



HAL
open science

Qu'est-ce que naviguer? : analyse d'une tâche de pilotage comme préalable à la conception d'un système d'aide à la gestion d'un vol

Marie Lacabanne

► To cite this version:

Marie Lacabanne. Qu'est-ce que naviguer? : analyse d'une tâche de pilotage comme préalable à la conception d'un système d'aide à la gestion d'un vol. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2014. Français. NNT : 2014TOU20119 . tel-01305935

HAL Id: tel-01305935

<https://theses.hal.science/tel-01305935>

Submitted on 26 Apr 2016

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.



Université
de Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2 Le Mirail)

Cotutelle internationale avec :

Présentée et soutenue par :

Marie Lacabanne

Le mercredi 17 décembre 2014

Titre :

Qu'est-ce que naviguer ?

Analyse d'une tâche de pilotage comme préalable à la conception
d'un système d'aide à la gestion d'un vol

École doctorale et discipline ou spécialité :

ED AA

Unité de recherche :

CLLE-LTC (UMR 5263) & Octogone-Jacques Lordat (URI EA4156)

Directeur(s) de Thèse :

André Tricot, PR, Université Toulouse II

Nathalie Spanghero-Gaillard, PR, Université Toulouse II

Rapporteurs :

Françoise Darse, PR, Institut de Recherche Biomédicale des Armées

Françoise Détienne, MCF HDR, LTCI-CNRS-Telecom ParisTech

Autre(s) membre(s) du jury :

Franck Amadiou, MCF, Université Toulouse II

Christophe Kolski, PR, Université de Valenciennes

Enrique Laso-Leon, Thales Avionics

Cognition, Langue, Langage, Ergonomie – Laboratoire Travail et Cognition

Octogone – Jacques Lordat

THESE en psychologie

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

Qu'est-ce que naviguer ?

**Analyse d'une tâche de pilotage comme préalable à la
conception d'un système d'aide à la gestion d'un vol**

Marie Lacabanne

Présentée et soutenue publiquement

Le mercredi 17 décembre 2014

Directeurs DE RECHERCHE

André Tricot

Nathalie Spanghero-Gaillard

JURY

Franck Amadiou, MCF, Université Toulouse Jean Jaurès (Encadrant)

Françoise Darses, Professeur, Institut de Recherche Biomédicale des Armées (Rapporteur)

Françoise Détienne, Directrice de Recherche, LTCI-CNRS-Telecom ParisTech (Rapporteur)

Christophe Kolski, Professeur, Université de Valenciennes (Examineur)

Enrique Laso-Leon, Thales Avionics (Tuteur)

Nathalie Spanghero-Gaillard, Professeur, Université Toulouse Jean Jaurès (Co-directrice)

André Tricot, Professeur, Université Toulouse Jean Jaurès (Directeur)

Résumé

Cette étude est fondée sur deux constats dans le domaine du transport aérien : la conception des systèmes automatisés, et notamment du système de gestion de vol, découle d'un point de vue techno-centré ne prenant pas en compte le point de vue des opérateurs ; le système de gestion de vol est un système complexe entraînant une difficulté à l'appréhender pour optimiser l'accès aux fonctions existantes. Cette recherche a pour objectif de fournir des recommandations en vue de la conception d'une nouvelle interface du système de gestion de vol partant d'un point de vue centré sur l'opérateur. Pour cela, deux études ont été menées ayant pour objectif la réalisation d'une analyse cognitive de la tâche de navigation (tâche pour laquelle le système de gestion de vol a été initialement conçu). Pour ce faire, nous avons conduit des entretiens auprès de pilotes aux expériences diverses. Les résultats de ces deux premières études fournissent des éléments d'informations quant aux besoins informationnels des pilotes et nous informent aussi sur les exigences de la tâche et leur impact sur la conscience de la situation des pilotes. A la suite de ces résultats, des recommandations de conception pour une nouvelle interface de système de gestion de vol ont été émises visant à répondre aux besoins informationnels des pilotes et ainsi à améliorer leur conscience de la situation. Ces recommandations ont été testées lors d'une troisième étude. Les résultats enregistrés montrent que la réduction de l'effet de dissociation de l'attention ainsi que la contextualisation de l'information de manière cohérente par rapport à l'activité des pilotes permet d'améliorer leur conscience de la situation.

Mots clés : Analyse cognitive de la tâche, Système de gestion de vol, Tâche de navigation, Conscience de la situation, Evaluation ergonomique, Interaction Homme-Machine.

Abstract

This study is based on two observations in the airway field: (i) the design of automated systems - particularly of the flight management system - is currently based on a techno-centered point of view that doesn't take into account the user point of view; (ii) the flight management system is a complex system resulting in a long time of training and in a difficulty in both the knowledge and the access to the existing functions. This study aims to provide design recommendations for a new flight management system interface from the point of view of the pilots. In order to do this, two studies were carried out with the objective to produce a cognitive task analysis, and more particularly a cognitive task analysis of the navigation task (which is the task for which the system was initially created). Interviews were thus conducted with pilots with different experiences. The results of these two first studies provide information on the informational needs of the pilots, on the task requirements as well as on their impacts on the situation awareness of the pilots. Following these results, design recommendations for a new flight management system interface were produced in order to answer to the informational needs of the pilots and thus to improve their situation awareness. These recommendations were tested during a third study. The results show that the decrease of the attention dissociation's effect as well as the consistency of the information contextualization of the pilot activity improves the situation awareness.

Key words: Cognitive task analysis, Flight management system, Navigation task, Situation awareness, Cognitive Ergonomic, Human-Computer Interaction

Remerciements

Ce travail de thèse a été rendu possible grâce à l'implication de plusieurs personnes. Il est enfin temps pour moi de leur dire MERCI !

Franck, un gigantesque merci d'avoir toujours été présent (jusqu'au dernier jour !) quand j'en avais besoin, d'avoir pris le temps de répondre à mes questions et d'avoir toujours eu le mot qui redonne la pêche !

André et Nathalie, un grand merci de m'avoir accompagné au cours de ces années, d'avoir fait le nécessaire pour que cette thèse se déroule dans de bonnes conditions et pour votre aide et vos encouragements !

Je remercie les membres du jury, Françoise Darses, Françoise Détienne et Christophe Kolski, d'avoir accepté d'évaluer ce travail et de faire partie du jury.

Enrique Laso, merci pour tout le temps que tu m'as accordé durant cette dernière année. Sans toi, il n'y aurait pas eu d'expérimentations !

Merci à Gabrielle De Brito d'avoir été à l'écoute et de m'avoir aidée dans la diffusion de ce travail ! Merci également à Patrick Mazoyer d'avoir suivi ce travail et d'avoir été présent dès mon arrivée à Thales Avionics. Je remercie également toutes les personnes de Thales Avionics qui m'ont gentiment accueillie. Je pense notamment à Fany et Karen, merci !

Je remercie très chaleureusement tous les pilotes qui ont accepté de participer à ce travail. Sans eux, rien n'aurait été possible. Merci également à Jérôme Sacle et Eric Lespinasse de m'avoir aidé dans la construction de l'expérimentation.

Je tiens à remercier Nadine Sarter d'avoir accepté de m'accueillir au sein de son laboratoire à l'Université du Michigan et du temps qu'elle m'a accordé pour évaluer mon travail.

Merci aux membres du laboratoire Octogone !! J'ai trouvé ici des amis ! Charlotte & Emilie (vivement 2015 !), Nadia (Mabrouk !), Aurore, Nicole, Mayilin, Lionel et Sören : merci de votre présence, de votre bonne humeur et de votre écoute.

Merci également aux membres du laboratoire CLLE-LTC et notamment à ceux de l'axe B de m'avoir écouté lors des séminaires d'axe. Merci à Emmanuelle Tena pour la patience qu'elle a su m'accorder.

Une pensée toute particulière à Hélène Eyrolle qui m'a toujours suivi depuis le Master1.

Enfin, je n'aurai pas de mot assez fort pour dire à quel point je remercie mon homme d'avoir toujours été présent, même dans les moments les plus difficiles... et merci de m'avoir donné la plus belle des merveilles !

Pour toi ma pépette....

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION..... | 1 |
| Chapitre 1 : Contexte opérationnel | 7 |
| 1.1 Définition de l'automatisation..... | 7 |
| 1.2 Apparition des systèmes automatisés..... | 7 |
| 1.3 Intérêts et limites de cette automatisation..... | 10 |
| 1.4 Description du <i>Flight Management System (FMS)</i> | 12 |
| 1.5 Le pilotage : évoluer dans un environnement dynamique..... | 17 |
| 1.5.1 Les phases d'un vol et leurs exigences cognitives..... | 19 |
| 1.5.2 Les tâches de vol et leurs exigences cognitives | 23 |
| 1.6 Conclusion intermédiaire..... | 25 |
| Chapitre 2 : Conscience de la Situation | 29 |
| 2.1 Le système de traitement de l'information..... | 31 |
| 2.1.1 Registre sensoriel | 32 |
| 2.1.2 Mémoire à Court Terme..... | 32 |
| 2.1.3 Profondeur de traitement..... | 34 |
| 2.1.4 Mémoire à Long Terme..... | 36 |
| 2.2 Processus cognitifs impliqués dans la conscience de la situation | 41 |
| 2.2.1 L'attention sélective..... | 41 |
| 2.2.2 Attention divisée et modèles des ressources attentionnelles..... | 44 |
| 2.2.3 Résolution de problème et Prise de décision..... | 50 |
| 2.3 Synthèse du modèle d'Endsley et adaptation à la problématique | 55 |
| 2.3.1 Conscience de la situation propre aux pilotes | 55 |
| 2.3.2 Les erreurs de conscience de la situation | 57 |
| Chapitre 3 : Analyse de la tâche | 63 |
| 3.1 La méthode CTA (<i>Cognitive Task Analysis</i>)..... | 63 |
| 3.1.1 Domaines d'application de la CTA..... | 64 |
| 3.2 La description de la tâche selon les objectifs des opérateurs..... | 66 |
| 3.2.1 Etude de l'analyse cognitive de la tâche chez les pilotes de transport aérien | 68 |
| 3.3 Conclusion intermédiaire..... | 70 |

| | |
|--|----------------|
| Chapitre 4 : Etude 1 - Analyse cognitive de la tâche de pilotage..... | 75 |
| 4.1 Méthodologie | 75 |
| 4.1.1 Participants..... | 75 |
| 4.1.2 Matériel et déroulement..... | 77 |
| 4.1.3 Méthode d'analyse..... | 78 |
| 4.2 Résultats : Identification des représentations..... | 79 |
| 4.2.1 Tâches et méta-tâches | 79 |
| 4.2.2 Différences selon buts les poursuivis | 81 |
| 4.2.3 Charge de travail selon les phases de vol..... | 83 |
| 4.2.4 Point de vue des pilotes de ligne à propos de l'évolution de l'automatisation et de son impact sur leur activité | 84 |
| 4.3 Conclusion intermédiaire..... | 85 |
| Chapitre 5 : Etude 2 - Analyse cognitive de la tâche de navigation..... | 89 |
| 5.1 Méthodologie | 90 |
| 5.1.1 Participants..... | 90 |
| 5.1.2 Matériel..... | 92 |
| 5.1.3 Méthode d'analyse..... | 93 |
| 5.2 Résultats : identification des représentations de la tâche de navigation | 99 |
| 5.2.1 Préparation du cockpit | 99 |
| 5.2.2 Décollage | 101 |
| 5.2.3 Montée..... | 102 |
| 5.2.4 La croisière | 105 |
| 5.2.5 Préparation descente / approche | 106 |
| 5.2.6 Descente..... | 109 |
| 5.2.7 Approche | 111 |
| 5.3 Conclusion intermédiaire..... | 112 |
| 5.3.1 Limites | 113 |
| 5.3.2 Implications sur la conception d'un nouveau système de gestion de vol..... | 114 |
| 5.4 Recommandations | 116 |
| Chapitre 6 : Etude 3 - Evaluation empirique d'une nouvelle interface pour une amélioration de la conscience de la situation | 121 |
| 6.1 Méthodologie | 121 |
| 6.1.1 Participants..... | 121 |
| 6.1.2 Matériel..... | 123 |
| 6.1.3 Phases de vol étudiées | 127 |
| 6.1.4 Scénario de vol | 128 |
| 6.1.5 Procédure | 131 |

| | | |
|-------|--------------------------------------|------------|
| 6.1.5 | Mesures..... | 132 |
| 6.2 | Hypothèses | 135 |
| 6.3 | Résultats..... | 135 |
| 6.3.1 | Premier scénario | 136 |
| 6.3.2 | Deuxième scénario..... | 143 |
| 6.3.3 | Utilisabilité..... | 146 |
| 6.4 | Conclusion intermédiaire..... | 147 |
| | Conclusion générale | 153 |
| | Bibliographie | 161 |
| | Table des illustrations | 179 |
| | Table des tableaux | 183 |
| | Annexes..... | 185 |

INTRODUCTION

Cette thèse, en Psychologie cognitive et Ergonomie, s'inscrit dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE) en partenariat avec Thales Avionics et la volonté de l'industriel à évaluer les fonctionnalités du *Flight Management System* (FMS). Ce dernier est un système de gestion de vol qui, à l'origine, a pour objectif d'aider les pilotes dans la réalisation de la tâche de navigation (suite à la disparition de l'opérateur naviguant dans le cockpit).

Thales Avionics est une filiale du groupe Thales. Ce groupe est présent sur cinq types de secteur : aéronautique, sécurité, espace, transport terrestre et défense. Thales Avionics est un des partenaires de premier rang des avionneurs mondiaux (Airbus, ATR, Boeing, etc.) et offre son expertise dans le domaine des systèmes électroniques embarqués (que ce soit au niveau civile ou militaire) et ce pour :

- la gestion du trafic aérien
- les systèmes de cabine,
- la formation et la simulation,
- les systèmes électroniques,
- l'avionique de vol.

Concernant ce dernier point (*Flight Avionics*), Thales est présent dans le secteur de l'avionique commerciale, militaire ainsi qu'hélicoptère. A propos de l'avionique commerciale, Thales fournit des suites avioniques aux principaux avionneurs avec des systèmes de gestion de vol, de navigation, de communication et de surveillance pour tous types d'aéronefs. Un exemple de l'engagement de Thales dans l'innovation est illustré par les systèmes de gestion de vol du projet *Avionics 2020*, proposent une nouvelle génération de cockpits répondant davantage aux besoins des pilotes.

Cette thèse s'inscrit dans ce contexte. Elle résulte d'un projet réalisé en parallèle d'*Avionics 2020* mais qui peut alimenter ce dernier. En effet, cette thèse contribue au passage d'un point de vue techno-centré des besoins opérationnels vers un point de vue centré utilisateur. En outre, elle fournit une méthode de travail qui permet de proposer de nouveaux systèmes (notamment ici un nouveau système de gestion de vol) qui répondent aux besoins des pilotes.

En effet, la demande émise par Thales Avionics repose sur le constat que le transport aérien de passagers ou de fret implique une précision de pilotage importante sur de longues distances. Or,

L'absence de repères visuels dans l'environnement (vol au-dessus des océans, dans l'obscurité, conditions météorologiques) a amené le développement d'instruments de navigation et d'accompagnement de l'activité de pilotage. Ainsi, différentes tâches entreprises par l'équipage ont été regroupées et automatisées à la faveur du développement des technologies informatiques dans les années 1970 dans un système de gestion du vol (*Flight Management System* – FMS). Ce type de système servait au départ essentiellement à déterminer la position de l'avion ; mais dans le but de réduire la consommation de carburant, il propose aujourd'hui des méthodes de vols précises (ex. détermination de la meilleure altitude possible, meilleure manière de monter à cette altitude) parmi une multitude d'autres aides à la navigation. Trois constats ont été formulés dans la commande à l'origine de notre étude. Premièrement, il nous a été dit que le temps d'entraînement dévolu au FMS était très important. En outre, une étude réalisée lors d'un mémoire de recherche à Thales Avionics a montré que certaines fonctions offertes par le FMS sont non connues des pilotes ou alors, vont être utilisées de manière détournée (comme par exemple la modification du champ MDA (Minimum Descent Altitude), sur la page Perf/approche du FMS, afin que la valeur de l'altitude de sécurité s'affiche sur le Navigation Display). Enfin, nos interlocuteurs ont mis en avant les difficultés éprouvées par les pilotes dans l'accès à certaines fonctions du FMS. Cela s'explique par la conception incrémentale du système qui, au fur et à mesure des années, s'est vu augmenté de nouvelles fonctions. Ainsi, le système est aujourd'hui constitué de plusieurs couches de fonctions. Ce faisant, les fonctions ajoutées ces dernières années (en réponse aux demandes des compagnies suite à des accidents), sont des fonctions facilement accessibles (présentes dans les premières couches du système), alors que les fonctions « primaires », les plus importantes pour la tâche de navigation, vont se retrouver dans les couches plus basses du système requérant de la part du pilote le passage par plusieurs menus et sous-menus afin d'y accéder.

Le deuxième constat des commanditaires de cette recherche découle du premier. Il met en exergue le fait que les systèmes sont actuellement davantage conçus d'un point de vue technocentré (Endsley, 2011) : élaborés par des ingénieurs, ils ne reflètent pas toujours aujourd'hui les besoins émis par l'utilisateur pilote. Un exemple célèbre des dangers liés à l'approche technocentrée concerne l'accident en 1984 de l'usine filiale de la multinationale américaine Union Carbide à Bhopal en Inde. Cette usine produisait des pesticides. A la suite d'une fuite d'eau, un réservoir se trouva rempli à 70% de ses capacités. Une formation chimique se produisit faisant monter le réservoir en pression. La pression en forte augmentation soudaine n'a pas été détectée par le contrôleur qui se trouvait dans la pièce de contrôle. En effet, l'information concernant la pression des réservoirs n'était pas affichée dans cette pièce. Seul l'indicateur positionné sur le réservoir a permis de comprendre la situation, trop tard. Cet accident tragique met en lumière ce qu'est un système qui n'aide pas l'opérateur dans la détection des signaux

pertinents pour qu'il puisse se construire une bonne conscience de la situation et donc anticiper le problème. Un troisième constat a été énoncé, il concerne les affichages présents dans les cockpits d'avion. En effet, plus la technologie évolue, plus le nombre d'informations présentes à bord du cockpit augmente. Les tâches du pilote changent alors et on lui demande maintenant de « trouver, classer, intégrer et traiter l'information » (Endsley, 2011, page 5). Or, l'opérateur humain a des capacités de traitements de l'information limitées (Miller, 1956 ; Cowan, 1994). Ainsi, l'affichage de ces données rendu possible grâce aux technologies implique une dispersion des informations dans le cockpit qui ne tient pas compte des besoins informationnels des pilotes. Il est donc important de changer de stratégie et de faire de la conception davantage centrée sur l'utilisateur en intégrant dans la réflexion les buts poursuivis par les opérateurs, les tâches à réaliser, les besoins informationnels ou encore les processus cognitifs mis en jeu lors de l'activité des opérateurs (traitement de l'information, prise de décision, etc.).

Ainsi, cette thèse a pour objectif, non pas d'évaluer et d'améliorer le système existant, mais de mettre en place une démarche d'ergonomie cognitive afin de concevoir une nouvelle interface pour un FMS qui permettrait d'améliorer la conscience de la situation des pilotes et cela en agissant sur leurs besoins informationnels. La notion de conscience de la situation (désormais CS) est définie par Endsley (1995b) comme « la perception des éléments d'un environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur état dans un futur proche » (p. 36).

Nous cherchons donc par ce travail à, dans un premier temps, analyser cognitivement ce qu'est piloter pour les pilotes. Autrement dit, nous souhaitons appréhender la représentation que les pilotes se font de la tâche de pilotage dans sa globalité (c'est-à-dire comment ils « contrôlent la trajectoire de l'avion », Billings, 1997, p.16). Ceci nous permettra d'obtenir une base de connaissances concernant cette activité. Puis, dans une seconde étude, nous aborderons la tâche de navigation. Nous nous sommes centrés sur cette tâche particulière car le FMS étant à l'origine un système d'aide à la navigation, il était important de comprendre en détail cette tâche de navigation. Pour Billings (1997), naviguer consiste à « diriger l'avion d'un point d'origine à sa destination » (p.16). Cette analyse cognitive de la tâche de navigation a pour objectif de répondre à plusieurs questions :

- Quelles sont les tâches et sous-tâches réalisées par les pilotes (analyse cognitive des tâches des pilotes) ?
- Quels sont les processus cognitifs mis en œuvre pour réaliser ces tâches (c'est-à-dire quels sont les éléments qui constituent la conscience de la situation et quels sont les facteurs qui vont venir influencer cette conscience de la situation) ?

- Quelles sont les exigences cognitives de ces tâches (charge de travail, charge cognitive, pression temporelle, etc.) ?
- Quels sont les besoins informationnels des pilotes ?

Comme dit précédemment, l'objectif de cette analyse cognitive de la tâche est donc d'aboutir à des recommandations de conception pour une nouvelle interface FMS qui améliorerait la conscience de la situation des pilotes lors de la réalisation de la tâche de navigation.

Ainsi, dans le premier chapitre, nous abordons le contexte opérationnel de cette thèse : nous définissons ce qu'est l'automatisation en présentant l'évolution qu'elle a subie dans le domaine aéronautique, notamment pour les gros porteurs. Puis nous nous consacrons à définir le système de gestion de vol et l'impact que ce système automatisé a eu sur l'activité des pilotes de ligne.

Dans un deuxième chapitre, le concept de conscience de la situation est défini en prenant en compte les différents aspects impliqués dans la construction de la CS (mémoire à court terme, mémoire de travail, mémoire à long terme) ainsi que les différents processus cognitifs mis en jeu (comme l'attention et la prise de décision). Un modèle de la CS propre au pilote est alors présenté (Wickens, 2009) proposant de considérer le pilote comme un système de traitement de l'information.

Un troisième chapitre présente le cadre méthodologique adopté pour les deux premières études qui concerne l'analyse cognitive de la tâche. Les choix méthodologiques y sont justifiés.

La première étude menée lors de cette thèse est exposée dans le quatrième chapitre. Elle consiste en une analyse cognitive de la tâche de pilotage. Des entretiens ont été menés afin d'aboutir à une base de connaissance de cette tâche.

C'est dans un cinquième chapitre qu'est approfondie cette base de connaissance. En effet, une deuxième étude visant l'analyse cognitive de la tâche de navigation a permis d'appréhender plus en détails la représentation qu'ont les pilotes de la navigation. A la suite de cette analyse, des recommandations de conception d'une nouvelle interface de FMS sont présentées.

Dans un sixième chapitre, nous présentons l'expérimentation qui a été menée mettant en jeu deux interfaces : une interface représentant le FMS actuel et une interface prenant en compte les recommandations émises à la suite de l'analyse réalisée précédemment. A la suite de la méthodologie suivie, les résultats de cette étude sont présentés.

Enfin, dans un septième chapitre, nous proposons des éléments de conclusion à cette recherche en alléguant plusieurs perspectives de travail afin d'approfondir le travail réalisé ici mais également afin de l'étendre à d'autres constituants des cockpits.

Chapitre 1

Contexte Opérationnel

| | | |
|-------|---|----|
| 1.1 | Définition de l'automatisation..... | 7 |
| 1.2 | Apparition des systèmes automatisés..... | 7 |
| 1.3 | Intérêts et limites de cette automatisation | 10 |
| 1.4 | Description du Flight Management System (FMS) | 12 |
| 1.5 | Le pilotage : évoluer dans un environnement dynamique | 17 |
| 1.5.1 | Les phases d'un vol et leurs exigences cognitives..... | 19 |
| 1.5.2 | Les tâches de vol et leurs exigences cognitives..... | 23 |
| 1.6 | Conclusion intermédiaire..... | 25 |

Chapitre 1 : Contexte opérationnel

Cette thèse répond à une problématique concernant les systèmes de gestion de vol (FMS). Ces systèmes sont apparus avec l'avènement de l'automatisation à bord des cockpits. Il est alors important de comprendre l'évolution qu'ils ont suivie pour comprendre en quoi le métier de pilote de ligne a changé et ce que cela implique aujourd'hui ce qui concerne les systèmes présents, la complexité de leur utilisation ou encore la charge de travail impliquée.

1.1 Définition de l'automatisation

Les systèmes automatisés sont définis comme « des systèmes ou des méthodes dans lesquels plusieurs des traitements de production sont réalisés automatiquement ou contrôlés par des machines autonomes ou des appareils électroniques »¹ (Billings, 1997 ; Amalberti, 2002). En d'autres termes, l'automatisation est « l'exécution par le système d'une fonction qui était précédemment réalisée par l'opérateur » (Parasuraman & Riley, 1997 ; Durso, et al., 2011). Selon Billings (1997), l'automatisation a pour but d'aider les opérateurs dans la réalisation de tâches exigeantes en ressources attentionnelles ou encore des tâches difficiles à réaliser manuellement.

Dans les cockpits de nouvelle génération dit « *Glass Cockpit* », l'automatisation occupe une grande place. En effet, les *Glass cockpits* sont dotés d'écrans numériques où sont présentées les informations nécessaires à la conduite du vol (altitude, horizon artificiel, vitesse, etc.). L'apparition de cette automatisation va avoir un impact sur la manière dont sont réalisées les tâches.

1.2 Apparition des systèmes automatisés

Au commencement de l'aviation générale, à partir des années 1910, les avions n'étaient équipés d'aucune automatisation. Ainsi, au début de l'aviation commerciale, dans les années 1930, l'équipage était alors composé de cinq opérateurs : le pilote, le copilote, le mécanicien navigant, le navigateur et le radio. Le pilotage reposait en grande partie sur le jugement sensoriel des pilotes. Par exemple, on trouvait parmi ces avions le Boeing 307 Stratoliner (figure 1), ou encore le Constellation.

1

“Automation is defined as “systems or methods in which many of the processes of production are automatically performed or controlled by autonomous machines or electronic devices” (Billings, 1997 ; Amalberti, 2002)



Figure 1 : Boeing 307 Stratoliner

Les instruments à bord (tel que l'altimètre, l'indicateur de vitesse, le compas, l'horizon artificiel, etc.) apparaissent progressivement. Le cockpit va être petit à petit équipé de systèmes automatisés.

A la fin des années 1940, les véhicules de première génération avaient une automatisation restreinte qui dépendait de la radio navigation, et qui apportait une légère aide à l'équipage à travers un simple pilote automatique. Parmi ces avions de première génération, nous pouvons citer par exemple le Boeing 707 (figure 2) et le Douglas DC-8 pour les vols océaniques. L'équipage était alors composé de trois opérateurs : les deux pilotes et le mécanicien navigant.



Figure 2 : Boeing 707

A la fin des années 1950 sont apparus les avions de deuxième génération comme les Boeings 727 (Figure 3), 747-100/200/300, ou l'Airbus A300-B2 ; l'équipage reste composé des trois mêmes opérateurs.



Figure 3 : Boeing 727

A la fin des années 1970 arrivent les avions de troisième génération qui marquent un tournant dans la conception des cockpits et donc dans l'activité des pilotes. En effet, dans ces avions (de types Airbus A310-300 (figure 4), Boeing 757, 767, ou encore le MD-80), on peut notamment voir apparaître des affichages graphiques avec le FMS. Ceci va permettre de réduire le nombre d'opérateurs, qui passe ainsi de trois à deux, les pilotes.



Figure 4 : A310

A la fin des années 1980, on voit apparaître les avions de 4^{ème} génération avec les *Glass Cockpits* (« écrans numériques indiquant des informations sur la conduite de l'appareil » (Dehais, 2004)) et qui sont également dotés de *fly-by-wire* (système convertissant les mouvements des commandes de vol en signaux électriques) ce qui renforce l'automatisation des systèmes. En effet, c'est à partir de ces signaux électriques que le système équipant l'avion va pouvoir faire des calculs et réaliser des opérations sans action de la part de l'opérateur. Ces avions sont par exemple l'A320 (Figure 5), l'A330, l'A340 ou encore le B777.



Figure 5 : A320

1.3 Intérêts et limites de cette automatisation

Les systèmes automatisés, apparus dans les années 1970, ont permis d'améliorer la sécurité en vol (Durso et al., 2011 ; Durso & Sethumadhavan, 2008 ; Liu & Hwang, 2000) car, réalisant des tâches autrefois dévolues aux pilotes, ils laissent à ces derniers d'avantage de temps pour réfléchir et surveiller les données, entraînant moins de fatigue et un environnement de travail moins stressant (Rudisill, 1995). Tous ces points ont pour but d'augmenter la précision et l'efficacité (Balfe, Sharples, & Wilson, 2015 ; Sarter, Mumaw & Wickens, 2007). En effet, l'avènement de l'automatisation a entraîné une réduction du nombre d'opérateurs dans le cockpit (jusqu'à deux). Les pilotes ont alors à réaliser davantage de tâches et en effectuer de nouvelles comme la planification du vol, la navigation, la gestion de la performance, et la surveillance de l'évolution du vol (Sarter & Woods, 1992). Ainsi, il est important que l'automatisation permette de prendre en charge certaines tâches afin de réduire la charge de travail des opérateurs et aider l'opérateur à être plus performant (Balfe, et al., 2015 ; Durso et al., 2011 ; Lee, 2008).

Mais l'automatisation a certaines limites. Tout d'abord, la réduction des tâches des opérateurs va transformer petit à petit leur activité en une activité passive et orientée d'avantage vers de la surveillance (Dehais, 2004 ; Sarter & Woods, 1992 ; Singh, Tiwari, & Singh, 2010 ; Endsley, 1996 ; Kaber & Endsley, 2004 ; Liu & Hwang, 2000). De plus, la haute fiabilité de l'automatisation va entraîner une sur-confiance des opérateurs dans le système, ce qui va avoir un impact sur les performances de surveillance des états du système automatisé (Singh, Molloy, & Parasuraman, 1993). Une étude de Parasuraman, Molloy et Singh (1993) montre un effet de la variation de la fiabilité de l'automatisation sur la surveillance de pannes. Les sujets ont à réaliser trois tâches : (1) suivi de trajectoire, (2) gestion du carburant, (3) surveillance des systèmes. Cette troisième tâche était gérée par une routine automatique qui variait dans sa fiabilité. Ainsi, deux groupes

étaient constitués : un premier groupe faisait face à un système automatisé avec une fiabilité constante et un second à un système dont l'automatisation avait une fiabilité variable. Les résultats montrent qu'en contrôle manuel, la moyenne de détection des pannes est de 72%. Après avoir passé 20 minutes en contrôle automatique, le groupe « fiabilité constante » a un taux de détection de panne très faible (32%) à l'inverse du groupe « fiabilité variable » qui a un taux de détection très bon (81%). Mais il n'y a pas que la grande fiabilité de l'automatisation qui va avoir un impact sur la surveillance. En effet, l'opacité des systèmes va également entraîner une sur-confiance dans le système et des défaillances dans la surveillance des systèmes (Durso et al., 2011).

