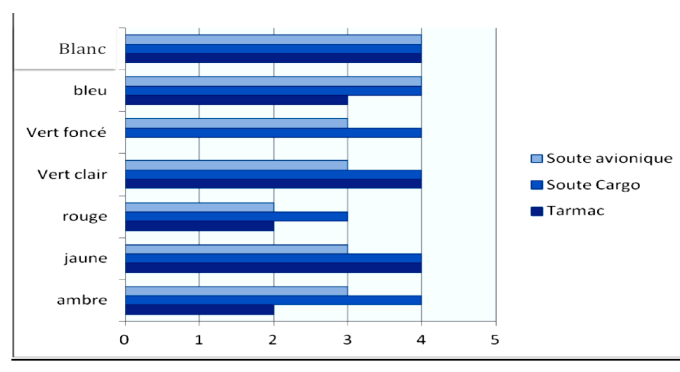


Figure 77 - Lisibilité des phrases de couleurs différentes sur fond noir

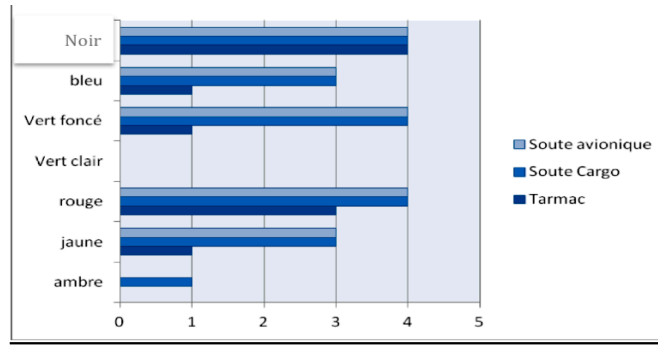


Figure 78 - Lisibilité des phrases de couleurs différentes sur fond gris foncé

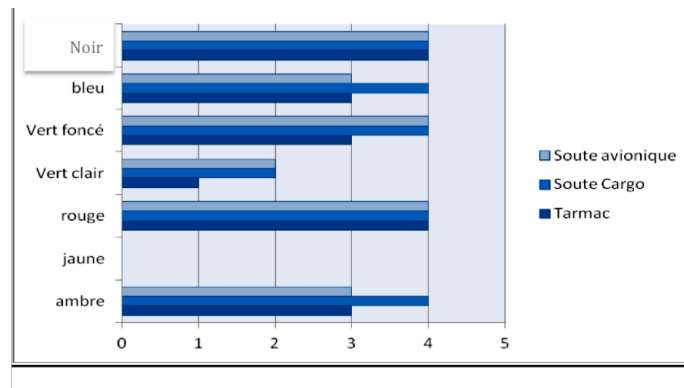


Figure 79 - Lisibilité des phrases de couleurs différentes sur fond gris clair

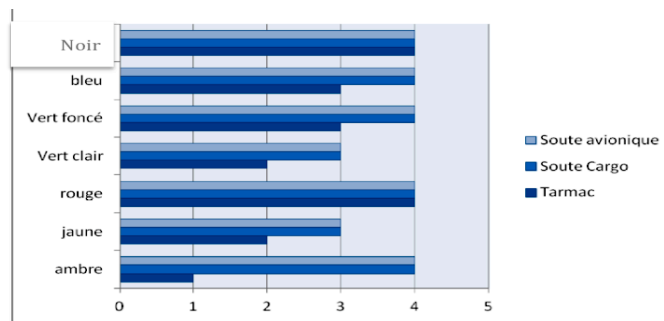


Figure 80 - Lisibilité des phrases de couleurs différentes sur fond blanc

Globalement, le fond de couleur noir et le fond de couleur blanc offrent un bon niveau de lisibilité des phrases écrites en couleurs différentes (Ambre, jaune, rouge, vert clair, vert foncé, bleu et blanc) sous les trois conditions de luminosité. En effet, comparés au fond gris clair et au fond gris foncé, le blanc et le noir enregistrent des meilleurs scores de lisibilité en raison du fait que les couleurs telles que l'ambre, le jaune et le vert clair ne sont pas suffisamment lisibles sur les fonds de gris (foncé ou clair).

Entre les deux couleurs de fond d'écran qui sont acceptables (noir et blanc), il n'y a pas de différence notable quant à la lisibilité des caractères de couleurs, mis à part la mauvaise qualité de lisibilité en condition extérieur du vert foncé sur fond noir et de l'ambre sur fond blanc. Les autres couleurs telles que le rouge, le bleu, le jaune et vert clair semblent être acceptables et suffisamment lisibles sous les trois conditions de luminosité avec des fonds blanc ou noir.

5.2.4. Résultats sur la lisibilité des schémas IPC en fonction des couleurs de fond

Les résultats montrent que les OM préfèrent majoritairement (12 fois sur 12) les schémas IPC sur fond blanc, quelle que soit les conditions de luminosité. La raison évoquée le plus fréquemment par les mainteneurs est la lisibilité et surtout l'habitude qu'ils ont à visualiser ces schémas sur fond blanc.

5.3. Limites, conclusions et perspectives

Il est important de veiller à la cohérence de couleurs et de contrastes entre les différentes applications utilisées en maintenance aéronautique pour que la consultation des pages soit homogène et cohérente. Un changement trop fréquent de couleurs au cours de la consultation pourrait perturber l'utilisateur et augmenter le coût de la consultation du point de vue effort.

Même si les résultats obtenus permettent d'avoir une idée de base sur les paramètres à prendre en compte pour l'affichage des informations sur un écran de petite taille dans différentes conditions d'exécution de la tâche de maintenance sur avion, l'échantillon d'OM qui a contribué à ces tests était limité. Pour obtenir une fiabilité plus importante, ces tests devraient donc être réitérés plusieurs fois sur un échantillon plus large d'OM. Il pourrait être envisageable également d'effectuer ces tests éventuels en conditions réelles pour différentes tâches de maintenance, et également avec une quantité d'informations plus importante afin de vérifier par exemple que la taille de police 12 assure effectivement une bonne lisibilité et l'affichage d'une quantité suffisante d'informations utiles pour les OM. Mais les mesures du niveau de luminosité prises au préalable pour ces tests permettront également d'effectuer des tests en laboratoire en utilisant les mêmes niveaux de luminosité.

6. Résultats des tests de maniabilité/portabilité de l'appareil à petit écran

L'objectif de ce test était de relever les avantages et les inconvénients de l'utilisation de l'appareil mobile pendant l'exécution des tâches de maintenance simulées en situation de mobilité par l'étude de la facilité d'utilisation du matériel, la facilité (ou non) d'accès aux

différentes parties de l'avion et la facilité (ou non) d'utilisation de l'appareil dans les différentes parties de l'avion.

6.1. Présentation de quelques résultats

Nous citons dans cette partie quelques extraits représentatifs des opinions que les participants ont sur l'utilisation de l'appareil mobile (l'ensemble des réponses et des commentaires des participants sont visibles en annexe). Ces résultats intègrent également les résultats de la partie relative à la mise au point finale.

Question : Vous êtes vous senti à l'aise pour faire l'ensemble des tâches que vous aviez à réaliser, en utilisant cet appareil (encombrement, portabilité)?

Selon le participant M1 : « L'appareil est utile quand il y a une anomalie (pour savoir s'il y a besoin d'intervention ou pas). Par ailleurs, pendant la tâche de *walkaround*, j'aurais bien aimé avoir les mains libres, pour pouvoir enlever la bâche de la trappe de train [...]. L'appareil ne pose pas de problème d'utilisation (pas encombrant et peut être posé à différents endroits lors des déplacements). Le plus par rapport au papier : recherche de procédure plus facile, ne risque pas d'être emporté par le vent. Il évite les allers-retours pour aller chercher ou vérifier une procédure (par ex : lorsqu'on est dans la soute avionique) ».

Pour M2 : « il n'y a pas forcément de consultation pendant le *walkaround*, et puis j'ai besoin de mes deux mains. Par contre, il y a un intérêt pour la consultation de l'état technique de l'avion, pour vérifier et déclarer tous les problèmes de structures ».

Question : Quels risques éventuels verriez-vous dans le fait d'utiliser l'appareil ?

Selon le M1 : « Je pense qu'il est trop gros, épais et trop lourd à manier. Ce serait quand même mieux de pouvoir le mettre dans une poche. Les principaux risques que je vois dans l'utilisation de ce matériel, c'est pour le matériel lui-même. Il y a de fortes chances pour que ce MD tombe, il y a un fort risque de casser l'écran. Il y a également le risque de l'oublier quelque part, car si on le peut le poser quelque part très facilement, alors on peut l'oublier très facilement, surtout dans le contexte de la maintenance en ligne, où la pression temporelle et le stress sont assez importants... Les risques éventuels que je vois dans l'utilisation de cet outil : le risque d'abîmer l'écran dans certaines positions, le risque de l'oublier quelque part ».

Pour M3 : « il y a un risque évidemment de chutes, accros. Sur les *servicing* : utilisation d'huile, joint (mastic). On peut avoir des agressions de beaucoup de nombreuses matières sales (gasoil, poussière)... Il y a également le risque de vols de matériel de maintenance ».



Figure 81 - Exemple d'utilisation de l'appareil mobile pour une tâche à l'extérieur
(train d'atterrissage sur le tarmac)

Question : Quels types d'améliorations envisageriez-vous d'apporter à l'appareil mobile ?

Pour M1, « Il faudrait un appareil qui soit plus facile à porter (améliorer la portabilité), plus léger pour que l'on puisse facilement mettre dans une poche ; il faudrait également un écran plus grand, plus léger ».

Selon M2 : « Ce serait bien de pouvoir accrocher l'appareil quelque part, avoir une accroche à la main. En lanière et attaché au bras OK, mais en ceinture non. Pour la gestion de l'interaction, j'aurai tendance à préférer le stylet, mais il faut un stylet avec un cordon et un cordon qui tienne. Je ne suis pas favorable à l'interaction tactile parce qu'un mainteneur a toujours les mains sales. Pour la taille de l'appareil, celle d'un carnet serait idéale ».

Pour M3 : « ... Pour l'interaction il vaut mieux prévoir un système de stylet car un mainteneur a toujours les doigts sales. Attention, ce matériel doit pouvoir supporter les champs électromagnétiques. Il faut un MD plus léger et maniable. Il faut s'assurer de la robustesse du connecteur entre la batterie et du MD ». De plus, selon toujours M3, « la taille de l'écran est acceptable mais il ne faut surtout pas plus petit ».

6.2. Synthèse et analyse des résultats

Les retours et les commentaires des OM au cours de ces tests ont fait apparaître des axes d'améliorations pour des solutions adaptées à la mobilité de la maintenance aéronautique. Ainsi, une solution adaptée au contexte de la maintenance aéronautique devrait satisfaire quatre axes de caractéristiques. Ces axes concernent la modularité, la maniabilité/portabilité, l'autonomie et l'efficacité de l'appareil, le caractère de l'appareil comme étant un support de communication et la conscience de l'environnement (pour « voir et être vu »).

6.2.1. La modularité

D'après les commentaires des OM, les solutions envisagées doivent satisfaire au mieux un grand nombre de tâches, de situations (hangar, tarmac) et de profils d'utilisateurs. Pour cela, il semble que la modularité puisse être un axe intéressant d'investigations dans le développement de solutions adéquates. La modularité se réfère à la complémentarité des dispositifs et outils qui pourraient être intégrés de façon optionnelle en fonction de différents contextes d'utilisation (un des OM a par exemple évoqué l'idée d'intégrer un écran au poignet (droit ou gauche) pour favoriser la consultation de la procédure. Mais, la modularité des dispositifs concerne aussi la consultation de la documentation de maintenance. La modularité devrait également concerner l'interaction entre l'utilisateur et le système. Cela signifie qu'il faudra prévoir plusieurs modes d'interactions possibles en fonction des tâches de maintenance, du contexte et de la situation (par exemple, interaction tactile avec stylet et interaction vocale pour certaines tâches comme la vérification ou *walkaround*, ...).

6.2.2. La maniabilité, portabilité et confort d'utilisation

Le confort d'utilisation doit être privilégié pour permettre une mobilité aisée pour l'OM et l'exécution des tâches de maintenance dans les endroits les plus difficiles et les plus exigus de l'avion. Les OM devraient disposer d'un équipement mobile et portable ayant un certain nombre de caractéristiques, à savoir :

- l'équipement doit être attaché et fixé au corps pour que l'OM ait la possibilité d'avoir, quand il le souhaite, les mains libres. Le besoin d'avoir les deux mains libres pour les actions de maintenance a été formulé comme important par les OM qui ont participé aux tests. L'OM doit pouvoir utiliser alternativement l'appareil mobile et exécuter les tâches de maintenance. Par exemple, pour la tâche de changement du calculateur les OM avaient besoin de consulter très fréquemment l'appareil mobile pour différentes actions (lire la procédure, connaître la localisation du LRU, etc.), mais en même temps, ils avaient besoin de leurs deux mains pour ouvrir la soute avionique, entrer à l'intérieur, retirer le LRU et le remplacer par un autre. Il sera nécessaire de prévoir une solution qui puisse rendre possible la réalisation de ces actions.

- l'équipement doit être le plus léger possible (peser au maximum 500 gr, par exemple). Les résultats ont montré que la veste de 2,5 kg est considérée comme beaucoup trop lourde. Par ailleurs, la répartition du poids sur la veste ou le gilet doit être homogène (afin de ne pas créer une compensation posturale dû à un déséquilibre et une mauvaise répartition du poids) ;

- l'équipement devrait permettre la réalisation aisée de différents mouvements et de positions possibles lors des tâches de maintenance. Pour cela, il sera important de vérifier que le matériel ne crée pas de gêne compte tenu des différentes positions dans lesquelles l'OM peut se trouver lors de l'exécution de sa tâche (allongé, accroupi, assis, le buste penché en avant, etc.). Les observations ont notamment fait ressortir que la batterie disposée dans le dos de la veste pouvait gêner certaines postures ;

- les équipements fixés dans une veste ou gilet doivent être immobiles lors des déplacements tout en étant facilement accessibles (par la main), disponibles, manipulables et facilement contrôlables du regard. En effet, il est apparu lors des tests réalisés sur la veste que les équipements qui y étaient intégrés pouvaient bouger facilement lors des déplacements et des mouvements du mainteneur. Cette mobilité des équipements provoquait un sentiment de gêne permanente chez les OM ;

- l'équipement doit être utilisable et résistant aux températures extrêmes chaudes et/ou froides (par l'intégration d'une doublure amovible pour la veste, par exemple) et doit être adapté à des intempéries comme le vent, la neige, la pluie (système résistant à l'humidité, manches bien resserrées au niveau du poignet, ajout d'une capuche). Par ailleurs, l'équipement ne devrait pas être une source de chaleur ou de radiations qui pourraient s'avérer dangereuse pour la santé (irritation cutanée, brûlure, etc.) ;

- l'équipement doit être robuste et solide tout en restant léger et doit pouvoir facilement résister à des chocs, écrasements, chutes de plusieurs mètres, pressions qui pourraient être fréquents lors d'une activité de maintenance aéronautique.

6.2.3. L'autonomie et l'efficacité du support pour la tâche maintenance

L'ensemble des équipements ou des solutions développés devrait être orienté pour faciliter la réalisation de la tâche de maintenance et l'autonomie de l'OM. Pour cela, les outils et applications utiles doivent être adaptés et facilement disponibles pour l'OM.

A l'image de la caisse à outils modulable et qui est préparée en fonction des tâches de maintenance à réaliser, un dispositif comme la veste doit permettre aux OM de disposer d'outils et des moyens utiles pour être efficace et autonome sur avion. Les résultats des tests réalisés sur la veste ont notamment fait émerger le besoin d'avoir les moyens de disposer d'emplacements pour intégrer des outils utiles comme : tournevis, bouchon d'oreilles, porte badge visuel, lampe torche et lampe frontale, bloc note, gants, etc. Les résultats des tests sur

l'appareil mobile CFU1 ont fait également ressortir le besoin de disposer d'un certain nombre d'applications et de moyens d'informations et/ou de communication pour mener efficacement les tâches. Des applications favorisant la consultation des procédures sur écran ont été appréciées en termes de navigation et de facilité d'utilisation par rapport à l'utilisation d'une documentation papier. Pendant la tâche de *walkaround*, les OM ont également évoqué les besoins de consulter facilement l'état technique de l'avion, d'avoir des informations sur l'historique de l'état de l'avion rapidement en cas de problèmes de structures. Pour la tâche de changement du calculateur, les OM ont également évoqué le besoin de consulter les différents documents donnant des informations sur les pannes à traiter, tels que le *logbook* (description des pannes/défaillances constatées par le pilote et communiquée à la fin de chaque vol), le PFR (Post Flight Record), les messages de pannes depuis un terminal portable ; le besoin de connaître rapidement si le matériel de remplacement serait facilement disponible en magasin sans avoir à se déplacer physiquement dans le cockpit et/ou magasin. Enfin, la disponibilité d'applications de type « *post-it* » (une application qui permet d'effectuer des annotations sur la procédure par l'ajout de commentaires par exemple) a également été évoquée comme moyen efficace et utile pour s'approprier les procédures et communiquer avec d'autres intervenants sur ces procédures ainsi que pour la passation de consigne. En effet, quand un *shift* (cf. définition dans le chapitre I) se termine, il est important d'avoir des informations sur qui a fait quoi et l'état auquel s'est arrêté l'équipe ou la personne descendante. Dans ce cas, l'information doit être facile, et rapide à obtenir.

6.2.4. Un support pour la communication et la conscience de l'environnement Avion

L'équipement devrait permettre également à l'OM de voir, d'être vu et de connaître le mieux possible son environnement et l'état de l'avion. Les résultats des tests font apparaître que l'OM aurait besoin d'être vu par les autres intervenants sur avion (par l'utilisation de bandes réfléchissantes sur la veste, par exemple, notamment à cause de la dangerosité de certaines tâches de tests).

Un OM a, par exemple, exprimé le besoin de savoir qui fait quoi dans le cockpit. Un autre OM a exprimé également le besoin de communiquer facilement et rapidement avec d'autres personnes intervenant sur avion. Les moyens de communication orale (pour les intervenants sur avion comme le *water servicing* ou pour le magasin) doivent donc être intégrés au dispositif de maintenance mobile.

7. Conclusion

Cette étude sur la lisibilité sur l'appareil mobile et la portabilité de celui-ci a fait intervenir un nombre limité d'OM. Nous avons dit plus haut que les tests sont à réitérer avec un nombre plus important de participants et, si possible, en effectuant des tâches réelles, particulièrement pour les tests de portabilités, les tests de lisibilité en laboratoire étant maintenant envisageables avec la disponibilité des mesures des niveaux de luminosité prises lors de ces tests. Cependant, même si les participants ont été d'un nombre limité, l'étude a permis de ressortir différentes informations. Celles-ci concernent les besoins des OM en fonction des paramètres de différentes sortes : les paramètres liés à la tâche elle-même (certaines tâches nécessitent par exemple d'avoir les deux mains libres pour leur exécution en même temps que la consultation de l'information, ou d'adopter des positions spécifiques - être couché sur le dos, être accroupi, etc.), ou encore au contexte environnemental (les différents niveaux de luminosité ou des surfaces en fonction de la maintenance à prendre en compte lors de la conception d'un support localisation de la tâche). Les OM qui ont participé aux tests ont formulé leurs besoins et leurs remarques en fonction de ces paramètres. Il est donc important de tenir compte de cette relation entre les besoins des OM et ces paramètres lors de la conception d'un support à la tâche de maintenance pour assurer leur efficacité par rapport à la tâche de maintenance et leur acceptabilité par les utilisateurs.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Notre travail avait pour but l'étude de l'utilisation du petit écran pour la recherche et la consultation de la documentation de maintenance aéronautique. Nous avons effectué différentes études : tout d'abord, une étude sur le terrain, à partir d'observations et d'entretiens, dans un but exploratoire concernant le domaine de la maintenance aéronautique et l'utilisation de la documentation de maintenance. Nous avons ensuite effectué des tests d'utilisation du petit écran avec deux types d'applications (la première conçue pour le petit écran et la deuxième pour écran standard). Nous avons enfin mené des tests de lisibilité sur petit écran et de portabilité d'appareils mobiles dans le domaine de la maintenance aéronautique.

Nous synthétisons dans cette partie les résultats obtenus et définissons les limites liées à notre travail ainsi que les différentes questions suscitées par ces différentes études et les perspectives qui en découlent.

Utilisation de la documentation de maintenance aéronautique

Nous voulions vérifier si l'OM utilise la documentation, ceci sur la base des informations issues de la littérature selon laquelle l'OM n'utilise pas la documentation. La réponse est que la plupart l'utilisent, mais pas de façon systématique, contrairement à la prescription. Nous voulions alors savoir quand l'OM utilise-t-il la DMA, dans quel but, pour quelle tâche, à quel moment et de quelle façon. Quand l'OM n'utilise pas la documentation, nous voulions savoir également pourquoi.

L'étude sur le terrain apporte différentes informations dans le domaine de l'utilisation de la DMA. Tout d'abord, les résultats confirment (Partie 2, Chapitre 1) que tous les OM n'utilisent pas de façon systématique la DMA. Nous avons pu identifier les différentes raisons de cette sous-utilisation alors qu'elles n'étaient pas connues jusque là dans la littérature. Cette dernière constate simplement que la DMA n'est pas utilisée de façon systématique par les OM. Nos résultats confirment mais surtout précisent et nuancent ce constat. Il existerait deux catégories d'utilisation de la DMA en réalité : l'utilisation prescrite et l'utilisation non prescrite. La première catégorie correspond à l'utilisation de la DMA telle que la hiérarchie et/ou les organismes de réglementation l'exigent. L'OM suit alors la documentation et la lit du début à la fin (lecture linéaire) quelle que soit la nature de la tâche (connue ou nouvelle), quel que soit le moment (avant, pendant ou après la tâche de maintenance), pour tout type d'informations. La seconde catégorie d'utilisation est de celle qui est prévue par la prescription. L'OM adapte

alors l'utilisation de la documentation aux différentes conditions d'exécution de l'activité que nous avons mentionnées en chapitre I et qui sont le poste de travail, les outils, l'environnement de travail, l'organisation, les matériels et les caractéristiques de la documentation principalement en termes de fonctions disponibles. Nos résultats nous permettent de supposer que l'utilisation de la documentation suivant la prescription pourrait avoir un lien avec la politique de l'entreprise. En effet, les OM qui déclaraient utiliser la DMA de façon systématique, donc selon la prescription, relèvent d'un même centre de maintenance. Ils disent se conformer à tout moment et pour tout type de tâche à la documentation. Il est difficile de confirmer si une telle affirmation est due à la « crainte » de l'autorité hiérarchique ou à notre présence, ou si elle est réellement motivée par la volonté de respecter la législation et la prescription. En effet, comme nous l'avons noté dans la partie relative à l'étude sur le terrain (Partie 2, Chapitre 1), dans les autres centres de maintenance les OM qui ont une fonction de supervision (donc faisant partie de la hiérarchie) affirmaient également ne pas utiliser la documentation de façon systématique.

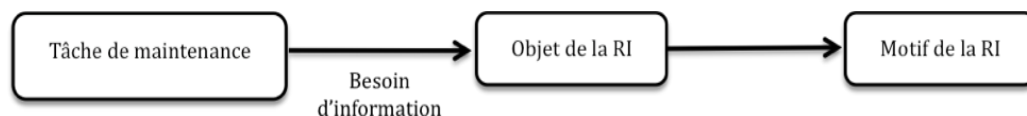
Les résultats de l'étude font apparaître également que l'OM adapte l'utilisation de la documentation en fonction du poste de travail : quand celui-ci est exigü ou difficile d'accès, l'OM n'apporte pas avec lui toute la documentation mais uniquement la partie qui comporte les informations qui, pendant la préparation de la tâche, sont jugées utiles pour réaliser la tâche. Une influence de cette caractéristique du poste de travail existe également sur le mode de consultation de la DMA. En effet, dans le cas où l'OM travaille dans un espace réduit, il privilégie plus la lecture opportuniste pour une consultation ponctuelle, la lecture linéaire étant rendue difficile par le contexte spatial.

L'OM adapte également l'utilisation d'un format en fonction du poste de travail : un type de format est bénéfique pour certaines tâches et non pour d'autres. Par exemple, le petit format est utile et avantageux pour les tâches de vérification et les tests mais pose un certain nombre de problèmes, en tout cas au moment où nous avons nos résultats, pour certaines tâches qui nécessitent la visualisation par l'OM de schémas de grand format.

L'étude sur le terrain a également permis de constater le lien entre le mode de lecture de la DMA et la qualité de la documentation. En effet, on s'attend à ce que la consultation d'une information spécifique corresponde à une lecture opportuniste. Les résultats montrent que le mode de lecture varie en fonction de la qualité de la documentation aussi, ou, plus précisément, des fonctions que celle-ci met à la disposition de l'utilisateur. En effet, pour consulter une référence, par exemple, on s'attend à ce que l'utilisateur fasse une lecture

opportuniste pour repérer uniquement l'information voulue. Mais quand la documentation est uniforme et ne met pas en relief cette information (même si celle-ci est jugée avoir une importance plus grande par rapport à d'autres informations en raison de la fréquence de consultation), l'utilisateur est obligé de faire une lecture intégrale. Cela entraîne une perte de temps qui s'ajoute à la contrainte temporelle liée à la maintenance aéronautique. Quand la documentation dispose d'une fonction de recherche, ou quand les informations importantes du texte sont mises en saillance à l'aide des moyens comme les signaux ou les MFM (cf. section sur les MFM de la Partie 1), l'utilisateur peut adopter le mode de lecture opportuniste et repérer les informations voulues uniquement par l'intermédiaire des signaux. Par exemple, pour la DMA utilisée actuellement, ne regarder que les informations en lettres de couleur rouge pour consulter les *warnings*.

Une relation existe également entre le choix d'un motif de consultation de la DMA et l'objet de la RI qui lui-même est fonction de la tâche de maintenance à exécuter. L'objet de la RI dépend ainsi de la tâche de maintenance.