Une seconde limite liée à la première concerne la perte de conscience de la situation (Endsley et Garland, 2000). En effet, l'opacité des systèmes et sa complexité vont rendre la prise d'informations (et notamment la prise d'informations pertinentes) difficile pour les opérateurs (Jones & Endsley, 1996). Cette opacité se traduit notamment par l'émission de peu de *feedback* sur les traitements réalisés par le système. On parle de problème *Out-Of-The-Loop* (OOTL) où l'opérateur est mis en dehors de la boucle de contrôle et préfère alors faire confiance au système plutôt que de reprendre la main sur ce dernier (Endsley, 1996 ; Endsley, Kaber, 1997). Un exemple venant illustrer cette seconde limite concerne un accident d'avion survenu en 1985 : lors d'un vol sur B747 (China Airlines), il y a eu une perte d'un moteur extérieur. L'autopilote a fait son travail en compensant le lacet sur la droite que l'avion aurait alors fait sans automatisation à bord. De ce fait, les pilotes n'ont eu conscience de ce qui était en train de se passer que lorsque l'autopilote a atteint ses limites de compensation pour garder l'avion stable. Lorsque les pilotes se sont rendus compte du problème, ils n'avaient plus assez de temps pour déterminer les causes du problème et mettre en œuvre les actions adéquates. L'avion a alors décroché avant que les pilotes ne réussissent à contrôler la situation (Norman, 1990). Cet exemple vient illustrer le fait que les opérateurs, faute de *feedback* approprié, sont mis hors de la boucle de contrôle. En effet, les systèmes automatisés sont de plus en plus opaques (Amalberti, 2002 ; Durso et al., 2011) et réalisent certaines tâches à la place des pilotes comme la tâche de contrôle de données. Ainsi, les pilotes se retrouvent dans une activité passive où ils interagissent moins avec le système. Ils sont hors de la boucle de contrôle ce qui peut avoir des conséquences négatives comme (Endsley & Kaber, 1997) :

- Un risque d'hypovigilance et donc une difficulté à détecter des changements dans les états du système (Durso et al., 2011). Cette surveillance passive peut alors entraîner des échecs de surveillance dus à une diminution de la vigilance qui peut elle-même être provenir d'une autosatisfaction dans le système. Autrement dit, pour Dekker et Hollnagel (2004, p. 81), l'« autosatisfaction peut entraîner une non-vigilance fondée sur une hypothèse injustifiée selon laquelle un état du système est satisfaisant ».

- Un déclin des habiletés de pilotage manuel (Boy, 2014 ; Tenney, Rogers, & Pew, 1998 ; Wickens, 2009 ; Kaber & Endsley, 2004 ; Damos, John, & Lyall, 2005). En effet, plus le pilote utilise l'automatisme et moins il va piloter manuellement le système dégradant ainsi ses habiletés. De plus, il est montré que les pilotes (et souvent les pilotes novices) ont une grande confiance (voire une sur-confiance) dans le système ce qui va les amener à privilégier l'utilisation de l'automatisme. Lee et Moray (1994) montrent un lien entre la confiance qu'ont les pilotes en leur capacité et leur dépendance avec l'automatisation ; les pilotes préfèrent utiliser l'automatisation s'ils ont plus confiance en elle qu'en leur capacité. Ceci est proportionnel à la quantité d'automatisation présente. On parle là encore de problème *Out-Of-The-Loop*.
- Une diminution ou une perte de conscience de la situation (Endsley, 1996 ; Kaber & Endsley, 1997 ; Wickens, 2009). Lors de la survenue d'un problème, le pilote va être plus lent à agir et peut ne pas savoir quelles sont les actions à mettre en place pour corriger la panne

Une troisième limite relative à l'automatisation concerne la charge de travail. Plusieurs auteurs s'accordent à dire qu'une automatisation bien conçue permet de réduire la charge de travail, mais cela est le cas seulement lors de périodes où la charge de travail était déjà faible. Or, il se trouve que lorsque la charge de travail était à l'origine élevée, l'automatisation ne fait qu'augmenter cette charge (Balfe et al., 2015 ; Lee, 2008).

Enfin, ces limites de perte des habiletés et de complexité des systèmes font écho à une dernière limite qui concerne l'apprentissage et l'entraînement nécessaire engendré par le système. Du fait de la complexité des systèmes, les opérateurs vont alors devoir passer une partie importante de l'entraînement à la compréhension de ces systèmes et de leur fonctionnement.

1.4 Description du *Flight Management System* (FMS)

Notre travail de thèse a été réalisé sur un des systèmes hautement automatisés dans les cockpits, le FMS (Figure 6). Ce système de gestion de vol a pour principal objectif d'aider les pilotes à réaliser la tâche de navigation. En effet, ces derniers ayant plusieurs tâches (en plus du pilotage de l'avion) à accomplir, ce système automatisé doit prendre en charge une grande partie de la tâche de navigation, devant ainsi alléger la charge de travail.

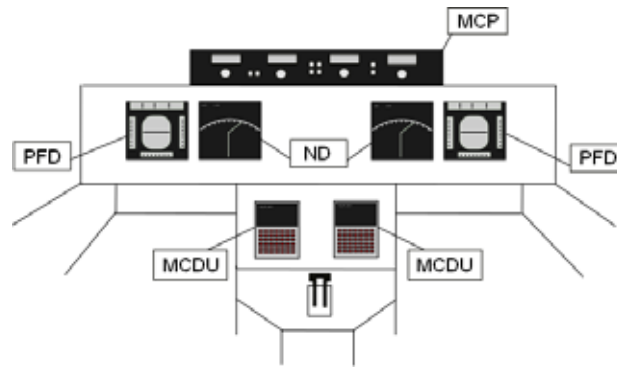


Figure 6 : Interfaces du FMS présentées aux pilotes dans un glass-cockpit

Cependant, ce système, avec les « améliorations » qui lui sont apportées au fil des années, se retrouve à prendre en charge d'autres aspects, comme la gestion de la performance.

Il est composé de différents sous-systèmes :

- le **Mode Control Panel** (MCP) est utilisé pour activer le mode de vol (figure 7). Sur ce panneau, le pilote peut décider de passer en pilotage automatique ou au contraire, de reprendre la main. Dans ce cas, il insèrera des données d'altitude et/ou de vitesse et/ou de cap et/ou de vitesse verticale et l'avion suivra alors ces nouvelles consignes de vol.

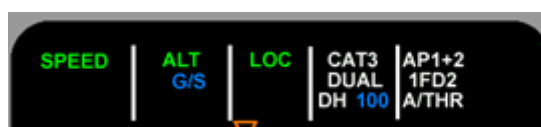


Figure 7 : *Mode Control Panel* (MCP)

- Les pilotes peuvent suivre les données de vol sur une des deux interfaces suivantes :
 - Le *Primary Flight Display* (PFD) fournit des informations concernant les paramètres de vol (informations à propos de la situation à court terme) (Figure 8). Cela concerne principalement les données d'altitude, de vitesse et vitesse verticale, de cap et d'assiette.

Figure 8 : *Primary Flight Display (PFD)*

On trouve également sur le PFD, le *Flight Monitor Annunciator* (FMA) (figure 9). Comme son nom l'indique, cette interface permet d'afficher les modes de l'autopilote ou de l'auto-manette engagés ou armés.

Figure 9 : *Flight Monitor Annunciator (FMA)*

- Le *Navigational Display* (ND) (Figure 10) aide la navigation en schématisant le plan de vol (via les données entrées dans le *Control & Display Unit* (cf. figure 10) et en présentant des informations (balises, temps, ...). Cette interface concerne les informations de navigation à moyen et long terme.

Figure 10 : *Navigational Display (ND)*

- le *Multipurpose Control & Display Unit* (MCDU) est utilisé pour insérer les données de vol (Figure 11). Cette interface est composée de plusieurs pages (encadré orange dans la figure 11) qui sont activées via les entrées :
 - DIR : pour accéder aux points tournants du plan de vol et créer un raccourci
 - PROG : pour surveiller les paramètres principaux de navigation (altitude, cap, fréquence VOR) et vérifier la qualité de la navigation
 - PERF : concerne les vitesses
 - INIT : pour entrer les données concernant le vol (not l'aéroport avec code OACI)
 - DATA : Base de données avec les points tournants, les nav-aids, les pistes d'atterrissage, les routes
 - F-PLN : gestion et modification du plan de vol (aéroports/ paramètres horizontaux, verticaux)
 - RAD NAV : fréquence des moyens de radionavigation (VOR / ILS)
 - FUEL PRED : prévision de la consommation due carburant
 - 2nd F-PLN : plan de vol construit en parallèle
 - MCDU MENU : accès à d'autres fonctions (communication par texte, communication satellite ...)
 - AIRPORT : pour passer d'une page à une autre dans F-PLN

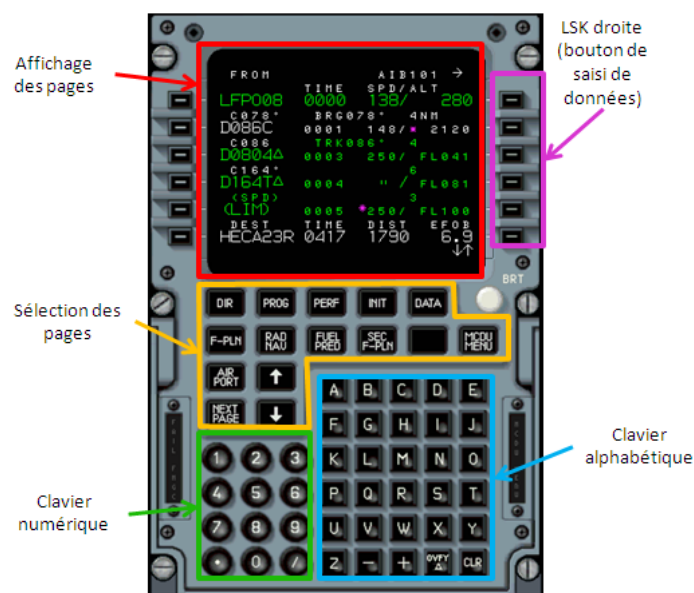


Figure 11 : Multi-Control Display Unit (MCDU)

Le FMS est donc un système automatisé constitué lui-même de différents sous-systèmes énumérés ci-dessus. Le principe de fonctionnement est le suivant : différentes données sont insérées (manuellement ou automatiquement) via le MCDU et/ou le MCP. Elles sont ensuite transmises au *Flight Management Computer* qui est un calculateur et une base de données. Ce dernier va faire une série de calculs à la suite des informations qui lui ont été transmises. Apparaîtront alors des informations de type performance ou encore plan de vol via le PFD et/ou le ND. Ces informations sont également utilisées par le pilote automatique pour contrôler l'avion de manière automatique le long du plan de vol saisi.

Le FMS est donc un système complexe. Cette complexité peut être appréhendée par l'accident survenu à bord du B757 d'*American Airlines* en 1995 en destination de l'aéroport de Cali en Colombie. Celui-ci s'est écrasé à la suite d'une erreur de compréhension du système par les pilotes. L'aéroport de Cali ne gérant plus les avions par radar, les pilotes devaient faire une approche *via* les balises radio qui sont donc insérées dans le FMS de l'avion. Ainsi, les pilotes du B757 y avaient préalablement inséré l'approche initialement prévue. A la suite d'une proposition du contrôle de faire une approche directe, les pilotes effacent les points tournants dans le FMS. Lorsque le contrôleur leur demande de se situer par rapport à la balise Tuluá, les pilotes n'étant plus en mesure de le faire (suite à la suppression des points dans le système), ils décident d'insérer la prochaine balise ROZO dans le système afin de donner leur position rapidement. Pour ce faire, les pilotes insèrent la première lettre du point tournant (R) dans le FMS et accepte le premier point tournant proposé. Or, il se trouve que deux points sont référencés sous la lettre R. En acceptant le premier point, le commandant de bord envoie alors l'avion à suivre la direction du point tournant ROMEO vers Bogota. L'avion fait alors un virage afin de rejoindre ce point (et prend une trajectoire de collision avec une montagne). Le temps que les pilotes s'aperçoivent de l'erreur, il était trop tard, l'avion percuta la montagne. Cette accident montre bien la complexité de ce FMS, mais aussi l'importance pour les pilotes de comprendre le système (qui n'émet pas forcément des feedbacks appropriés quant à la situation) et enfin l'importance de l'entraînement à réagir face à des surprises du FMS.

Maintenant que le système sur lequel les pilotes réalisent leur activité a été présenté et que ses limites ont été mises en lumière, il est également important de prendre en considération l'environnement dans lequel évoluent les pilotes tout au long d'un vol et ce que cela implique pour eux en termes de charge de travail, de pression temporelle ou encore en termes d'exigences cognitives.

1.5 Le pilotage : évoluer dans un environnement dynamique

L'activité de pilotage se déroule dans un environnement dynamique, c'est-à-dire un environnement dans lequel la situation évolue constamment même sans action de la part de l'opérateur (Cellier, 1996 ; Cellier, Eyrolle, & Mariné, 1997 ; Hoc, Amalberti, & Plee, 2000 ; Pastorelli, 2007). Cet environnement dynamique revêt plusieurs caractéristiques :

- *La dimension temporelle.* La situation évoluant constamment, même sans action de la part de l'opérateur (Pastorelli, 2007 ; Cellier, 1996), l'activité de pilotage de l'avion s'inscrit dans un processus rapide où l'opérateur est limité dans le temps pour agir. Un autre aspect qui vient renforcer cette contrainte temporelle est la composition du système (l'avion) en plusieurs sous-systèmes (fuselage, moteur, voilure) ayant chacun leurs propres variables qui ont eux-mêmes leur propre évolution dans le temps (Cellier, 1996). Cela a pour effet que les *feedbacks* n'arriveront pas tous de la même manière et/ou au même moment dans le temps (Cellier, et al., 1997).
- *La distance mise entre l'opérateur et le système* (Cellier, 1996). L'opérateur n'a pas accès à une vision intégrale de son travail (Cellier, et al., 1997), il est donc difficile pour lui d'appréhender l'ensemble des réactions du système (Pastorelli, 2007). De plus, l'information transmise à l'opérateur va être transformée « en fonction des capteurs et des dispositifs de présentation de l'information » (Cellier, 1996, page 22). Les informations concernant les variables à contrôler peuvent être transmises soit de manière continue et en valeurs réelles soit de manière discrète via des alarmes (présence ou absence d'une alarme). Plus il y aura de variables et de présentations de l'information différentes, plus cela entraînera une exigence cognitive forte pour l'opérateur (Cellier, 1996).
- *La collaboration.* Plusieurs opérateurs (pilote, copilote, personnel navigant, compagnie, contrôleurs, etc.) vont travailler en collaboration, de « façon interdépendante » pour atteindre un « résultat collectif » (Marchand, 2009, page 17).

De plus, l'environnement aéronautique peut se diviser en trois sous-environnements (Billings, 1997) : un environnement physique, opérationnel et organisationnel.

- *L'environnement physique* dans lequel l'avion doit évoluer est changeant et complexe et cela va avoir un impact sur les exigences cognitives des pilotes. Ces exigences peuvent survenir au niveau perceptif dans la recherche et prise d'information, au niveau de la planification et donc de la prise de décision. Cet environnement physique fait référence à différents éléments tels que :

- *les turbulences dans les masses d'air* causées « par des masses d'air adjacentes verticales ou horizontales bougeant à différentes vitesses »² (Billings, 1997, p.23)
- *les précipitations*. La pluie n'est généralement pas un problème pour les gros porteurs. En revanche, la pluie à des altitudes où la température est très basse peut se transformer en gel sur les ailes ce qui peut entraîner des incidences pendant le vol et notamment au moment du décollage. Les précipitations peuvent également être de la grêle qui, lorsqu'elle atteint de fortes dimensions, peut causer de graves dégâts sur l'avion.
- *Les objets en vol*: les autres avions mais aussi les oiseaux, les parachutistes ou encore des débris atmosphériques par exemple.
- *L'environnement opérationnel* renvoie à l'environnement procédural. En effet, l'environnement opérationnel dans lequel évoluent les pilotes est constitué de plusieurs opérateurs.
 - Les pilotes interagissent avec un contrôleur qui lui-même interagit avec le coordinateur des mouvements du trafic. Ce dernier est en lien avec les spécialistes du système de centre des commandes.
 - D'un autre côté, les pilotes communiquent avec les répartisseurs des compagnies aériennes qui interagissent avec les spécialistes des centres opérationnels des systèmes de compagnies aériennes. Ces derniers sont en lien avec la maintenance et également le coordinateur ATC des compagnies aériennes.
 - Enfin, les spécialistes du système du centre des commandes et en lien avec le coordinateur ATC des compagnies aériennes.
- Enfin, *l'environnement organisationnel* qui est composé des différents acteurs ayant un intérêt ou un enjeu dans les opérations de l'aviation. Ces acteurs ont des rôles différents :
 - *un rôle gouvernemental*. Par exemple, au niveau des Etats-Unis, on retrouve la *Federal Aviation Act* (FAA), le *Department of Transportation* (DOT) ou encore le *National Transportation Safety Board* (NTSB).

² Notre définition de Billings 1997 : It is « *caused by either vertical or horizontal adjacent air masses moving at different velocities* »

- *un rôle au niveau des secteurs privés.* Cela renvoie aux autres acteurs de la scène avionique (en dehors des forces armées). On retrouve par exemple ici les équipementiers ou encore les transporteurs aériens.

En somme, le pilotage est une activité qui s'inscrit dans un environnement dynamique composé de systèmes complexes. Plusieurs éléments peuvent ajouter à cette complexité comme la distance de l'opérateur face au système et donc l'absence de feedback approprié. Une autre caractéristique importante de l'activité de pilotage est la temporalité. En effet, « l'évolution du processus va dépendre des états antérieurs du système et des actions entreprises » (Senach, 1984, cité par Zanarelli, 2003). Ainsi, l'avion évoluant constamment, le pilote doit agir en temps voulu afin que ses actions aient l'effet escompté. Autrement dit, il doit anticiper le temps qu'il faudra à l'action réalisée pour avoir un effet sur le système afin de ne pas « agir trop tard » (van Daele & Carpinelli, 2001).

Par conséquent, la gestion de ces environnements dynamiques va avoir un coût en matière d'exigences cognitives pour les pilotes. Cela peut se traduire par une quantité importante d'informations à traiter, une utilisation importante du FMS lors d'une phase présentant une forte pression temporelle, ou encore la nécessité d'avoir une bonne conscience de la situation pour les pilotes. Il est donc important dans un premier temps de comprendre comment se déroule un vol, de quelles les phases il est constitué et si ces phases ont des exigences particulières pour les pilotes. A la suite de quoi il est important de prendre en compte quelles sont les tâches que les pilotes ont à réaliser lors de ces phases et ce qu'elles requièrent cognitivement pour les pilotes.

1.5.1 Les phases d'un vol et leurs exigences cognitives

Les phases de vol

Un vol est classiquement composé de plusieurs phases. Selon les études en aéronautique, le nombre de phases de vol varie, mais la plupart font état de sept phases de vol (figure 12) : le pré-vol, le décollage, la montée, la croisière, la descente l'approche et l'atterrissage (New FM pilot's guide Thales, 2008 ; Corwin, 1992 ; Tenney, Rogers, & Pew, 1998 ; Schvaneveldt, Beringer, & Lamonica, 2001).

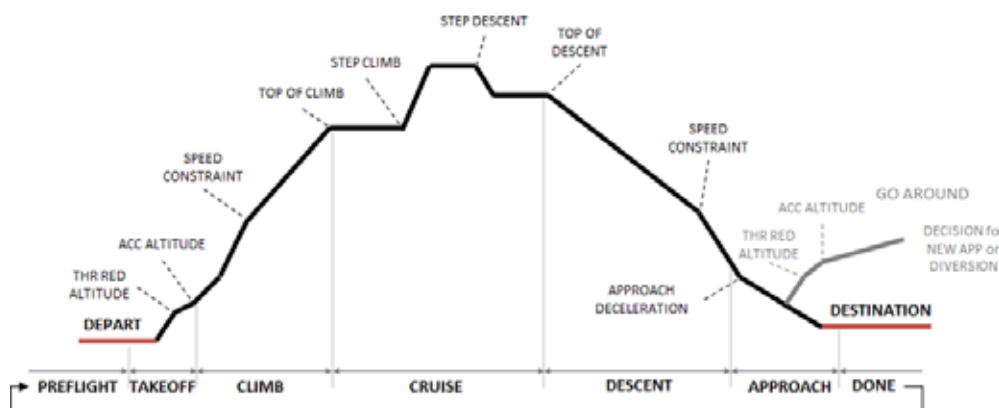


Figure 12 : Phases de vol (New FM pilot's guide Thales, 2008)

La charge de travail selon les phases

Plusieurs études utilisant, respectivement, la simulation de vol avec des pilotes travaillant sur B-727 ou des enquêtes avec des pilotes sur B-747, MD-11 et A-320 (Corwin, 1992 ; Tenney et al., 1998) ont montré qu'il y a une importante charge de travail au début et à la fin du vol. Pour collecter des données à propos de la charge de travail selon les différentes phases, Tenney et al. (1998) utilisent la technique du questionnaire qu'ils envoient à un échantillon de 132 pilotes volant sur des avions tels que le B-747, le MD-11 ou encore l'A-320 (tous des avions dotés d'automatisation). Les questions portent entre autre sur la différence de charge de travail (physique et mentale) ressentie avec des glass cockpits par rapport aux cockpits traditionnels (figure 13).

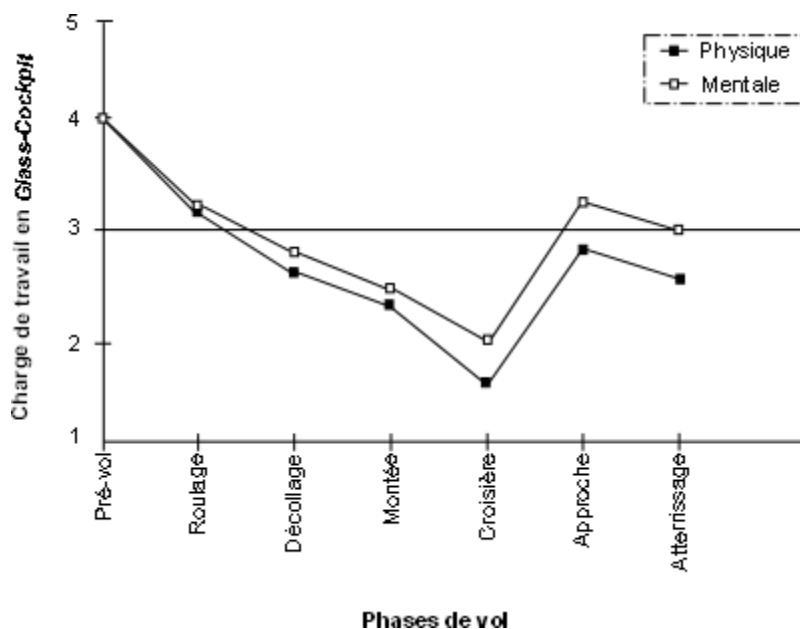


Figure 13 : Charge de travail des pilotes volant avec et sans automatisation, d'après Tenney, Rogers, et Pew, 1998

Les réponses montrent que la charge de travail est ressentie comme plus importante lorsque les pilotes travaillent avec des *glass cockpits* lors des phases de pré-vol et de roulage au sol ainsi que lors de la phase d'approche. Un autre résultat intéressant est qu'à l'inverse, les pilotes jugent leur charge de travail largement plus faible lors de la phase de croisière. Alors que pour les pilotes volant avec des cockpits traditionnels, la charge de travail est jugée régulière.

De son côté, Corwin (1992) réalise des simulations de vol avec 16 pilotes travaillant sur B-727. Ceux-ci doivent évaluer leur charge de travail à l'aide de la SWAT (*Subjective Workload Assessment Technique*), en vol, puis post-vol, pour des situations nominales de vol (c'est-à-dire des situations sans pannes, sans passagers malades ou tout aux problèmes pouvant survenir lors d'un vol), pour les communications en vol et enfin pour des situations non-nominales (lors de l'apparition de panne). Corwin observe que lors de situations nominales, la charge de travail est jugée comme étant plus importante lors des phases de décollage et de début de montée puis lors des phases de descente, approche et d'atterrissage. A l'inverse, on retrouve, comme dans l'étude de Tenney et al. (1998), une chute de la charge de travail en phase de croisière (figure 14).

Trois raisons peuvent expliquer ce ressenti :

- La première est que le décollage et l'atterrissage sont des phases qui apparaissent près du sol engendrant un plus grand risque en termes de sécurité. Les exigences cognitives impliquées s'expliquent par la pression temporelle au cours de ces deux phases. En cas de panne, les pilotes doivent prendre une décision pertinente et agir rapidement.

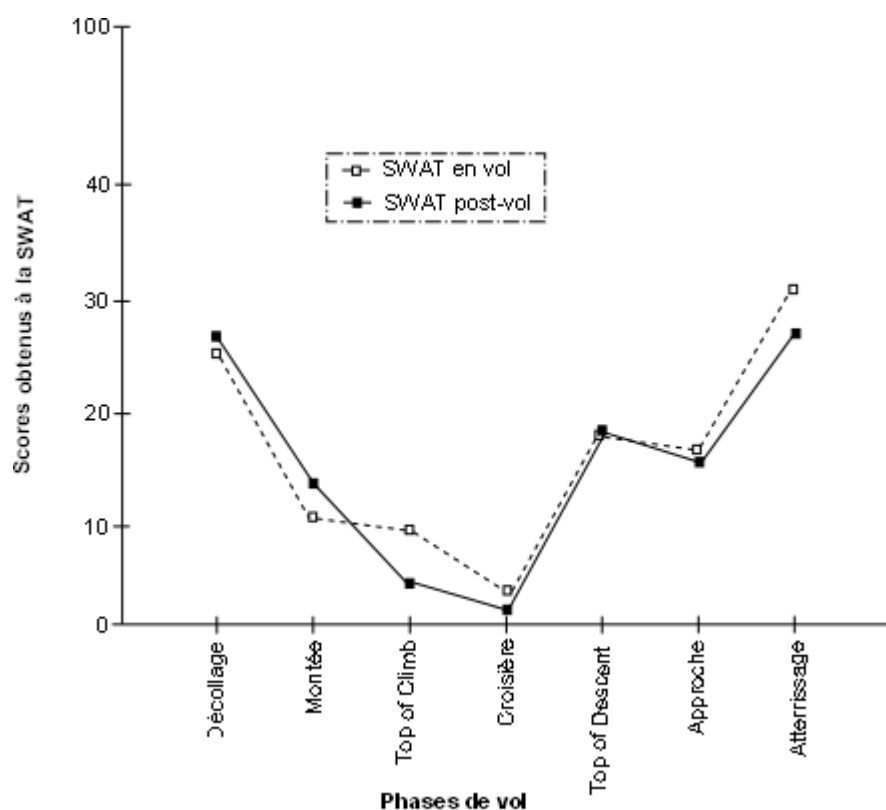


Figure 14 : Résultats moyens obtenus à la SWAT pour un vol nominal chez les pilotes volant sur B727, d'après Corwin (1992)

- La deuxième raison est que, pendant ces phases, il y a beaucoup de changements (e.g. configuration de l'avion) et aussi beaucoup de communications avec les contrôleurs aériens. En effet, un autre résultat de l'étude de Corwin (1992) vient confirmer que cette évaluation de la charge de travail associée à l'activité globale des pilotes est liée à leur activité communicationnelle.

Ce résultat montre bien que l'évaluation de la charge de travail des pilotes engendrée par la communication suit la même courbe que leur évaluation de la charge de travail pour leur activité de pilotage globale.

- Enfin, la quantité informationnelle à traiter est plus importante pour le pilote et l'information est critique pendant ces phases. Schvaneveldt, Beringer et Lamonica (2001) tentent d'analyser les besoins informationnels des pilotes volant à l'aide des instruments de vol (IFR - *Instrument Flight Rules*) selon les phases de vol (figure 15). Ils montrent que beaucoup d'informations sont jugées critiques par les pilotes pendant d'une part les phases de décollage et de montée pour les phases de début de vol, et d'autre part, d'approche et d'atterrissage pour les phases de fin de vol.

Les conséquences d'une charge de travail élevée peuvent être une perte de conscience de la situation (e.g. effet tunnel) et aboutir à un incident ou accident. Le crash du Mont Saint-Odile en

est un exemple. C'est le 20 Janvier 1992 qu'un accident impliquant l'A320 de la compagnie française Air Inter survient au lieu-dit La Bloss, près du Mont Saint-Odile. Cet accident intervient à la suite d'un atterrissage indirect (en faisant un tour de piste) pour lequel les pilotes, via un contrôle radar, sont préoccupés par l'alignement sur l'axe de piste pour l'atterrissage à venir. Leur attention est alors tellement focalisée sur ce travail d'alignement qu'ils ne perçoivent pas que l'avion descend trop vite et qu'ils sont trop près du sol.

| Eléments d'information | En vol | | | | | | Planification | | |
|---------------------------------|-----------|--------|----------------------|-----------|----------|----------|---------------|---------|--------|
| | Décollage | Montée | Transition croisière | Croisière | Descente | Approche | Atterrissage | Pré-vol | En vol |
| Vitesse air | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Communication ATC | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Altitude | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Santé moteur | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| RPM (puissance) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Trafic | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Temps général | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Pitch (attitude) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Trafic ou autre communication | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Altitude | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Configuration avion | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Course | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Cap | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Obstructions | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Track | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Configuration aéroport | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Espace aérien | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Vent | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Masse de nuage | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Lacet | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Sélection carburant | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Piste | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Vitesse verticale | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Quantité carburant | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Points tournants | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Vitesse sol | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Piste d'atterrissage disponible | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Temps (ETA/ETE) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Distance | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |

Figure 15 : Charge informationnelle selon les phases de vol chez les pilotes de gros porteurs, d'après Schvaneveldt, Beringer et Lamonica (2001)

1.5.2 Les tâches de vol et leurs exigences cognitives

Dans un vol, les pilotes doivent réaliser différentes tâches (la planification du vol, la navigation, la gestion de la performance et la surveillance de l'évolution du vol – Sarter & Woods, 1992). Cependant, quatre méta-tâches sont identifiées et sont généralement réalisées pendant un vol (Billings, 1997 ; Wickens, 2007 ; Schutte & Trujillo, 1996) :

- **Aviate** : réaliser la trajectoire de l'avion. Autrement dit, c'est « effectuer des commandes pour garder un flux d'air adéquat parallèle à la surface des ailes, afin de générer une ascension (lift) et ainsi garder l'avion stable » (Wickens, 2009)

- **Naviguer** : diriger l'avion de son point d'origine vers son point de destination en passant par les points tournants souhaités tout en gérant la dynamique de l'avion. De plus, ici, les pilotes sont tenus d'éviter certaines zones dans l'espace aérien (espace militaire, par exemple).
- **Communiquer** : transmettre des données et des requêtes, recevoir des informations et des instructions. Cette communication peut se faire soit entre le commandant de bord et le copilote ou encore entre le pilote et les contrôleurs. Ces communications étant essentiellement verbales, cela peut entraîner des problèmes d'intercompréhension.
- **Surveiller les systèmes** : gérer les ressources disponibles telles que le carburant, l'huile, etc.

Pour Wickens (2002), ces quatre méta-tâches sont organisées en suivant une priorité hiérarchique : ANCS (*Aviate, Naviguer, Communiquer, Monitor System*). Les pilotes ont à réaliser ces méta-tâches afin de gérer la complexité de la dynamique de l'avion. En effet, ce système dynamique est complexe parce que l'avion évolue autour de six variables (Figure 16) : « trois degrés de rotation (tangage, roulis, lacet) et trois degrés de déplacement (altitude, dérive latérale de la trajectoire de vol, et la position le long de la trajectoire) » (Wickens, 2009).

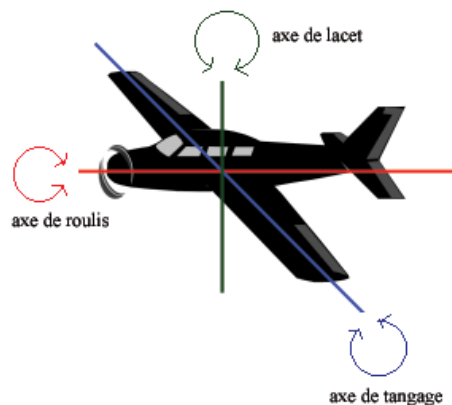


Figure 16 : Axes de rotation de l'avion

Toutes ces variables affectent les autres (« par exemple, le ralentissement de l'avion peut entraîner une perte d'altitude », Wickens, 2009). Il est alors important que les pilotes gardent une flexibilité dans la hiérarchisation de ces méta-tâches. En effet, il faut qu'ils soient en mesure d'évaluer à tout moment quelle est la tâche prioritaire selon la situation.

Cette complexité du système requiert, pour les pilotes, d'avoir un modèle mental correct et de maintenir une bonne conscience de la situation. Cette dernière devient alors une nouvelle tâche à réaliser, elle requiert également des ressources mentales (Wickens, 2002, 2009).