Ainsi, d'après nos observations et nos entretiens, avant d'exécuter une procédure, l'OM effectue l'étape de préparation de sa tâche. Pour ce faire, il a besoin (par exemple pour une tâche inconnue ou non routinière) de lire intégralement la procédure. Son activité de RI a ainsi pour objet la lecture de la procédure, c'est-à-dire les différentes étapes de la tâche. Cela correspond au motif d'avoir une vue générale de la procédure (Barnard & al., 2007). La connaissance de cette relation entre la tâche de maintenance, l'objet de la RI et le motif d'utilisation de la documentation permet de conclure que la documentation mise à la disposition de l'OM actuellement, n'est pas, du moins dans la majorité des cas, la mieux adaptée au contexte du travail de la maintenance aéronautique. La documentation existante n'a pas les moyens d'être adaptée à chaque situation ni à chaque tâche, ce qui a pour conséquence de présenter à l'OM une plus grande quantité d'informations que celle dont il a besoin. Celui-ci doit alors consacrer plus de temps à l'activité de RCI (Recherche et Consultation d'Information), ce qui pourrait lui être coûteux du point de vue cognitif. Par exemple, certains OM déclaraient que parfois ils ne consultaient la DMA que pour effectuer

la phase de test, et dans ce cas ne consultaient que cette partie de la documentation. Quand il a besoin de chercher des informations sur la phase de test, l'OM a un but fermé si on prend en considération la définition de Tricot et Amadiou (2011), car l'OM a besoin d'une information qui est localisée à un endroit particulier de l'hypertexte (qui est, rappelons-le, le type de la documentation utilisée actuellement). Or, la documentation utilisée actuellement ne dispose pas de fonction qui permet d'accéder directement à cette partie qui se trouve à la fin de la page qui contient la procédure entière. Pour la consulter, l'OM doit donc repasser par la page qui contient toute la procédure en faisant un *scrolling*. Compte tenu du fait que l'activité de MA a une forte contrainte temporelle, celle-ci s'ajoute au coût lié à la RCI. Les conséquences peuvent être néfastes pour l'OM. Cela pourrait se répercuter sur l'efficacité de l'activité de maintenance et ainsi compromettre la sécurité de l'avion. Sous ces contraintes (temporelle et cognitive), d'après les résultats de nos études, l'OM est tenté de passer outre la réglementation, c'est-à-dire de ne pas utiliser la DMA selon la prescription si c'est la solution qui lui semble la moins coûteuse. Le critère de l'efficacité passe donc comme prioritaire au détriment de la sécurité et de la légalité (suivi de la documentation qui a une fonction légale). Les organismes de réglementation exigent l'utilisation de la DMA dans le but d'assurer la légalité des tâches de maintenance, c'est-à-dire le suivi des procédures prescrites afin d'assurer la sécurité de l'avion. Mais le constat est que la qualité de la DMA en matière de contenu et de structure ne permet pas pour le moment d'assurer ces buts.

L'étude a permis également de constater que le motif d'utilisation de la documentation définit aussi la partie de la documentation consultée par l'OM, et de mettre au clair les types d'informations dont ce dernier a besoin en fonction de la tâche de maintenance qu'il exécute. Comme nous venons de le mentionner, l'OM n'a pas besoin à chaque fois de toutes les informations affichées mais a surtout besoin d'informations correctes, utiles, faciles à comprendre. La question qui se pose donc est : l'obligation d'utilisation de la documentation implique-t-elle obligatoirement l'affichage de toutes les informations liées à une procédure, même celles qui sont inutiles pour la tâche que l'OM est entrain de faire ? Une révision du contenu serait une solution. Mais quand on parle de la nécessité de la révision du contenu de la documentation afin de n'afficher que ce qui est utile pour l'OM pour la tâche en cours, les organismes rédacteurs font savoir qu'une telle révision est coûteuse, sans doute en raison de la quantité de travail que cela pourrait engendrer mais également et surtout du point de vue financier. La consultation d'informations inutiles, incorrectes, difficiles à comprendre ou l'excès d'informations est coûteuse et peut remettre en cause la sécurité de l'avion, comme

l'ont montré Lattanzio, Patankar et Kanki (2008) mais aussi les témoignages des OM participant à notre étude. L'enjeu est donc de permettre à l'OM de réaliser aisément sa tâche, c'est-à-dire avec un coût moindre du point de vue cognitif et temporel, sans perdre de vue l'exigence du point de vue de la sécurité et de la légalité. Dans le domaine de l'apprentissage, Jamet (2008) précise que la réduction de la charge liée à toute situation d'apprentissage peut passer par une amélioration du format de présentation des informations dans le document. Même si la situation que nous avons étudiée ne concerne pas l'apprentissage, force est de constater que la présentation des informations a un rôle prépondérant dans la réduction de la charge engendrée par la RCI.

Même si la situation semble avoir évolué, le sentiment de ne pas être encore assez sollicité dans la conception de la DMA et de ne pas être pris en compte subsiste toujours, essentiellement chez les mainteneurs qui travaillent directement sur l'avion au cours de leur tâche quotidienne. La prise en compte des utilisateurs de la DMA passe par la connaissance des différents profils des OM afin de déterminer leurs caractéristiques. Ces caractéristiques serviraient d'éléments pour mieux adapter la documentation au contexte de son utilisation et de ses utilisateurs. Selon Ganier et Heurley (2005), l'amélioration de la conception des documents procéduraux doit passer par la prise en compte de l'utilisateur dans l'élaboration de ceux-ci. En effet, le manque de connaissance sur les utilisateurs fait partie des sources de l'inefficacité de la documentation actuelle. D'après Kern (1985), l'une des sources des difficultés d'utilisation des documents procéduraux vient du fait que les rédacteurs techniques ont rarement des contacts directs avec les utilisateurs, les tâches qu'ils réalisent ou la situation dans laquelle ils évoluent.

Des limites sont tout de même à souligner concernant cette étude sur le terrain. Comme nous l'avons mentionné dans la partie relative à l'étude sur le terrain de l'utilisation de la DMA (Partie 2, Chapitre 1), nous n'avons pas pu effectuer les observations sur la durée totale d'un *shift*. Les résultats ne permettent pas ainsi de déterminer les problèmes réels rencontrés au cours de l'exécution de la tâche et la solution que l'OM entreprend pour les résoudre. Ce type d'informations permettrait d'effectuer une typologie de ces problèmes et les solutions correspondantes. Au final, ces informations pourraient permettre de définir les solutions documentaires.

Une autre limite de notre étude réside dans le fait que, compte tenu du contexte rencontré (c'est-à-dire la taille limitée des centres de maintenance visités), celle-ci se limitait à une étude de l'utilisation de la documentation dans une dimension plus individuelle que

collaborative. Une étude sur une population plus vaste (plus d'une équipe) serait utile pour déterminer le rôle de la documentation dans la collaboration entre équipe et les difficultés éventuelles que ce contexte pourrait engendrer.

Utilisation du petit écran pour la RCI

Même si des efforts ont été faits pour que les tests sur l'utilisation du petit écran pour la RCI soient les plus proches possibles de la condition réelle de réalisation de la tâche de maintenance, notamment à travers la consigne qui simule une tâche de maintenance par le remplissage d'un schéma, le contexte reste « fictif ». Nous avons déjà mentionné le fait que cela est dû à la difficulté d'organisation d'une telle étude en condition réelle avec plusieurs participants en raison notamment de la difficulté d'accès sur le terrain.

Les résultats sur les tests d'utilisation du petit écran pour la RCI ne confirment pas toutes les hypothèses que nous avons formulées. En effet, dans la globalité des tests, aucun des deux formats (PC et PDA) ne semble se distinguer réellement de l'autre. Les participants réaliseraient donc les tâches de maintenance de la même façon sur PC que sur PDA. De même, les deux applications (AirN@v et Tarmak) semblent globalement entraîner des performances équivalentes. Quelques différences ont tout de même été relevées, notamment concernant les analyses tâche par tâche. Pour la tâche t1 (recherche d'une procédure) par exemple, les performances avec l'utilisation des deux applications diffèrent significativement car les participants enregistrent plus de bonnes réponses et se rapprochent du chemin optimal avec AirN@v qu'avec Tarmak. En revanche, pour la tâche t6 (vérification), les participants enregistrent plus de bonnes réponses avec Tarmak qu'avec AirN@v. AirN@v serait donc plus efficace que Tarmak pour chercher une procédure tandis que Tarmak (la présentation linéaire étape par étape) permettrait d'effectuer plus efficacement une tâche de vérification. Ainsi, il serait intéressant d'identifier les éléments qui expliqueraient ces différences. Cela permettrait d'adapter la présentation des informations et les modes de consultation en fonction de la tâche de maintenance à réaliser.

En outre, les résultats obtenus permettent de tirer des recommandations pour l'affichage des informations sur petit écran et sur les systèmes d'informations en général. Ainsi, au cours des entretiens avec les OM concernant l'utilisation du petit écran pour la RCI dans le domaine de la MA, les participants ont évoqué le fait que l'affichage des informations sur les tâches proposé lors des tests (uniquement la référence de la tâche) ne leur permet pas d'avoir suffisamment de détails pour se faire une représentation mentale de la tâche concernée. Nous avons alors formulé comme recommandation de proposer à l'utilisateur un moyen qui lui

permet de construire une représentation de la tâche à l'aide d'une fenêtre ponctuelle (*pop-up*), compte tenu de la surface limitée du petit écran. La fenêtre ponctuelle est une « fenêtre déroulante » qui intègre un ensemble d'informations et qui apparaît localement à la demande de l'utilisateur (Caro & Bétrancourt, 2001). En effet, l'utilisation de ces fenêtres pourrait améliorer les performances des utilisateurs en raison de leurs caractéristiques (Jamet & Erhel, 2006) :

- rendre les informations principales permanentes et les informations secondaires ponctuelles, ce qui facilite la RI ;
- permettre une consultation à la demande (l'utilisateur ne voit alors affiché sur le petit écran que l'information dont il a besoin à chaque fois et ne se retrouve pas avec des informations inutiles dans un espace déjà réduit du petit écran). Jamet et Erhel ajoutent que les experts seraient ainsi moins contraints de traiter toutes les informations et pourraient se focaliser sur celles qu'ils maîtrisent le moins ;
- de diminuer la surcharge perceptive occasionnée par une trop grande quantité d'informations à l'écran ;
- de permettre la disparition de l'effet de partage de l'attention entre deux sources d'informations ou deux niveaux d'informations. Dans notre cas, le partage de l'attention serait lié à la localisation des informations qui devraient être présentées simultanément, et qui sont la référence de la tâche et son intitulé et les différentes sous-tâches que celle-ci contient.

Des tests dans la condition réelle de la tâche de maintenance permettraient toutefois de valider ces résultats et d'y apporter plus de précision. Les participants seraient alors mobiles pendant la consultation et la recherche d'information. Il serait intéressant de comprendre ce que cette situation de mobilité apporterait dans l'utilisation du système. Le troisième test qui a pour objet l'étude de la portabilité constituait un début de réflexion vers cette direction. Il a permis d'apporter des informations sur les caractéristiques d'affichage des informations en matière de couleur de fond de l'écran, la taille et la couleur des polices ainsi que l'affichage des schémas IPC. Ces résultats font ressortir que le fond de couleur noir et le fond de couleur blanc sont les plus appropriés dans les trois conditions de tests (sur le tarmac, dans la soute cargo et dans la soute avionique correspondant respectivement aux niveaux de luminosité très clair, moyennement clair et sombre). Ces deux couleurs de fonds sont les plus efficaces pour la bonne lisibilité des phrases affichées. Hall et Hanna (2004) cités par Jamet (2008) recommandent l'utilisation des contrastes positifs importants, par exemple texte noir sur fond blanc, même si la couleur bleue, la couleur de fond utilisée pour l'application Tarmak lors de

notre test sur l'utilisation du petit écran pour la RCI dans la DMA (Chapitre 2 de la Partie 2) est jugée plus esthétique pour une page selon les auteurs. Cela correspond en partie aux résultats de notre étude. Soulignons toutefois que la DMA étant composée en partie d'un texte avec des caractères de couleurs différentes, plusieurs couleurs ont dû être testées pour le texte. L'étude sur l'utilisation de l'appareil à petit écran a également permis de déterminer en partie les difficultés que pourraient avoir l'OM du point de vue physique et physiologique et les solutions envisageables. La limite en est que le texte affiché sur le système, concernant le test de visibilité et de lisibilité, n'était pas encore de la documentation réelle et les informations se limitaient à quelques phrases. De plus, les tests ont eu lieu pendant la journée, à l'extérieur. Cela n'a pas encore permis d'identifier les difficultés réelles que l'OM rencontrerait lors de la RCI pendant la tâche de maintenance et dans toutes les conditions (par exemple pour la maintenance de nuit). Une étude qui concerne la documentation réelle avec plus de participants avec différents profils et dans différentes conditions (en journée et pendant la nuit, à l'intérieur et à l'extérieur) serait donc nécessaire pour valider les résultats obtenus et les compléter si nécessaire.

L'avion est un système complexe engendrant différents types d'opérations qui peuvent être liées les unes aux autres. L'activité de maintenance fait partie de ces opérations. Les informations qui y sont exploitées peuvent être issues de différents entités (compagnies, pilotes, etc.) et d'autres systèmes (système de pilotage, par exemple). Dans notre étude, nous avons principalement pris en considération la documentation comme un système isolé. Une étude plus vaste qui prend en compte la gestion de tous les autres éléments qui viennent en amont et ceux qui se trouvent en aval de la maintenance aéronautique serait à privilégier afin de déterminer ce qui serait à améliorer du point de vue de la documentation pour mieux gérer cette interaction entre différentes activités.

Enfin, dans l'introduction, nous avons mentionné que le petit écran envahissait la vie quotidienne, principalement la vie privée. Notre étude a contribué à apporter des connaissances à l'utilisation d'un tel format dans le domaine de la maintenance aéronautique et plus largement dans le domaine professionnel dans la mesure où très peu d'études sont consacrées à l'utilisation du petit écran comme support à des tâches de travail. Les connaissances apportées par notre étude nécessitent d'être enrichies mais peuvent également constituer de base pour l'étude de l'utilisation du petit écran dans d'autres domaines spécialisés.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Acton, T., Golden, W., Gudea, S., & Scott, M. (2004, avril). *Usability and acceptance in small-screen information systems*. Communication presented at the ,eCOLLECTeR conference. Guildford : University of Surrey.
- Al Ani, T. (2006). *Introduction au diagnostic des défaillances*. Paris : A2SI-ESIEE.
- Allen, G.L. (1999). Spatial abilities, cognitive maps and wayfinding: bases for individual differences in spatial cognition and behavior. In R.G., Colledge (Eds.), *Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes* (pp. 46–80). Baltimore: Johns-Hopkins Press.
- Amadiou, F., Bastien, C., & Tricot, A. (2008). Les méthodes on-line 1 : Analyse des parcours. In A. Chevalier & A. Tricot (Eds.), *Ergonomie des documents électroniques* (pp. 251-270). Paris : PUF.
- Amalberti, R. (2001). La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie Française*, 46, 107-118.
- Association Française de NORmalisation. (1987). *Glossary of documentation terms* (2nd Ed.). Paris : AFNOR.
- Aubert, P., Caroli, E., & Roger, M. (2006). Nouvelles technologies et nouvelles formes d'organisation du travail. *Revue économique*, 57(6), 1329-1349.
- Barcenilla J. (1993). *Etude sur la compréhension et le suivi d'instructions lors de l'apprentissage de dispositifs techniques* (Thèse de doctorat inédite). Université de Paris VIII :Paris.
- Barcenilla, J., & Bastien, J. M. C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? *Le Travail Humain*, 72, 311-331.
- Barnard Y., Mazoyer P., Reiss M., & Tapie J. (2006). Mental Models of different users of electronic technical data. (Report of the M&M project). Toulouse : EURSICO International.
- Barnard, Y., & Reiss, M. (2006). User-centred innovation of electronic documentation for maintenance. In D. de Waard, K.A. Brookhuis, & A. Toffetti (Eds.), *Developments in human factors in transportation, design and evaluation* (pp. 129-142). Maastricht: Shaker.

- Barnard, Y., Moal, M., & Tapie, J. (2007, mai). Ergonomie, documentation électronique et maintenance : exemple de l'aéronautique. Paper presented at the *Forum Maintenance & Transports*, Paris.
- Bastien, J. M. C., & Scapin, D. (1993). Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces. (Technical report N° 156). Rocquencourt, France : INRIA Rocquencourt.
- Baudisch, P., Xie, X., Wang, C., & Ma, W. -Y. (2004). Collapse-to-zoom: viewing web pages on small screen devices by interactively removing irrelevant content. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology-UIST '04* (pp.91-94). Sante Fe :ACM Press.
- Bétrancourt, M., & Bisseret, A. (1998). Integrating textual and pictorial information via pop-up Windows : an experimental study. *Behaviour & Information Technology*, 17, 263-273.
- Bieger, G. R., & Glock, M. D. (1984). The information content of picture-text instructions, *Journal of Experimental Education*, 53, 68-76.
- Boeing (1994). *Maintenance error decision aid*. Seattle, WA : Boeing.
- Bouillon, P., Fabre, C., Sébillot, P. & Jacqmin, L. (2000). Apprentissage de ressources lexicales pour l'extension de requêtes. *Traitement automatique des langues*, 41(2), 367-393.
- Boutet J., (1993). Quelques propriétés des écrits au travail. *Cahiers Langage et Travail*, 6, 21-28.
- Boy, G. A. , & de Brito, G. (2000). Towards a categorization of factors related to procedure following and situation awareness. *Proceedings of HCI-Aero 2000*, Toulouse : Cepadue's.
- Brand-Gruwel, S., Wopereis, I., & Vermetten, Y. (2005). Information problem solving by experts and novices: analysis of a complex cognitive skill. *Computers in Human Behavior*, 21, 487-508.
- Brangier E., & Barcenilla J. (2003). *Concevoir un produit facile à utiliser. Adapter les technologies à l'homme*. Paris : Éditions d'Organisation.
- Britton, B. K., Glynn, S. M., Meyer, B. J., & Penland, M. J. (1982). Effects of text structure on use of cognitive capacity during reading. *Journal of Educational Psychology*, 74, 51-61.
- Brown, P. (2003). Companies get creative in their inventory. Management Solution, Aviation Now. From <http://www.aviationnow.com>.

- Cameron, B. (1998). Aircraft maintenance operations. In J. M. Stellman (Eds.), *Encyclopaedia of occupational health and safety* (Vol.3, pp. 102.10-102.11), Geneva: International Labour Office.
- Cameron, B. (2002). *La maintenance des appareils*. In J. M. Stellman (Eds.), *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail* (Vol. 3, pp. 102.12-102.13), Genève: Bureau International du travail.
- Civil Aviation Authority (2002). *Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection*. (Report No. CAP 718) London : The Safety Regulation Group.
- Calvet-Inglada, G. (2008). *Etude empirique de l'interaction multimodale en situation naturelle* (Thèse de doctorat). Université de Toulouse, Novembre 2008. Document consulté sur http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00443654_v1/.
- Canter, D., Rivers, R., & Storrs, G. (1985). Characterizing user navigation through complex data structures, *Behaviour and Information Technology*, 4(2), 93-102.
- Caro , S., & Bétrancourt, M. (2001). Ergonomie des documents numériques. In *Encyclopédie des techniques de l'ingénieur, traité informatique, documents numériques*. Paris :Techniques de l'ingénieur.
- Caro, S. (2007). *L'écriture des documents numériques : approche ergonomique*. Paris : Hermès Lavoisier.
- Catta, J.-Y., & Stocker, V. (2010). *Méthodologie et outils pour concilier santé et productivité dans l'investissement industriel*. Document consulté en juin 2010 sur http://www.carsat-ra.fr/.../SP%201156_TEO_Guide_Methodologique_CRAM_2010_def.pdf.
- Cellier, J.-M. (2005). Caractéristiques et fonctions des textes procéduraux. In D. Alamargot, P. Terrier et J.-M. Cellier (Eds.), *Production, compréhension et usages des écrits techniques au travail* (pp. 161-180). Toulouse : Octarès.
- Chaparro, A., Groff, L. S., Chaparro, B. S., & Scarlett, D. (2002). Survey of aviation technical manuals. (Phase 2 report : User evaluations of maintenance documentation). Washington D. C. : Federal Aviation Administration.
- Chaparro, A., Rogers, B., Hamblin, C., & Chaparro, B. (2004). A comparison of three evaluative techniques for validating maintenance documentation. (Final Report). Washington D. C. : Federal Aviation Administration.

- Chevalet, P., & De Bonnefoy, N. (2003, avril). *Les apports de la réalité augmentée nomade pour la maintenance aéronautique*. Document présenté à la 4ème Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation “Organisation et Conduite d’Activités dans l’Industrie et les Services” - MOSIM’03 - Toulouse.
- Chevalier, A. (2008, juillet). *Flexibilité cognitive et du niveau de vocabulaire dans la recherche d'informations sur le Web : une étude auprès d'internautes jeunes et âgés*. Document présenté au séminaire JETCSIC'2008, Toulouse.
- Christol, J. (1992). Diagnostic en ergonomie. *Performances Humaines et Techniques*, 58, Mai-Juin 1992.
- Ciaccia, A. (2008, juillet). *Analyse cognitive de l'explicitation d'une demande d'information faite à un documentaliste : étude exploratoire*. Document présenté au séminaire JETCSIC'2008, Toulouse.
- Conklin, E. J. (1987). Hypertext: an introduction and survey. *IEEE Computer*, 20, 17- 41.
- Cowie J., & Wilks, Y. (2000). Information Extraction. In R. Dale, H. Moisl, & H. Somers (Eds.), *Handbook of Natural Language Processing* (pp. 241-269). New York: Marcel Dekker.
- Craik K. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge : University Press.
- Daniellou, F., Laville, A., & Teiger, C. (1982). Fictions et réalités du travail ouvrier. *Les cahiers français*, 209, 39-45.
- Darken, R. P. (1997, avril). Navigating in virtual worlds: Wayfinding and locomotion in real and not-so-real environments. Paper presented at the *Carnegie Mellon University HCI Seminar*.
- Davidson, M. J., Dove, L., & Weletz, J. (1999). *Mental Models and usability* (Technical Report Cognitive Psychology 404). Chicago : Depaul University.
- Davis, F. (1989). User Acceptance of Information Technology : systems characteristics, user perceptions and behavioral impacts. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38(3), 475-487.
- Davis, R.D., Bagozzi, R.P., & Warshaw, P.R. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science*, 35, pp. 982 -1003.

- De Bonnefoy, N. (2009). *Un système informationnel mixte ubiquitaire et intuitif – Support aux opérateurs de maintenance aéronautique* (Thèse de doctorat inédite). Université de Toulouse 3.
- Deconde, G. (2009). Etude itérative des liens entre utilisabilité et acceptabilité d'un dispositif de saisie et de reconnaissance de l'écriture manuscrite (Thèse de doctorat inédite). Université Rennes 2.
- De Lange, R.-W., Esterhuizen, H.-L., & Beatty, D. (1993). Performance differences between Times and Helvetica in a reading task. *Electronic Publishing*, 6(3), 241-248.
- Denhière, G., & Baudet, S. (1992), *Lecture, compréhension de texte et science cognitive*. Paris : PUF.
- Denhière, G., Lemaire, B., Bellissens, C., & Jhean-Larose, S., (2004). Psychologie cognitive et compréhension de texte : une démarche théorique et expérimentale. In S. Porhiel & D. Klingler (Eds.), *L'unité texte* (pp. 74-95). Pleyben : Perspectives.
- Desmoulins, C., & Grandbastien, M. (2000, mai). *Des ontologies pour indexer des documents techniques pour la formation professionnelle*. Papier présenté aux 11^{ème} journées francophones d'ingénierie des connaissances, IC2000, Toulouse.
- Dillon A. (1994). *Designing usable electronic text : ergonomics aspects of human information usage*. London: Taylor and Francis.
- Dillon, A. (1996). Myths, misconceptions, and an alternative perspective on information usage and the electronic medium. In J.-F. Rouet, J. Levonen, A. Dillon & R. Spiro (Eds.), *Hypertext and cognition* (pp. 25-42), Mahwah, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Dixon, P., Harrison, K., & Taylor, D. (1993). Effects of sentence form on the construction of mental plans from procedural discourse. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 47, 375-400.
- Dubois, M., & Bobillier-Chaumon, M.-É. (2009). L'acceptabilité des technologies : bilans et nouvelles perspectives. *Le Travail Humain*, 72, 305-310.
- EASA (2003). *Règlement (CE) No 2042/2003*. Document accessible sur <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2003R2042:20060510:FR:PDF>

- El Aoufir, H., & Bouami, D., (2005). *Les coûts directs de la maintenance : de la comptabilité analytique vers la gestion par les activités*. CPI'2005, Casablanca, Maroc.
- Fabre, C. (2007). *Techniques sémantiques pour l'accès à l'information textuelle*. Cours en Master 2 ECIL, Université de Toulouse 2, Toulouse.
- Fallman, D. (2002). Wear, Point, and Tilt: Designing Support for Mobile Service and Maintenance in Industrial Settings. *Proceedings of DIS2002*, London UK.
- Fayol, M. (2002). Les documents techniques : bilan et perspectives. *Psychologie Française*, 47(1), 9-18.
- Feiyu Xu, (2002). *Multilingual System for Web-Information : The State of The Art*. Germany: DFKI, LT-Lab.
- Fluhr, C. (2000). Indexation et recherche d'information textuelle. In J.-M Pierrel (Ed.), *Ingénierie des langues* (pp. 235-252). Paris : Hermès,
- Foltz, P.W. (1996). Comprehension, coherence and strategies in hypertext and linear text. In J.-F. Rouet, J. Levonen, A. Dillon & R.J. Spiro (Eds.), *Hypertext and cognition* (pp. 109-136). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Foster, J. J. (1979). The use of visual cues in text. In P. A. Kolers, M. E. Wrolstad, & H. Bouma (Eds.), *Processing of Visible Language* (Vol.1, pp. 189- 203), New York : Plenum Press.
- Fraenkel, B. (1993). La traçabilité, une fonction caractéristique des écrits au travail. *Langage et travail*, 6, 26-38.
- Gaizauskas R., & Wilks Y. (1998). Information extraction : Beyond Document Retrieval, *Journal of documentation*, 54(1).
- Ganier, F., Gombert, J.-E., & Fayol, M. (2001). Discours procédural et activités mentales : de la compréhension d'instructions complexes à la planification de l'action. *Langages*, 141, 47-63.
- Ganier, F. (2002). Évaluer l'efficacité des documents techniques procéduraux : un panorama des méthodes. *Le Travail Humain*, 65(1), 1-27.
- Ganier, F. (2004). Les apports de la psychologie cognitive à la conception d'instructions procédurales. *InfoDesign – Brazilian Journal of Information Design*, 1, 16-28.
- Ganier F., & Heurley L. (2005). La prise en compte de l'utilisateur et de son utilisation des documents procéduraux : une précondition nécessaire à la conception de documents adaptés,