1.6 Conclusion intermédiaire

L'activité des pilotes est une activité complexe dans laquelle ils doivent réaliser plusieurs tâches qui peuvent être temporellement en concurrence. C'est également une activité où il faut gérer différents sous-systèmes qui évoluent différemment dans le temps. Enfin, l'automatisation, et plus particulièrement l'avènement du FMS dans les cockpits, a changé l'activité des pilotes qui est devenue plus passive et entraîne notamment des erreurs dans la construction d'une représentation du système, c'est-à-dire que les pilotes éprouvent des difficultés à comprendre le système et donc à savoir quelle procédure mettre en place (Dehais, 2004).

Ainsi, l'automatisation et notamment le FMS, ont tendance à mettre l'opérateur de plus en plus *Out-Of-The-Loop*. Des études ont montré l'incompréhension que pouvaient éprouver les pilotes face au FMS.

Weiner (1989) réalise une étude auprès de pilotes de Boeings 757 qui porte sur leur sentiment vis-à-vis de l'automatisation. Les résultats montrent que les pilotes de plus d'une année d'expérience sur les glass cockpits, disent être encore surpris par ce que fait l'automate (55% des pilotes) et qu'ils ne comprennent pas tout ce que fait le FMS (environ 20% des pilotes).

Sarter et Woods (1992) partant de ces premiers résultats prolongent l'étude afin de comprendre plus en détails d'où proviennent ces surprises vis-à-vis du FMS. Ils réalisent une enquête en ligne auprès de 135 pilotes volant sur Boeings 737-300. Il leur est donc demandé de répondre aux affirmations « Il y a encore des choses qui arrivent qui me surprennent » et « Il y a encore des modes et des caractéristiques du FMS sur B737-300 que je ne comprends pas » en se positionnant sur une échelle de Likert en 5 modalités (1 = tout à fait d'accord, 5 = pas du tout d'accord). En plus de ces évaluations, il était demandé aux pilotes de commenter leurs réponses. Les chercheurs observent à peu près les mêmes résultats que ceux obtenus par Weiner en 1989. Les commentaires accompagnant les réponses nous apprennent que les aspects qui posent le plus de difficultés aux pilotes en termes de surprise et d'incompréhension sont notamment « le mode VNAV, l'insertion des données ou encore les transitions de modes non commandées ».

Une étude plus récente menée par Diez et ses collaborateurs (2001) auprès de cinq pilotes volant sur Boeing 777 demandait de faire deux scénarios de vol sur simulateur. Le vol était alors interrompu six fois et des questions leur étaient posées quant aux informations qu'ils étaient en mesure de rappeler (situation de vol et valeurs spécifiques des instruments). Les résultats montrent que les pilotes étaient largement en mesure de rappeler des valeurs précises concernant les paramètres de vol classiques (altitude, vitesse, puissance, position avion). En revanche, ils enregistraient de manière significative des performances moins bonnes sur les

données concernant l'automatisation (notamment accélération et pitch du FMA). Ils étaient également en échec lors du rappel des annonces de modes spécifiques.

Enfin, en 2007, Sarter, Wickens et Mumaw mènent une étude auprès de vingt pilotes volant sur Boeing 747. Ces derniers avaient à réaliser des scénarios de vol sur un simulateur de vol de type B747. A la fin d'un scénario, le débriefing se déroulait de manière à avoir accès à leur connaissance et représentation de l'automatisation dans le contexte du vol réalisé. Les résultats enregistrés montrent que les pilotes passent une grande partie de leur temps à observer les données du PFD (31% du temps de vol). Ils laissent paraître par ailleurs que les pilotes surveillent davantage les données brutes (telles que l'altitude, la vitesse et le cap) que les données concernant les changements de modes.

Ces études mettent en évidence qu'une distanciation s'est opérée entre les pilotes et l'avion et qu'elle a été engendrée par l'automatisation et notamment par le FMS. Les conséquences observées sont des problèmes de compréhension du système ce qui aboutit à un problème de conscience de la situation. Autrement dit, on constate dans le domaine aéronautique des problèmes de perte de conscience de la situation qui engendrent des diminutions des performances chez les pilotes et débouchent sur des incidents voire, dans le pire des cas, des accidents.

Chapitre 2

Conscience de la situation

| | |
|--|-----------|
| 2.1 Le système de traitement de l'information..... | 31 |
| 2.1.1 Registre sensoriel | 32 |
| 2.1.2 Mémoire à Court Terme..... | 32 |
| 2.1.3 Profondeur de traitement | 34 |
| 2.1.4 Mémoire à Long Terme | 36 |
| | |
| 2.2 Processus cognitifs impliqués dans la conscience de la situation | 41 |
| 2.2.1 L'attention sélective | 41 |
| 2.2.2 Attention divisée et modèles des ressources attentionnelles | 44 |
| 2.2.3 Résolution de problème et Prise de décision..... | 50 |
| | |
| 2.3 Synthèse du modèle d'Endsley et adaptation à la problématique..... | 55 |
| 2.3.1 Conscience de la situation propre aux pilotes..... | 55 |
| 2.3.2 Les erreurs de conscience de la situation..... | 57 |

Chapitre 2 : Conscience de la Situation

L'Air Force définit la conscience de la situation comme « la perception continue par le pilote de lui-même et de l'avion en relation à l'environnement dynamique du vol, des menaces, et de la mission, et la capacité à prévoir et alors à exécuter des tâches basées sur cette perception » (Carretta, Perry, & Ree, 1996, page 22). La conscience de la situation est un concept qui a été introduit par Mica Endsley. Elle la définit comme « la perception des éléments d'un environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur état dans un futur proche » (Endsley, 1995, page 36).

- *La perception des éléments pertinents de l'environnement* est le niveau le plus bas. Ici, les informations ne sont pas interprétées. Ce n'est, à cette étape, que de la perception de valeurs brutes. Cela renvoie « à la perception de l'information du pilote à partir des instruments de l'avion, le comportement de l'avion, des autres gens dans le cockpit, des autres avions dans le ciel, le terrain, l'ATC » (Stanton, Chambers, & Piggott, 2001, p. 193). Pour Endsley (in Parasuraman et al., 1996), les éléments qui devront être perçus par les pilotes concernent « les paramètres de vol, l'état de leurs systèmes à bord, leur propre localisation et la localisation des points de références importants et du terrain, et de la localisation des autres avions avec des paramètres de vol appropriés et leurs caractéristiques » (page 164). La perception va être guidée, voire anticipée par des attentes provenant des connaissances antérieures de l'opérateur (e.g., les modèles mentaux) (Bailly, 2004 ; Endsley, 2000). Une étude de Jones en 1977 auprès de pilotes de chasse montre que les éléments pertinents pour les pilotes vont être plus rapidement perçus s'ils sont conformes à leurs attentes, et inversement.
- A la suite de la perception et à un niveau plus haut, l'opérateur doit alors *comprendre et intégrer les éléments de la situation actuelle*, et cela en fonction des buts poursuivis (Endsley, 1999). A ce niveau, l'opérateur doit être en mesure de comprendre ce que les différents éléments d'information signifient et de savoir ce qu'il est en train de se passer au moment même (Stanton, Chambers, & Piggott, 2001). Par exemple, le pilote doit avoir compris que « l'altitude affichée est en-dessous de leur altitude assignée » (Endsley, cité Parasuraman et al., 1996, page 164). Ici aussi, les modèles mentaux vont aider la compréhension en fournissant du sens. C'est également à ce niveau que l'opérateur doit être capable de juger si oui ou non les actions qu'il a pu mettre en place précédemment ont eu l'effet escompté. Lors de cette étape de compréhension, l'opérateur construit des modèles mentaux fonctionnels de la situation en cours qui prennent donc en compte les caractéristiques de la situation. C'est à partir de ce modèle fonctionnel que l'opérateur va alors pouvoir mettre en place le troisième niveau.

- Le troisième niveau, le plus haut, concerne *la projection des états futurs*. Cela renvoie à l'anticipation de la situation future (Stanton, Chambers, & Piggott, 2001 ; Bailly, 2004). L'activité d'anticipation consiste à « évaluer l'état futur d'un processus dynamique, à déterminer, en fonction de la représentation du processus dans le futur, le type d'action à entreprendre et le moment où elles doivent être mises en œuvre et enfin à évaluer mentalement les possibles de ces actions » (Cellier, cité par Cellier, De Keyser, Vallot, 1996, page 35). Les modèles mentaux fonctionnels aident cette projection du fait de « leur prise en compte de l'état actuel et du dynamisme de l'environnement » (Bailly, 2004, page 16).

Le modèle à trois niveaux d'Endsley peut être vu de manière plus approfondie. En 1995, Endsley propose un modèle complet de la conscience de la situation (figure 17) en présentant les différentes structures cognitives mises en jeu. Ainsi, l'atteinte d'une bonne conscience de la situation passe par la mise en œuvre d'un système de traitement de l'information qui fait appel au registre sensoriel, à la mémoire à court terme (MCT) ainsi qu'à la mémoire à long terme (MLT) et plus précisément aux schémas ou modèles mentaux. De plus, les ressources attentionnelles vont avoir une incidence sur la qualité de la conscience de la situation. Il en est de même des caractéristiques de l'opérateur (expertise, but et objectifs visés, attentes) ainsi que de celles de l'activité (possibilités offertes par le système, design de l'interface, complexité, stress et charge de travail engendrés, niveau d'automatisation). Enfin, la conscience de la situation influencera à son tour la prise de décision et donc les actions réalisées.

Dans la suite de ce chapitre, nous détaillerons dans un premier temps le modèle de système de traitement de l'information d'Atkinson et Shiffrin (1968) ainsi que les enrichissements qui lui ont été apportés relatifs à la MCT et à la MLT. Puis dans un second temps, nous aborderons la question des ressources attentionnelles et la manière dont elles sont réparties lorsqu'un opérateur (et plus précisément dans le cadre de cette thèse, un pilote) réalise son activité. Enfin, seront présentés les modèles de prise de décision dans les environnements dynamiques.

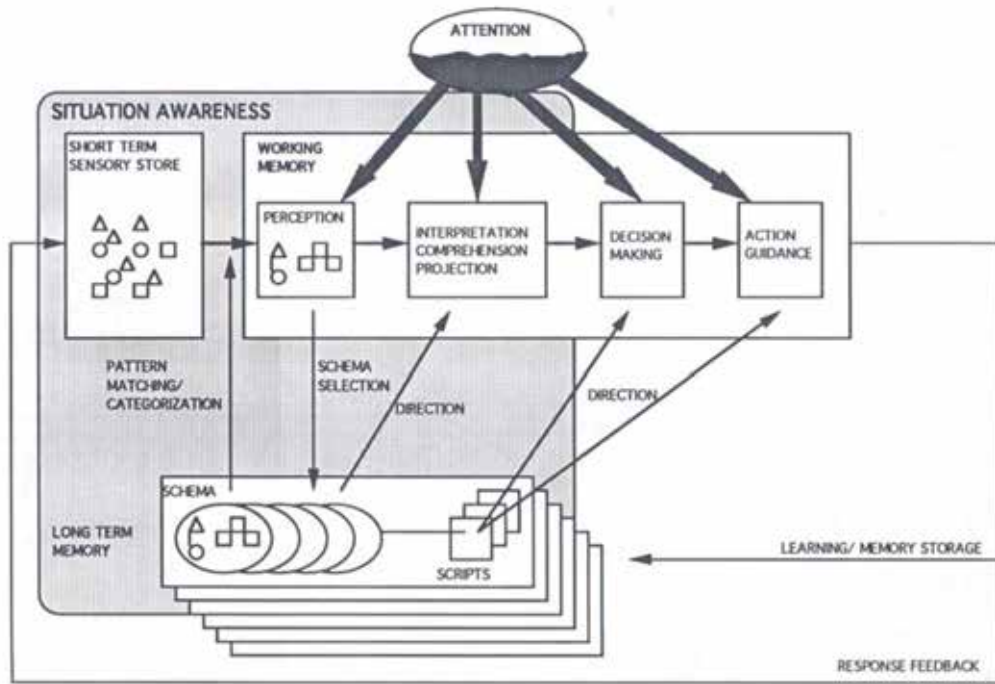


Figure 17 : Modèle de la conscience de la situation d’après Endsley (1995)

2.1 Le système de traitement de l’information

Le système de traitement de l’information humain passe par plusieurs étapes qui sont la perception des informations, leur intégration et mémorisation et enfin leur restitution. Atkinson et Shiffrin (1968) propose un des premiers modèles de notre système de traitement de l’information (figure 18) qui prend en compte le registre sensoriel, la MCT et la MLT.

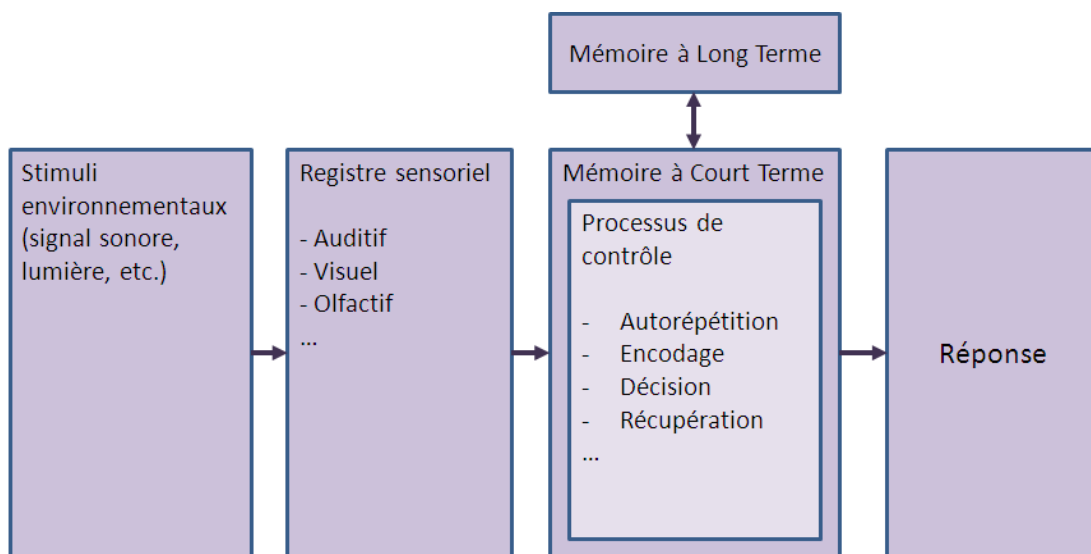


Figure 18 : Modèle du traitement de l’information d’après d’Atkinson et Shiffrin (1968)

2.1.1 Registre sensoriel

Selon ce modèle, dans un premier temps, l'information provenant du monde extérieur va être stockée pour une durée très brève dans le registre sensoriel. Les informations dans ce registre ne sont pas encore analysées et gardent leur nature auditive, visuelle, etc., pour un court instant. On pourrait ici parler de « mémoire à très court terme » (Chanquoy, Tricot, Sweller, 2007). Deux types de mémoires existeraient ici : la mémoire iconique (contenant les informations visuelles) et la mémoire échoïque (qui concerne les informations auditives). A la suite de ce passage dans le registre sensoriel, un processus de sélection de l'attention va alors se mettre en place et les informations sélectionnées vont alors être traitées en Mémoire à Court Terme (MCT). Devant la grande quantité d'informations disponibles dans les *Glass Cockpits*, le pilote va devoir faire un choix dans l'information à sélectionner en fonction de la situation. En outre, si le pilote se trouve en situation de pression temporelle, il procèdera à un « filtrage des informations (...) qui peut être vue comme un compromis cognitif où seules les informations subjectivement importantes sont considérées » (Cœugnet, 2011, p.15).

2.1.2 Mémoire à Court Terme

La MCT est une mémoire à capacité limitée. L'information va y être stockée pour un temps défini. En MCT, des processus de contrôle peuvent être mis en place selon les objectifs poursuivis par le sujet. Un des objectifs peut être de transmettre l'information en MLT où l'information sera stockée de manière permanente. Dans ce cas-là, le sujet fera appel à un processus de répétition. Un autre objectif peut être d'accéder à l'information présente en MLT (Récupération). Ou encore, le sujet pourra choisir le mode de codage des informations.

Codage en MCT

Un premier aspect concerne l'étude de la courte durée de rétention des informations via l'utilisation de la procédure de Brown, Peterson et Peterson dans les années 60 (Maltin, 2001). Puis, Cowan, en 1993, essaie de connaître le nombre d'items qu'il est possible de retenir en MCT. Pour cela, il utilise la méthode de rappel à la suite de l'énonciation d'une liste de mots. Il regarde alors le nombre de mots rappelés en fin de liste (effet de récence). Cet empan mnésique se situe d'après Miller (1956) aux alentours de 7 items (plus ou moins 2). Mais ces performances peuvent être influencées par différents aspects comme le fait de faire des groupements d'items (ce qui permettra d'en rappeler davantage) ou encore s'il y a un élément distracteur de même nature que l'item cible (cela viendra affecter négativement l'empan mnésique).

Des études relatives aux codages des informations en MCT ont également été menées. Tout d'abord, ces études et notamment celle de Wickelgren (1965), ont montré que nous opérons un

codage acoustique. En effet, après avoir présenté auditivement une liste de lettres et de chiffres (organisés de manière aléatoire) à des sujets, il leur est demandé de les restituer. Les résultats montrent que la dernière lettre est souvent remplacée par une autre lettre ayant la même articulation sonore (par exemple, /p/ est remplacé par /b/). De plus, il a été montré que nous réalisons un codage visuel en MCT lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser un codage acoustique. Cela est mis en évidence par l'étude de Brandimonte, Hitch, & Bishop (1992) où on présentait dans un premier temps des images aux participants. Puis, il leur était demandé de soustraire une partie de cette image et à partir de là, de nommer l'image qui en résultait. Le groupe contrôle avait la possibilité de nommer (à haute voix ou mentalement) les images présentées. A l'inverse, pour contrôler ce codage acoustique, le groupe expérimental avait pour consigne de chanter (lalala) à haute voix lors de l'épreuve. Les résultats montrent que le groupe expérimental rappelle plus d'images (dont ils ont supprimé un élément donné) que le groupe contrôle. Ces résultats tendent à montrer que nous codons également de manière visuelle les informations lorsque nous ne pouvons pas les coder acoustiquement.

Enfin, une étude de Wickens, Moody, & Shearer, en 1976, met en évidence que nous codons de manière sémantique les informations en MCT. Dans cette étude, on présente des séries de trois mots à cinq groupes de sujets. Le premier groupe voit des mots provenant de la catégorie « fruit », le deuxième des mots de la catégorie « légume », le troisième de la catégorie « fleur », le quatrième se voit attribuer la catégorie « viande » et enfin le cinquième, la catégorie « profession ». La tâche qui est demandée aux sujets est de rappeler une série de mots après avoir réalisé une tâche parasite de comptage. La dernière série de mots présentés renvoie pour tous les sujets à la catégorie « fruit ». Les résultats montrent un effet d'« interférence proactive » pour les sujets de la condition « fruit ». Autrement dit, les sujets ayant déjà vu plusieurs mots faisant référence aux fruits, il y a comme une saturation en mémoire et leur rappel est moins bon. Moins les mots précédemment rappelés par les sujets partageaient des caractéristiques sémantiques avec les fruits, plus les sujets réussissaient à rappeler la dernière série de mots de catégorie « fruit ». Cette expérience montre que les aspects sémantiques sont impliqués dans la MCT.

Ces différentes études montrent la capacité de codage de l'information en MCT. Or, afin de coder cette information, il est nécessaire de mettre en place des traitements en MCT. C'est à la suite de ce constat que des auteurs ont alors proposé une distinction entre MCT et Mémoire de Travail (MdT).

MCT vs MdT

Miller, Galanter, & Pribram (1960), puis Baddeley et ses collaborateurs (1986) proposent une distinction entre MCT et Mémoire de Travail (MdT). Pour eux, la MCT n'est pas seulement un

lieu de stockage de l'information où aucun traitement n'est effectué. Au contraire, ils avancent l'idée que nous traitons activement l'information en MCT. Ils proposent donc le terme de Mémoire de Travail ainsi qu'un modèle de la MdT en trois parties. La MdT serait alors constituée d'une boucle phonologique, d'un calepin visuo-spatial et d'un administrateur central. La boucle phonologique serait elle-même composée de deux éléments. Le buffer (ou registre phonologique) permettant de maintenir l'information sous une forme acoustique pour un temps limité, le « processus d'autorépétition subvocal » permettrait de transformer les informations (visuelles ou autres) en format phonologique et également de renforcer leur maintien en MdT grâce à la mise en place de processus de répétition. C'est donc dans le buffer qu'est stockée l'information visuelle et spatiale. Enfin, l'administrateur central sert de gestionnaire aux deux premiers constituants. Il permet de sélectionner l'information, et c'est dans cet administrateur central que sont donc mis en place les processus attentionnels ou encore de planification.

2.1.3 Profondeur de traitement

Pour Craik en 1979 (cité par Maltin, 2001), « l'approche de la profondeur de traitement stipule que le traitement d'information profondes, ayant du sens, permet une meilleure rétention qu'un traitement d'informations de surface issues du registre sensoriel » (page 114). Autrement dit, si l'on traite une information en essayant de lui attribuer de la signification, elle sera beaucoup mieux retenue (pendant un temps plus long) que si l'on traite seulement sa typographie (traitement de surface) par exemple (Craik & Tulving, 1975).

Un des effets intéressants montrant le bénéfice de la profondeur de traitement est l'effet de génération. Slamecka et Graf (1972) ont réalisé une étude dans laquelle ils présentaient un mot à un premier groupe de sujets. Il leur était ensuite demandé de produire un synonyme de ce mot. Un second groupe lisait des paires de mots synonymes. Les deux groupes réalisaient ensuite une tâche de rappel. Les résultats montrent que le groupe générant les synonymes a un taux de rappel plus important. Ceci vient confirmer l'importance et le bénéfice d'un traitement en profondeur.

Un autre effet qui peut influencer une meilleure rétention de l'information est l'effet d'autoréférence montré par l'étude de Greenwald et Banaji (1989, cité par Maltin, 2001) : lorsque l'on tente d'associer des mots à soi, on les retient mieux que si on les traite de manière sémantique, (>) acoustique ou (>) typographique.

Mais que l'on parle de MCT ou de MdT, l'étude de Barrouillet, Bernardin et Camos (2004) montre que ce sont les capacités de contrôle attentionnel qui vont influencer la rétention des informations en mémoire. Si ce contrôle n'est pas mis en place (e.g. que l'attention est détournée), alors les informations se détérioreront, voire disparaîtront. Cette proposition est

toutefois nuancée par le modèle de la Mémoire de Travail à Long Terme (MTLT). En effet, Ericsson et Kintsch (1995) font le postulat d'une MTLT qui permettrait aux experts d'un domaine de contourner les limites imposées par le nombre 7 de Miller (1956) et cela en utilisant une partie de la MLT pour des tâches de MdT. Cette théorie se fonde sur le principe de structure de récupération. Autrement dit, « les experts ont développé des stratégies d'encodage élaborées en construisant des structures de connaissances organisées qui leur permettrait à la fois d'encoder et de récupérer rapidement l'information en MLT » (Drai-Zerbib & Baccino, 2005, page 391). Un exemple donné par Chase et Ericsson (1981, cité par Guida, Gobet, Tardieu et Nicolas, 2012) est celui de l'expert en course à pied. Prenons la séquence « 1 4 6 7 3 2 9 8 1 4 1 7 » pour une tâche de rappel. Si cette tâche est proposée à un expert en course à pied, on pourra observer qu'il procèdera à un « encodage significatif », c'est-à-dire qu'il encodera les informations sous forme de temps de course : (1) premier temps de course, (2) deuxième temps de course, (3) dernier temps de course. Ainsi, il intégrera l'information « 1 4 6 7 3 2 9 8 1 4 1 7 » sous le format suivant : (1) premier temps = 1m46s, (2) 2^{ème} temps = 3m29.8s, et (3) dernier temps = 1m41.7s. De ce fait, pour rappeler l'information, l'expert a simplement besoin d'activer les signaux de récupération « premier, deuxième, dernier temps ». Ainsi, par rapport aux résultats de Barrouillet et al. (2004) montrant que sans contrôle attentionnel, les informations en MCT / MdT vont disparaître, la théorie de la MTLT postule que lors d'un détournement de l'attention, l'information sera oubliée le temps de cette distorsion mais sera récupérée dès que les signaux de récupération seront de nouveau activés. De plus, cette théorie amène l'idée que les experts d'un domaine sont capables de rappeler beaucoup d'informations (plus que 7 items), ce qui explique que des experts d'un domaine sont capables de rappeler plus de 100 chiffres s'ils ont du sens dans ce domaine (e.g. Chase et Ericsson, 1982).

La MCT / MdT a une part importante dans le modèle de la conscience de la situation d'Endsley. En effet, la sélection et l'interprétation des informations perçues de l'environnement vont se faire en MCT / MdT. Ainsi, les capacités limitées de cette mémoire vont avoir un impact sur la construction de la compréhension de la situation actuelle que va élaborer le pilote. En effet, la quantité d'information pouvant être traitée va être restreinte, d'autant plus si le pilote se retrouve en période de stress (Gärtner, Rohde-Liebenau, Grimm, & Bajbouj, 2014) ou de pression temporelle qui va l'amener à « accélérer le processus de traitement de l'information » (Cœugnet, 2011, p.15). Un deuxième aspect qui va avoir un impact sur cette étape de compréhension de la situation est l'expertise. En effet, un pilote expert va faire appel à ces connaissances en MLT (organisées sous forme de schémas, modèles mentaux, etc.), ce qui l'aidera dans l'interprétation des informations de la situation actuelle.

2.1.4 Mémoire à Long Terme

Atkinson et Shiffrin, avec leur modèle, apportent quelques informations quant à la MLT avec notamment l'idée que l'information y est organisée sémantiquement. Par la suite, des études ont été menées et ont permis de compléter ces premiers apports. Tout d'abord, il est important de noter que la MLT se définit comme « une mémoire où l'information est stockée de façon quasi-permanente et dont la capacité de stockage est quasi illimitée, sous réserve d'intégrité du système nerveux central » (Chanquoy et al., 2007, p.61). On peut ensuite distinguer deux grandes catégories de mémoire en MLT : la mémoire procédurale et la mémoire déclarative.

La mémoire procédurale stocke toutes les informations concernant les procédures. Ces connaissances renvoient aux savoir-faire et ne sont pas nécessairement explicitables. Par exemple, il est difficile d'expliquer à une tierce personne comment faire du vélo ou écrire. La mise en place de ces connaissances se fait de manière automatique.

La mémoire déclarative stocke toutes les informations conceptuelles, énonçables. Elle peut être divisée en deux : la mémoire sémantique et la mémoire épisodique. Cette dernière est la mémoire où sont stockés nos souvenirs ou des événements. Cette mémoire comporte une dimension temporelle. La mémoire sémantique, quant à elle, permet de stocker tous les concepts, mots organisés sémantiquement entre eux. On parle de réseaux sémantiques ou encore de catégories. En mémoire déclarative, il est indispensable de créer du lien sémantique pour qu'il y ait apprentissage, pour mémoriser une nouvelle information. Autrement dit, il faut mettre du sens sur l'information à apprendre afin qu'elle soit reliée à d'autres connaissances déjà présentes dans le chef du sujet. De plus, lorsque nous allons encoder l'information, nous ne traitons et ne retenons pas l'information isolément. Le contexte est également traité. Ainsi, l'effet contextuel joue un rôle lors de la récupération de l'information en MLT.

Ainsi, il est important que l'information soit organisée, structurée de manière à ce que l'information en MLT puisse être stockée et récupérer.

Organisation des connaissances en Mémoire à Long Terme

Compte tenu de la littérature, plusieurs définitions sont attribuées aux modèles mentaux. La difficulté est de comprendre à quel niveau ils se situent en mémoire. Pour Wickens (2002) et Endsley (2000), les modèles mentaux sont des connaissances statiques et génériques en MLT. Également pour Doyle et Ford, (1989 cité par Schaffernicht & Groesser, 2011), les modèles mentaux de systèmes dynamiques sont « des représentations conceptuelles internes durantes et accessibles, mais limitées, d'un système externe dont la structure est analogue à la structure perçue de ce système » (p. 57).

Pour d'autres auteurs, les modèles mentaux sont des représentations en mémoire de travail. Pour Johnson-Laird (cité par Ehrlich, Tardieu, & Cavazza, 1993), le modèle mental est « une représentation interne d'un état des choses du monde extérieur » (p. 38). Pastorelli (2007) les définit comme « une interprétation générale du fonctionnement d'un système ajustée et alimentée par des attentes, des scénarios, des convictions personnelles qui constituent des schémas » (p. 15).

Comme Rabardel (1995) qui distingue « la constitution initiale de la représentation (au sens de modèle mental ayant une permanence) de son utilisation » (p. 121), nous postulons qu'il existe deux formes de modèle mental : un modèle mental permanent en mémoire à long terme et un modèle mental fonctionnel en mémoire de travail.

Modèles mentaux et schémas

Le modèle mental en mémoire à long terme représente la connaissance statique du système : ses caractéristiques, son fonctionnement, etc. (Endsley, 2000). Ayant comme fonction la simplification du monde, ces modèles mentaux sont alors des représentations abstraites et ils serviront de base au raisonnement et à la compréhension (Besnard, Greathead & Baxter, 2004 ; Gyselinck, 1996). L'opérateur a donc en MLT une représentation durable et générique du système, dans laquelle il a construit des invariants, des traits stables et pertinents pour l'activité. Les modèles mentaux ont trois caractéristiques qui sont importantes à noter (Ehrlich, et al., 1993) :

- ils sont complexes du fait de leur structure hiérarchique permettant au sujet de voir le système dans son ensemble mais également de le diviser en sous-système ;
- ils sont dynamiques : avec le vécu et de nouvelles expériences, les modèles mentaux évoluent ;
- ils intègrent les relations causales qui existent entre les concepts, entre sous-systèmes.

Ainsi, les modèles mentaux nous permettent de faire des inférences (induction, déduction) sur les états du système actuel ou futur (Johnson-Laird, 2001).

D'après la littérature, on peut dire que les modèles mentaux sont comparables aux schémas avancés en premier lieu par Bartlett en 1932 dans son ouvrage « Remember ». Ce dernier les définit comme « *une organisation de réactions passées, ou d'expériences passées, qui sont toujours censées être opérationnelles pour chaque réponse biologique adaptée. Ainsi, dès qu'il y a un ordre ou une régularité dans un comportement, une réponse spécifique est possible seulement parce qu'elle est liée à d'autres réponses similaires qui ont été organisées de manière sérielle et que ces réponses agissent non comme des individualités les unes succédant aux autres* ».

mais comme une masse unitaire... Tous les mouvements entrants d'un certain type, ou d'un certain mode, vont constituer ensemble un cadre actif et organisé »³ (p. 201). Autrement dit, un schéma est une représentation constituée d'expériences antérieures qui nous sont utiles pour interpréter le monde et appréhender de nouvelles situations. C'est un résumé de nos expériences passées qui comportent les éléments importants et stables (Gureckis & Goldstone, 2010). Ainsi, les schémas permettent de réduire la charge cognitive associée à l'interprétation de nouvelles informations. Ils nous aident à interpréter de nouvelles informations car ils complètent les éléments manquants par les attentes qu'ils activent. Une des études de Bartlett concerne le rappel d'une vieille légende indienne, qui est une histoire ambiguë. Les participants écoutaient cette légende intitulée « La guerre des fantômes ». Il leur était ensuite demandé de rappeler l'histoire à différents intervalles de temps. Les résultats des rappels montrent que les participants ne rappellent pas toute l'histoire mais surtout qu'ils transforment l'histoire ou y ajoutent des éléments afin qu'elle soit conforme à leurs attentes. Cela montre que les schémas guident activement notre interprétation de nouveaux éléments.

Il est intéressant ici d'aborder également le concept de « script ». En effet, les scripts sont « des schémas particuliers orientés vers l'action ou la compréhension de l'action » (Dessus, Pernin, & Lejeune, 2007, p. 96). Par exemple, en tant qu'adulte ayant évolué en Occident, nous possédons tous le script du restaurant qui pourrait se décliner ainsi « on entre dans le restaurant, on s'installe à la table, un serveur vient prendre notre commande, on nous sert, on demande la note, on paie et on sort ». Comme les schémas, les scripts nous permettent de faire des inférences sur les nouvelles situations nous aidant ainsi dans notre interprétation, en économisant ainsi des ressources cognitives. Ainsi, plus on acquiert d'expertise dans un domaine, une situation, plus on possède des connaissances dans ce domaine. Ce type de connaissances peut être compté chez les experts en dizaine, ou même centaine de milliers (Tricot, 2008 ; Hoffman, 1998, in Williams, Faulker & Fleck, 1996) et peuvent être perceptives, sémantiques ou encore stratégiques. Outre par l'étendue de ses connaissances, l'expert se différencie du novice dans la manière dont ils les organisent. Il possède des modèles mentaux, des schémas en MLT ce qui lui permet de traiter plus facilement une nouvelle information et ainsi d'économiser des ressources cognitives lors d'une activité (Tricot, 2003). Autrement dit, ces schémas (ou modèles mentaux) lui permettent de ne pas avoir à traiter chaque détail et

3

Traduction faite à partir de la définition de Bartlett : « ... *an active organisation of past reactions, or of past experiences, which must always be supposed to be operating in any well-adapted organic response. That is, whenever there is any order or regularity of behavior, a particular response is possible only because it is related to other similar responses which have been serially organized, yet which operate, not simply as individual members coming one after, but as a unitary mass... All incoming impulses of a certain kind, or mode, go together to build up an active, organised setting.* »

variables de la situation mais de la traiter dans son ensemble. L'étude de Schvaneveldt et ses collaborateurs (1985) auprès de pilotes de combat montre la différence d'organisation des connaissances entre experts et novices. Les participants avaient à juger de la proximité de différents concepts. Les résultats sont présentés sous la forme d'un graphique où l'on peut voir que les experts ont produit à peu près les mêmes graphiques les uns les autres avec la mise en avant des relations importantes. A l'inverse, les graphiques des pilotes novices étaient tous différents et moins structurés.

Modèles mentaux fonctionnels et modèle de situation

Le modèle mental fonctionnel « prend en compte les caractéristiques particulières, singulières, de la situation d'action » (Rabardel, 1995, p.49). Endsley (1995b) parle de modèle de situation qu'elle décrit comme « un schéma représentant l'état actuel du modèle mental du système » (p. 43). Ici, le modèle mental renvoie à des patterns dynamiques (Endsley, 2000 ; Cellier, et al., 1997) et comprend l'état présent du système. Comme en MLT, les modèles mentaux fonctionnels sont des représentations « relativement abstraites et simplificatrices » qui permettent alors de mettre au premier plan les informations pertinentes pour la réalisation de la tâche (Denis & de Vega, 1993, cité par Ehrlich et al, 1993), ce qui permet également de réduire la charge de travail en mémoire de travail (MdT) (Moray, 1998). Certains auteurs (Piaget, 1974 ; Ochanine, 1981 ; Norman, 1983) parlent de déformation des modèles mentaux par rapport au monde extérieur et de l'utilité de ces déformations en termes de réussite de l'action (Amalberti, 2001). Ces modèles mentaux seraient alors des supports à l'élaboration d'une conscience de la situation.

On peut ici comparer les modèles mentaux fonctionnels aux modèles de situation abordés notamment par Endsley (1995b). Un exemple souvent pris concerne celui du mécanicien (Endsley, 2000). En effet, un mécanicien va avoir un modèle mental d'un moteur en général et de son fonctionnement. Il aura également, à un moment t , un modèle de situation du moteur qu'il est en train de réparer. Il se représentera comment ce moteur fonctionne à l'instant t (problèmes de carburateur), l'état de ses composants (sales, usés, etc.), et ses capacités et caractéristiques (puissance, modèle, etc.). C'est à la suite de la perception de ces informations, de leur interprétation faite grâce au modèle mental en MLT que ce modèle de situation se créera. Ainsi, le modèle de situation renvoie à une représentation de l'état du système à un moment précis.

Ainsi, plus on sera expert d'un domaine ou d'une situation, plus on sera en mesure d'élaborer rapidement et efficacement un modèle mental fonctionnel. Chase et Simon (1973) réalisent une étude auprès de joueurs d'échecs novices et experts. La tâche que les participants doivent réaliser est une tâche de mémorisation de la place des pièces sur un échiquier. Les pièces sont

soit positionnées selon une partie d'échec réelle soit de manière aléatoire. On s'aperçoit que les experts ont de bonnes performances dans la tâche de mémorisation seulement dans le cas où les pièces représentent une partie réelle. Cela montre bien que les experts sélectionnent l'information qui a du sens pour eux. Selon Chase et Simon, les experts auraient en mémoire des structures de connaissances qu'ils appellent des *chunks* (organisation d'items en mémoire, des blocs). Ainsi, ils vont percevoir et sélectionner des patterns de pièces et ne vont pas, comme les novices, traiter chaque pièce isolément. En revanche, ces résultats montrent que lorsque les pièces sont positionnées aléatoirement et donc ne représentent pas une logique de jeu, les experts et novices enregistrent des résultats similaires.

Une étude de Larkin (1983) montre également la différence dans le raisonnement mis en place entre des physiciens experts et des étudiants en physiques (novices). Les participants ont un problème de physique à résoudre. Larkin observe que dans un premier temps, les experts passent plus de temps à analyser et à comprendre les données du problème que les novices. De plus, les experts produisent des représentations plus riches et organisées (en lien avec les connaissances antérieures) que les novices qui ont des représentations plus superficielles. On retrouve des résultats similaires dans d'autres études (McKeithen, Reitman, Rueter, & Hirtle, 1981 ; Myles-Worsley, Johnston, & Simons, 1988). Également chez les pilotes, des études montrent que les pilotes experts traitent des patterns d'informations lorsqu'ils sélectionnent l'information sur les instruments de vol. En outre, leur attention est dirigée par leur modèle de situation car selon le but qu'ils poursuivent, les patterns traités ne sont pas les mêmes (Bellenkes, Wickens & Kramer, 1997 ; Kilingaru, Tweedale, Thatcher & Jain, 2013). Ainsi, on peut voir que les experts ont une flexibilité (plus importante que les novices) dans leur raisonnement et se construisent des modèles mentaux fonctionnels afin de réaliser une tâche qui leur est familière.

Les connaissances que nous avons en MLT (ou schémas / modèles mentaux) sont (a) complexes et (b) nous permettent de comprendre le monde mais aussi d'agir et d'anticiper. Ensuite, il est important de distinguer les connaissances en MLT des représentations temporaires que nous élaborons en situation, que l'on appelle modèles de situation ou CS. Ces représentations temporaires sont elles aussi (a) complexes et (b) permettent de comprendre le monde mais aussi d'agir et d'anticiper. En outre, elles sont guidées par nos connaissances antérieures et elles alimentent notre MLT, en créant de nouvelles connaissances. Nous avons convoqué des modèles fondateurs dans ce chapitre car ils sont encore actuellement pris comme modèle de référence dans la littérature. Nous y avons adjoint des éléments nouveaux qui sont venus enrichir ces modèles comme la théorie de la MTLT présentée précédemment. Ainsi, le modèle d'Endsley est cohérent avec la littérature classique. En effet, il nous permet de comprendre l'activité du pilote qui interprète la situation actuelle via ses connaissances antérieures (schémas, modèles

mentaux) et cela afin de se créer une représentation de la situation actuelle (modèles mentaux fonctionnels, modèle de la situation) qui lui permet alors d'anticiper et de se projeter dans le futur. Nous nous basons donc sur ce modèle pour étudier notre problématique concernant la difficulté des pilotes à analyser correctement les situations.

2.2 Processus cognitifs impliqués dans la conscience de la situation

Rappelons que notre système de traitement de l'information passe par plusieurs étapes qui sont la perception des informations, leur intégration, leur mémorisation et enfin leur utilisation en situation. Chacune de ces étapes de traitement de l'information consomme des ressources attentionnelles. Quelles soient sélectives ou divisées, nos ressources attentionnelles ne sont pas illimitées.

2.2.1 L'attention sélective

L'attention sélective renvoie à la capacité de l'individu à se focaliser sur un stimulus (information sensorielle ou activité cognitive) en faisant abstraction du bruit environnant (e.g. des éléments perturbateurs) et des autres sources d'information présentes simultanément dans l'environnement (Debroise, 2010).

Un premier modèle a été proposé par Broadbent en 1958 afin d'expliquer le mécanisme de traitement de l'information qui nous permet d'économiser des ressources attentionnelles. Il s'agit du modèle de filtre attentionnel. Ce modèle part du principe que nous avons un canal unique de traitement de l'information. Ainsi, les informations passent par le registre sensoriel qui va encoder l'information telle quelle (sans la transformer que ce soit physiquement ou sémantiquement). C'est à ce moment-là que le filtre attentionnel va jouer un rôle. Il ne va laisser passer qu'un seul type d'informations à la fois en MCT pour qu'elle y soit traitée. Cette sélection ne se fonde pas sur des analyses sémantiques mais sur des aspects purement « physiques ». Ce filtre permettrait ainsi d'éviter la surcharge du système de traitement du fait des capacités limitées en ressources attentionnelles. Ce premier modèle a permis d'approfondir les étapes du traitement de l'information tout en proposant des explications concernant les ressources attentionnelles.

Ce modèle a été enrichi à la suite d'une étude de Moray en 1959. Ce chercheur a utilisé la technique de l'écoute dichotique où les participants entendent un message principal dans une oreille et un message secondaire dans l'autre. On leur demande de rappeler le message principal. Les résultats montrent qu'effectivement les participants se focalisant sur le message à rappeler sont en mesure de rappeler le message principal et ne peuvent rapporter que très peu

d'information concernant le message secondaire. Ce premier résultat plaide donc en faveur du modèle de filtre attentionnel. En revanche, ce modèle pointe le fait que les informations filtrées ne sont pas du tout traitées par les sujets. Or, dans l'étude de Moray, on peut voir que si, dans le message secondaire, lorsque le prénom du sujet est prononcé, il sera en mesure de le rappeler et donc d'y prêter attention. On peut donc conclure de cette expérience que les informations ne sont pas filtrées mais simplement atténuées (Treisman, 1960).

Orientation de l'attention

La sélection de l'information s'opère via deux types de processus : des processus automatiques ou des processus contrôlés.

On parle de processus automatiques (ou d'orientation de l'attention de type *bottom-up*) lorsque l'individu sélectionne l'information « sans y prêter attention », de manière involontaire. Ce type de sélection de l'information est très peu coûteux en terme de ressources attentionnelles. L'automatisation serait « un phénomène construit comme l'acquisition d'une base de connaissances spécifiques à un domaine, dans laquelle des représentations séparées se formeraient à chaque nouvelle exposition à une même tâche. Un traitement serait automatique s'il est reliée à la récupération des représentations stockées, n'apparaissant qu'après un certain niveau de pratique » (Logan, 1988, cité par Chanquoy et al., 2007, page 47). Ainsi, plus on pratique une activité, plus le développement de processus automatiques sera favorisé, permettant alors d'économiser des ressources attentionnelles (Chanquoy et al., 2007).

En revanche, on parle de processus contrôlés (ou d'orientation de l'attention de type *top-down*) lorsque l'individu met en œuvre des traitements volontaires (comme scanner de façon sérielle l'environnement afin de trouver l'information pertinente). Ce traitement contrôlé va être exigeant cognitivement et donc consommateur de ressources en MdT (Schneider & Shiffrin, 1977). En effet, plusieurs études (Lavie, Hirst, Viding, & de Fockert, 2004 ; Burnham, Sabia, & Langan, 2014) montrent une forte relation entre la MdT et l'attention sélective. Autrement dit, selon la théorie de la charge de Lavie et al. (2004), la capacité à sélectionner une information pertinente pour une tâche donnée dépend de la charge en MdT. Une charge élevée en MdT affectera négativement la performance à la tâche de sélection, tandis qu'une faible charge (voire une charge nulle) n'affectera en rien cette tâche.

Wickens, Helleberg, Goh, Xu et Horrey (2001) proposent le modèle SEEV de l'allocation de l'attention. Ce modèle renvoie à la probabilité qu'il y a à prêter attention à une zone présente dans l'espace visuelle. SEEV renvoie ainsi à la Saillance, l'Effort, aux Attentes (Expectancy) et à la Valeur. Ainsi, « l'allocation de l'attention dans les environnements dynamiques est :

- conduite par des captures attentionnelles *bottom-up* d'événements Saillants,

- inhibée par l'Effort requis pour déplacer l'attention,
- conduite par les Attentes des événements de Valeur vus à un certain endroit dans l'environnement » (Wickens, McCarley, Alexander, Thomas, Ambinder, & Zheng, 2005).

Autrement dit, on prêtera attention à des éléments qui vont attirer notre attention (de par ses propriétés physiques, comme une alarme dans un cockpit). Mais cette réallocation de l'attention dépendra de l'effort à fournir (est-ce que cette réallocation de l'attention est coûteuse cognitivement du fait par exemple d'être dans une tâche manuelle qui est déjà coûteuse ?). Cette réallocation dépendra également des attentes que l'on peut avoir sur ce nouvel élément (si l'on s'attend à avoir un signal à tel moment à tel endroit dans le cockpit de par nos connaissances antérieures). Enfin, cette réallocation va dépendre de l'évaluation que l'on va faire quant à la valeur (au coût) du traitement à mettre en place.

Ces notions de saillance et d'effort de déplacement de l'attention sont importantes dans le domaine aéronautique (et plus généralement dans les environnements dynamiques) car elles renvoient à un effet souvent abordé dans ce domaine qui est l'effet tunnel. En effet, la saillance d'un élément présent dans l'environnement (le cockpit) va attirer l'attention même si cet élément n'est pas le plus pertinent au temps t . Le « tunnelage cognitif » est une résultante de cette allocation de l'attention. Autrement dit, « c'est une fixation involontaire (et généralement indésirable) des ressources mentales sur une source d'information, pour une certaine longueur de temps, au détriment d'autres éléments. Ce phénomène est caractérisé par l'incapacité à switcher efficacement ces capacités cognitives entre des sources d'informations » (Ververs & Wickens, 1998, p.6). La focalisation de l'attention entraînant un effet tunnel est à l'origine d'accident d'avion tel que celui, en 1989, du Boeing 777 lors du vol 92 British Midland. En phase d'atteinte de leur altitude de croisière (plus de 30.000 pieds, soit plus de 9000 mètres d'altitude), des ailettes du moteur gauche se brisèrent engendrant beaucoup de bruit dans l'avion ainsi que beaucoup de vibrations. Cette situation se détériora davantage avec l'apparition de fumée dans l'avion ainsi que de flamme sortant du moteur gauche. Le commandant de bord demanda alors au copilote quel moteur était touché et celui-ci, après une hésitation, finit par désigner le moteur droit (son expérience passée sur l'avion DC9 où l'air conditionné est relié seulement au moteur droit lui a fait déduire que l'odeur de brûlé provenait de ce moteur). Les deux pilotes focalisèrent alors leur attention sur ce moteur. Ils le coupèrent ce qui, dans un premier temps, suite à une simple coïncidence, stoppa l'odeur de fumée et les vibrations. Ils pensaient ainsi avoir stoppé le problème alors que les instruments de bord signalaient des vibrations et qu'ils indiquaient également des données signalant clairement que c'était le moteur gauche qui était réellement touché. Leur attention sur le mauvais moteur resta ainsi focalisée jusqu'au moment de l'approche, lorsque l'avion ne réussit pas à prendre davantage de

puissance. Ainsi, nous pouvons voir comment la focalisation de l'attention amène à une évaluation de la situation et / ou la mise en place d'action(s) inappropriée(s) et persistante(s) et cela malgré les possibilités de révision (De Keyser & Woods, 1990).

2.2.2 Attention divisée et modèles des ressources attentionnelles

A l'inverse de la focalisation, il se peut que l'opérateur ait à faire face à plusieurs informations concurremment. On parle ainsi d'attention divisée (ou partagée) lorsque l'individu va être amené à traiter deux informations ou à réaliser deux tâches simultanément et qu'il aura les capacités pour les traiter en parallèle de manière efficace. Dans de telles situations, on s'aperçoit que, souvent, lorsque l'on tente de réaliser deux tâches simultanément, il va y avoir une dégradation des performances pour une des deux tâches (Gopher & Donhin, 1986 ; Baily, 2004). Cela amène à se questionner quant aux ressources attentionnelles et aux stratégies d'allocation de ces dernières.

Modèle du réservoir unique

Des études ont mis en lumière cette dégradation des performances pour une tâche secondaire. Pour expliquer cela, Kahneman (1973) parle d'un modèle de réservoir unique de ressources. Il suppose que nous disposons de ressources attentionnelles provenant d'une source limitée. Ainsi, pour une tâche principale, en fonction de son niveau de difficulté et du niveau de performance à atteindre, une certaine quantité de ressources attentionnelles vont y être allouées. Deux options se proposent : soit la tâche est tellement complexe que toutes nos ressources attentionnelles y sont alors dévolues ; soit la tâche n'est pas trop complexe et dans ce cas-là, les ressources attentionnelles restantes vont pouvoir être allouées à la tâche secondaire. On peut répertorier trois cas (Wickens, 2002) :

- celui où les tâches ne sont pas exigeantes en ressources attentionnelles. Les tâches sont dites « automatisées » ;
- celui où les tâches requièrent toutes les ressources attentionnelles disponibles, les tâches sont alors pleinement en « ressources limitées » ;
- et enfin le cas où l'on peut obtenir une performance optimale à la tâche tout en n'utilisant qu'une partie des ressources. Ici, on parlera de tâches en « données limitées ».

Cela peut faire référence au modèle SRK (*Skill, Rules, Knowledge*) de Rasmussen (1986). En effet, Rasmussen propose un modèle à trois niveaux (habiletés, règles, connaissances) définissant l'effort cognitif à fournir lors d'une tâche de diagnostic et de résolution de problème (cf. page 50).

Modèle des ressources multiples

A la suite du constat concernant les exigences requises par les postes de pilotes d'avion ou de contrôleur aérien notamment, Wickens (2002) propose le modèle de ressources attentionnelles multiples. Autrement dit, pour Wickens, il y aurait plusieurs réservoirs propres à des traitements donnés. Ainsi, lorsqu'une tâche fait appel à des ressources de l'un des réservoirs, elle ne consomme pas les ressources des autres réservoirs.

Wickens modélise son modèle sous la forme d'un cube comprenant quatre dimensions : les modalités sensorielles, les étapes de traitements de l'information, les canaux visuels et les codes spatiaux et verbaux (figure 19).

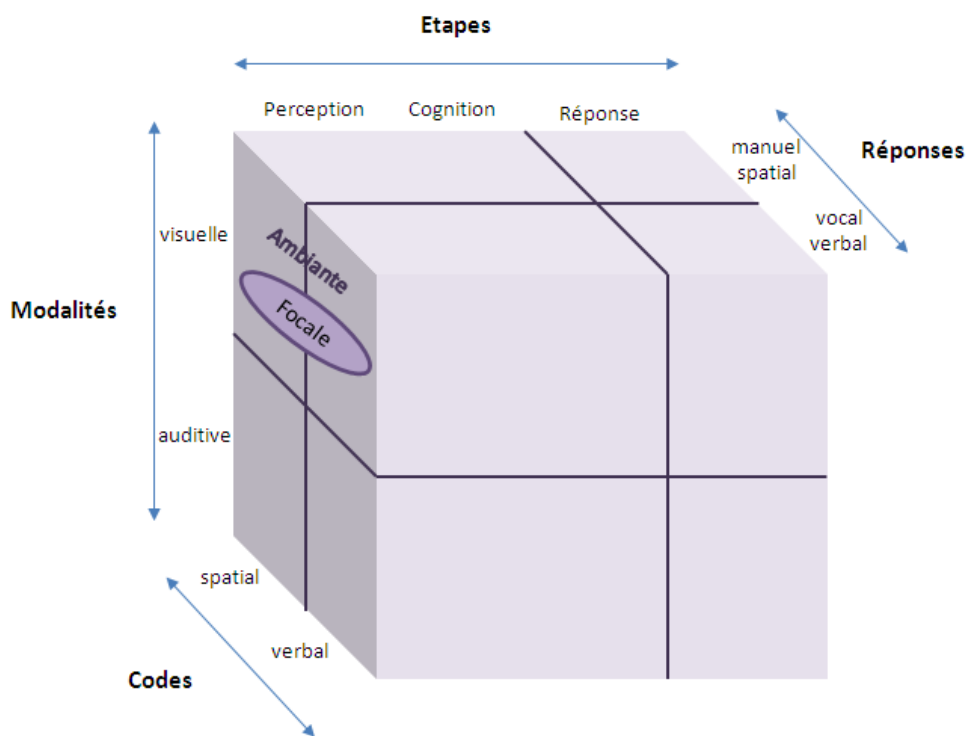


Figure 19 : Cube des réservoirs de ressources attentionnelles, d'après Wickens (2002)

Les modalités sensorielles. Deux canaux de prise d'information sont possibles : la modalité visuelle ou la modalité auditive. Wickens prend comme exemple une étude de Parkes et Coleman en 1990 qui ont montré que lors d'une tâche de conduite (exigence perceptuelle et cognitive), les participants obtiennent de meilleurs résultats lorsque l'information d'aide à la navigation est présentée de manière auditive plutôt que de manière visuelle. Cela est corroboré par les travaux de Mayer (2009) qui montre dans de très nombreuses expériences qu'il est bénéfique pour l'apprentissage d'utiliser les deux canaux de traitement de l'information.

Les étapes de traitement de l'information. Ici, Wickens fait une distinction entre les activités perceptuelles et cognitives (encodage et traitement) et les activités d'élaboration de réponses (sélection et exécution). Pour justifier cette dichotomie, Wickens, dans son article de 2002, fait référence à des expérimentations d'Isreal, Chesney, Wickens, & Donchin en 1980, qui travaillaient sur les potentiels évoqués lors de double tâche. Ils se sont aperçus que le potentiel évoqué (P300) n'est pas influencé par le changement de difficulté lié à la tâche de production de réponse mais par celui de la tâche de suivi visuel (perception). Cela va donc dans le sens des réservoirs multiples de ressources. Ainsi, Wickens donne un exemple concernant le travail des contrôleurs aériens : les exigences liées à la reconnaissance (vocale ou manuelle) d'un changement de l'état d'un avion (exigence de production de réponse) n'influenceraient pas leur capacité à maintenir une image mentale correcte de l'espace aérien (exigence perceptuelle et cognitive).

Les canaux visuels : « focale et ambiante ». Wickens met en avant deux types de canaux visuels. Le premier qu'il appelle la vision « focale » fait référence à la vision des petits détails et à la reconnaissance de forme. Le second appelé vision « ambiante » renvoie à la vision périphérique utile pour l'orientation spatiale avec la détection de mouvement ou encore leur vitesse. Cette vision « ambiante » a beaucoup intéressé les concepteurs des systèmes avioniques afin de fournir des informations d'alerte aux pilotes lorsque leur vision « focale » est accaparée par le traitement d'informations spécifiques liées aux instruments.

Les codes spatiaux et verbaux. Dans cette quatrième dimension, Wickens aborde une distinction entre les traitements analogiques et spatiaux et les traitements catégoriels et symboliques, car ils dépendent chacun de ressources provenant d'un hémisphère cérébral différent. Cette distinction est faite autant pour les informations en entrée que les réponses fournies en sortie qui seront alors soit motrices (spatiales) soit verbales (symboliques). Un des exemples appuyant cette distinction concerne l'utilisation du téléphone portable en voiture. En effet, utiliser un téléphone portable requiert des exigences visuelles, spatiales et motrices. Ces exigences sont elles-mêmes requises par la conduite automobile ce qui explique la diminution des performances de conduites lors de l'utilisation simultanée d'un téléphone portable.

Ainsi, de nombreux résultats d'expériences tendent à renforcer le modèle des réservoirs multiples de Wickens. Toutefois, il faut noter qu'aucune étude ne permet de dire qu'il y a une indépendance stricte entre chaque réservoir. De plus, même si les ressources ont leur propre réservoir, les études réalisées en double tâche montrent toutes qu'il y a une dégradation des performances pour la tâche principale (que cette dégradation soit plus ou moins importante).

Paradigme de la double tâche

La dégradation des performances des individus en situation de double tâche s'explique par la manière dont sont allouées nos ressources attentionnelles. En effet, une grande partie de nos ressources attentionnelles sont allouées à la tâche considérée comme primaire par l'opérateur et donc une moindre quantité de ressources seront disponibles pour la tâche secondaire. L'étude de Gopher et Donchin (1986) montre que plus la tâche primaire est complexe, plus les performances en tâche secondaire sont mauvaises.

Posner et Boies en 1971 conçoivent une expérience où ils mettent les participants en situation de double tâche. Lors de la tâche principale, les participants doivent juger de la nature de deux lettres présentées de manière séquentielle. La tâche secondaire consiste à appuyer sur un bouton à la suite d'un signal sonore apparaissant de manière aléatoire lors de la présentation des lettres. Ils s'aperçoivent que le temps de réponse à la tâche auditive-motrice est plus long lorsque les sujets sont en train de traiter la seconde lettre. Ainsi, ils montrent que plus la tâche primaire est consommatrice de ressources attentionnelles et moins il en reste pour la tâche secondaire.

Plus récemment, Bailly (2004) dans l'une de ces études auprès de conducteurs automobiles analyse l'effet de la double tâche sur la représentation mentale (le modèle de situation) des conducteurs, experts *versus* novices. Elle utilise des enregistrements vidéo de prises de vue de scènes de conduites créées à partir d'un véhicule expérimental au bord duquel était embarquée une caméra. Bailly modifiait ensuite chaque dernière image des séquences de conduite filmées. Autrement dit, sur la dernière image d'une séquence, elle modifiait un élément ayant un caractère opératif, (élément important pour les choix et les prises de décision des conducteurs). Par exemple, sur une de ces images, on peut voir la présence d'un carrefour (figure 20). Ainsi, soit l'on voit à l'image une intersection avec une priorité à droite, soit après modification, on voit un céder le passage pour la voiture arrivant sur la droite, rendant le véhicule expérimental prioritaire. De plus, la nature des éléments modifiés était de deux types : un événement (piéton traversant) ou une signalisation (panneau de céder le passage).



Figure 20 : Exemple d'une image de fin dans l'étude de Bailly, 2004

Ainsi, lors de l'expérimentation, les participants (conducteurs experts et novices) visionnaient des séquences vidéo. A la fin de chaque séquence, un masque perceptif (écran noir) d'une seconde apparaissait puis la dernière image réapparaissait avec alors une modification (d'événement ou de signalisation). Après le visionnage de chaque séquence, l'expérimentatrice demandait au participant s'il jugeait la dernière image comme modifiée ou non (variation du nombre de tâches à réaliser par les conducteurs : tâche simple (visionnage des vidéos) ou double tâche (visionnage des vidéos + calcul mental en simultané)).

Les résultats enregistrés montrent tout d'abord un effet de l'expertise. En effet, les experts détectent davantage de changements que les novices (16% de détection supplémentaire pour les experts). Cela montre bien que l'expertise influence la compréhension et donc la conscience de la situation.

Un autre résultat met en exergue un effet de la double tâche chez les experts. On s'aperçoit que les performances chutent de 13% lorsqu'est induite une tâche parallèle. Cela vient donc appuyer le fait que l'élaboration d'une représentation mentale lors d'une activité en environnement dynamique est coûteux en ressources attentionnelles.

Enfin, les résultats montrent que les experts ont des performances meilleures en double tâche que les novices (19% de détection supplémentaire pour les experts). Même si la double tâche altère les performances chez les experts, on peut voir néanmoins que les performances des novices sont plus affectées ce qui s'explique par le fait que les experts ont acquis des capacités de gestion des ressources cognitives (soit par les automatismes acquis, soit par la recherche d'information plus rapide et efficace car dirigée par leurs connaissances antérieures).

Stratégie de gestion de la charge mentale

Ainsi, l'étude de Bailly nous amène à faire un point sur la charge mentale (ou charge de travail mentale). Sperandio définit la charge de travail mentale comme « la définition des seuils dans le niveau de contrainte de tâches particulières, au-delà desquels l'astreinte qui en résulte pour les opérateurs lors de l'exécution de ces tâches est excessive et se traduit par une baisse de la performance (principalement du point de vue de la qualité), une apparition de symptômes de fatigue, une augmentation des risques d'incidents ou d'accidents, une insatisfaction accrue pour les opérateurs... ». (Sperandio, 1980, cité par Chanquoy et al., 2007, p 12). Autrement dit, il est important de distinguer la charge de l'exigence. La charge est « une conséquence de l'activité pour l'agent qui répond aux exigences d'une tâche » (Leplat, 2002, in Jourdan et Thereau, 2001, p.28). Les exigences sont « les conditions externes de l'activité » (Leplat, 2002, in Jourdan et Thereau, 2001, p.28). Ainsi, la charge mentale dépend des exigences impliquées par la tâche mais également des caractéristiques des opérateurs (et notamment de son expertise). Leplat

attribue plusieurs synonymes au concept de charge mentale tels que le coût cognitif, la charge attentionnelle ou encore les ressources mentales.

Une étude connue dans le domaine des contrôleurs aériens de Sperandio (1972) montre que les experts développent différentes stratégies de gestion des ressources cognitives selon leur charge de travail. En effet, les contrôleurs aériens ont beaucoup de variables à prendre en considération afin de gérer au mieux les approches des nombreux avions atterrissant dans un créneau de temps rapproché. Ces variables sont par exemple la sécurité, la consommation de carburant, un écoulement du flux efficace, ou encore le confort des passagers. Les résultats de cette étude montrent que lorsque les contrôleurs ont une faible charge de travail (e.g. entre un et trois avions à gérer), ils prennent en compte toutes les variables et élaborent des stratégies sophistiquées afin de gérer au mieux les arrivées. Lorsque la charge de travail augmente (entre quatre et huit avions), les contrôleurs sélectionnent les variables et privilégient certaines afin de ne pas avoir trop d'informations à traiter en même temps. Enfin, lorsque la charge de travail est très importante (plus de huit avions), alors les contrôleurs ne gardent comme variables à traiter que celle de la sécurité. Les autres ne sont pas prises en compte. Cette étude montre bien comment les experts arrivent à réguler leur charge de travail en adaptant leur stratégie à la situation.

Ainsi, dans le modèle d'Endsley, l'attention et la gestion des ressources attentionnelles sont des concepts fondamentaux car ils ont un impact sur les différentes étapes de la conscience de la situation. Tout d'abord, lors de la prise d'information, il va falloir que le pilote ait assez de ressources attentionnelles allouées à cette activité afin de sélectionner l'information pertinente à la tâche en cours de réalisation et ainsi éviter une focalisation de l'attention sur la mauvaise information (cf. partie « orientation de l'attention » : accident du vol 92 British Midland). Ensuite, lors de l'étape d'interprétation de l'information, là encore, il va falloir que les pilotes délèguent une quantité suffisante de ressources attentionnelles afin d'une part, qu'ils soient en mesure de mettre en lien les nouvelles informations avec leurs connaissances antérieures (schémas ou modèles mentaux) pour pouvoir comprendre la situation actuelle, et d'autre part, qu'ils maintiennent en MCT /MdT cette conscience de la situation, dans le but de pouvoir anticiper et émettre des hypothèses quant à l'évolution de la situation. Autrement dit, la charge cognitive (mentale) a un impact sur la qualité de la conscience de la situation. Ainsi, lors de situations à forte charge de travail, les ressources attentionnelles étant restreintes, les pilotes vont mettre en place des stratégies. Ils n'analyseront pas toutes les informations présentes et n'essaieront pas de comprendre la situation dans sa totalité. Leur priorité est plutôt de « maintenir une solution valide pour atteindre l'objectif et qui reste compatible avec leur savoir-faire » (Amalberti, 2001, p.114). Ainsi, la prise de décision et l'action mise en place constituent des étapes qui sont également influencées par la gestion des ressources attentionnelles.