- In D. Alamargot, P. Terrier, & J.-M. Cellier (Eds.), *Production, compréhension et usages des écrits techniques au travail* (pp. 69-85). Toulouse : Octarès.
- Gentner, D., & Stevens, A. (1983). *Mental Models*. London : Lawrence Erlbaum.
- George, C. (1983). *Apprendre par l'action*. Paris, PUF.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Giller, V., Melcher, R., Schrammel, J., Sefelin, R., & Tscheligi, M. (2003, september). Usability evaluations for multi-device application development three example studies. Paper presented at the 5th International Symposium - Mobile HCI 2003, Udine, Italy.
- Golledge, R. G. (1999b). Human wayfinding and cognitive maps. In R. G. Golledge (Ed.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*. Baltimore, MD: Johns Hopkins Press.
- Goundiam, M. Y. (2009). *Maintenance des équipements*. Cours Master Génie Energétique et Energies Renouvelables. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Burkina Faso.
- Grusenmeyer, C. (1991). La relève de poste : une phase critique du travail en équipes successives. *Cahiers des notes documentaires*, 144.
- Guthrie, J. T. (1988). Locating information in documents : examination of a cognitive model. *Reading Research Quarterly*, 23, 178-199.
- Harris, R., & Dewdney, P. (1994). *Barriers to information: How formal help systems fail battered women* (pp. 1-34). Westport, CT: Greenwood Press.
- Hassenzahl, M., & Wessler, R. (2000). Capturing design space from a user perspective: the repertory grid technique revisited. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 12(3-4), 441- 459.
- Hassenzahl, M., Beu, A., & Burmester, M. (2001). Engineering Joy. *IEEE Software*, 18(1), 70.
- Hessburg, J. (2000). *Air Carrier MRO Handbook*. McGraw Hill, USA.
- Heurley, L. (1994). *Traitement des textes procéduraux. Etude de psycholinguistique cognitive des processus de production et de compréhension chez des adultes non experts* (Thèse de doctorat). Université de Bourgogne

- Heurley, L. (2001). Du langage à l'action : le fonctionnement des textes procéduraux. *Langages*, 141, 64-78.
- Hobbs, A. (1997). *Human factors in airline maintenance : study of incident reports*. Canberra : Bureau of Air Safety Investigation.
- Hobbs, A. (2000). Maintenance error, lessons from the BASI survey. *Flight Safety Australia*, 4, 36-37.
- Hobbs, A. (2008). *An overview of human factors in aviation maintenance*. From <http://www.inrets.fr/services/manif/ForumNTIC/forum31-05-07/programme.htm>.
- Hobbs, A. & Williamson, A. (2002). Unsafe and unsafe outcomes in aircraft maintenance. *Ergonomics*, 45, 866-882.
- Jambon, F., Mandran, N., Meillon, B., & Perrot, C. (2008). Évaluation des systèmes mobiles et ubiquitaires : proposition de méthodologie et retours d'expérience. In *Proceedings of Ergo-IA'08, L'humain au coeur des systèmes et de leur développement* (pp. 107-116), Biarritz, 15-16-17 Octobre.
- Jamet, E., & Erhel, S. (2006). Les effets de l'intégration spatiale de fenêtres ponctuelles sur la compréhension de documents pédagogiques illustrés. *Psychologie Française*, 51(1), 73-86.
- Jansen, B. J., Spink, A., & Saracevic, T. (2000). Real life, real users, and real needs: A study and analysis of user queries on the web. *Information Processing and Management*. 36(2), 207-227.
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1999). Deductive Reasoning. *Annal Review of Psychology*, 50, 109-135.
- Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. (2003). *Mental Models Website*. Document consulté sur <http://www.tcd.ie/Psychology/RuthByrne/mentalmodels>.
- Jones, J. V. (2006). *Supportability Engineering Handbook, Implementation, Measurement and Management*. McGraw Hill, USA.
- Jones, M., Buchanan, G., & Thimbleby, H. (2002). Sorting out searching on small screen devices. *Lecture Notes in Computer Science*, 2411, 555-567.

- Jones, S., Jones, M., & Deo, S. (2003). *Using keyphrases as search result surrogates on small screen devices*. (Working paper 07/03). New Zealand : University of Waikato, Department of computer science.
- Jones, M., & Marsden, G. (2006). *Mobile interaction design*. England : John Wiley.
- Jordan, P. W. (1999). Pleasure with products : Human factors for body, mind and soul. In W.S. Green & P. W. Jordan (Eds.), *Humans factors in Product Design : Current practice and future trends* (pp. 206-217). London : Taylor & Francis.
- Julien, H. (1999). Barriers to adolescents' information seeking for career decision making, *Journal of the American Society for Information Science*, 50(1), 38-48.
- Kadner, K., & Roussel, D. (2006). *Documentation for aircraft maintenance based on topic maps. Proceedings of the 2nd international conference on Topic maps research and applications*, 56-61, Leiptzig, Germany.
- Kamba, T., Elson, S. A. , Harpold, T., Stamper, T., & Sukaviriya, P. (1996). Using small screen space more efficiently. *Proceedings of SIGCHI '96* (pp. 383-390). Vancouver, Canada,.
- Kern, R. P. (1985). Modeling users and their use of technical manuals. In T. M. Duffy & R. Waller (Eds.), *Designing Usable Texts* (pp. 341-375). London : Academic Press Inc.
- Kerr, B. (1973). Processing demands during mental operations. *Memory and Cognition*, 1, 401-412.
- Kieras, D. E., & Bovair, S. (1984). The role of a mental model in learning to operate a device. *Cognitive Science*, 8, 255-273.
- Kieras, D. E., & Bovair, S. (1986). The acquisition of procedures from text: a production-system analysis of transfer of training. *Journal of Memory and Language*, 25, 507-524.
- Kotovsky, K., Hayes, J. R., Simon, H. A. (1985). Why are some problems so hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology*, 17, 248-294.
- Lampe, M., Strassner, M., & Fleisch, E.A. (2004). Ubiquitous Computing Environment for Aircraft Maintenance. *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*. Nicosia, Cyprus, march 14-17.
- Lattanzio, D., Patankar, K. & Kanki, B. (2008). Procedural Error in Maintenance: a review of research and methods. *International Journal of Aviation Psychology*, 18(1), 17-29.
- Laprie, J.-C. (1995). *Guide de la sûreté de fonctionnement*. Toulouse : Cépaduès,

- Laprie, J. -C. (2004, novembre). Sûreté de fonctionnement : concepts, défis, directions. Document présenté à *ACI Sécurité et Informatique*, Toulouse.
- Le Bris, V. (2010). La continuité des activités de production dans des systèmes postés discontinus : approche ergonomique des activités de relève de poste de l'encadrement de proximité (Thèse de doctorat inédite). Toulouse : Université de Toulouse 2.
- Leplat, J., & Cuny, X. (1977). *Introduction à la psychologie du travail*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Leplat, J., & Hoc, J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3, 49-63.
- Leplat, J. (2008). Repères pour l'analyse de l'activité en ergonomie. *Le Travail Humain*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Licoppe, C., & Heurtin, J. P. (2001). Managing one's availability to telephone communication through mobile phones: a french case study of the development dynamics of mobile phone use. *Personal and Ubiquitous Computing*, 5, 99-108.
- Lumsden, J. (2008). *Handbook of research on user interface design and evaluation for mobile technology*. Hershey : Information Science Reference.
- Macedo-Rouet, M. (2006). Les animations, quand et comment s'en servir ? Document consulté en novembre 2008 sur <http://www.agence-usages-tice.education.fr/template.asp>.
- Mahlke, S., & Thüring, M. (2007). Studying Antecedents of Emotional Experiences in Interactive Contexts. *Proceedings of CHI '07* (pp. 915-918). New York: ACM Press.
- Marchand, T., Salembier, P., & Zouinar, M. (2000). *Activités coopératives distribuées en situation de mobilité* (Rapport de convention GRIC-IRIT/FT-R&D, Projet MAGIC). Issy-les-Moulineaux: FT-R&D.
- Marcus, N., Cooper, M., & Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology*, 88, 49-63.
- Mason, S. (2001, january). *Improving maintenance by reducing human error*. Paper presented at the Joint offshore industry/HSE seminar, maintenance - reducing the Risks, Aberdeen.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: are we asking the right questions ? *Educational psychologist*, 32, 1-19.

- Mayer, R., & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction, 12*, 107-119.
- McAleese, R. (1989). Navigation and browsing in hypertext. In R. McAleese (Ed.), *Hypertext: Theory into Practice* (pp. 7-43). Oxford: Intellect Books.
- McDonald N., Corrigan S., Cromie S., & Daly C. (2000). Safety management systems and safety culture in aircraft maintenance organisations. *Safety Science, 34*, 151-176.
- Millar R., Shevlin M. (2003). Predicting career information-seeking behavior of school pupils using the theory of planned behavior. *Journal of Vocational Behavior, 62*, 26-42.
- Miller, G. A. (1999). The magical number seven, plus or minus two some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 101*(2), 343-352.
- Mills C. B., Diehl, V. A., Birkmire, D. P., & Mou L.-C. (1993). Procedural text: predictions of importance ratings and recall by models of reading comprehension. *Discourse Processes, 16*, 279-315.
- Mizzaro, S. (1998). How many relevances in information retrieval ? *Interacting With Computers, 10*(3), 305-322.
- Montmollin, M. de (1997). *Vocabulaire de l'ergonomie*. Toulouse: Octarès Editions.
- Morrell, R.W., & Park D. C. (1993). The effects of age, illustrations, and task variables on the performance of procedural assembly tasks. *Psychology and Aging, 8*(3), 389-399.
- Munro, P., Kanki, B. & Jordan, K. (2008). Beyond 'INOP': logbook communication between airline mechanics and pilots. *International Journal of Aviation Psychology, 18*, 86-103.
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. San Diego : Academic Press..
- Noirhomme-Fraiture, M., Randolet, F., Chittaro, L., & Custinne, G. (2005, may). Data Visualizations on small and very small screens. *Proceedings of the 11th International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis*, ENST, Brest.
- Norman, D.A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.) *Mental models* (pp. 7-14). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Norman D.A. (1988). *The psychology of everyday things*. New york : Basic Books.
- Norman D.A. (1991). Cognitive artefacts. In J. M. Carroll (Ed.), *Designing Interaction: Psychology at the Human-Computer Interface* (pp. 17-38). Cambridge: Cambridge University Press.

- Norman, D. A. (1999). *The invisible computer: why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution*. Cambridge : MIT Press.
- Norman, D. A. (2004). *Emotional Design: why we love (or hate) everyday things*. New york : Basic Books.
- Norme NF EN 13306 (2001). *Terminologie de la maintenance* (juin 2001).
- Norme NF X60-500 (1988). *Terminologie relative à la fiabilité - Maintenabilité - Disponibilité* (Octobre 1988).
- Parkin, A. J. (1994). Declarative and procedural knowledge. In M. W. Eysenck (Ed.). *The Blackwell dictionary of cognitive psychology* (pp. 93-94). Oxford : Blackwell Publishers.
- Pascoe, J., Ryan, N., & Morse, D. (2000). Using while moving: HCI Issues in Fieldwork Environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(3), 417–437.
- Pery-Woodley, M.-P. (2007). *Outils d'aide à la production, gestion et exploitation de documents*. Cours Master ECIL 2007, Université de Toulouse 2.
- Platteaux H. (2001). *Apprentissage et navigation dans les multimédias éducatifs*. Cours de pédagogie, Centre NTE et Département de Pédagogie, Université de Fribourg.
- Pitrat, J. (1993). *Penser autrement l'informatique*. Paris : Hermès.
- Rasmussen, J. (1980). What can be learned from human error reports ? In K. Duncan, M. Gruneberg & D. Wallis (Eds.), *Changes in working life*, London : John Wiley & sons Ltd.
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge : University Press.
- Reason, J. (1995). *Comprehensive error management in aircraft engineering : a manager's guide*. London Heathrow: British Airways engineering.
- Reason, J., & Hobbs, A. (2006). *Managing maintenance error: a practical guide*. Aldershot :Ashgate.
- Reed, W. M., Ayerman, D. J., & Kraus L. E. (1997). The effects of learning style and task type on hypermedia-based mental models. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedi*, 6(3-4), 285-304.
- Richard, J.-F. (1990a). Compréhension de textes à visée pragmatique. In J.-F. Richard, C. Bonnet & R. Ghiglione (Eds.) *Traité de Psychologie Cognitive 2: Le traitement de l'information symbolique* (pp. 80-92). Paris : Dunod.