2.2.3 Résolution de problème et Prise de décision

Une fois que le pilote a une bonne conscience de la situation, il sera en mesure de poser un diagnostic sur la situation et prendre des décisions. Il est important de comprendre comment se déroule cette activité de prise de décision en environnement dynamique dans le but d'appréhender les différents processus cognitifs mis en jeu et surtout les stratégies mises en place afin de pouvoir proposer une interface susceptibles de les aider dans cette démarche de prise de décision.

« L'environnement dans lequel la décision est prise peut être changeant soit comme une fonction de la séquence de décisions, soit indépendamment, soit les deux » (Edwards, 1962, p.60, cité par Kerstholt & Raaijmakers, 1997, in Ranyard, Crozier & Svenson, 1997). Un des aspects importants dans la prise de décision en environnement dynamique concerne la dimension temporelle. En effet, l'opérateur en situation dynamique va devoir prendre des décisions en temps réel et va devoir savoir quand il doit agir sur le système sous contrôle. C'est alors que peut apparaître une pression temporelle, c'est-à-dire une quantité de temps disponible non compatible avec la quantité de temps requise pour réaliser une tâche entraînant une conséquence non désirée (Rastegary & Landy, 1993).

Plusieurs éléments influencent également la prise de décision (Simpson, 2001) :

- *L'environnement.* Outre l'aspect temporel, il y a également des éléments comme les risque(s) encouru(s), les ressources disponibles, ou encore l'importance du problème.
- *Le type de problème.* Est-ce que c'est un problème complexe ? Découle de ce premier constat des éléments de type « ambiguïté du problème », ou encore sa stabilité, questions qui auront une incidence sur la prise de décision.
- *Les caractéristiques de l'opérateur.* L'expertise de l'opérateur va avoir un impact sur la décision prise du fait d'une part de sa connaissance et le degré de familiarisation avec la situation (et donc du problème rencontré) et d'autre part, des habiletés qu'il est en mesure de mettre en œuvre pour résoudre le problème ou non (être en mesure de reprendre l'avion manuellement lors de la perte des systèmes automatisés ou non, par exemple). La motivation de l'opérateur va également avoir une influence sur la prise de décision.

Le modèle SRK (*Skill, Rules, Knowledge*)

L'idée principale et conductrice des travaux de Jens Rasmussen est que « tout le comportement humain est tourné vers l'économie des ressources cognitives » (Pastorelli, 2007). A la suite d'un incident nucléaire (le *Three Miles Island* en 1979), Rasmussen va s'intéresser aux processus dynamiques et à l'adaptation des opérateurs dans les environnements dynamiques. Ainsi, il va

proposer un modèle représentant différents niveaux d'effort cognitif lors de tâche de contrôle et de diagnostic de systèmes dynamiques (Rasmussen, 1983). Ce modèle comprend trois niveaux :

- *Le comportement basé sur les habiletés (Skills)*. Ce premier niveau fait référence à un traitement automatique. Ici, l'opérateur voit un pattern d'information qui va activer chez lui directement une réponse de type sensori-motrice. Ces traitements vont se faire de manière inconsciente et ne vont nécessiter que très peu de ressources attentionnelles. Ce premier niveau fait référence aux activités routinières automatisées. Le risque à ce niveau est l'erreur d'inattention.
- *Le comportement basé sur les règles (Rules)*. Les routines mises en place dans le niveau précédent sont toutes basées sur des règles. Les opérateurs ont des stocks de règles provenant d'expériences antérieures. Ces règles permettent de déterminer quel est le but à suivre et ainsi de savoir quelle procédure et action mettre en place. La différence entre le niveau des habiletés et le niveau des règles n'est pas grande. Elle fait simplement référence à l'état de conscience ou non, des traitements automatiques mis en place. Ici, au niveau des règles, les processus sont conscients, et l'opérateur est en mesure d'explicitement quel savoir-faire il a mis en œuvre pour atteindre tel but. Ainsi, il y aura un effort cognitif plus important qu'au premier niveau car l'opérateur va devoir interpréter les signaux afin de sélectionner (d'inférer) la bonne règle à mettre en place. Le risque ici est de sélectionner la mauvaise règle.
- *Le comportement basé sur les connaissances (Knowledge)*. Ce dernier niveau prend place lorsque l'opérateur se retrouve en situation nouvelle, situation qu'il n'a jamais expérimentée auparavant, et pour laquelle aucun savoir-faire ni règle n'est disponible. L'opérateur va alors devoir analyser l'environnement et les objectifs généraux et cela à partir de ses connaissances en MLT et de ses modèles mentaux du système sous contrôle. Il va alors élaborer des plans d'action qu'il va ensuite tester soit de manière physique par essai-erreur, soit de manière conceptuelle en faisant des prédictions des effets des actions prévues. Ce niveau est très coûteux pour l'opérateur en matière de ressources cognitives et donc de ressources attentionnelles car l'opérateur se retrouve en situation de résolution de problème, le risque à ce niveau étant de ne pas trouver la solution.

Ce modèle SRK, permettant de mettre en lumière les différents niveaux de prise de décision selon l'expertise de l'opérateur, a toutefois été critiqué du fait de sa séquentialité. Il ne prend pas en compte les aspects rétroactifs (de l'action vers le diagnostic), ni les aspects anticipatifs. En effet, en environnement dynamique, et notamment dans l'aviation générale, les pilotes passent par une phase de préparation du vol où ils anticipent de potentiels incidents. Repartant

du modèle de Rasmussen, Hoc et Amalberti (1994) détaillent les différents niveaux de diagnostic pouvant être mis en place.

- *Le diagnostic automatique.* « Il s'appuie sur la détection de signaux qui orientent immédiatement vers l'action appropriée, sans passer par la représentation symbolique » (p. 183). Ici, la notion de schéma ou modèle mental peut intervenir. En reprenant l'exemple des pilotes d'avion, on peut émettre l'hypothèse que lors de la préparation du vol, les pilotes ont activé des schémas qui vont permettre d'émettre un diagnostic automatique.
- *Le diagnostic symbolique.* Ici, il y aura une interprétation des stimuli présents dans l'environnement. Autrement dit, l'opérateur va chercher à comprendre ce que les signes véhiculent comme sens. Par exemple, « dans la conduite de haut fourneau, l'identification d'une baisse régulière pendant trois heures d'un paramètre évaluant l'état thermique conduit, conformément à une consigne (règle connue), à modifier en conséquence la proportion de coke dans la charge » (p. 184). Mais, il faut noter que, dans le contexte des hauts fourneaux comme dans les contextes d'environnements dynamiques complexes, il y a également une interprétation de phénomènes inobservables propres au système.
- *Le diagnostic conceptuel.* Ce diagnostic fait référence au troisième niveau du modèle de Rasmussen. « Il est évidemment symbolique mais renvoie à des mécanismes interprétatifs plus profonds que la simple orientation d'une règle applicable » (p. 184). Ici, Hoc et Amalberti donnent l'exemple du diagnostic différentiel en médecine où les médecins prennent en considération tous les symptômes d'un patient et les comparent avec des maladies compatibles afin de retenir seulement celles qui partagent le plus de symptômes. Ainsi, des hypothèses sont émises fondées sur les données (faits) mais également en lien avec les connaissances des opérateurs.

Il est important de rappeler que l'opérateur étant dans un environnement dynamique en constante évolution, il n'est pas en mesure de tout comprendre avant de prendre sa décision. Il ne prend en considération que les informations qu'il juge importante à un moment donné selon les buts fixés. Ainsi, selon Hoc et Amalberti, le diagnostic est réalisé de manière progressive et fait appel à des structures et notamment à la structure causale (relations causes à effets) et à la structure fonctionnelle (la connaissance du fonctionnement du système permet de poser un diagnostic). L'opérateur élabore des inférences afin d'évaluer ses hypothèses et de poser son diagnostic.

Modèle de prise de décision chez les pilotes

Dans l'aviation commerciale, 60 à 80 % des accidents d'avion sont attribués à des erreurs humaines (Ferguson & Nelson, 2012 ; Shappell, Detwiler, Holcomb, Hackworth, Boquet, & Wiegmann, 2007). Schriver, Morrow, Wickens et Talleur (2009) proposent un modèle qui représente les étapes de la prise de décision chez les pilotes. Tout d'abord, sur la base des connaissances et des attentes des pilotes, les signaux de l'environnement sont perçus par le pilote et un sous-ensemble d'informations est alors sélectionné. Cet ensemble d'informations est interprétée et intégrée afin que le pilote puisse faire un diagnostic de la situation. Autrement dit, il évalue la situation. C'est à ce moment-là que l'opérateur prend une décision et cela en considérant plusieurs actions et leurs résultats (notamment en termes de risque) afin de sélectionner l'action à effectuer. Différents éléments influencent la prise de décision, comme la perception qui est faite du signal, l'attention qui est portée à celui-ci (et influençant donc la sélection et l'intégration de l'information), la quantité de connaissances antérieures présentes en MLT en lien avec cette situation, et enfin les capacités en MdT.

Le modèle NDM (Naturalistic Decision Making)

Pour comprendre quels sont les mécanismes en jeu dans la prise de décision en environnement dynamique et complexe, et particulièrement dans le domaine aéronautique, Klein (2008) propose un modèle appelé le modèle NDM (*Naturalistic Decision Making*). En effet, ce modèle a été créé à partir d'analyses réalisées en milieu naturel et il présente ce qu'est la prise de décision et non pas ce qu'elle devrait être. Il est à noter que ce modèle NDM inclut le modèle RPD (*Recognition Primed Decision*) qui suggère que la prise de décision est déclenchée par la reconnaissance. Par exemple, un pilote reconnaît immédiatement un pattern d'informations et l'attribue à telle ou telle cause et ceci sans mettre en place un raisonnement analytique et ainsi consommer du temps inutilement (Simpson, 2001). En outre, le stress peut avoir des effets néfastes en ce qui concerne la récupération d'information en MLT. Or les stratégies, les options intuitives sont moins sujettes au stress. Il y a une sorte d'immunité des informations familières au stress en ce qui concerne leur récupération en MLT (Wickens et al., 1993).

Evaluation de la situation

Une première caractéristique de la NDM et du RPD est que l'opérateur génère des séries continues de décisions en évaluant des options, plusieurs alternatives (et non pas une seule décision avec une évaluation simultanée). Ces décisions sont prises en temps réel et affecte directement celles à venir. C'est pourquoi il est important ici que les opérateurs évaluent constamment la situation afin de mettre à jour leurs modèles mentaux fonctionnels et leurs hypothèses. Autrement dit, il y a une grande importance de la conscience de la situation et de sa mise à jour régulière (Simpson, 2001).

Evaluer la situation permet donc de mettre en évidence (Klein, 1993) :

- les buts qui peuvent être atteints ;
- les signaux importants ;
- les attentes qui servent ainsi de vérifications concernant l'exactitude de l'évaluation faite de la situation ;
- les actions à mettre en place.

Simulation mentale

A la suite de l'évaluation de la situation, le choix de la décision à prendre se fait à travers une simulation mentale, en imaginant comment une séquence d'événements pourrait se déployer (plutôt que par des analyses statistiques ou mathématiques). Ce sont les options amenant à un ou des résultats satisfaisants qui sont choisies (et non pas les options débouchant sur un résultat optimal). En effet, étant dans un environnement dynamique, l'opérateur est dans une situation où il doit agir et n'est pas en attente d'une analyse complète de la situation pour avoir un résultat optimal. Il prend souvent une décision avant que la nature du problème soit complètement définie et comprise. Ainsi, il a besoin d'une option raisonnable et réalisable à un moment t (Simpson, 2011). Cette simulation mentale a donc pour intérêt de vérifier si le modèle de situation de l'opérateur est cohérent (Klein, 1993).

Ainsi, la conscience de la situation joue un rôle important dans la prise de décision. Cependant, une bonne conscience de la situation n'assure pas de prendre la bonne décision. En revanche, une mauvaise conscience de la situation va engendrer de mauvaises décisions qui peuvent à leur tour générer des dégâts importants en environnement dynamique (Pastorelli, 2007 ; Wickens, 2002). En effet, d'une mauvaise décision découle la mise en place d'une ou plusieurs action(s) inappropriée(s) à la situation donnée.

2.3 Synthèse du modèle d'Endsley et adaptation à la problématique

2.3.1 Conscience de la situation propre aux pilotes

Wickens (2009) reprend les différents niveaux de la conscience de la situation d'Endsley en les confrontant à l'activité de pilotage dans l'aéronautique. Il considère le pilote comme « un système de traitement de l'information » (figure 21).

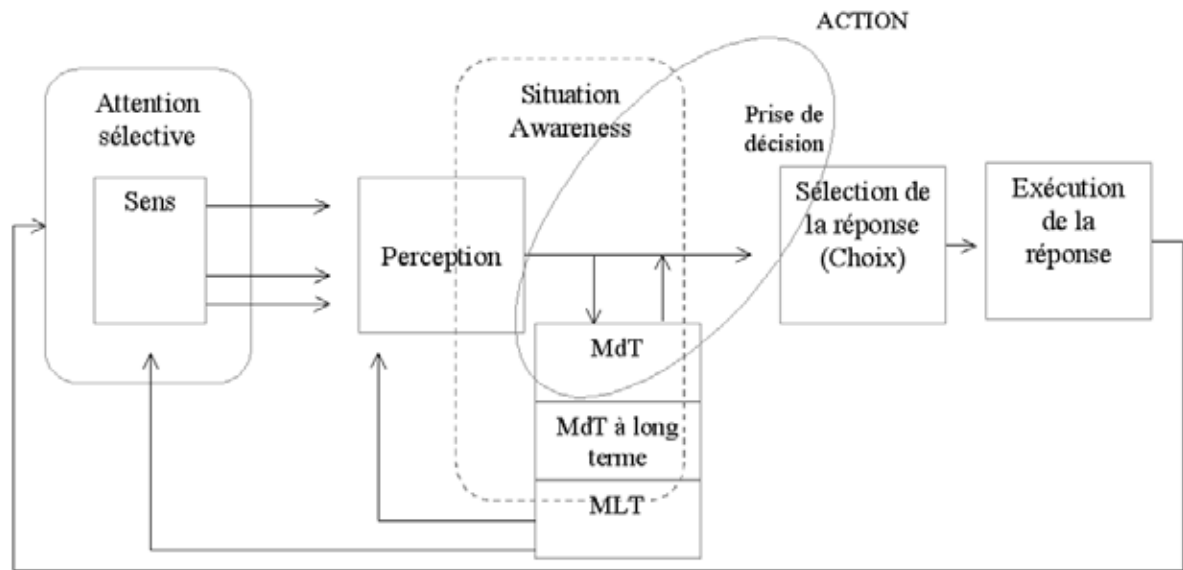


Figure 21 : Le pilote comme système de traitement de l'information (d'après Wickens, 2009)

Pour Wickens (2009), une conscience de la situation efficace « repose sur le déploiement d'une attention sélective et du traitement d'un modèle mental précis de l'espace aérien, de la structure de l'avion et des procédures, dans lesquelles l'information attendue peut être aisément incorporée ».

Autrement dit, des informations de l'environnement vont devoir être perçues par le pilote. Ce dernier va, avec l'expérience, développer une attention sélective afin de filtrer les informations, pour en limiter la quantité et ne traiter que celles qui se trouvent être pertinentes. En effet, la conscience de la situation est contrainte par les capacités limitées des ressources attentionnelles (Endsley, 1996 ; Wickens, 2002). Or, ces ressources attentionnelles sont largement sollicitées dans les systèmes automatisés. Plusieurs types d'attention sont en effet impliqués (Durso, 2011), notamment la capacité à sélectionner l'information et les tâches à réaliser, la capacité à gérer ces différentes sources d'information ou encore la capacité à maintenir l'attention sur l'information importante au moment *t*. Cette gestion de l'attention (autrement dit, l'allocation dynamique de l'attention) est une tâche importante dans le domaine aéronautique (Sarter, 2001).

Une fois l'information jugée pertinente sélectionnée, le pilote interprètera ces informations via ses connaissances antérieures stockées en MLT. Ces informations traitées, le pilote aura une compréhension de la situation en cours. Il doit à ce moment-là être en mesure de se projeter dans le futur (que ce soit la position future de l'avion ou encore l'effet qu'auront ses actions dans un avenir plus ou moins proche) afin d'avoir une conscience de la situation complète et de pouvoir prendre des décisions adaptées.

Plus précisément, les trois composants de la conscience de la situation pour les pilotes sont la conscience spatiale de la 3D, la conscience du système et la conscience de la tâche (Wickens, 2002) définies comme suit :

- *La conscience spatiale* renvoie à la tâche de déplacement dans un espace en trois dimensions. Le pilote doit prendre en compte six variables. Celles-ci comportent trois variables concernant l'orientation de l'axe de l'avion (tangage, roulis, lacet) ainsi que trois variables relative à la position (altitude, dérive latérale et position par rapport à la trajectoire). La difficulté pour le pilote pour évoluer dans cet espace réside dans le fait que ces six variables évoluent constamment dans le temps et s'influencent entre elles.
- *La conscience du système* renvoie aux actions qui sont aujourd'hui, dans les avions modernes, réalisées par les systèmes automatisés, comme le changement de mode de vol. La difficulté pour le pilote est de maintenir une bonne conscience du système (Sarter & Woods, 1995) du fait de la complexité de ces systèmes.
- *Enfin, la conscience des tâches* renvoie à la priorisation des quatre tâches qui sont, dans l'ordre de priorité : piloter, naviguer, communiquer et gérer les systèmes. Cette hiérarchisation des tâches doit garder une certaine flexibilité et la difficulté pour le pilote consiste à être toujours conscient des tâches qui doivent être réalisées et quelles sont leur priorité (Adams, Tenney, & Pew 1995).

Cette conscience de la situation, une fois construite, va devoir être réactualisée en permanence du fait de l'évolution constante de l'environnement et des paramètres du système (Pastorelli, 2007). Les buts que suivent les opérateurs permettront de réajuster cette CS car « ils permettent de sélectionner un modèle mental (processus *top-down*) qui sera utilisé afin de sélectionner les informations pertinentes dans l'environnement puis de les interpréter en fonction du modèle mental et de ces buts (processus *bottom-up*) » (Bailly, 2004, p.20). C'est cette réactualisation constante qui permettra de « prendre les décisions appropriées » (Hoc, Amalberti, Plee, 2000).

2.3.2 Les erreurs de conscience de la situation

Jones et Endsley (1996) présentent une taxonomie des erreurs de CS à la suite d'analyses des rapports de la base de données de l'ASRS (*Aviation Safety Reporting System*). Ils en dégagent trois niveaux. Pour eux, le premier niveau d'erreurs de la conscience de la situation correspond à l'échec des pilotes à percevoir l'information ou à une mauvaise perception de l'information. Cela est dû à la mauvaise ou indisponibilité des informations, à la difficulté à discriminer ou détecter des données, à l'échec dans la surveillance ou l'observation des données, à la mauvaise perception des données, ou encore, à la perte de mémoire. Le deuxième niveau concerne l'intégration incorrecte des données ou à la mauvaise compréhension de l'information. Ces

erreurs peuvent être le produit d'un modèle mental incomplet, voire absent, ou de l'utilisation d'un modèle mental incorrecte, ou encore de la sur-confiance en les valeurs par défaut. Enfin, un troisième niveau réfère à la projection incorrecte des futures actions du système. Ce niveau est lié à un modèle mental incomplet ou absent, ainsi qu'à une sur-projection des tendances actuelles.

Jones et Endsley (1996) ont montré que c'est pendant le premier niveau (« Echec à percevoir l'information ou mauvaise perception de l'information ») qu'il y a le plus d'erreurs (76,3%) ; tandis qu'il y a 20,3% d'erreurs pour le deuxième niveau (« Intégration ou compréhension incorrecte de l'information »), et seulement 3,4% d'erreurs pour le troisième (« Projection incorrecte des actions futures du système »). En d'autres termes, les taux d'erreurs montrent un échec des pilotes à percevoir l'information ou du moins l'information correcte. Jones et Endsley ont proposé trois pistes d'explications.

- La première est que les données sont présentées mais qu'il est difficile de les trouver à cause du design du système.
- La deuxième explication concerne l'omission des données due à une vision tunnel ou à une importante charge de travail.
- Enfin, l'information est perçue mais pas vraiment comprise ou ce n'est pas la bonne information qui est surveillée.

Autrement dit, la complexité des systèmes automatisés et leur opacité génèrent des modèles mentaux pauvres ou faux (Amalberti, 2002 ; Kaber & Endsley, 2004 ; Sarter, Mumaw & Wickens, 2007). De plus, leurs *feedbacks* limités ou inadéquats, autant que leur haut degré d'autonomie, n'aident pas les pilotes dans leur interprétation de l'état du système (Corwin, 1992) et, bien sûr, entraînent une perte de la conscience de la situation (Kaber & Endsley, 2004 ; Billings, 1997). Le crash du vol 401 de la « Eastern Airlines » le 29 décembre 1972 illustre bien cet aspect. La lumière verte signalant que le train d'atterrissage était sorti ne s'est pas allumée. Cela a inquiété tous les membres d'équipage qui se sont alors focalisés sur la recherche d'explication et n'ont pas perçu l'information relative à la perte importante d'altitude de l'avion.

La conscience de la situation est restreinte par la capacité limitée des ressources attentionnelles ainsi que celles de la mémoire de travail (Kaber & Endsley, 2004 ; Endsley, 1999 in Garland, Wise & Hopkin, 1999). Ainsi, afin de maintenir une bonne conscience de la situation, plusieurs études utilisant la simulation de vol montrent qu'une tâche importante dans le domaine de l'aviation est la gestion de l'attention : c'est-à-dire la priorité dynamique et l'allocation des ressources attentionnelles (Sarter, 2001). Plus exactement, il y a plusieurs opérations mentales et comportementales impliquant l'attention dans les systèmes automatisés : la capacité à

sélectionner l'information et les tâches, la capacité à gérer plusieurs sources d'information, et également la capacité à maintenir l'attention sur les informations (Durso et al., 2011). Il est important de noter que, pendant une condition multitâches, il y a une diminution de l'attention et une augmentation des erreurs de surveillance des informations (Duley, Westerman, Molloy, & Parasuraman, 1997, in Durso & al., 2011).

Ainsi, le pilote doit réaliser plusieurs tâches pendant un vol qui est composé lui-même de plusieurs phases. Il doit être conscient de la situation actuelle afin de prendre la décision correcte si besoin, et d'agir en conséquence. Cependant, il n'est pas facile d'atteindre une conscience de la situation efficace du fait de :

- l'évolution de l'avion dans un environnement 3D,
- la présence de plusieurs tâches et buts mal définis,
- la complexité réelle du système.

Il faut particulièrement garder à l'esprit que l'erreur principale de conscience de la situation concerne la difficulté pour les pilotes de percevoir l'information, et plus précisément, l'information correcte. Dans ce cas, la conception d'un nouveau système ayant pour but d'aider les pilotes dans la réalisation de leurs tâches devrait prendre en considération le besoin d'améliorer la conscience de la situation pour les pilotes sans ajout de charge de travail.

Ainsi, la première étude a pour triple objectif :

- Identifier les phases de vol pour les pilotes volant en IFR : correspondent-elles aux sept phases décrites dans la littérature ? (*New FM pilot's guide Thales*, 2008 ; Corwin, 1992 ; Tenney, et al., 1998 ; Schvaneveldt, et al., 2001).
- Identifier la charge de travail des pilotes selon les phases de vol : est-elle plus importante en début et en fin de vol (Corwin, 1992 ; Tenney et al., 1998) ? Le risque encouru est plus grand lors des phases où la quantité importante d'information à traiter est la plus importante (Schvaneveldt et al., 2001).
- Vérifier si pour les pilotes, il y a quatre méta-tâches qui sont *Aviate*, Naviguer, Communiquer et Gérer les systèmes (Billings, 1997 ; Wickens, 2007 ; Schutte & Trujillo, 1996).

Dans le prochain chapitre, nous présentons notre première étude qui consiste en une analyse cognitive de la tâche. Cette première analyse nous permet d'appréhender la tâche de pilotage (en son sens générale) afin d'avoir une base de connaissances suffisante et stable pour la suite de ce travail de thèse.

Chapitre 3

Analyse de la tâche

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.1 | La méthode CTA (<i>Cognitive Task Analysis</i>) | 63 |
| 3.1.1 | Domaines d'application de la CTA..... | 64 |
| 3.2 | La description de la tâche selon les objectifs des opérateurs | 66 |
| 3.2.1 | Etude de l'analyse cognitive de la tâche chez les pilotes de transport aérien..... | 68 |
| 3.3 | Conclusion intermédiaire..... | 70 |

Chapitre 3 : Analyse de la tâche

L'analyse cognitive de la tâche tire ses origines de l'analyse de la tâche comportementale. Les avancées informatiques et l'apparition de l'automatisation ont fait de l'analyse cognitive de la tâche un élément important notamment dans la conception des systèmes. L'objectif dans ce chapitre est donc d'analyser la tâche ainsi que les connaissances, les traitements et les buts poursuivis associés à cette tâche par les pilotes. Deux méthodes d'analyse de la tâche sont présentées : la méthode « CTA » (*Cognitive Task Analysis*) de Clark, Feldon, van Merriënboer, Yates, & Early (2008) et celle de « la description de la tâche selon les objectifs des opérateurs » de Sebillotte (1991). Ces deux méthodes sont ici présentées car elles seront utilisées par la suite (*cf.* études 1 et 2) afin de réaliser une analyse cognitive de la tâche.

3.1 La méthode CTA (*Cognitive Task Analysis*)

Selon la méthode CTA (Clark et al., 2008), l'analyse cognitive de la tâche se déroule la plupart du temps en cinq étapes :

- Collection des connaissances préalables ;
- Identification des représentations des connaissances ;
- Application de méthodes de recueil des connaissances ;
- Analyse et vérification des données recueillies ;
- Formalisation des résultats pour l'application visée.

Collection des connaissances préalables

Cette première étape a pour objectif de définir les tâches dans leur globalité afin d'identifier lesquelles deviendront le point central pour la suite de l'analyse. Autrement dit, c'est une étape de familiarisation avec le domaine, le contenu, le système. Ici, plusieurs techniques peuvent être utilisées : l'analyse de documents, l'entretien, ou encore l'observation.

Identification des représentations de connaissances

A la suite de la collecte des connaissances préalables, à cette étape, il s'agit d'organiser les premières données recueillies afin d'identifier les tâches et les sous-tâches ainsi que les types de connaissances requises pour les effectuer. Cette première description va permettre d'orienter la suite, d'en donner une direction plus précise.

Application de méthodes de recueil de connaissances

A cette étape, l'objectif est d'approfondir la base de données établie lors des deux étapes précédentes relative aux tâches visées. Pour cela, plusieurs méthodes de recueil de connaissances existent qui ont comme point commun d'appréhender les conditions et les traitements cognitifs nécessaires pour la résolution d'un problème complexe. La technique utilisée dans cette troisième étape est l'entretien oscillant souvent entre entretien semi-dirigé et dirigé.

Une de ces méthodes est la CPP (*Concepts, Processes and Principles*) qui consiste notamment à avoir accès aux connaissances automatisées et inconscientes des opérateurs experts. Lors de l'application de cette méthode, l'analyste peut être en mesure de recueillir par exemple des informations relatives aux tâches et aux sous-tâches, aux décisions prises pour atteindre ces sous-tâches, aux traitements mis en jeu ou encore aux conditions nécessaires pour commencer une sous-tâche.

Analyse et vérification des données acquises

Une fois les données recueillies, il est nécessaire dans un premier temps de les analyser. Pour cela, une première étape consiste à transcrire les entretiens menés lors de la phase précédente. Une fois ces transcriptions réalisées, l'objectif est de coder les données dans un format qui permette ensuite leur présentation à des experts pour en collecter leur avis. Autrement dit, la deuxième étape ici consiste en la présentation des données recueillies à des experts afin que ces derniers les vérifient, les corrigent ou les affinent. L'objectif est donc de s'assurer que les données collectées sont justes et complètes.

Formater les résultats pour l'application visée

Enfin, lors de cette dernière étape, l'objectif est que les données recueillies soient traduit en modèles utilisables par les concepteurs des systèmes par exemple.

3.1.1 Domaines d'application de la CTA

L'analyse cognitive de la tâche a été utilisée dans de nombreux domaines, notamment médical (Potworowski & Green, 2013) et aéronautique (Seamster, Redding et Kaempf, 1997). Selon ces études, différentes méthodes et techniques de la CTA sont convoquées. Par exemple, dans l'étude de Steinberg et Gitomer (1993), les auteurs utilisent la méthode PARI (*Precursor, Action, Result, Interpretation*) afin d'analyser la résolution de problèmes chez les techniciens de maintenance des systèmes hydrauliques dans les avions. La méthode PARI se décline en plusieurs étapes où **P** fait référence aux hypothèses de travail (point de départ), **A** renvoie à la ou les action(s) mises en place pour tester l'hypothèse de travail, **R** est le résultat observé de l'action et **I** fait référence à l'interprétation construite à partir des résultats (c'est le prochain

point de départ). Steinberg et Gitomer (1993) obtiennent ainsi deux types de résultats. Tout d'abord, leurs données recueillies mettent en lumière la nature des différences entre experts et novices (e.g. présence ou non de modèles mentaux, connaissances sur les caractéristiques des pannes, flexibilité dans la sélection des stratégies, etc.) permettant de faire des recommandations quant au système de tutorat. En outre, ils obtiennent des résultats quant à l'interaction mise en place par les techniciens afin de résoudre un problème, ce qui permet par la suite de faire des recommandations en vue de l'amélioration des interfaces.

L'étude de Seamster, Redding et Kaempf (1997), quant à elle, a été menée auprès de contrôleurs du trafic aérien. Dans cette étude, ils utilisent la méthode de décision critique qui permet d'appréhender et de définir les exigences de décision d'une tâche. Ainsi, ils demandent à huit opérateurs (contrôleurs experts) de réaliser deux scénarios de vol sur simulateur. L'intérêt de cette simulation est d'avoir un support pour mener les entretiens portant sur des situations de prise de décision. Ainsi, des entretiens semi-directifs conduits amenaient les participants à parler des prises de décision faites lors d'incidents déjà expérimentés. Les questions abordées lors de l'entretien concernent des options de décision, des signaux critiques pour la compréhension de la situation, des alternatives de buts possibles, des facteurs causaux, des erreurs, des hypothétiques (est-ce que si... ?), des données manquantes, des comparaisons avec des non-experts. Afin d'analyser ces données, les expérimentateurs les ont transcrites et ont élaboré des catégories de codage en utilisant une méthode inter-juges (où plusieurs codeurs de l'information confrontent leur codage et résolvent ensuite les conflits sur les différents types de codage fait). Cette analyse aboutit finalement à un tableau des exigences de décision (e.g. réaliser une évaluation de la situation, reconnaître des événements significatifs, résoudre les conflits, etc.), à une liste des stratégies prises par les contrôleurs lors de prise de décision (e.g. pour la résolution de conflit, une des stratégies est d'utiliser une simulation mentale pour projeter la course et la future localisation de l'avion relative aux autres avions et à l'espace aérien) et des exemples d'erreurs faites par les contrôleurs (e.g. ne pas voir l'avion ou une donnée, ne pas entendre ou encore ne pas percevoir un problème).

Une limite pouvant être émise quant à cette méthode concerne sa généralité. Autrement dit, c'est une méthode globale qui décrit les grandes étapes à suivre afin d'aboutir à une analyse cognitive de la tâche. En revanche, cette méthode globale ne propose pas de méthode spécifique permettant d'atteindre l'identification des représentations de connaissance et leur recueil. Ainsi, nous avons choisi de compléter cette méthode CTA avec celle de Sebillotte (1991) qui fournit une description détaillée d'une méthode permettant d'accéder aux représentations des opérateurs ainsi qu'une méthode permettant de formaliser le recueil de données.