- Richard, J.-F. (1994). Compréhension de textes de consignes. In R. Ghiglione & J.-F. Richard (Eds.), *Cours de psychologie III, champs et théories* (pp. 23-33). Paris : Dunod.
- Rivlin, C., Lewis, R., & Cooper, R.D. (1990). *Guidelines for screen design*. Oxford : Blackwell Scientific.
- Rouet, J.-F. (1995). Navigation et orientation dans les hypertextes: quelques aspects du fonctionnement cognitif de l'utilisateur. In E. Bruillard, G.-L. Baron & B. de la Passardière (Eds.), *Actes du Séminaire Hypermédias, Education et Formation* (pp. 11-26). Paris : INRP.
- Rouet, J.-F. & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte: vers un modèle des processus cognitifs. In A. Tricot & J.-F. Rouet (Eds.), *Hypertextes et Hypermédias* (pp. 57-74). Paris : Hermès.
- Sadalla, E. K., Burroughs, W. J., Staplin, L. J. (1980). Reference points in spatial cognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5, 516-528.
- Schenkman, B. N., & Jonsson, F. U. (2000). Aesthetics and preferences of web pages. *Behaviour & Information Technology*, 19(5), 367-377.
- Schmid, S., & Baccino, T. (2001). Stratégies de lecture dans les textes à consignes. *Langages*, 141, 105-124.
- Schrivver, K. A. (1997). *Dynamics in document design*. New York : Wiley Computer..
- Sebillotte, S. (1991). A task description model based on the operator's objectives. From interview to formalization. (Rapport CENA/INRIA). Rocquencourt, France : INRIA.
- Senach, B. (1990). *Evaluation ergonomique des IHM :une revue de la littérature* (Rapport n°1180). Rocquencourt : INRIA.
- Smith, S. L., & Mosier, J. N. (1986). *Guidelines for designing user interface software*. Bedford : The Mitre Corporation.
- Sorrows, M.E., & Hirtle, S. C. (1999). The nature of landmarks for real and electronic spaces. In C. Freksa & D. M. Mark (Eds.), *Spatial Information Theory: Cognitive and Computational Foundations of Geographic Information Science*, International Conference COSIT '99, State, Germany, August 25–29.
- Sperandio, J.-C. (1988). *Ergonomie du travail mental*. Paris : Masson.
- Spyridakis, J. H., & Standal, T. (1987). Signals in expository prose: effects on reading comprehension. *Reading Research Quarterly*, 12(3), 285-298.

- Stich, T.G. (1985). Understanding readers and their uses of texts. In T. M. Duffy & R. Waller (Eds.), *Designing usable texts* (pp. 315-340). London : Academic Press Inc.
- Sycara, K., Paolucci, M., Velsen, M., & Giampapa, J.A. (2001). *The RETSINA MAS Infrastructure* (Technical Report CMU-RI-TR-01-05). Pennsylvania : Carnegie Mellon University.
- Szlichecinski, K.P. (1979a). Telling people how things work. *Applied Ergonomics*, 10(1), 2-8.
- Terrier, N. (2002). *La maintenance. Cours DESS QUASSI*, Université d'Angers. Document consulté sur <http://www.univ-angers.fr/docs/etudquassi/maintenance.pdf>
- Terrier, P., Lemercier, C., & Mojahid, M. (2005). Mise en forme matérielle du texte et traitement de l'information liée à une instruction spécifique : l'effet de mise en acte avec une tâche d'apprentissage. In D. Alamargot, P. Terrier, & J.-M. Cellier (Eds.), *Production, compréhension et usages des écrits techniques au travail* (pp.123-143). Toulouse : Octarès.
- Thüring M., Hannemann, J., & Haake, J. M. (1995). Hypermedia and cognition: designing for comprehension. *Communications of the ACM (CACM)*, 38(8), 57-66.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55, 189- 208.
- Tractinsky, N. (1997). Aesthetics and Apparent Usability: Empirically Assessing Cultural and Methodological Issues, *Proceedings of the CHI 97 Conference* (pp. 115-122). New York : ACM Press.
- Tricot, A. (1995). Un point sur l'ergonomie des interfaces hypermédias. *Le Travail Humain*, 58, 17-45.
- Tricot A., (1997). Chronique « Hypertextes et hypermédias 1945-1995». *Bulletin d'Informatique Approfondie et Applications*, 46, 21-38.
- Tricot A., & Rouet J.-F. (1998). Avant propos : Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques. *Hypertextes et Hypermédias*, n° hors série.
- Tricot A., Pierre-Demarcy, C., & El Boussarghini, R. (1998). Un panorama des recherches sur l'activité mentale de l'utilisateur d'un hypermédia. *Sciences et Techniques Educatives*, 5(4), 371-400.
- Tricot A. (2003). *Apprentissage et recherche d'information avec des documents électroniques*. (Mémoire pour l'habilitation à diriger des recherches). Université de Toulouse le Mirail

- Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulins, P. Marquet & D. Bouhineau (Eds.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (pp. 391-402). Paris : ATIEF/INRP
- Tricot A., (2004). La prise de conscience du besoin d'information : une compétence documentaire fantôme ? Document consulté sur <http://docsdocs.free.fr/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=55>
- Tricot, A., & Rouet, J.-F. (2004). Activités de navigation dans les systèmes d'information. In J.-M. Hoc & F. Darses (Eds.), *Psychologie ergonomique : tendances actuelles* (pp. 71-95). Paris : PUF.
- Tricot A., (2006). Recherche d'information et apprentissage avec des documents électroniques. In A. Piolat (Ed.), *Lire, écrire, communiquer, apprendre avec internet* (pp. 441-462). Marseille : Solal.
- Tricot, A., & Amadiou, F. (2011). Navigation dans les hypertextes. In J. Dinet, & J.M.C. Bastien, (Eds.), *L'ergonomie des objets et des environnements physiques et numériques*. Paris : Hermès.
- Tversky, B., Morrison, J. B., & Bétrancourt, M. (2002). Animation : Can it facilitate ? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4), 247-262.
- Van Avermaete, J.A.G., & Hakkeling-Mesland, M.Y. (2001). *Maintenance human factors from a European research perspective: results from the ADAMS project and related research initiatives*. Presented in the 15th Annual FAA/TC/CAA Maintenance Human Factors Symposium, London.
- VanBuskirk, C., Dawant, B., Karsai, G., Sprinkle, J., Szokoli, G., & Suwanmongkol, K. (2002). Computer-aided aircraft maintenance scheduling (Technical report), Institute for Software-integrated Systems, Vanderbilt University.
- Van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York : Academic Press.
- Vanderhaegen, F. (2003). *Analyse et contrôle de l'erreur humaine dans les systèmes homme-machine* (Mémoire pour l'habilitation à diriger des recherches). Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.

- Villemeur, A. (1988). *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*. Toulouse : Octarès.
- Visser, W., & Falzon, P. (1992). Catégorisation et types d'expertise. Une étude empirique dans le domaine de la conception industrielle. *Intellectica*, 15(3), 27-53.
- Weiser, M. (1993). Hot Topics- Ubiquitous Computing, *Computer*, 26, 71–72.
- Williges, B.H., & Williges, R.C. (1984). Dialogue design considerations for interactive computer systems. *Human Factors Review* (pp.167- 208). Santa Monica, CA. : The Human Factors Society.
- Winn, W. (1997, may). *Learning in hyperspace*. Paper presented at The potential of the web Workshop. University of Maryland.
- Wright, P. (1999a). Printed instructions : can research make difference ? In H. Zwaga, T. Boersema, & H. Hoonout (Eds.), *Visual Information for Everyday Use* (pp. 45-66). London : Taylor & Francis.
- Yoo, S. H., & Yoon, W. C. (2006). Modeling users' task performance on the mobile device: PC convergence system. *Interacting with Computers*, 18(5), 1084-1100.
- Zafiharimalala, H. (2007). *Modèles mentaux des utilisateurs de la documentation de maintenance aéronautique* (Rapport de stage Master2 ECIL-Eurisco International). Toulouse : Université de Toulouse 2.
- Zafiharimalala, H., & Barnard, Y. (2007). *Le modèle de recherche d'information en maintenance aéronautique* (Rapport d'activité). Toulouse : Eurisco International.
- Zafiharimalala, H., & Tricot, A. (2009, mai). Vers une prise en compte de l'utilisateur dans la conception de documents en maintenance aéronautique. Communication présentée au colloque PeCUSI- INFORSID, Toulouse.
- Zwick, C., Schmitz, B., & Kühl, K. (2005). *Designing for Small Screens*. Lausanne :AVA Publishing.
- Zwingelstein, G. (1995). *Diagnostic des défaillances, théorie et pratique pour les systèmes industriels*. Paris : Hermès.
- Zwingelstein, G. (1996). *La maintenance basée sur la fiabilité. Guide pratique d'application de la RCM*. Paris : Hermès.

ANNEXES

ANNEXE 1 – LIVRET DE CONSIGNES

ET LOCALISATION DES REPONSES ATTENDUES

(Test sur l'utilisation du petit écran pour la consultation et la recherche d'information en maintenance aéronautique, cf. Chapitre 2 de la Partie 2)

EXPÉRIMENTATION SUR LA DOCUMENTATION DE MAINTENANCE

Objet de l'expérience : étude de la documentation technique de maintenance utilisée dans le domaine aéronautique. Il ne s'agit pas d'une évaluation de votre performance mais de l'étude de l'outil utilisé pour chercher et consulter les informations afin de réaliser la tâche de maintenance.

Ce que vous allez faire : chercher des informations liées à une tâche de maintenance en utilisant la documentation qu'on vous fournit. Les informations à chercher sont celles relatives à la tâche *TSM 32-42-00-810-921 Difference of Temperature between the two Breaks on a Same Gear (DMC- 00-A-32-42-00-00A-420A-A* dans Tarmak).

La recherche d'informations qu'on va vous demander de faire se décompose en six tâches (**Test 1 à Test 6**). La consigne pour chaque tâche se trouve à l'intérieur de ce livret.

Pour chacune des six tâches (**Test 1 à Test 6**), il n'y a pas de limite de temps : vous évoluerez à votre rythme. Toutefois, dès que vous aurez fini une tâche, passez tout de suite à la suivante.

Test 1 : chercher une procédure dans la documentation

Dans la documentation AMM :

- Cherchez la tâche **32 41 11 000 006-B Removal of the MLG Wheel**
- Consultez la procédure de préparation (*Sous-tâche 32-41-11-020-075-A Preparation of the Wheel before Removal*) qui y est rattachée.

Localisation de la réponse

The screenshot shows a software application window titled 'Table of contents' with a list of tasks on the left and a detailed procedure on the right. The task list includes:

- 32-41-11-000-000-ALL
- 32-41-11-000-001-ALL
- 32-41-11-000-002-ALL
- 32-41-11-000-003-ALL
- 32-41-11-000-004-ALL
- 32-41-11-000-005-ALL
- 32-41-11-000-006-ALL
- 32-41-11-000-007-ALL
- 32-41-11-000-008-ALL
- 32-41-11-000-009-ALL
- 32-41-11-000-010-ALL
- 32-41-11-000-011-ALL
- 32-41-11-000-012-ALL
- 32-41-11-000-013-ALL
- 32-41-11-000-014-ALL
- 32-41-11-000-015-ALL
- 32-41-11-000-016-ALL
- 32-41-11-000-017-ALL
- 32-41-11-000-018-ALL
- 32-41-11-000-019-ALL
- 32-41-11-000-020-ALL
- 32-41-11-000-021-ALL
- 32-41-11-000-022-ALL
- 32-41-11-000-023-ALL
- 32-41-11-000-024-ALL
- 32-41-11-000-025-ALL
- 32-41-11-000-026-ALL
- 32-41-11-000-027-ALL
- 32-41-11-000-028-ALL
- 32-41-11-000-029-ALL
- 32-41-11-000-030-ALL
- 32-41-11-000-031-ALL
- 32-41-11-000-032-ALL
- 32-41-11-000-033-ALL
- 32-41-11-000-034-ALL
- 32-41-11-000-035-ALL
- 32-41-11-000-036-ALL
- 32-41-11-000-037-ALL
- 32-41-11-000-038-ALL
- 32-41-11-000-039-ALL
- 32-41-11-000-040-ALL
- 32-41-11-000-041-ALL
- 32-41-11-000-042-ALL
- 32-41-11-000-043-ALL
- 32-41-11-000-044-ALL
- 32-41-11-000-045-ALL
- 32-41-11-000-046-ALL
- 32-41-11-000-047-ALL
- 32-41-11-000-048-ALL
- 32-41-11-000-049-ALL
- 32-41-11-000-050-ALL
- 32-41-11-000-051-ALL
- 32-41-11-000-052-ALL
- 32-41-11-000-053-ALL
- 32-41-11-000-054-ALL
- 32-41-11-000-055-ALL
- 32-41-11-000-056-ALL
- 32-41-11-000-057-ALL
- 32-41-11-000-058-ALL
- 32-41-11-000-059-ALL
- 32-41-11-000-060-ALL
- 32-41-11-000-061-ALL
- 32-41-11-000-062-ALL
- 32-41-11-000-063-ALL
- 32-41-11-000-064-ALL
- 32-41-11-000-065-ALL
- 32-41-11-000-066-ALL
- 32-41-11-000-067-ALL
- 32-41-11-000-068-ALL
- 32-41-11-000-069-ALL
- 32-41-11-000-070-ALL
- 32-41-11-000-071-ALL
- 32-41-11-000-072-ALL
- 32-41-11-000-073-ALL
- 32-41-11-000-074-ALL
- 32-41-11-000-075-ALL
- 32-41-11-000-076-ALL
- 32-41-11-000-077-ALL
- 32-41-11-000-078-ALL
- 32-41-11-000-079-ALL
- 32-41-11-000-080-ALL
- 32-41-11-000-081-ALL
- 32-41-11-000-082-ALL
- 32-41-11-000-083-ALL
- 32-41-11-000-084-ALL
- 32-41-11-000-085-ALL
- 32-41-11-000-086-ALL
- 32-41-11-000-087-ALL
- 32-41-11-000-088-ALL
- 32-41-11-000-089-ALL
- 32-41-11-000-090-ALL
- 32-41-11-000-091-ALL
- 32-41-11-000-092-ALL
- 32-41-11-000-093-ALL
- 32-41-11-000-094-ALL
- 32-41-11-000-095-ALL
- 32-41-11-000-096-ALL
- 32-41-11-000-097-ALL
- 32-41-11-000-098-ALL
- 32-41-11-000-099-ALL
- 32-41-11-000-100-ALL