3.2 La description de la tâche selon les objectifs des opérateurs

Pour notre étude, nous avons décidé d'utiliser la méthode de Sebillotte (1991) qui consiste en la description de la tâche selon les objectifs des opérateurs. Cette méthode permet d'avoir accès non pas à une description de la tâche effectivement réalisée mais bien à la représentation qu'ont les opérateurs de ce qu'ils ont à faire. Plus précisément, cette méthode permet d'appréhender :

- « les objectifs visés dans la planification des actions des opérateurs,
- leur propre logique dans l'exécution de la tâche,
- les procédures utilisées pour atteindre ces objectifs,
- les conditions nécessaires à l'application de ces procédures » (p. 2).

L'objectif étant d'atteindre les représentations mentales des pilotes, la technique convoquée est l'entretien. La manière de mener ces entretiens a des implications sur les données qui vont être recueillies. Sebillotte conseille de partir de la question « En quoi consiste votre travail ? » où l'entretien est libre et où le sujet peut s'exprimer librement. Lorsque l'opérateur a fini de parler, l'entretien prend une tournure semi-dirigée avec l'application de la technique du « Pourquoi et Comment » de Graesser (1978). Autrement dit, à cette étape, l'objectif est d'obtenir des informations complémentaires à ce qui a été dit précédemment. Les questions « Pourquoi faites-vous cela ? » et « Comment faites-vous cela ? » permettent d'obtenir des informations sur les objectifs poursuivis ainsi que sur les procédures mises en place. Enfin, il est important de recueillir également des informations concernant la séquence des tâches et sous-tâches à réaliser.

Une fois ces informations collectées, elles sont analysées. L'analyste transcrit les entretiens afin de pouvoir y extraire et analyser différentes informations telles que le nom des tâches et sous-tâches, les objectifs visés, les procédures suivies, les prérequis ou encore l'organisation générale.

A la suite de cette étape, il est intéressant de faire une vérification de l'analyse en rencontrant à nouveau des opérateurs et en leur présentant la description de la tâche précédemment réalisée.

Une fois le modèle de tâche obtenu, il est nécessaire de le formaliser. Autrement dit, d'« utiliser un formalisme compréhensible par les personnes qui vont s'en servir par la suite ». Il existe plusieurs formalismes pour décrire la tâche. L'un d'eux est la « Méthode Analytique de Description des tâches » (MAD ; Scapin, 1988 ; Scapin & Pierret-Golbreich, 1989). Cette formalisation permet de décrire la tâche de manière à faire apparaître la hiérarchie existante entre les tâches et les sous-tâches. De plus, cette description nous fournit plusieurs éléments de définitions des tâches que sont :

- les états initiaux, autrement dit, l'état du monde ou objets présents lors de l'entrée dans la tâche ;
- les états finaux, c'est-à-dire les données / objets recueillies en sortie à la suite des actions menées ;
- les buts poursuivis par les opérateurs (que l'on peut aussi appeler les sous-tâches) ainsi que leur organisation (séquentielle, parallèle, simultanée, alternative). Egalement, il est précisé si les tâches sont facultatives ou obligatoires ;
- les prérequis (ou conditions) nécessaires pour atteindre une ou plusieurs sous-tâche(s). On parlera soit de conditions déclenchantes soit de conditions nécessaires (mais qui ne déclenche pas automatiquement la tâche à suivre) ;
- les actions, c'est-à-dire les sous-tâches (buts) qui ne sont plus décomposables.

Ces formalisations de description de tâches permettent donc de les traduire dans un langage compréhensible par d'autres opérateurs (et les concepteurs des systèmes) qui les utiliseront par la suite. Ceci est encore plus important pour les systèmes complexes, tels que les cockpits d'avion de transport aérien où l'on retrouve beaucoup d'automatisation. En 1994, Sebillote se propose de mettre en place cette méthode et cette formalisation de description de la tâche selon les objectifs des opérateurs afin d'analyser les tâches des commandants de navire et cela quant à une situation précise : lorsqu'ils sont confrontés à un feu en mer. Suite à cette analyse selon la méthode MAD de ce terrain d'étude, Sebillote déduit des spécifications ergonomiques afin d'établir des contraintes de conception pour une interface (figure 22). Il envisage de faire une analyse de tâche pour arriver à une formalisation (MAD) et également de prendre en compte le point de vue de la littérature relatif aux recommandations ergonomiques. C'est ensuite la mise en relation entre ces différents éléments qui permettra de déboucher sur la proposition d'une interface répondant aux besoins ciblés.

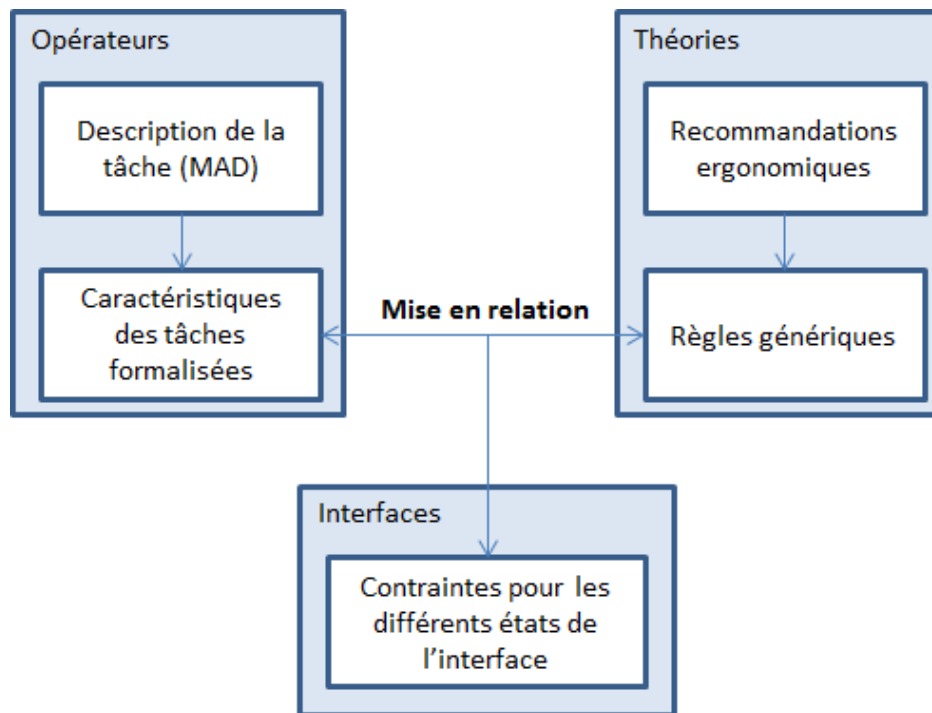


Figure 22 : Modèle pour proposer des recommandations pour la conception d'interface (d'après Sebillotte, 1994)

3.2.1 Etude de l'analyse cognitive de la tâche chez les pilotes de transport aérien

Sherry, Polson, Feary et Palmer (2002) réalisent une analyse de l'interaction existante entre les pilotes et l'automatisation. Plus précisément, lorsqu'ils parlent d'automatisation dans cette étude, ils font référence au MCDU (*Multi Control Display Unit*). Pour faire cette analyse de l'interaction pilote-MCDU, les auteurs se fondent sur le modèle RAFI (*Reformulate, Access, Format, Insert*) qui met en lumière quatre étapes dans la cognition du pilote auxquelles peut être ajoutée une cinquième, « V », qui réfère à la Vérification et à la surveillance (Sherry et al., 2002). Ce modèle RAFI n'a pas été conçu en suivant la méthode de Sebillotte et la formalisation MAD mais résultent plutôt de la méthode « *Cognitive Walkthrough* » de Polson et Smith (2001) ainsi que de la formalisation GOMS (*Goals, Operators, Methods, and Selection rules*) issue de l'étude de Polson, Irving et Irving (1994).

La *Cognitive Walkthrough* est une méthode d'inspection d'utilisabilité. Elle repose sur les descriptions faites par les pilotes des tâches à réaliser, des séquences d'actions requises pour accomplir la tâche et des changements d'affichages qui résultent de chaque action.

GOMS permet d'obtenir une représentation hiérarchique détaillée de la tâche faisant apparaître les séquences des opérations cognitives et des actions physiques nécessaires à l'atteinte d'une

tâche donnée. Ils obtiennent donc à la suite de leur analyse et grâce au formalisme GOMS le modèle RAFI :

« **Reformuler** les tâches de la mission dans un ensemble de données qui puissent être communicables à l'automatisation ». Autrement dit, le pilote doit être en mesure de convertir des données provenant de l'extérieur (ATC, cartes, etc.) afin qu'elles soient transférables au système automatisé (MCDU). Le pilote doit alors se créer une représentation mentale de la manière dont sera utilisée l'automatisation. La difficulté à ce niveau d'activité est que l'automatisation ne supporte pas toutes les tâches de mission qui peuvent être transmises par l'ATC. De ce fait, le pilote doit reformuler la tâche en plusieurs séquences de sous-tâches que pourra ainsi réaliser le système automatisé.

« **Accéder** à la bonne interface utilisateur ». A cette étape, le pilote doit identifier les actions à mettre en place afin d'accéder au bon affichage sur l'interface qui permet d'insérer les données. Cela fait référence à la hiérarchie des pages qui existe dans le MCDU. Ici, le risque est l'erreur d'action pour arriver à la page recherchée. Cette étape peut être coûteuse cognitivement lorsque le pilote ne connaît pas bien le système (ex : passage d'un FMS Airbus à un FMS Boeing).

« **Formater** les données afin de les insérer ». A ce moment, le pilote doit dans un premier temps formuler l'information puis les transformer dans le format adéquat. Palmer, Hutchins, Ritter et van Cleemput (1992, p.27) montrent la complexité de l'activité de formatage des données à la suite d'une clairance ATC. La difficulté à cette étape est que le système ne fournit pas à chaque fois des indications concernant le format attendu.

« **Insérer** les données ». Ce niveau renvoie aux actions à mettre en place afin d'entrer les données dans le système. Dans le MCDU, il faut insérer une donnée d'altitude à l'aide des touches puis la valider via la clé de sélection.

« **Vérification et surveillance** ». Ici, l'opérateur doit s'assurer que le système a bien pris en compte la donnée insérée. Cela va passer par la surveillance des différentes interfaces du FMS (voir si les données évoluent en fonction des nouvelles données insérées).

Dans leur article, Sherry et ses collaborateurs donne un exemple d'activité cognitive pour l'exécution d'une tâche de compensation latérale de route (« déviation temporaire de la route planifiée »), (figure 23).

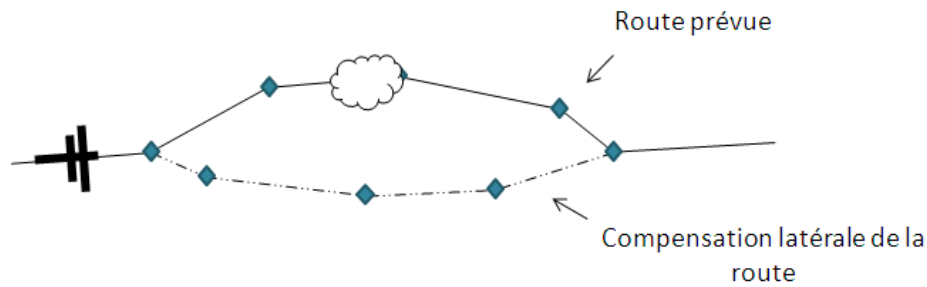


Figure 23 : Exemple d'un écart de route latérale, d'après Sherry et al. (2002)

Tout d'abord, le pilote doit reformuler la tâche. Ici, ce sera donc « possible compensation de route active de 1 à 6 miles à droite ». A la suite de quoi, le pilote doit accéder à la bonne page qui est la page route du MCDU. Il doit alors savoir que la page route est labélisée RTE sur le système. Une troisième étape consiste donc à formater les données. Pour une compensation latérale, il va donc devoir indiquer sur le MCDU en premier le côté duquel va se dérouler la compensation (R (*right*) or L (*left*)) et ensuite le nombre de nautiques d'écart. Enfin, le pilote va insérer les données, ce qui signifie qu'il doit savoir sur quelle clé de sélection appuyer. Dans ce cas, il devra exécuter en appuyant sur la clé 6R.

Cette analyse cognitive de l'interaction pilote-MCDU permet de comprendre une partie de l'activité des pilotes travaillant avec le FMS. Elle met en lumière la complexité de la tâche de traitement de l'information lors de l'interaction avec un système automatisé. Cette complexité du système couplé avec l'évolution dans un environnement dynamique va imposer au pilote d'avoir une bonne conscience de la situation afin de pouvoir prendre les décisions adéquates et mettre en place les actions appropriées.

3.3 Conclusion intermédiaire

La méthode CTA de Clark et al. (2008) permet donc d'avoir de grandes lignes directrices, les grandes étapes à suivre permettant d'aboutir à une analyse cognitive de la tâche. En revanche, cette méthode CTA ne donne pas d'indication quant aux méthodes à suivre afin de compléter chaque étape. En effet, les études appliquant la CTA, comme celles de Steinberg et Gitomer (1993) et de Seamster, Redding et Kaempf (1997), utilisent chacune des méthodes différentes. Dans les deux études réalisées dans ce travail de thèse (*cf.* chapitres 4 et 5), la méthode de Sebillotte (1991) est utilisée comme moyen, méthode pour compléter deux des cinq étapes de la CTA : l'application de méthodes de recueil des connaissances et la formalisation des résultats pour l'application visée. Dans un premier temps, cela nous a ainsi permis d'acquérir et de mettre en pratique une méthodologie quant à l'élaboration des entretiens afin d'accéder aux représentations de la tâche des opérateurs. Ensuite, cette méthode nous a permis de choisir un

formalisme nous permettant de décrire notre analyse de la tâche. Le formalisme MAD a été choisi pour nos études notamment car il permet de faire ressortir la hiérarchisation des tâches et des sous-tâches. Toutefois, l'étude de Sherry et al. (2002) montre que bien d'autres formalismes existent et peuvent être utilisés dans le cadre d'une analyse cognitive de la tâche.

Chapitre 4

Etude 1 : Analyse cognitive de la tâche de pilotage

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.1 | Méthodologie | 75 |
| 4.1.1 | Participants..... | 75 |
| 4.1.2 | Matériel et déroulement..... | 77 |
| 4.1.3 | Méthode d'analyse..... | 78 |
| 4.2 | Résultats : Identification des représentations | 79 |
| 4.2.1 | Tâches et méta-tâches..... | 79 |
| 4.2.2 | Différences selon buts les poursuivis | 81 |
| 4.2.3 | Charge de travail selon les phases de vol..... | 83 |
| 4.2.4 | Point de vue des pilotes de ligne à propos de l'évolution de l'automatisation et de son impact sur leur activité | 84 |
| 4.3 | Conclusion intermédiaire..... | 85 |

Chapitre 4 : Etude 1 - Analyse cognitive de la tâche de pilotage

A notre connaissance, excepté les quatre méta-tâches (*Aviate*, Naviguer, Communiquer et Gérer les systèmes), aucune analyse cognitive d'une tâche de vol (*aviate*, naviguer ou communiquer) n'a été réalisée pour toutes les phases de vol. Or, des analyses détaillées et des descriptions de la tâche sont requises pour examiner les traitements et les exigences cognitives des différentes tâches de vol. Ainsi, dans une première étude, nous avons réalisé une description des tâches de pilotage. Ici, nous définissons le terme « pilotage » comme l'activité globale que le pilote a à réaliser pour effectuer son vol dans son entièreté.

Cette étude exploratoire correspond à la première étape de la CTA, c'est-à-dire au recueil des connaissances préalables. Pour cela, nous avons consulté différents manuels de formation (*pilot's guide*, FCOM, FTSM, etc.), nous avons assisté à des séances d'entraînements sur un simulateur d'A320 au centre d'Airbus Training à Toulouse. Nous avons également procédé à une observation lors d'un vol Air-France dans un Airbus 320. La journée de vol était composée de quatre vols : Toulouse – Paris, Paris – Nice, Nice – Paris, Paris – Toulouse. Enfin, nous avons réalisé sept entretiens auprès de pilotes. Comme détaillé plus haut, les entretiens étaient semi-directifs avec une première question large « quelles tâches avez-vous à réaliser lors d'un vol ? ».

L'objectif de cette session d'entretiens était donc d'une part de recueillir des premières données (non exhaustives) à propos de la tâche de pilotage (au sens large) afin d'extraire des informations relatives aux natures des tâches principales et d'autre part, de comprendre si celles-ci avaient été modifiées avec l'apparition de l'automatisation dans les cockpits. De plus, il était intéressant de voir s'il y avait des invariants et/ou des différences dans la manière de réaliser les tâches selon les types d'avions pilotés et les objectifs suivis par les pilotes. Il était important de comprendre cela notamment afin de voir si la tâche réalisées avec de l'automatisation l'avait totalement transformé et dans l'affirmative, comprendre en quoi, pourquoi et ce que cela engendrait chez les pilotes.

4.1 Méthodologie

4.1.1 Participants

Sept pilotes ayant une expérience professionnelle différente ont été rencontrés. Deux d'entre eux sont des pilotes d'avion léger : un était en cours d'apprentissage et aller passer sa licence de pilotage ; le second est un pilote de transport touristique de type Socata TB20 (figure 24) ou Cessna 310.



Figure 24 : Socata TB20

Quatre autres pilotes sont ou ont été pilotes dans l'armée de l'air dont trois ont volé sur des avions de chasse de type Mirage (figure 25) et un sur des avions de transport militaire (gros porteurs) de type Embraer ou Nord 2500 (figure 26).



Figure 25 : Mirage



Figure 26 : Nord 2500

Trois de ces quatre pilotes ont ensuite travaillé en compagnie aérienne et donc ont volé sur de gros porteurs de type A320 (figure 27) ou B757.



Figure 27 : A320

Le dernier pilote était pilote dans l'aéronavale et volait également sur des chasseurs de type Crusader (figure 28).



Figure 28 : Crusader

4.1.2 Matériel et déroulement

Les participants

Les questions des entretiens semi-directifs étaient orientées autour de trois thèmes principaux (*cf.* Annexe 1) pour la grille détaillée des entretiens) :

- les tâches des pilotes : tâches et sous-tâches que les pilotes ont à réaliser tout au long du vol. Ici des questions à propos des phases de vol existantes étaient également abordées.
- l'évolution de l'automatisation : évolution de l'automatisation dans les cockpits et plus précisément quels étaient les systèmes émergents et leur(s) fonction(s) (comme par exemple l'autopilote ou le FMS).
- et l'impact de l'automatisation sur l'activité des pilotes : cela afin de comprendre si de nouvelles tâches ont fait leur apparition et/ou si la manière de les réaliser en a été modifiée.

Les entretiens étaient composés d'environ 14 questions et la durée d'un entretien était en moyenne de 90 minutes avec une moyenne de nombre de mots de 9600 mots. Tous les entretiens ont été enregistrés puis transcrits, ce qui a permis d'avoir une base de travail « complète » et importante, portant donc sur 10 heures 30 minutes d'entretien, soit 67 370 mots (Annexe 3).

Ces entretiens étaient réalisés individuellement (soit dans un bureau au sein de l'université, soit sur leur lieu de travail) et enregistré via l'utilisation d'un dictaphone avec l'accord des participants (*cf.* feuille de consentement, Annexe 2) Avant de débiter l'entretien, il était demandé aux pilotes de détailler leur parcours professionnel en tant que pilote (expérience personnelle, expérience professionnelle, nombre d'heures de vol et types d'avions pilotés). A la suite de quoi, l'entretien autour des trois thèmes était mené.

4.1.3 Méthode d'analyse

Une analyse thématique a ensuite été conduite en suivant la méthode de Sebillotte (1991). Pour cela, nous avons travaillé à partir des retranscriptions (papier/stylos) afin de relever et catégoriser différents types de données dans les entretiens (Annexes 4 et 5) :

- les **tâches** et plus précisément leur nom et leur définition
- les **sous-tâches** (séquence d'actions) que le pilote effectue pour réaliser la tâche
- les expressions renvoyant à la **séquence d'actions** et notamment tous les connecteurs de types « ensuite », « après », « et », « pendant », etc.
- les expressions qui décrivent la tâche et notamment qui expliquent l'**exigence** de la tâche, comme par exemple « c'est compliqué », « ça allège la charge de travail », « c'est plus simple », etc.
- les différentes phases de vol existantes.

A la suite de cette analyse thématique, nous avons formalisé les résultats en nous appuyant sur la Méthode Analytique de Description des tâches (MAD) de Scapin et Pierret-Golbreich (1989). Ce formalisme permet de décrire la tâche de manière à faire apparaître la hiérarchie existante entre les tâches et les sous-tâches. De plus, on retrouve dans cette description plusieurs éléments venant définir la tâche comme :

- **Les états initiaux**, c'est-à-dire l'état du monde ou objets présents lors de l'entrée dans la tâche.
- **Les états finaux**, c'est-à-dire les données / objets recueillies en sortie à la suite des actions menées.
- **Les buts** poursuivis par les opérateurs (que l'on peut aussi appeler les sous-tâches) ainsi que leur organisation (séquentielle, parallèle, simultanée, alternatif). Egalement, il est décrit si les tâches sont facultatives ou obligatoires.
- **Les prérequis** (ou conditions) nécessaires pour atteindre une ou plusieurs sous-tâche(s). On parlera soit de conditions déclenchantes soit de conditions nécessaires (mais qui ne déclenche pas automatiquement la tâche à suivre).
- **Les actions**, c'est-à-dire les sous-tâches (buts) qui ne sont plus décomposables.

Cette méthode nous permettait ainsi de présenter les données sous la forme d'un arbre hiérarchique des tâches. Ce formalisme nous a ensuite permis de pouvoir comparer les résultats entre les différents types de pilotes rencontrés et donc d'observer s'il y avait des différences dans les tâches réalisées selon les buts poursuivis.

4.2 Résultats : Identification des représentations

Cette première analyse a permis d'aboutir à des résultats concernant la tâche de pilotage et plus particulièrement les méta-tâches. En outre, nous avons également obtenu des résultats par rapport à l'analyse subjective des pilotes concernant la charge de travail et ce selon les phases de vol. Enfin, nous avons eu accès à la représentation que les pilotes avant de l'automatisation et de son impact sur leur activité.

4.2.1 Tâches et méta-tâches

Durant les entretiens, tous les pilotes (armée de l'air, transport aérien et tourisme) ont abordé les quatre méta-tâches définies dans la littérature par des recherches antérieures (figure 29). Ils définissent ces tâches de la manière suivante :

- **Naviguer** : aller d'un point A vers un point B tout en sachant où l'on se trouve sur le globe. Il y a, selon eux, deux sous-tâches principales : la préparation du vol en pré-vol et ensuite la surveillance de données en vol.

Ainsi, dans un premier temps en phase de préparation du vol, les pilotes ont à étudier le plan de vol à réaliser. Ils vont ici faire de la recherche d'informations dans les différents documents à leur disposition (cartes météo, NOTAMs, cartes de navigation, etc.) afin d'établir leur trajectoire de vol. Ils devront également prendre en compte des aspects tels que l'emport de carburant en fonction de données telles que les exigences de la compagnie aérienne (pour les pilotes de lignes) ou encore les possibles imprévus auxquels ils pourraient avoir à faire face. Puis, est citée une seconde sous-tâche liée à la navigation, c'est la surveillance des données de navigation en vol (comme par exemple la trajectoire latérale ou verticale ou encore la trajectoire à venir).

- **Voler** : faire voler et stabiliser l'avion afin de suivre une trajectoire donnée. Ceci peut être fait manuellement ou en utilisant l'autopilote.

Lorsque le pilote gère l'avion manuellement, il va agir sur différentes commandes de vol comme le manche ou encore les manettes des gaz. Il est important de noter ici que ce pilotage manuel est différent entre les pilotes de ligne et les pilotes volant sur avions légers ou avions de chasse. En effet, les pilotes de ces deux types d'avions vont transmettre des ordres directs à l'avion en agissant par exemple sur le manche. Il n'y a alors pas d'intermédiaire entre l'action du pilote et la réception de l'information par l'avion. En outre, les pilotes sur avions légers comme sur chasseurs vont recevoir des *feedbacks* proprioceptifs (« pilotage aux fesses »). A l'inverse, pour les pilotes volant sur gros porteurs, les ordres des pilotes sont transmis à l'avion via des commandes électroniques, appelés « *Fly-by-wire* ». De ce fait, les pilotes n'agissent plus directement sur l'avion mais passent par des commandes intermédiaires. De plus, les *feedbacks* proprioceptifs sont amoindris dans les avions de ligne afin de satisfaire le confort des passagers.

Ces deux aspects peuvent contribuer à sortir petit à petit les pilotes de ligne de la boucle de contrôle. Le pilotage peut également se faire de manière automatique via l'utilisation de l'autopilote. Ceci se fera principalement pour les vols commerciaux. A ce moment-là, lorsque le pilote aura engagé le pilote automatique, l'avion suivra soit des informations renseignées dans le FMS en début de vol (mode managé), soit des informations insérées manuellement dans le FCU au cours du vol (mode sélectionné). En dehors des modifications de paramètres de vol (tels qu'un nouveau cap) apportées sur le FCU, la tâche principale en pilote automatique consiste en la surveillance des paramètres de vol.

- **Communiquer** : Cette communication s'effectue soit entre les pilotes et les contrôleurs, soit entre commandant de bord et copilotes ou encore entre les pilotes et la compagnie.

Pour les pilotes interrogés, cette communication est principalement de la communication entre les pilotes et les contrôleurs. En effet, ils annoncent leur(s) intention(s) au contrôleur (telle qu'une demande de Direct To) et/ou reçoivent des instructions de ce dernier. Cette communication est principalement orale (radio), mais peut également être écrite via le DCU (*Dedicated Control and Display Unit*) et le MCDU.

La communication entre le commandant de bord et le copilote, même si elle n'est abordée que très peu lors des entretiens, n'est toutefois pas à négliger. En effet, la communication entre ces deux membres d'équipage est importante lors des cross-check ou encore lors des briefings qui ont entre autre l'intérêt d'instaurer une conscience de la situation partagée entre les deux pilotes.

Enfin, une communication entre les pilotes et la compagnie aérienne est possible (mais non abordée lors des entretiens) avec l'utilisation de messages pré-formatés ou de texte libre, si elle est disponible, par radio.

- **Gérer les systèmes** : Ici, les systèmes à gérer sont en particulier les systèmes électriques, les systèmes hydrauliques.

Selon les pilotes de notre étude, cette tâche renvoie principalement à la gestion des systèmes moteurs. Le pilote peut surveiller les différents systèmes via l'ECAM (*Electronic Centralized Aircraft Monitoring*) et corriger certains éléments notamment via le panneau de commande se trouvant au-dessus de leur tête.

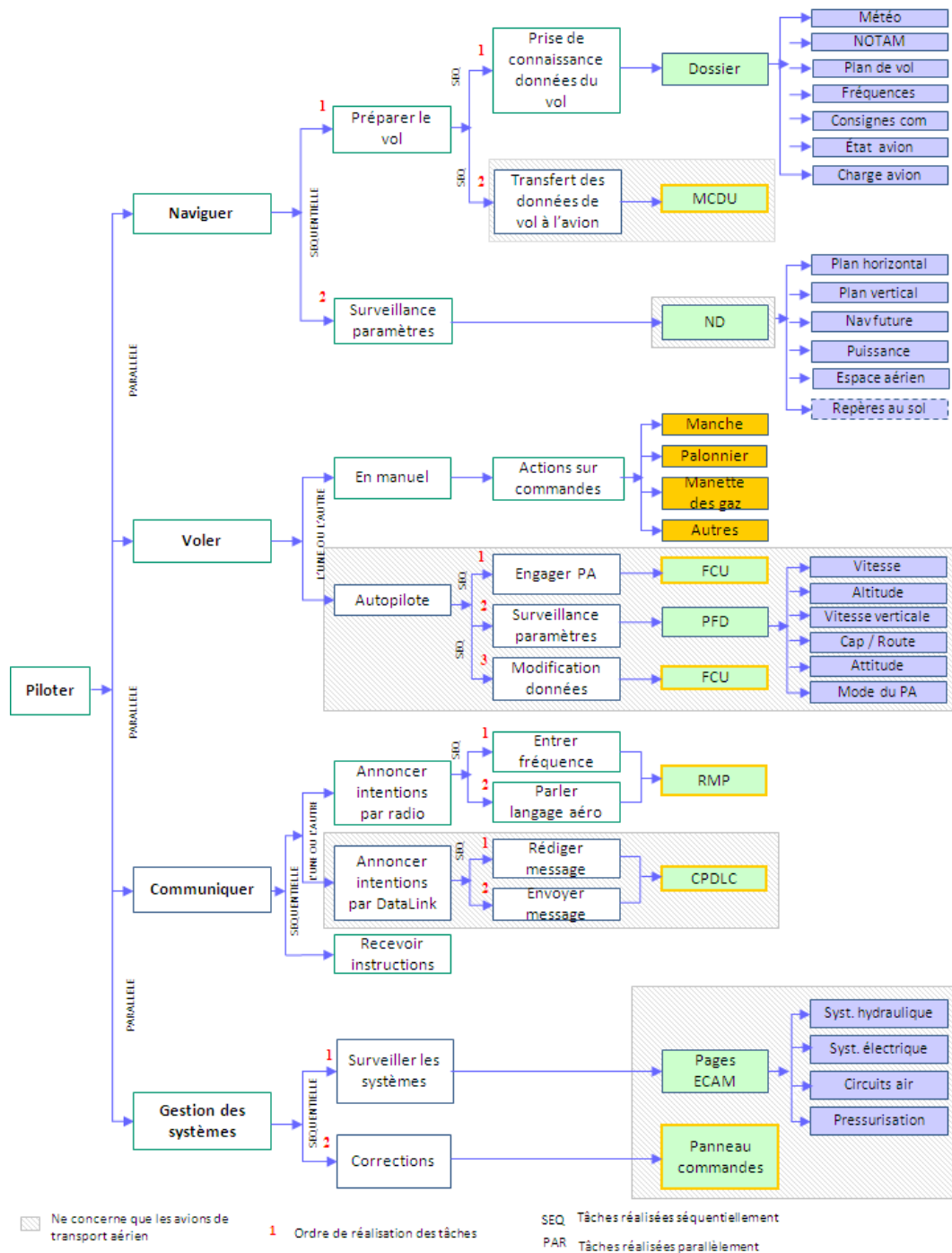


Figure 29 : Arbre hiérarchique des tâches

4.2.2 Différences selon buts les poursuivis

La principale différence que nous pouvons relever ici se trouve entre les pilotes utilisant ou non un FMS. Sur les systèmes automatisés, nous observons que la tâche principale est la surveillance de données en vol (surveillance de données de navigation et surveillance de données en rapport avec la trajectoire de vol immédiate). Ceci peut réduire la vigilance, surtout pendant des vols long courrier (P1 : « la fiabilité des équipements a augmenté de façon considérable avec les

équipements digitaux, leur fiabilité a été augmenté par 10, 20, 30, etc., ce qui fait que les pannes sont rares et donc on n'a pas grand-chose à faire et on a la vigilance qui se relâche et parfois on ne regarde pas des dérives insidieuses qui peuvent s'effectuer... »). A l'inverse, sur les systèmes non automatisés, les pilotes ont à faire de nombreuses vérifications, manipulations ou calculs pour la navigation (P3 : « la navigation, à chaque waypoint, ce que je dois faire c'est de vérifier à chaque point tournant, on a des moyens mnémotechniques, nous c'est CARPET, ça veut dire que je vérifie mon Cap, mon Altitude, ma Radio, est-ce que j'ai bien fait ma radio, est-ce que j'ai bien mis la bonne Puissance de mon moteur, est-ce que j'ai encore de l'Essence et la Température, ça fait penser à tout ce qui est température moteur, tout ce qui est diagnostic de panne. Donc grosso-modo, nous c'est toutes les 8 minutes ou 12 minutes, on fait ce petit travail là »). En même temps, les pilotes doivent contrôler et stabiliser l'avion sur la trajectoire. Ceci permet de maintenir un bon niveau de vigilance (P3 : « il faut sans arrêt que je sois en train de compenser. J'ai un petit volet aussi sur lequel je joue pour compenser. Je suis sans arrêt en train de travailler pour bien équilibrer mon avion »). Cependant, dans le cas de la survenue d'un problème ou d'une panne, la charge de travail peut augmenter rapidement.

Une autre différence se trouve entre les pilotes de l'armée de l'air et les deux autres catégories de pilotes (transport aérien et tourisme). Cette différence réside dans les buts poursuivis. En effet, pour les pilotes de l'armée, le but est la mission (militaire). Cela implique une importante pression temporelle, notamment en territoire ennemi car les conditions peuvent varier très rapidement (P6 : « Je me rappelle d'une mission très particulière [...]. Je devais aller photographier un chantier en construction pour savoir ce que c'était exactement, prendre des mesures de ce truc-là, voir s'il fallait le détruire ou laisser faire. Et l'imprévu, on savait qu'ils avaient des avions qui pouvaient m'intercepter pendant cette mission. On savait qu'ils avaient des avions, on savait pas s'ils étaient en état de vol ou pas ces avions. Donc j'avais prévu des leurres antimissiles pour parce qu'on savait par nos services renseignements qu'ils détenaient tel type de missile sur ces avions, mais sans savoir s'ils allaient décoller ou pas » ; P7 : « Tout d'un coup t'arrives, t'as un front nuageux qui arrive, tu te rends compte que ça va plus être bon. Donc y ce qu'on appelle le demi-tour météo, ça veut dire qu'il y a un moment, on évalue ce qu'on a comme distance, on prend un top au chronomètre pour voir si ce qu'on a vu ça faisait 30 secondes, si y a pas 30 secondes et qu'il y a plus que 15 secondes de visibilité, ça veut dire c'est en train de se réduire et ça va pas en s'améliorant. Donc y a un moment faut faire ce qu'on appelle le demi-tour météo, où on bon ben là on arrête tout. Puis y a des moments, on peut pas le faire le demi-tour météo, parce qu'on s'est enquillé dans une vallée, y a des montagnes de chaque côté, faire un demi-tour c'est se tuer. Donc là, on va cabrer plein pot, on va monter à travers la couche nuageuse »). Ainsi, la tâche de navigation est complètement différente. En effet, celle-ci étant entièrement dépendante des objectifs de mission, elle peut très rapidement changer. A l'inverse, pour les pilotes de tourisme ou de transport aérien, le but principal étant

d'amener les passagers à destination et ce de manière sécuritaire et efficace, la navigation est stable (P2 : « *C'est vrai que quand on dit navigation à court terme, ça veut dire, maintenant je subis une turbulence très inconfortable pour les passagers. Donc maintenant, je vais envisager de changer de niveau* »). De plus, pour le transport aérien, un second objectif se greffe au premier qui concerne la consommation de carburant. La question de la consommation de carburant est cruciale pour les compagnies aériennes et par conséquent constitue un objectif très important pour les pilotes (P7 : « *Donc tout ça, c'est un savant calcul et y a des enjeux commerciaux derrière. C'est-à-dire que plus tu consommes, plus tu coutes cher à la compagnie* »).

Enfin, la catégorie de pilote qui se démarque le plus est celle des pilotes de l'aéronavale. En effet, pour eux, les phases de décollage et d'atterrissage sont remplacées par les phases de catapultage et d'appontage (P5 : « *Pour nous dans l'aéronavale y a trois phases : c'est le catapultage, le passage dans la zone hostile et l'appontage* »). Et comme pour les pilotes de l'armée de l'air, la tâche de navigation est d'avantage une tâche « d'approche vers l'objectif ».

4.2.3 Charge de travail selon les phases de vol

La présente étude montre que les phases de décollage et d'atterrissage sont, pour tous les pilotes rencontrés, les deux phases qui engendrent une charge de travail importante. Ces deux phases impliquent une pression temporelle importante et requièrent de la part des pilotes de prendre des décisions critiques (par exemple, décision à V1 au décollage), (P2 : « *Les phases où la tension est la plus élevée, c'est la course au décollage parce que c'est là où on a une décision à prendre à la fameuse V1 et où on a une seconde pour prendre une décision et que si on prend pas la bonne décision, en cas de problème, ça peut avoir des conséquences. Donc y a deux phases où y a le plus de pression, c'est la course au décollage et puis c'est la courte finale et l'atterrissage parce que là, suivant les conditions météo, on peut avoir soit à se poser, soit à remettre les gaz et ...* » ; P4 : « *La plus difficile à maîtriser, c'est l'atterrissage. Et la plus dangereuse, c'est le décollage* »).

De plus, nous pouvons voir une différence de charge de travail pour la phase de préparation du cockpit selon si l'avion est équipé ou non de systèmes automatisés. En effet, les pilotes volant avec des systèmes automatisés (et notamment d'un FMS), ont à insérer dans l'avion une quantité importante d'information, notamment concernant la navigation (P1 : « *Au travers du FMS, on se sert du calcul des vitesses de décollage. On insère la masse de l'avion, on insère la longueur de piste, on insère l'état de la piste, on insère la configuration des hyper-substantateurs, et aujourd'hui même, on insère la piste elle-même, en fonction de la pente, etc.* »), et cette action requiert des ressources attentionnelles (P1 : « *Et la manipulation du FMS est quelque chose qui monopolise l'attention et à plein temps* »).

Une autre différence concerne les interruptions de tâche en phase de préparation cockpit. En effet, les pilotes de ligne sont très souvent interrompus pendant qu'ils sont en train de transférer des données à l'avion (interactions avec d'autres opérateurs : coordinateur, service traiteur, ravitaillement, équipage de cabine, etc.).

4.2.4 Point de vue des pilotes de ligne à propos de l'évolution de l'automatisation et de son impact sur leur activité

Il ressort de nos entretiens que l'automatisation revêt des avantages et des inconvénients pour les pilotes utilisant ces systèmes automatisés.

Les avantages cités concernent premièrement les systèmes automatisés qui ont permis de simplifier la tâche, en particulier parce qu'il y a moins de calcul à faire de la part de l'opérateur (P1 : « *Ça simplifie la vie en ce sens qu'on n'a pas à effectuer tous ces calculs* », P2 : « *ça lui a simplifié la tâche* »), comme montré également par Billings (1997). Néanmoins, la charge de travail n'a pas diminué pour toutes les phases de vol. De plus, un second avantage concerne l'amélioration de la sécurité (Durso & Sethumadhavan, 2008; Liu & Hwang, 2000), (P2 : « *l'introduction du FMS a été une révolution en termes de navigation, simplifier la tâche, et surtout améliorer considérablement la sécurité...* »).

Cependant, ce deuxième point est directement relié à un premier inconvénient abordé par les pilotes : la baisse de vigilance. Cette vigilance, selon eux, décroît car :

- Premièrement, la tâche principale est devenue majoritairement une tâche de surveillance. Ainsi, leur activité change et devient une activité, (P1 : « *Avec les automatismes, on a un peu un relâchement de la vigilance* »).
- Les pilotes ont une sur-confiance dans le système, notamment les pilotes ayant toujours volé avec des systèmes automatisés, (P1 : « *Encore une fois, les automatismes introduisent un sentiment de sécurité, un sentiment indu de sécurité* »).

Un second inconvénient concerne la mauvaise ou l'incompréhension du système. En effet, l'opacité des systèmes rend leur compréhension difficile pour les opérateurs qui ne comprennent pas à chaque fois les objectifs poursuivis par l'automate, (P3 : « *Enfin les agents ne se comprennent pas, humain et artificiel ne se comprennent pas et chacun fait son but dans son coin* »).

Enfin, le dernier avantage abordé par les pilotes concerne la perte des habiletés et particulièrement en ce qui concerne le pilotage manuel. Le fait que les pilotes manient leur avion majoritairement de manière automatique, ils pilotent de moins en moins l'avion de façon manuelle et ainsi, ils ont de plus en plus de difficultés à reprendre la main sur le système lorsqu'un problème apparaît, (P1 : « *...ce qui fait que quand il y a une panne sérieuse, avec la*

panne sérieuse, on est obligé d'utiliser le contrôle manuel. Et on n'y est plus habitué. On a perdu des habiletés. On n'a peut-être pas d'ailleurs acquis des habiletés nécessaires, parce que maintenant avec la formation des pilotes, c'est surtout la formation avec les automatismes, c'est peu vers les habiletés manuelles »).

4.3 Conclusion intermédiaire

Dans un premier temps, cette étude a permis d'établir une base de connaissances à propos de la tâche de pilotage (*cf.* arbre des tâches). Les quatre méta-tâches ainsi que leurs sous-tâches associées ont été formalisées confirmant les données émises dans la littérature (Billings, 1997 ; Schutte & Tujillo, 1996 ; Wickens, 2002, 2007, 2009) et permettant ainsi d'appréhender le métier de pilote. De plus, ces entretiens ont permis d'acquérir des connaissances complémentaires quant à l'avènement de l'automatisation (Billings, 1997 ; Boy & Pinet, 2008) et de son fonctionnement dans les avions de type glass-cockpit. Également, l'analyse des entretiens quant à la charge de travail selon les phases de vol est en accord avec d'autres études précédemment réalisées (Durso & Sethumadavan, 2008 ; Schvaneveldt, et al., 2001 ; Tenney, et al., 1998), avec une charge de travail plus élevée pour les phases de début et de fin de vol et une risque d'hypovigilance pour la phase de croisière. Nos résultats sont également en accord avec la littérature en ce qui concerne la baisse de vigilance dans les *glass cockpits* (Durso et al., 2011) notamment du fait de l'activité davantage passive des pilotes (passive (Dehais, 2004 ; Sarter & Woods, 1992 ; Singh, et al., 2010 ; Endsley, 1996 ; Kaber & Endsley, 2004 ; Liu & Hwang, 2000) et de leur sur-confiance dans le système (Singh, et al., 1993). Une autre limite de l'automatisation abordée par les pilotes lors des entretiens renvoie à la mauvaise compréhension ou l'incompréhension des actions menées par le système ou des indications fournies par ce dernier. Ce résultat vient là aussi renforcer les éléments de la littérature (Endsley, 1996 ; Sarter & Woods, 1992 ; Billings, 1997 ; Wickens, 2009 ; Kaber & Endsley, 2004). Enfin, les pilotes de cette première étude disent faire face à une perte des habiletés de pilotage manuel du fait de leur utilisation quasi-permanente des systèmes automatisés. Encore une fois, cet aspect est également abordé plusieurs fois dans la littérature (Boy, 2014 ; Tenney et al. 1998 ; Wickens, 2009 ; Kaber & Endsley, 2004 ; Damos, et al., 2005).

Un deuxième bénéfice à cette étude est de comprendre les différences qui existent dans les tâches à réaliser par les pilotes selon leurs objectifs. Les pilotes de l'armée de l'air ayant comme objectif la mission militaire, la navigation est alors, notamment en temps de guerre, totalement dépendante des événements (*eg.* bombardement) et diffère en ce sens des objectifs de navigation des pilotes de ligne ou de loisir. Ces derniers poursuivent, eux, des objectifs assez similaires qui sont d'aller d'un point A à un point B et cela en stabilisant l'avion sur une trajectoire préalablement définie (Billings, 1997 ; Wickens, 2009). En revanche, la différence qui

apparaît entre ces deux expériences de pilotage renvoie à la présence et à l'utilisation ou non de l'automatisation et du FMS. Il est alors intéressant pour la suite de comprendre et d'analyser les tâches réalisées par les pilotes utilisant ou non de l'automatisation (et plus particulièrement le FMS).

Limites

Toutefois, certaines limites peuvent être émises quant à cette première étude.

Une première limite concerne l'expertise et le profil des pilotes rencontrés. En effet, la majorité des pilotes rencontrés étaient des experts. Il n'y a qu'un seul pilote interviewé qui soit novice en pilotage aux instruments. Ainsi, les données recueillies ne sont pas homogènes. Également en ce qui concerne leur profil, les pilotes rencontrés n'étaient pas tous spécialisé dans un type de vol mais avaient pour la plupart expérimenté différentes expériences. Par exemple, les pilotes de chasses ayant participé à l'étude se sont ensuite reconvertis en pilote de ligne en compagnie aérienne. Ainsi, leur représentation de la tâche à réaliser en tant que pilote de chasse a pu être influencée et modifiée par leur expérience en tant que pilote de ligne.

Une seconde limite concerne le fait qu'il n'y a pas d'analyse inter-juge réalisée quant à l'analyse thématique des entretiens. Le codage de ces entretiens n'a été réalisé que par une seule personne. De ce fait, un choix a été émis quant à la catégorisation des items dans les entretiens (ex : gérer la vitesse fait référence à la tâche de pilotage ; gérer le cap fait référence à la tâche de navigation). De même, il n'y a pas eu de confrontation experte à la suite de la production de l'arbre des tâches. Autrement dit, l'arbre des tâches n'a pas été présenté à plusieurs experts afin de le compléter ou le modifier.

Perspectives

Dans la deuxième étude, une analyse cognitive de la tâche de navigation a été menée afin de comprendre si l'utilisation de l'automatisation change radicalement les tâches des pilotes et si cela entraîne des exigences cognitives et des difficultés (utilisation du système). Avoir une analyse de la tâche sans utilisation du FMS a pour avantage de comprendre comment est réalisée la tâche sans système automatisé entre l'avion et le pilote et ainsi d'avoir un modèle de la tâche de pilotage plus générique afin d'en comprendre les exigences et besoins cognitifs et de proposer des solutions d'amélioration.

Chapitre 5

Etude 2 : Analyse cognitive de la tâche de navigation⁴

| | | |
|------------|---|------------|
| 5.1 | Méthodologie | 90 |
| 5.1.1 | Participants..... | 90 |
| 5.1.2 | Matériel | 92 |
| 5.1.3 | Méthode d'analyse..... | 93 |
| 5.2 | Résultats : identification des représentations de la tâche de navigation | 99 |
| 5.2.1 | Préparation du cockpit | 99 |
| 5.2.2 | Décollage | 101 |
| 5.2.3 | Montée | 103 |
| 5.2.4 | La croisière..... | 105 |
| 5.2.5 | Préparation descente / approche..... | 107 |
| 5.2.6 | Descente..... | 109 |
| 5.2.7 | Approche | 110 |
| 5.3 | Conclusion intermédiaire | 112 |
| 5.3.1 | Limites | 114 |
| 5.3.2 | Implications sur la conception d'un nouveau système de gestion de vol..... | 115 |
| 5.4 | Recommandations | 116 |

4

Cette étude a fait l'objet d'une publication et de deux communications lors de congrès internationaux :

Lacabanne, M., Amadiou, F., Tricot, A., & Spanghero-Gaillard, N. (2014). *Analysis of the navigational task in a glass cockpit. The International Journal of Aviation Psychology*, manuscrit soumis pour publication.

Lacabanne, M., Amadiou, F., Spanghero-Gaillard, N., & Tricot, A. (2013). Cognitive load theory as a source for re-designing Flight Management System. *6th International Cognitive Load Theory Conference*, Toulouse, 26 - 28 juin.

Lacabanne, M., Amadiou, F., Tricot, A., & Spanghero-Gaillard, N. (2012). Analysis of the flight task around different types of aircraft. *International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace (HCI-Aero 2012)*, Brussels, September 12-14.

Chapitre 5 : Etude 2 - Analyse cognitive de la tâche de navigation

Cette seconde étude, en suivant toujours la méthodologie de la CTA (Clark et al., 2008) et celle de la description de la tâche selon les objectifs des opérateurs (Sebillotte, 1991), correspond à l'étape de recueil de connaissances. En effet, une description non exhaustive de la tâche de pilotage est ressortie de la première étude. A la suite de cette première étape, nous avons décidé de nous concentrer sur la tâche de navigation et de tenter de la décrire davantage : au niveau des sous-tâches à réaliser, des exigences cognitives et des besoins informationnels que nécessite cette tâche de navigation. Pourquoi porter un intérêt particulier à la tâche de navigation ? D'une part, nous avons décidé de nous focaliser sur la tâche de navigation parce que la demande est centrée sur le FMS et, comme dit dans les chapitres précédents, le FMS a pour objectif d'être un système d'aide à la navigation. D'autre part, il n'existe pas à notre connaissance de formalisation de la tâche de navigation intégrant toutes les phases de vol (Hooey & Foyle, 2006 ; Wickens et al., 2001 ; Heiligers, Holten & Mulder, 2009 ; Olson & Sarter, 2001). Comme dit précédemment, aucune étude n'a étudié une tâche de vol bien précise (aviate, naviguer ou encore communiquer) sur un vol entier. Les études d'analyse de la tâche se centrent généralement sur un élément spécifique comme par exemple l'utilisation du MCDU, les communication en phase d'entraînement ou encore les erreurs (Bowers, Jentsch, Salas, & Braun, 1998 ; Fennell, Sherry, Roberts, & Feary, 2006; Sherry et al., 2002; Wilson, 2002; Thomas, Petrilli & Dawson, 2004; Sarter, Mumaw & Wickens, 2007, Sarter & Woods, 1992). A l'inverse, des auteurs ont fourni des résultats à propos de partie spécifique du vol et/ou un système spécifique ou fonction particulière du cockpit. Ainsi, l'objectif de cette étude est de réaliser un modèle de la tâche de navigation pour un vol entier en situation nominale (c'est-à-dire sans panne, mauvaise météo ou autres problèmes pouvant survenir en vol). Autrement dit, nous cherchons à comprendre comment les pilotes réalisent cette tâche de navigation, quelles exigences cognitives y sont rattachées et quels sont les besoins informationnels liés à cette tâche, et cela pour chaque phase de vol.

En outre, nous avons considéré les différences entre les tâches réalisées par les pilotes de ligne et les pilotes d'avions légers qui se distinguent par l'utilisation ou non du FMS. Pour concevoir les fonctions des nouveaux systèmes aidant les tâches de navigation, nous avons jugé important de mettre en lumière les invariants (et les différences) existant entre les pilotes utilisant un FMS et ce qui n'utilisent pas (ou très peu) de système automatisé. Il est important de comprendre la tâche de navigation sans processus d'aide automatisée (FMS) afin d'en comprendre les exigences cognitives et ainsi proposer de nouvelles interfaces répondant à ces exigences.

5.1 Méthodologie

5.1.1 Participants

Dix-huit pilotes se sont portés volontaires pour participer à cette étude :

- 12 pilotes travaillaient sur des avions équipés de FMS, dont :
 - 5 travaillent encore en compagnie aérienne (4 à Air-France et 1 à Air China),
 - 7 ont travaillé en compagnie aérienne et sont actuellement instructeurs à Airbus.
- 6 pilotes travaillant sur des avions non équipés de système automatisé, dont :
 - 2 pilotes travaillant sur ATR (Avion de Transport Régional) avec des FMS basiques,
 - 2 pilotes volant en IFR (Instrument Flight Rules) sur des avions sans FMS ou avec des FMS très basiques,
 - 2 pilotes qui ont travaillé sur des gros porteurs non équipés de FMS.

Les tableaux suivants synthétisent les informations recueillies spécifiant les profils des pilotes qui ont participé à notre étude 2 (Tableau 1 et 2).

| Carrière | | | | | | |
|-----------|--|---------------------------|--------------------|---|------------------------------|------------------------|
| | Fonction actuelle | Autres fonctions | Compagnie actuelle | Compagnies précédentes | Nombre d'heures de vol total | Dernier avion piloté |
| Pilote 1 | Commandant de bord | Instructeur | Air France | / | 16 500h | B777 |
| Pilote 2 | Instructeur - Examineur | Développement A350 – A380 | Airbus | Sabena airline, Singapour airline | 16 700h | A320, A330, A340, A380 |
| Pilote 3 | Commandant de bord | Instructeur - Examineur | Air France | Aerotour, EAS | 17 000h | B747 |
| Pilote 4 | Copilote | / | Air France | / | 3 500h | B777 |
| Pilote 5 | « Chief pilot Airbus corporate jets » | Instructeur - Examineur | Airbus | BCALL, British airways, Curpus airways, Eurocypria airlines | 15 000h | A320, A330, A340 |
| Pilote 6 | Commandant de bord | Instructeur | Air France | Aerospatial | 17 300h | A320 |
| Pilote 7 | Commandant de bord | / | Air China | Etihad airways, Corsairfly, Air Mauritius, Royal Air Cambodge | 12 000h | A330 |
| Pilote 8 | « Head of flight crew training » | Instructeur – Examineur | Airbus training | Air France | 16 500h | A320, A330, A340 |
| Pilote 9 | « Senior director flight crew training » | Commandant de bord | Airbus | Air 2000 | 10 000h | B757 |
| Pilote 10 | Chef de projet A350 | | Airbus | Easy jet, British midland international | ? | A320, A330, A340, A380 |
| Pilote 11 | Instructeur | Militaire | Airbus | / | / | / |
| Pilote 12 | « Director flight operations support Miami » | / | Airbus | Us airways, Skybus | 16 400h | A320 |

Tableau 1 : Récapitulatif pilotes volant sur gros porteurs

| | | Carrière | | | | |
|----------|----------|-------------------------|---|--------------------|--|-----------------------|
| | | Fonction actuelle | Autres fonctions | Compagnie actuelle | Nombre d'heures de vol total | Dernier avion piloté |
| IFR | Pilote 1 | Instructeur – Examineur | Responsable des activités aériennes ISAE | ISAE | 8000h | Avion léger type TBM |
| | Pilote 2 | Thales | | | | |
| Sans FMS | Pilote 3 | Commandant de bord | Mécanicien navigant | Air France | 14 000h (dont 1000h en tant que mécanicien navigant) | B777 |
| | Pilote 4 | Retraité | Transport militaire – pilote d'essai – transport commercial | / | 18 000h | ATR - A310 – A300-600 |
| ATR | Pilote 5 | Commandant de bord | Pilote militaire transall | Airliner | 7300h | ATR |
| | Pilote 6 | Copilote | / | Airliner | 6000h | ATR |

Tableau 2 : Récapitulatif pilotes volant sur avions non dotés de FMS ou de FMS basiques

5.1.2 Matériel

Comme dit précédemment, nous avons utilisé la technique de l'entretien afin d'accéder aux connaissances des pilotes. Afin de construire les grilles d'entretien, nous avons suivi la méthodologie décrite par Sebillotte (1991) qui présente une méthode de conduite d'entretien permettant d'accéder aux représentations mentales des opérateurs (dans notre cas, les pilotes).

Sebillotte propose d'organiser les entretiens en trois étapes : une partie non-directive avec une question large sur leur travail, une partie semi-directive avec la technique du « pourquoi, comment » et enfin une partie de synthèse.

Ainsi, les entretiens ont démarré en demandant aux pilotes « Comment définiriez-vous la tâche de navigation ? ». Lorsqu'ils n'avaient plus rien à dire à ce sujet et avant de commencer la deuxième partie semi-directive, nous présentions un schéma représentant les phases de vol qui avaient été abordées durant l'étude 1. Nous demandions alors aux pilotes s'ils étaient d'accord avec toutes ces phases de vol ou si pour eux, certaines phases n'existaient pas ou au contraire si

des phases étaient manquantes. A la suite de cette mise à jour, nous passons à la partie semi-directive. Pour chaque phase de vol « approuvée », nous leur posons une série de questions organisées autour de trois thèmes (cf. grille d'entretien Annexe 6) :

- La **réalisation de la tâche de navigation**, c'est-à-dire en quoi consiste la tâche de navigation pendant la phase x et comment ils la réalisent.
- Les **exigences cognitives de la tâche de navigation**. Autrement dit, il leur était demandé ici s'ils considéraient la tâche de navigation à la phase x exigeante (physiquement et/ou cognitivement) et si oui, pourquoi. Est-ce qu'ils ont du calcul mental à faire ou bien des décisions à prendre ou encore de la vérification de données à effectuer ?
- Les **besoins informationnels**. Les pilotes devaient dire quels types d'information ils recherchent sur le système ou qu'ils ont à insérer dans le système.

Il était stipulé aux participants que toutes les questions des entretiens concernaient des vols se déroulant en situation nominale. De plus, ces entretiens étaient orientés autour de la tâche de navigation sans pour autant que soit abordée la manière dont les pilotes exécutaient la tâche sur le FMS. En effet, nous cherchions à préciser ce qu'était la tâche de navigation pour les pilotes et non pas l'utilisation du système afin de réaliser la tâche. Autrement dit, nous souhaitions accéder à leur représentation de la tâche de navigation et donc aux objectifs visés.

Les entretiens étaient composés d'environ dix questions et avaient une durée moyenne de 74 minutes. La durée totale d'enregistrement était de 14 heures et 49 minutes avec un nombre total de 230 670 mots (moyenne de 12800 mots). Tous les entretiens ont été enregistré avec l'accord des participants (cf. feuille de consentement, Annexe 7) et ont été transcrit avec de pouvoir les analyser.

5.1.3 Méthode d'analyse

Analyse thématique

Toujours en suivant la méthode de Sebillotte (1991), nous avons tout d'abord transcrit les entretiens afin de pouvoir les analyser plus précisément (cf. Exemple de transcription d'un entretien, Annexe 8). Ensuite, nous avons procédé à une analyse thématique. Autrement dit, dans le prolongement de la première étude, nous avons catégorisé l'information et cela à l'aide de papier / stylo. Nous avons procédé à la catégorisation de l'information en plusieurs étapes (figure 30) :

- La première phase consistait à catégoriser les verbalisations selon les phases de vol auxquelles elles faisaient référence (Annexe 9) ;

- A la suite de cette première étape, nous avons, pour chaque phase de vol, catégorisé l'information selon les méta-tâches auxquelles elle faisait référence, c'est-à-dire « Naviguer », « Voler », « Communiquer », et « Gérer les systèmes » (Annexe 10);
- Enfin, au dernier niveau thématique, pour chaque méta-tâche et pour chaque phase de vol, nous avons recherché les tâches et sous-tâches, les exigences et les besoins informationnels évoqués. Nous avons mis en place un codage de l'analyse thématique comme le montre l'extrait de notre corpus ci-dessous (Annexe 11).

Est-ce que vous faites une préparation de la montée, soit une vérification de données, soit un briefing ou autre ?

En fait, cette partie là, elle a été briefée ici pendant le ... juste avant le roulage en fonction de la clairance qui a été donnée, et en fait ce check sera plus si y a une modification pendant le roulage qui intervient où effectivement là on va devoir rappeler ... vérifier... enfin introduire dans le FMS les nouveautés. Forcément faut que ce soit cross-checké par l'autre pilote, et à ce moment là va falloir updaté le briefing aux nouveaux items en refaisant un mais qui ne va reprendre que les items principaux de modification. Si y a pas de changement, bon ben c'est comme ... Donc la phase peut très bien être inexistante si tout va bien et que tout est conforme.

Donc le décollage. Là, takeoff préparation, c'est ... plus dans le sens takeoff qu'on va le faire. La montée y a pas vraiment de ... c'est une montée quoi. C'est un ensemble en fait. C'est le décollage plus la montée initiale. Donc après le décollage. Y a toute la phase de montée oui.

Figure 30 : Exemple d'analyse thématique d'un extrait d'entretien

Les entretiens étant très longs (et compte tenu des contraintes temporelles), nous avons considéré comme unité d'analyse la phrase. Autrement dit, à l'inverse de l'étude 1, nous n'avons pas analysé les unités constituées d'un seul mot comme par exemple les connecteurs de temps (*ensuite, en même temps, pendant*, etc.).

Formalisation

A la suite de cette analyse thématique, une nouvelle fois, nous avons utilisé la méthode MAD afin de formaliser nos résultats et de décrire la représentation qu'ont les pilotes de la tâche de navigation. En d'autres termes, les tâches sont représentées sous forme d'arbres hiérarchiques (en partant des méta-tâches jusqu'aux sous-tâches en finissant par les actions qui sont les dernières ramifications de l'arbre).

Dans un premier temps, nous avons donc construit un arbre des tâches pour chaque phase de vol et pour chaque pilote interrogé (figure 31) et cela pour les pilotes volant avec un FMS (*cf.* Annexe 12) et pour les pilotes volant sans FMS (*cf.* Annexe 13). Chaque arbre présente les tâches et sous-tâches (sous forme de carré en trait plein) ainsi que les informations associées nécessaires à la réalisation de la sous-tâche (sous forme de carré en pointillés). De plus, sont

présentées les informations que les pilotes obtiennent en sortie (calculées soit par lui-même soit par le système).