The detailed procedure on the right is for task **32-41-11-000-006-B Removal of the MLG Wheel**. It includes a caution: **CAUTION: MAKE SURE THAT THE ITEMS IN THE "TOOLS, TEST AND SUPPORT EQUIPMENT" PARAGRAPHS ARE APPLICABLE TO YOUR AIRCRAFT (THIS LIST IS NOT EXHAUSTIVE, REFER TO THE APPLICABLE SUBTASKS).**

The procedure steps are:

1. **Display Job To Job**
Task Explanation
2. **Job Set-up Information**
3. **Job Setup**
Subtask 32-41-11-020-000
A. Safety Precautions
(1) Put the safety barriers in position.
(2) Put the warning notice in the cockpit to tell persons not to operate the landing gear.
(3) Make sure that the wheel chocks are in position.
Subtask 32-41-11-020-000
B. Wheel Assembly Check
NOTE: Do this check before you remove the wheel.
CAUTION: TIRE ON WHEEL ASSEMBLY WITH MISSING, BROKEN OR LOOSE THE BOLTS MUST BE DEFLATED BEFORE ASSEMBLY IS DISASSEMBLED. TAKE CARE TO DEFLATE TIRE BEFORE ASSEMBLY IS REMOVED (AMM 32-41-11-020-000).
(1) Do a check of the wheel assembly for missing, broken or loose bolts.
Subtask 32-41-11-020-000
C. Open, safety and tag (if/when) circuit breakers

ITEM	DESCRIPTION	IDENT. LOCATION
121A	HYDRAULIC OIL TANK (ELECTRIC AND 4)	305 126
121A	HYDRAULIC OIL TANK (ELECTRIC AND 2)	305 132
121A	HYDRAULIC OIL TANK (ELECTRIC)	305 137

Subtask 32-41-11-020-000
D. Aircraft Maintenance Configuration
(1) Make sure that the PAWS (B757) control switch is set to OFF.
NOTE: On the aircraft B757, make sure that brake occupancy indicator on the filler hole occupancy indicator is

Test 2 : Compléter le schéma

Dans la procédure *32 41 11 000 006-B Removal of the MLG Wheel*,

- Identifiez dans l'ordre chronologique les éléments sur lesquels on intervient pour effectuer la sous-tâche *32-41-11-020-075-A Preparation of the Wheel before Removal*

- Puis complétez les cases du schéma ci-dessous suivant le modèle

(N° d'étape) nom de l'élément

Exemples :

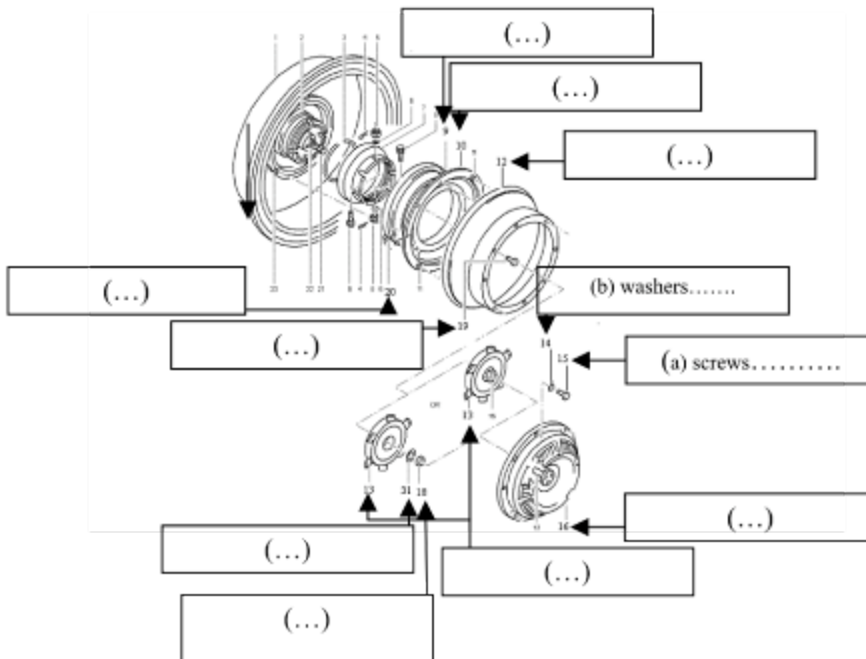
(1) Remove the screws (15)

(a) screws

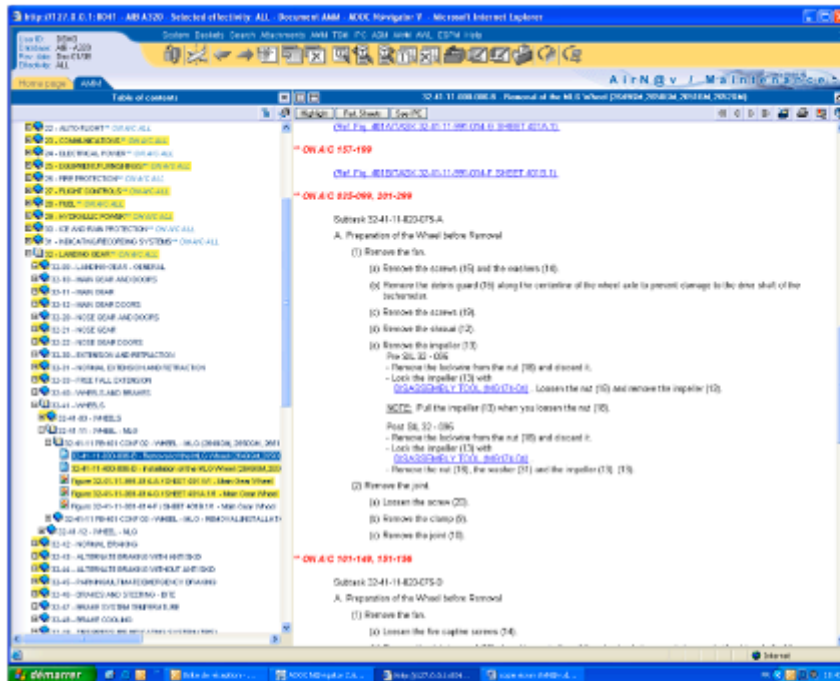


(2) Remove the washers (14)

(b) washers



Localisation des réponses

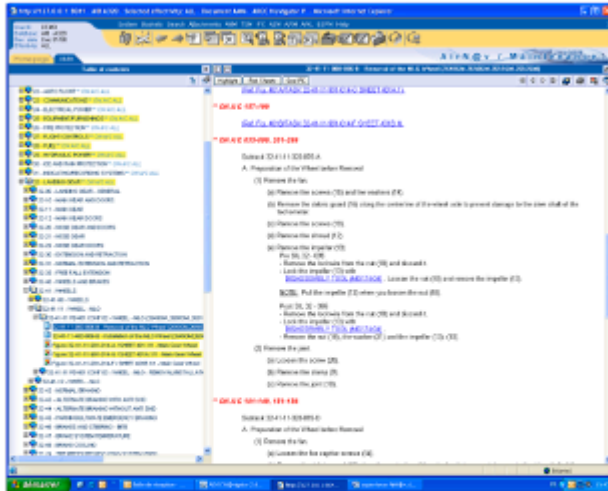


Test 3 : identifier l'ordre des étapes (step number), les éléments (parts) et les actions concernés par la tâche 32-41-11-020-075-A Preparation of the Wheel before Removal

Pour les éléments (parts) vous pouvez utiliser des abréviations ou le numéro de l'élément (Par exemple: washers→ washers ou was. ou 14)

Step Number	Parts	Actions
a	screws	Remove
b	14	Remove
c
d
e
f
g
h
i
j
k
l

Localisation des réponses



Test 4 : Recherche d'une référence

Dans la même procédure de la sous-tâche **32-41-11-020-075-A Preparation of the Wheel before Removal**, donnez la référence de l'élément **DISASSEMBLY TOOL** :

Localisation de la réponse :

Dans la procédure

- (e) Remove the impeller (13)
 Pre SIL 32 - 095
 - Remove the lockwire from the nut (18) and discard it.
 - Lock the impeller (13) with [DISASSEMBLY TOOL \(MG174-04\)](#). Loosen the nut (18) and remove the impeller (13).
 NOTE: Pull the impeller (13) when you loosen the nut (18).

OU dans le tableau de la rubrique "Job Set-up Information"



TASK 32-41-11-020-075-E
 Removal of the M/G Wheel (26450M,2650M,2610M,2620M)
CAUTION: MAKE SURE THAT THE ITEMS IN THE 'TOOLS, TOOLS, TEST AND SUPPORT EQUIPMENT' APPLICABLE TO YOUR AIRCRAFT (THIS LIST IS NOT CUSTOMIZED). REFER TO THE APP...

2. Job Set-up Information

A. Tools, Tools, Test and Support Equipment

REFERENCE	QTY	DESIGNATION
No specific	1	crank bearing(s) safety clip(s)
No specific	1	safety bar(s)
No specific	1	standard wheel R/L daily
No specific	1	warning notice
F4074-1000	1	PROTECTOR
MG174-04	1	DISASSEMBLY TOOL
403072R	1	ADAPTOR - TORQUE

E. Consumable Materials

Test 5 : donner les références des outils

Remplissez les cases vides des tableaux ci-dessous avec les références des outils et équipements nécessaires et spécifiques (Fixtures, Tools, Test and Support Equipment, Supplies, Equipment) aux tâches :

- *AMM 32 41 11 000 006-B Removal of the MLG Wheel*

- *AMM 32 41 11 400 006-B Installation of the MLG Wheel*

Tâche *AMM 32 41 11 000 006-B Removal of the MLG Wheel*

REFERENCE	QTY	DESIGNATION
No specific	-	circuit breaker(s) safety clip(s)
No specific	-	safety barriers
No specific	-	standard wheel R & I dolly
No specific	-	warning notice
	1	PROTECTOR
	1	ADAPTOR-MLG
MG 174-04	1	DISASSEMBLY TOOL
	1	PROTECTOR-MLG AXLE
460007230	1	ADAPTOR - TORQUE

Localisation des réponses

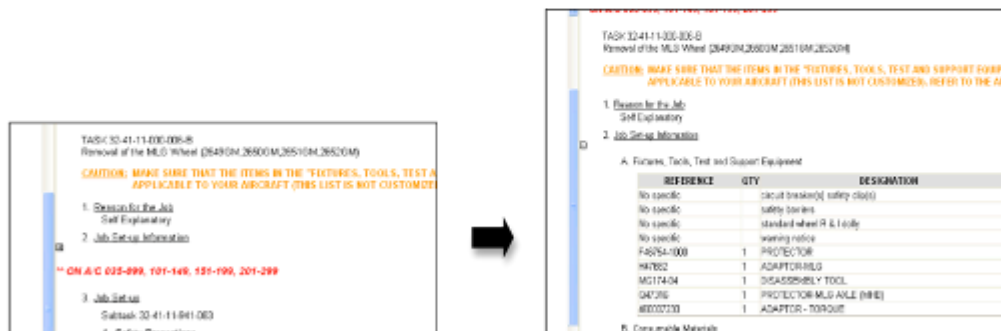
The diagram illustrates the location of tool references in a technical manual. It shows two screenshots of a manual page for 'Removal of the MLG Wheel'. The left screenshot shows the 'Job Setup Information' section with a red circle around the 'Job Setup Information' heading. The right screenshot shows the 'A. Fixtures, Tools, Test and Support Equipment' section with a red circle around the heading and a blue box around the table of tool references.

REFERENCE	QTY	DESIGNATION
No specific		circuit breaker(s) safety clip(s)
No specific		safety barriers
No specific		standard wheel R & I dolly
No specific		warning notice
F46754-1000	1	PROTECTOR
MG174-04	1	DISASSEMBLY TOOL
460007230	1	ADAPTOR - TORQUE

Tâche AMM 32 41 11 400 006-B Installation of the MLG Wheel

REFERENCE	QTY	DESIGNATION
No specific	-	standard wheel R & I dolly
No specific	-	Torque Wrench : range 0.00 to 1.20 m.daN (0.00 to 9.00 lbf.ft)
No specific	-	Torque Wrench : range 0.20 to 3.60 m.daN (2.00 to 26.00 lbf.ft)
No specific	-	Torque Wrench : range 1.00 to 10.00 m.daN (8.00 to 75.00 lbf.ft)
No specific	-	Torque Wrench : range 2.00 to 20.00 m.daN (15.00 to 150.00
No specific	-	Torque Wrench : range 6.00 to 36.00 m.daN (50.00 to 260.00
No specific	-	Torque Wrench : range 15.00 to 82.00 m.daN (120.00 to 600.00
	1	ADAPTOR-MLG
	1	DISASSEMBLY TOOL
	1	PROTECTOR-MLG AXLE (MHB)
	1	ADAPTOR - TORQUE

Localisation des réponses



Test 6 : vérifier la procédure

Vérifiez que l'ordre chronologique et les actions que vous avez précisés en **Test 3** sont corrects.

QUESTIONNAIRE POST-TEST

Question : comment avez-vous trouvé l'utilisation du petit écran ?

Question : comment avez-vous trouvé la présentation de l'information ?

Question : avez-vous des suggestions pour améliorer le système ?

ANNEXE 2 - EXTRAIT DE TRACES DE L'APPLICATION AIRN@V

RECUPEREES AVEC LE LOGICIEL DE L'INRP

02/12/09	09:09:14	30	OFen	2	
02/12/09	09:09:15	10	DNav	2	origine : erreur
02/12/09	09:09:15	20	Titre	2	http://127.0.0.1:8041/awn/defaultgui/html/awn/connectSubmitFormInPOST.html
02/12/09	09:09:15	13	FNav	2	http://127.0.0.1:8041/awn/defaultgui/html/awn/connectSubmitFormInPOST.html
02/12/09	09:09:24	32	FFen	1	
02/12/09	09:09:25	10	DNav	2	origine : inconnue
02/12/09	09:09:25	20	Titre	2	http://127.0.0.1:8041/awn/defaultgui/html/awn/connectSubmitFormInPOST.html
02/12/09	09:09:28	13	FNav	2	http://127.0.0.1:8041/awn/defaultgui/servlet/ServiceDispatcher

ANNEXE 3 - EXTRAIT DE TRACES L'APPLICATION TARMAK

RECUPEREES PAR LE SERVEUR DE

Job page Navigation
Fault causes page Navigation
Procedure list explore pageNavigation
Procedure list page Navigation
Procedure overview page Navigation
step1 Navigation page <i>jusqu'au</i> step25 Navigation page

ANNEXE 4 – CONSIGNE

POUR LE TEST DE LISIBILITE ET DE PORTABILITE DE L'APPAREIL MOBILE A PETIT ECRAN

(cf. Chapitre 3 de la Partie 2)

L'objectif

L'objectif de cette session est de comparer différentes solutions (IHMs et équipements) pour permettre une plus grande mobilité du mainteneur lors d'opérations de maintenance sur A/C.

Nous aimerions recueillir votre avis sur certains points (visibilité, lisibilité IHMs et maniabilité de certains équipements). Cela va nous aider à concevoir et à proposer un équipement qui soit le plus adapté possible aux opérateurs de maintenance.

Déroulement

Cette session se compose de trois étapes :

- Dans la première étape, nous allons faire des tests sur la lisibilité des IHMs sur les écrans de petites tailles. Nous allons vous présenter plusieurs pages et vous allez :
 - les passer en revue sans les juger dans un premier temps ;
 - puis nous allons détailler ensemble, ces pages afin que vous puissiez juger du contraste, de la luminosité...

Cette passation sera renouvelée trois fois, sous des conditions de luminosité différentes, chacune représentative de la luminosité à l'intérieur de l'avion (2 conditions faible et forte) et à l'extérieur de l'avion.

- Dans la deuxième étape, nous allons vous faire tester 3 types d'équipements (lunettes, Mobile device, veste). L'objectif ici est de vous mettre en situation c'est-à-dire dans des situations typiques de maintenance (exemple: effectuer un *walkaround*, remplacer un calculateur dans une soute avionique, etc.). Après chaque mise en situation, nous allons vous

poser un certain nombre de question (facilité de bouger avec cet équipement et facilité pour faire des tâches de maintenance avec cet équipement, etc.).

- Dans la troisième étape, nous allons faire un *débriefing* (mise au point) général.

Nous vous rappelons ici, qu'en aucun cas nous allons vous juger. Au contraire, l'objectif est que vous nous fassiez un maximum de commentaires sur l'ensemble des solutions que nous allons proposer. N'hésitez donc surtout pas à nous faire des remarques que vous penseriez pertinentes.

Essayer également de vous mettre dans un contexte opérationnel, c'est-à-dire : juger les équipements et IHMS, en faisant référence à votre expérience et en vous projetant le plus possible dans des opérations courantes de maintenance.

Enfin, n'hésitez pas à nous demander des explications ou à poser des questions si cela n'est pas assez clair.

Questions sur le test de lisibilité (pour le passage du test à chacune des trois conditions de luminosité)

- a) Sur fond noir, parmi ces 3 planches (planche 1 à 3), quelle taille de police vous semble être la plus lisible?
- b) Sur fond gris foncé, parmi ces 3 planches (planche 4 à 6), quelle taille de police vous semble être la plus lisible?
- c) Sur fond gris clair, parmi ces 3 planches (planche 7 à 9), quelle taille de police vous semble être la plus lisible?
- d) Sur fond blanc, parmi ces 3 planches (planche 10 à 12), quelle taille de police vous semble être la plus lisible?
- e) Parmi les douze planches que vous venez de passer (planche 1 à 12), quelle configuration (de taille de police, de couleur de police et de couleur de fond d'écran) vous paraît être la plus adaptée à la luminosité ambiante actuelle?
- f) Sur fond noir, parmi ces 3 planches (planches 13 à 15), quelle taille de police vous semble être la plus lisible ?
- g) Une fois le choix fait par le mainteneur, reprendre le planche qu'il aura choisi et sur ce planche lui poser la question suivante:

- Est-ce que les phrases qui vous sont présentées en couleur sur cette planche vous paraissent toutes lisibles ?
 - En terme de préférence, quelle couleur vous semble être la plus acceptable sur fond noir : ambre (orange), jaune, rouge, vert clair, vert foncé, bleu et blanc ?
 - Est-ce que les icônes en forme de triangle disposées à gauche de l'écran sont également visibles ? Et avez-vous des préférences de couleur au niveau de ces icônes ?
- h) Sur fond Gris-foncé, parmi ces 3 planches (planches 16 à 18), quelle taille de police vous semble être la plus lisible ?
- i) *Une fois le choix fait par le mainteneur, reprendre le planche qu'il aura choisi et sur ce planche lui poser la question suivante :*
- Est-ce que les phrases qui vous sont présentées en couleur sur cette planche vous paraissent toutes lisibles ?
 - En terme de préférence, quelle couleur vous semble être la plus acceptable avec une couleur de fond gris-foncé: ambre (orange), jaune, rouge, vert clair, vert foncé, bleu et blanc ?
 - Est-ce que les icônes en forme de triangle disposées à droite de l'écran sont également visibles ? Et avez-vous des préférences de couleur au niveau de ces icônes ?
- j) Sur fond Gris-clair, parmi ces 3 planches (planches 19 à 21), quelle taille de police vous semble être la plus lisible ?
- k) Une fois le choix fait par le mainteneur, reprendre le planche qu'il aura choisi et sur ce planche lui poser la question suivante :
- Est-ce que les phrases qui vous sont présentées en couleur sur cette planche vous paraissent toutes lisibles ?
 - En terme de préférence, quelle couleur vous semble être la plus acceptable avec un fond gris-clair : Ambre (orange), jaune, rouge, vert clair, vert foncé, bleu et blanc ?
 - Est-ce que les icônes en forme de triangle disposées à droite de l'écran sont également visibles ? Et avez-vous des préférences de couleur au niveau de ces icônes ?
- l) Sur fond blanc, parmi ces 3 planches (planches 22 à 24), quelle taille de police vous semble être la plus lisible ?
- m) *Une fois le choix fait par le mainteneur, reprendre le planche qu'il aura choisi et sur ce planche lui poser la question suivante :*
- Est-ce que les phrases qui vous sont présentées en couleur sur cette planche vous paraissent toutes lisibles ?

- En terme de préférence, quelle couleur vous semble être la plus acceptable avec un fond blanc : ambre (orange), jaune, rouge, vert clair, vert foncé, bleu et blanc ?

- Est-ce que les icônes en forme de triangle disposées à droite de l'écran sont également visibles ? Et avez-vous des préférences de couleur au niveau de ces icônes ?

n) Parmi les douze planches que vous venez de passer (planche 13 à 24), quelle configuration (de taille de police, ensemble des couleurs proposées et couleur de fond d'écran), vous paraît être la plus adaptée à la luminosité ambiante actuelle?

Questions sur l'étape de mise au point

- Quels sont vos premiers commentaires sur le *mobile device*? Que pensez-vous globalement du *mobile device*?
- Quels sont globalement vos premiers commentaires sur le *mobile device* pour les trois tâches de maintenance que vous venez de réaliser (adaptabilité de l'outil aux trois tâches) ?
- Vous êtes vous senti à l'aise pour faire l'ensemble des tâches que vous aviez à réaliser, en utilisant ce *mobile device* (encombrement, portabilité)?
- Quels risques éventuels verriez-vous dans le fait d'utiliser le *mobile device*?
- Est-ce que le *mobile device* est plutôt lourd ou léger à porter ?
- Est-ce que le *mobile device* peut être utilisé pour toutes les tâches de maintenance qu'il y aurait à faire sur A/C, dans tous les endroits de l'A/C et dans de nombreuses situations de maintenance (TAT, *night stop*, *check...*) ?
- Est-ce que cette solution vous paraît-elle envisageable pour le futur ?
- Pouvez-vous nous citer les avantages et les inconvénients de l'appareil ?
- Quels types d'améliorations envisageriez-vous d'apporter au *mobile device* ?
- Quels types d'améliorations envisageriez-vous d'apporter au *mobile device*, par rapport aux trois tâches de maintenance que nous venons de passer ?

Quelques exemples des réponses des opérateurs

Tâche 1 : *Walkaround* de l'avion

Tâche 2 : Remplacement d'un calculateur dans la soute avionique

Tâche 3 : ouvrir et tagger des *circuits breakers*.

- Impressions générales sur l'utilisation du *mobile device*

☺ M1 : *Walkaround* : Le MD est utile quand il y a une anomalie (pour savoir s'il y a besoin d'intervention ou pas). Par ailleurs, pendant la tâche de *walkaround*, j'aurais bien aimé avoir les mains libres, pour pouvoir enlever la bâche de la trappe de train.

M2 : *Walkaround* : Il n'y a pas forcément de consultation pendant le *walkaround*, et puis j'ai besoin de mes deux mains. Par contre, il y a un intérêt pour la consultation de l'état technique de l'avion, pour vérifier et déclarer tous les problèmes de structures.

M1 : Changement du calculateur :

- Utile, ne pose pas de problème d'utilisation (pas encombrant et peut être posé à différents endroits parmi les déplacements) ;
- Le plus par rapport au papier : recherche de procédure plus facile, ne risque pas d'être emporté par le vent ;
- Evite les allers-retours pour aller chercher ou vérifier une procédure (par ex : lorsqu'on est dans la soute avionique).

☹ M1 : pour les autres tâches de maintenance, je pense que l'on ne pourra pas utiliser le *mobile device* (tel qu'il est actuellement) pour certaines tâches comme aller faire des tâches de maintenance dans les réservoirs.

- Encombrement/Portabilité et Maniabilité (les gênes éventuelles liés à l'utilisation de cet outil)

☺ M1 : Je pense que c'est un concept qui pourrait marcher dans le futur, mais avec des améliorations. Il faudrait disposer d'un écran plus lisible, avec une meilleure portabilité.

M1 : Je pense que c'est une bonne idée, qui va apporter des améliorations par rapport à la documentation papier (feuilles volantes qui se mouillent très facilement).

M3 : Il faut trouver des solutions pour la consultation (lecture de la doc), accroché sur le poignet. Possibilité de l'accrocher facilement au poignet.

☹ M1 : Je pense qu'il est trop gros, épais et trop lourd à manier. Ce serait quand même mieux de pouvoir le mettre dans une poche.

M1 : les risques éventuels que je vois dans l'utilisation de cet outil :

- Le risque d'abimer l'écran dans certaines positions ;
- Le risque de l'oublier quelque part.

Il faudrait disposer d'un écran plus lisible, avec une meilleure portabilité.

M2: Il n'est pas trop lourd, mais quand même, c'est la limite acceptable. Il ne faut pas le faire plus lourd.

M2: les principaux risques que je vois, c'est de l'abimer, de le faire tomber, de marcher dessus, de le laisser quelque part parce qu'il est trop encombrant et de l'oublier.

M3 : Quels risques pour le MD ?

Il y a un risque évidemment de chutes, accros.

Améliorations à apporter (résumé)

M1 : Il faudrait un mobile device qui soit plus facile à porter (améliorer la portabilité), plus léger pour que l'on puisse facilement mettre dans une poche ; il faudrait également un écran plus grand, plus léger.

M2 : Ce serait bien de pouvoir accrocher le mobile device quelque part, avoir une accroche à la main. En lanière et attaché au bras OK, mais en ceinture non. Pour la gestion de l'interaction, je ne suis pas favorable à l'interaction tactile parce qu'un mainteneur a toujours les mains sales. Pour la taille du mobile device, celle d'un carnet serait idéale.

M3 : La taille de l'écran est acceptable mais il ne faut surtout pas plus petit.