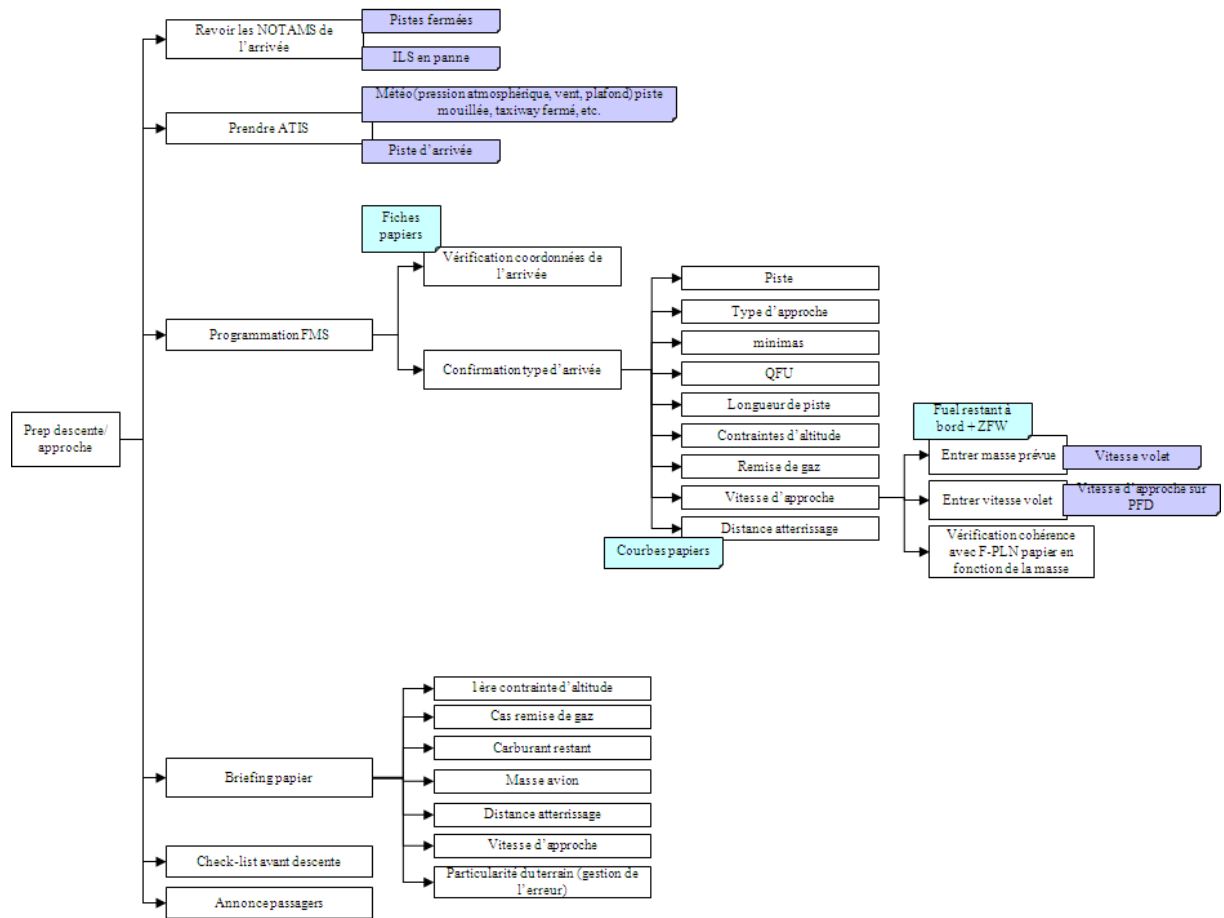


Figure 31 : Exemple de formalisation de la tâche de navigation pour le pilote 6 pour la phase de préparation descente/approche

A la suite de ces arbres des tâches « individuels » (pour chacun des pilotes), deux arbres des tâches « globaux » (autrement dit, regroupant tous les arbres des tâches individuels) ont été construits : un pour les pilotes volant avec un FMS (figure 32 et Annexe 14) et un pour ceux volant sans système automatisé (figure 33 et Annexe 15), (et cela en gardant la même légende que les arbres de tâches individuels). Afin de montrer les tâches principales et les besoins informationnels majeurs, un jeu de couleurs a été utilisé. Cela avait pour but de montrer combien de fois une tâche avait été abordée pendant les entretiens par les pilotes. En d'autres termes, plus la couleur est foncée, plus la tâche était abordée et inversement (Tableau 3 et 4) :

| Nombre de pilotes ayant abordé un élément dans les entretiens | |
|---|-----------------|
| Blanc | 1 à 2 pilotes |
| Jaune clair | 3 à 4 pilotes |
| Jaune | 5 à 7 pilotes |
| Orange | 8 à 10 pilotes |
| Rouge | 11 à 12 pilotes |

Tableau 3 : Légende du codage couleur pour l'arbre des tâches « global » des pilotes utilisant un FMS

| Nombre de pilotes ayant abordé un élément dans les entretiens | |
|---|---------------|
| Blanc | 1 pilote |
| Jaune | 2 pilotes |
| Orange | 3 pilotes |
| Rouge | 4 à 6 pilotes |

Tableau 4 : Légende du codage couleur pour l'arbre des tâches « global » des pilotes n'utilisant pas de FMS

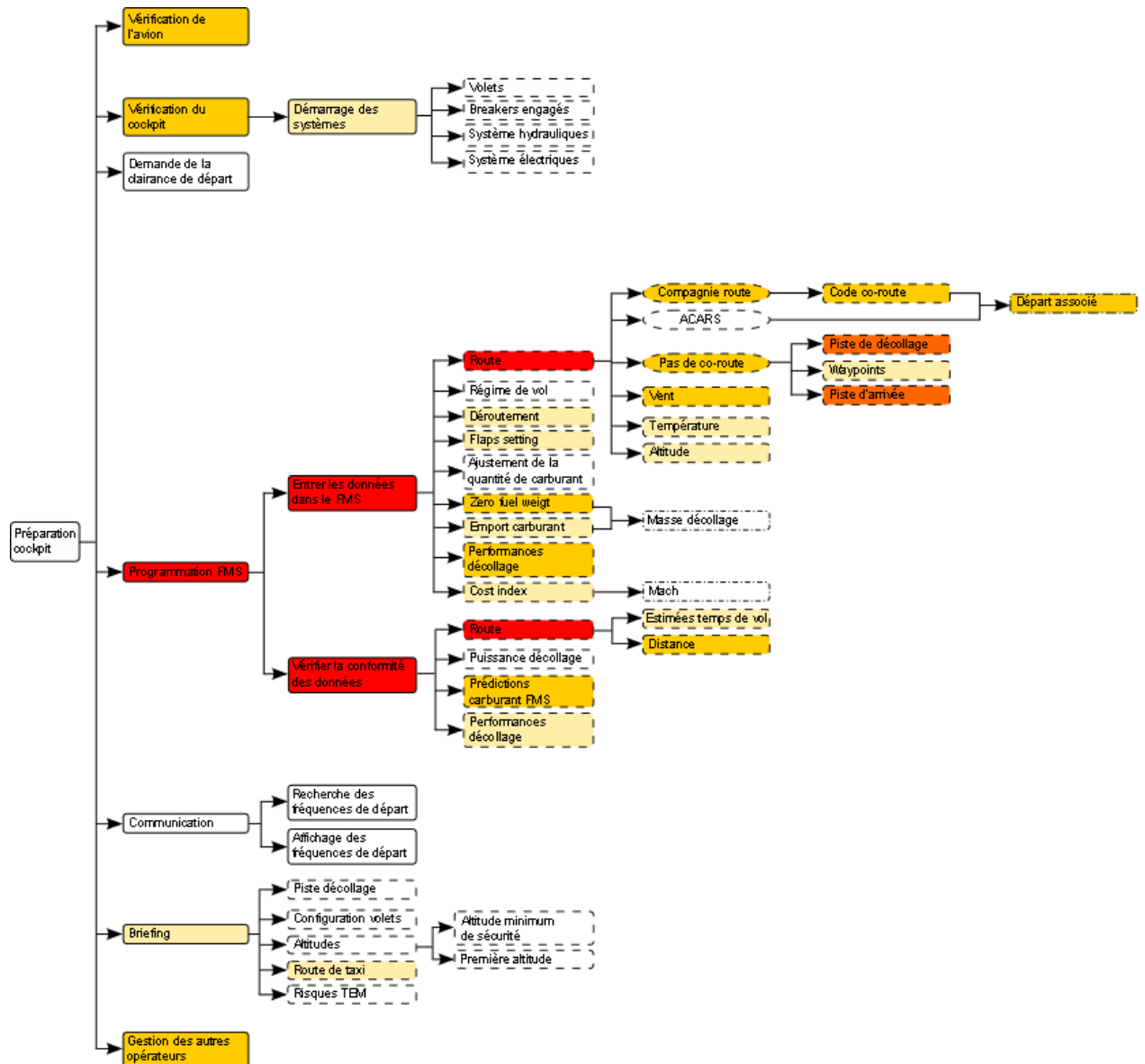


Figure 32 : Exemple de l'arbre des tâches « global » pour la phase de préparation de cockpit les pilotes volant avec un FMS

Dans cet exemple, il peut être observé que pour les pilotes volant avec FMS, la tâche considérée comme la plus importante pour eux lors de la phase de préparation du cockpit est la tâche de programmation du FMS avec comme informations de la plus à la moins importante la route (plan de vol) et les performances au décollage (V1, VR, V2).

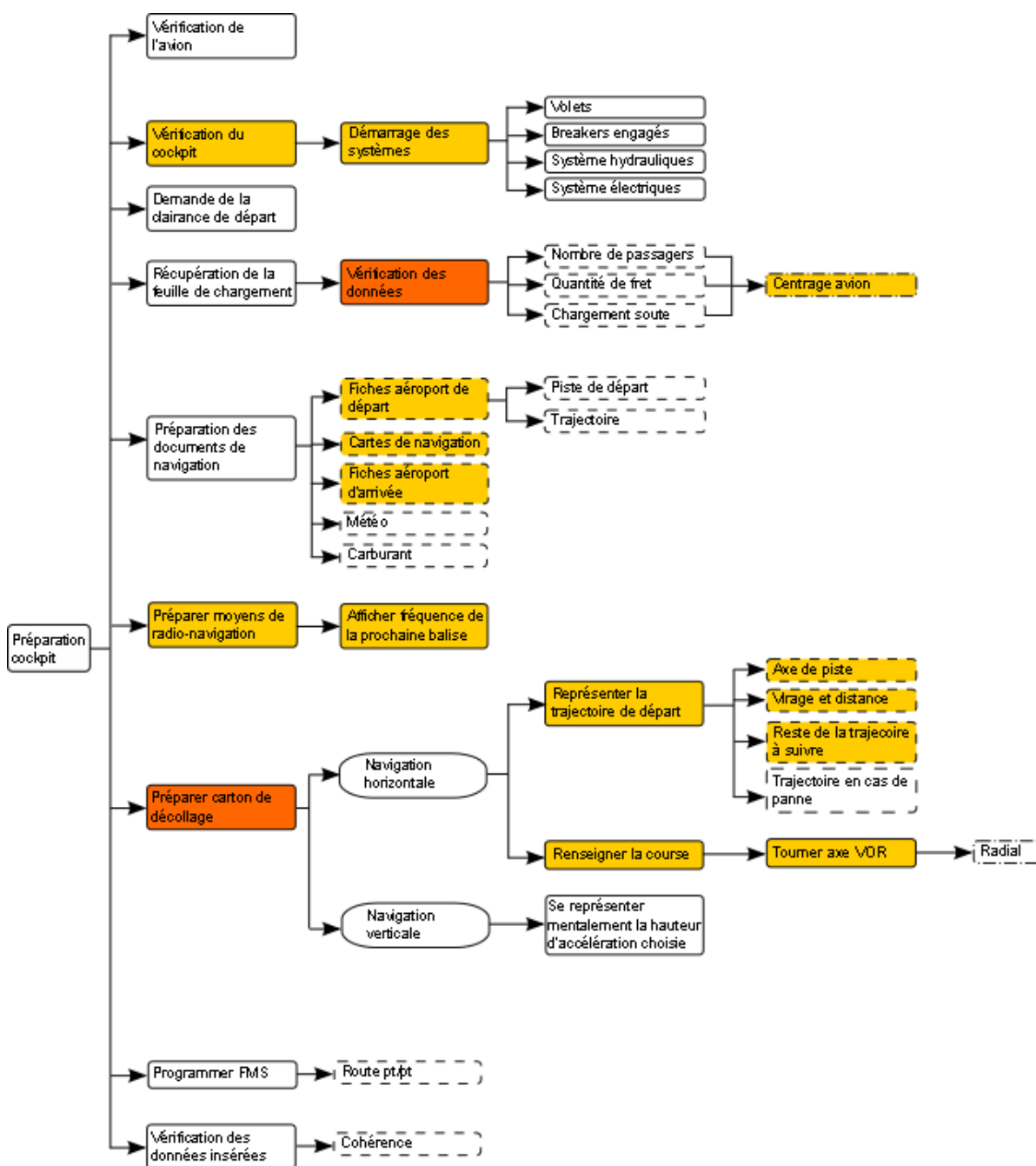


Figure 33 : Arbre des tâches « global » pour la phase de préparation de cockpit les pilotes volant sans FMS

Ces deux arbres ont été construits de manière à ce qu'ils soient superposables afin de pouvoir procéder facilement à leur comparaison, c'est-à-dire à l'identification des similitudes ou des différences entre les représentations de la tâche de navigation qu'ont les pilotes selon qu'ils volent avec ou sans FMS. On peut d'ailleurs voir avec ce second arbre que les tâches lors de la phase de préparation du cockpit diffèrent dans l'ensemble entre les pilotes volant sur gros porteurs et les pilotes volant sur avions légers. En effet, ces derniers doivent effectuer une tâche de programmation de données beaucoup moins exigeantes (beaucoup moins d'informations à

traiter). En revanche, ces pilotes ont un travail d'élaboration d'une représentation mentale de la trajectoire à suivre lors du départ beaucoup plus conséquent, notamment en préparant le carton décollage.

5.2 Résultats : identification des représentations de la tâche de navigation

Dans cette partie sont présentées les données issues de l'analyse cognitive de la tâche de navigation. Ces données sont exposées en suivant l'ordre chronologie des phases de vol (c'est-à-dire en commençant par le décollage et en terminant avec l'atterrissage). De plus, à chaque phase de vol, la tâche de navigation est tout d'abord mentionnée du point de vue des pilotes volant sans FMS (avec un arbre des tâches) puis dans un second temps, la tâche de navigation est ensuite vue sous l'angle des pilotes volant avec FMS (avec également un arbre des tâches). Il faut toutefois noter que les arbres des tâches présentés ici sont des arbres synthétiques ne représentant pas toutes les sous-tâches et informations citées par les pilotes. Ils mettent en avant les tâches et les informations les plus récurrentes lors des entretiens ainsi que ce que ces tâches impliquent au niveau cognitif (comme par exemple une activité de prise de décision). Les arbres complets sont présentés en annexe 19.

5.2.1 Préparation du cockpit

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS (figure 34)



Figure 34 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de préparation du cockpit

L'activité de planification du vol se fait lors de la phase précédente (préparation de mission). Cette activité de planification consiste à déterminer le chemin à suivre selon le type d'avion, le relief, et la date à laquelle l'avion vole. Elle consiste également à calculer la quantité de carburant nécessaire pour aller jusqu'au bout du vol, et enfin à publier le plan de vol.

Quand le plan de vol est créé, le pilote va alors dans le cockpit. A ce moment-là, le pilote doit avoir une représentation visuelle, un modèle mental, de la trajectoire de départ. Pour cela, il utilise le plan de vol ainsi que les cartes de départ et de terrain. Afin de se créer cette représentation mentale, le pilote dessinera un schéma, un croquis, la première trajectoire de vol

avec les waypoints, la première fréquence VOR et le point du premier virage. Il schématisera également la trajectoire en cas de panne. Quand cette préparation est réalisée, il prépare les systèmes de radio navigation (fréquence VOR).

Dans ce cas, il y a un important travail de projection dans le futur proche (troisième étape de la conscience de la situation) du fait de l'activité de représentation mentale de la trajectoire à venir. La charge de travail n'est pas réellement importante dans cette phase car la plus grande partie du travail de planification est réalisé pendant la phase précédente.

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS (figure 35)

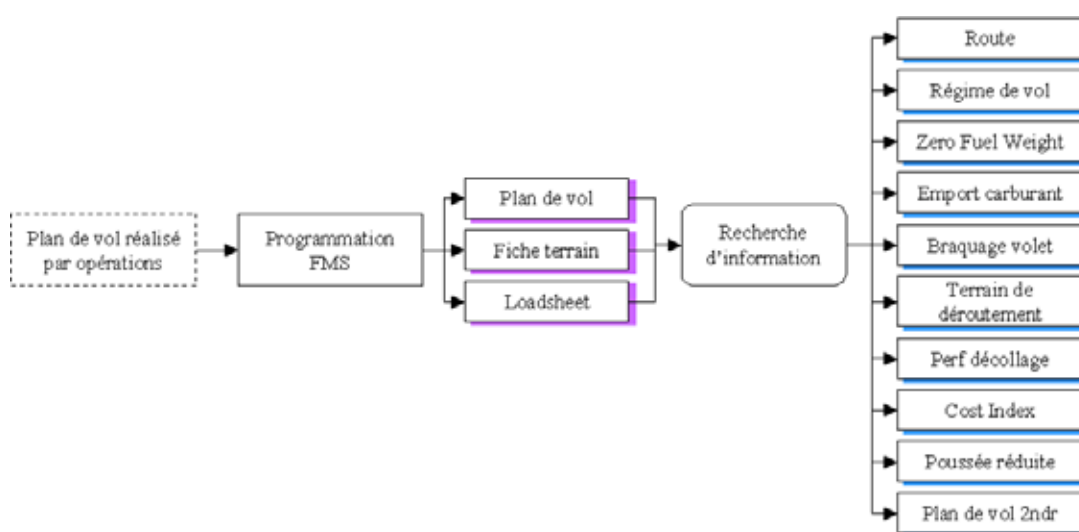


Figure 35 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de préparation du cockpit

A l'inverse, sur les systèmes automatisés, en compagnie aérienne, le travail de planification par les pilotes est inexistant. Ils récupèrent le plan/dossier de vol qui a été préparé par les opérations, en prennent rapidement connaissance avant d'insérer les données dans le FMS. En revanche, il y a une importante quantité d'informations à insérer dans les systèmes équipant l'avion dans cette phase, ce qui engendre une forte charge de travail. Celle-ci est d'autant plus élevée du fait du nombre important d'interruptions de tâche (lié notamment au dialogue avec les PNC). Il y a également une tâche importante de vérification qui est faite à cette étape et qui renvoie à la vérification de la cohérence des données insérées par rapport à la route et aux vitesses de décollage. Cette tâche est très importante en termes de risques encourus car si une donnée est fautive, le système va alors faire de faux calculs, ce qui peut être dramatique pour la suite du vol. La seule décision prise ici par l'équipage concerne l'emport carburant.

Ici, l'activité des pilotes (insertion d'une quantité importante d'information) ne leur permet pas de construire une bonne conscience de la situation. D'autre part, la charge de travail est élevée parce qu'il y a une importance des données à insérer en termes de sécurité, (P13, « *C'est plus lourd aujourd'hui qu'avant parce qu'il faut insérer toutes les données. Donc y a un travail d'insertion de données dans l'avion qui n'existait pas avant, puisque vous arriviez avec le papier. Y avait rien d'autre que tourner l'axe VOR, au décollage, je prends la piste 32, c'est l'axe 324, je mets l'axe 324 et puis voilà. Et puis après, quand je passe le premier point, je change mon axe et je change l'axe à chaque point tournant. Alors qu'aujourd'hui, il faut qu'il rentre son plan de vol, qu'il vérifie sa route. Donc il fait défiler sa route sur son image de navigation, aujourd'hui hein, il fait défiler sa route pour voir si c'est conforme aux papiers qu'on lui a remis. Si ce qui est inséré est conforme* »).

5.2.2 Décollage

La tâche est quasiment la même pour les pilotes avec et sans FMS. Ceci s'explique par le fait que la tâche de décollage se réalise manuellement que l'avion soit équipé d'automatisme ou non.

La durée de la phase de décollage peut être définie de deux manières. Règlementairement, la phase de décollage va jusqu'à 1500ft. En revanche, officieusement, pour la majorité des pilotes, la phase de décollage s'arrête à partir du moment où les trainées sont rentrées, autrement dit quand l'avion est lisse.

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS (figure 36) :

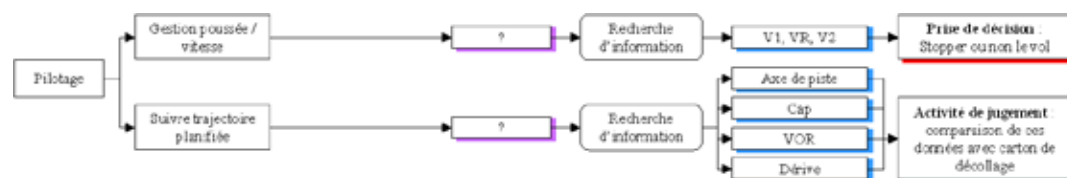


Figure 36 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de décollage

La tâche principale pendant cette phase de décollage est une tâche de pilotage, avec la gestion de la poussée et de la vitesse (en cas de panne) ainsi que le maintien de l'avion sur l'axe de la piste. Les pilotes n'utilisant pas de FMS ont beaucoup détaillé les différentes sous-tâches à réaliser au cours de cette phase pendant les entretiens. Cela peut s'expliquer par le fait que pour suivre ou réaliser la tâche principale, ces pilotes vont avoir à réaliser plus d'actions ainsi qu'une tâche de surveillance plus soutenue. Par exemple, le suivi de la trajectoire sans FMS va se faire uniquement par la surveillance du cap pris, de la dérive et de la comparaison de ces données avec le carton de décollage préparée dans les phases précédentes.

Ici, les pilotes travaillent avec leur conscience de la situation actuelle et ils anticipent la situation future proche. Concernant la charge de travail, elle est constante, régulière. « *Nous avons à anticiper, anticiper. Et ici, c'est la situation. Ici, nous anticipons une potentielle panne moteur pendant le décollage, ce que nous allons faire s'il y a une panne. Ici, c'est la partie pilotage. Et après, nous préparons, nous parlons des actions à faire une fois que le décollage est fini pour aller à tel point, etc., à telle altitude, c'est cette fréquence qu'on doit contacter* ».

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS (figure 37) :



Figure 37 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de décollage

Pour les pilotes utilisant le FMS, la tâche principale est également une tâche de pilotage. La différence avec les pilotes n'utilisant pas de FMS réside au niveau de la manière dont va se faire le suivi de la trajectoire. Ici, ce suivi s'effectue par le biais du ND (suivi du trait vert) quand l'avion sera en mode NAV (c'est-à-dire quand l'avion suivra les instructions fournies par le FMS).

Concernant la charge de travail, elle est plus importante (du fait du risque en termes de sécurité). Les pilotes ont une conscience de la situation actuelle, mais cela peut être affecté par une charge de travail élevée. D'autre part, les pilotes n'ont pas une conscience de la situation future complète car c'est le système qui gère cette situation future.

« *C'est une phase quand même très critique. C'est la phase la plus critique avec l'atterrissage, je dirais. Mais surtout au décollage, parce que là t'es à pleine puissance et si tu as une panne moteur, il faut réagir très vite. Donc là, il faut pas commencer à demander à quelqu'un de penser à autre chose. Tout ce qu'il fait, le pilote qui vole, c'est de garder son axe de piste, vérifier. L'autre vérifie les moteurs, et si y a un problème moteur ou quoi que ce soit, averti pour que la décision soit faite d'arrêter l'avion avant V1 ou de continuer. Mais on lui demande pas de faire pendant cette phase-là autre chose que surveiller.* »

5.2.3 Montée

Dans cette phase, la tâche principale dans les deux cas (FMS / sans FMS) va être de suivre et de vérifier le bon suivi de la trajectoire. Mais malgré cette tâche qui est la même dans les deux cas, c'est en montée que la différence entre FMS et sans FMS se ressent le plus.

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS (figure 38) :

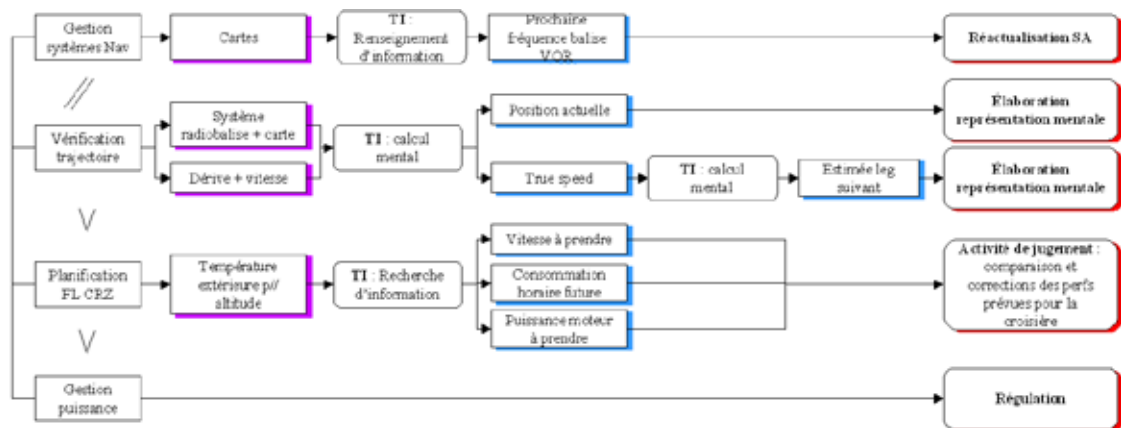


Figure 38 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de montée

Pour réaliser cette tâche de suivi de la trajectoire, les pilotes sans FMS doivent effectuer un calcul mental qui leur permettra de vérifier la position actuelle de l'avion. C'est à partir de ces données qu'ils vont être en mesure d'élaborer une représentation mentale de la situation (par exemple le vent). De plus, ils vont également devoir calculer afin de vérifier les estimées pour les legs à venir et ainsi d'anticiper la suite du vol (par exemple du retard, et donc les conséquences sur la consommation en carburant). Ils mettent constamment à jour leur conscience de la situation, et notamment leur conscience de la situation actuelle.

« Donc c'était vraiment une représentation... on avait vraiment des moyens extérieurs qui nous donnaient des informations et on se positionnait. Avec les instruments, on matérialisait notre position grâce à ça. Mais la matérialisation de la position était uniquement mentale. »

Ici, la charge de travail va rester constante. En effet, comme la phase précédente, les pilotes doivent gérer la tâche de pilotage et celle de navigation simultanément. En revanche, c'est au niveau du stress (risque) que cette phase va être différente de la précédente. En effet, ici, la pression est moins forte en termes de stress du fait que l'avion s'éloigne peu à peu du sol (risque de collision avec obstacle au sol moins important).

« ...bon, la situation est un petit peu plus évolutive puisqu'on traverse des tranches d'altitude, enfin différentes zones d'altitude, différentes ... on change généralement pas mal de fréquences, des choses comme ça. Euh... c'est pas une phase particulièrement plus exigeante. »

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS (figure 39)

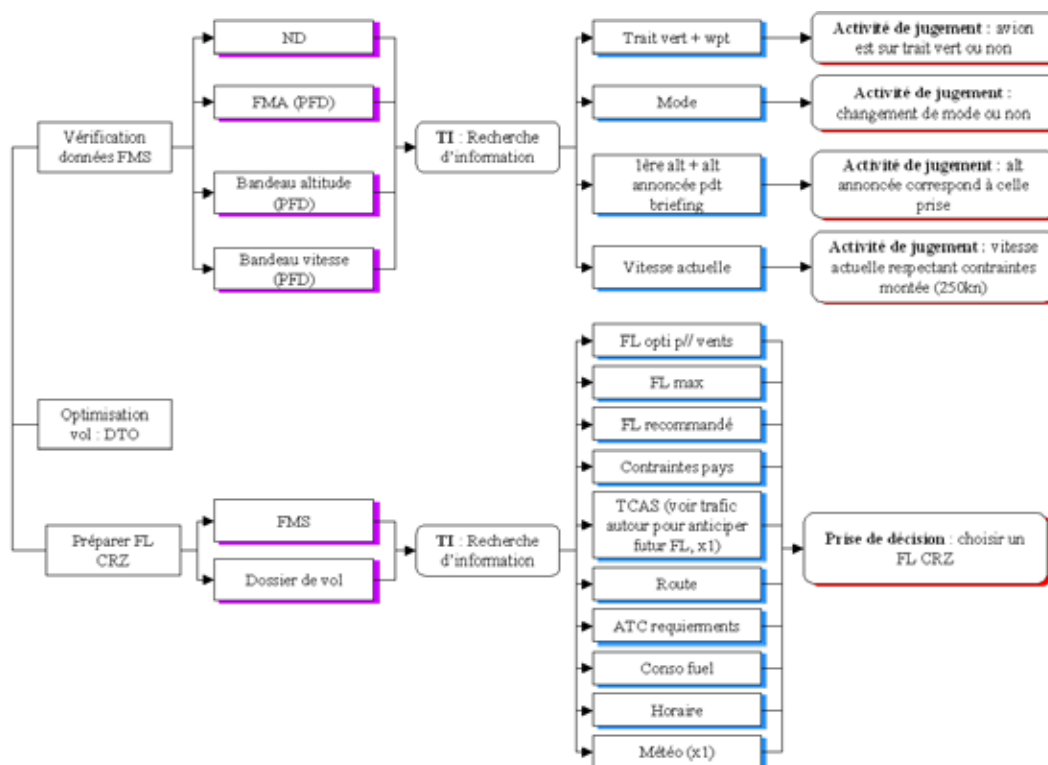


Figure 39 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de montée

A l'inverse, les pilotes volant avec FMS n'ont pas de calcul à faire. Leur travail durant cette phase est de vérifier la cohérence des données fournies par le FMS et de voir si l'avion suit toujours la trajectoire matérialisée par un trait vert sur le PFD. Ici, ils comparent des données mais ils ne construisent pas de représentations mentales de la situation.

Pour les pilotes avec FMS, la charge de travail est moindre que pour les pilotes sans FMS dans cette phase car ici, la tâche principale est une tâche de surveillance. En revanche, une différence à relever est la quantité d'information que les pilotes avec FMS ont à rechercher dans le FMS et à traiter.

Comme pour les pilotes sans FMS, ici, la pression est moins forte en termes de stress du fait que l'avion s'éloigne peu à peu du sol (risque de collision avec obstacle au sol moins important).

"It starts to get less. So, the workload starts to reduce as we climb away. So this point here becomes a point where we start to see the workload reduce..."⁵

5

« Ça commence à diminuer. Donc, la charge de travail commence à réduire à mesure que la montée s'engage. Ainsi, ce point ici devient un point où nous commençons à voir la charge de travail réduire... »

5.2.4 La croisière

C'est lors de cette phase de croisière que les tâches à réaliser et ainsi la charge de travail s'inversent selon que le pilote vole avec ou sans un FMS.

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS (c0)

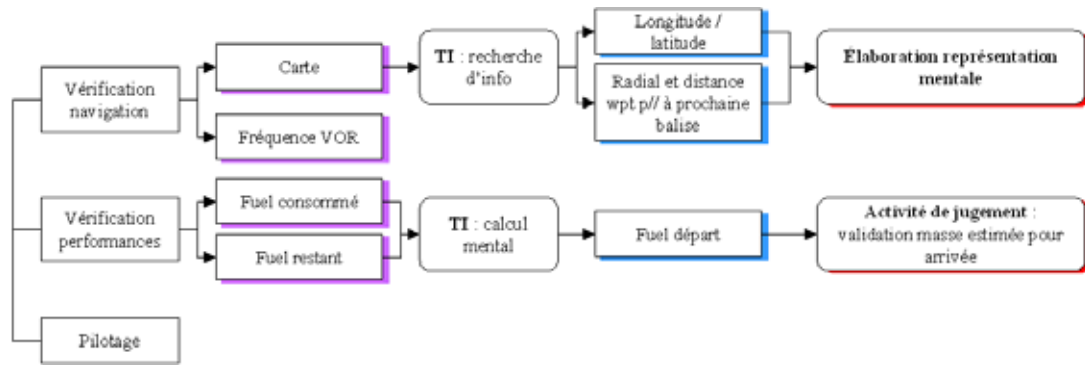


Figure 40 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de croisière

Pour eux, la tâche de navigation consiste à suivre la position de l'avion sur les cartes afin de vérifier qu'ils suivent la bonne route. De plus, afin d'anticiper la suite du vol et notamment la future trajectoire à suivre, ils ont à préparer la prochaine fréquence VOR. Ainsi, comme pour les autres phases de vol, les pilotes mettent à jour en permanence leur conscience de la situation (la situation actuelle et future).

*"So, it really was a representation... we really had some external means which gave us information and we was able to know where we was. With the instruments, we marked our position because of it. But this mark of the position was only mental."*⁶

Ici, la charge de travail reste constante. En effet, comme dans la phase précédente, ils ont à gérer la tâche de navigation ainsi que la tâche de pilotage simultanément.

« Alors que sur les vieux avions, on accélérât, on montait à une vitesse donnée, on montait à 300 nœuds. Quand après on arrivait à la vitesse de montée en mach, c'est-à-dire qu'on était au-dessus de la transition de vitesse entre la montée en vitesse indiquée et la vitesse en mach, et ben, il fallait à ce moment-là enlever le mode de vitesse indiquée pour faire une montée en assiette... »

⁶ « Donc c'était vraiment une représentation... on avait vraiment des moyens extérieurs qui nous donnaient des informations et on se positionnait. Avec les instruments, on matérialisait notre position grâce à ça. Mais la matérialisation de la position était uniquement mentale. »

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS (figure 41)

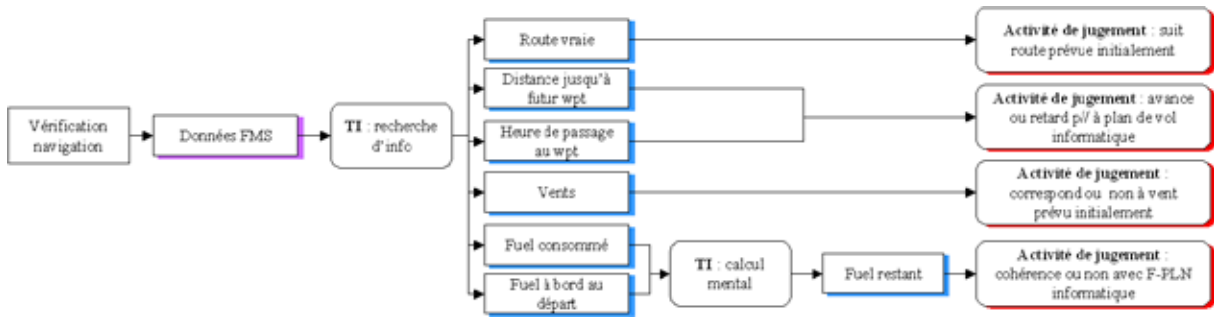


Figure 41 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de croisière

Pour les pilotes travaillant avec un FMS, la tâche principale concernant la navigation lors de cette phase est la surveillance des paramètres de vol (route, heure de passage, fuel). Plus précisément, les pilotes ont à vérifier la cohérence des données en les comparant à chaque point tournant. Ainsi, ils n'alimentent pas assez constamment leur conscience de la situation qui va se dégrader petit à petit. De ce fait, ils vont être de moins en moins en mesure d'anticiper la situation à venir. Autrement dit, durant cette phase, il y a un risque d'hypovigilance important du fait que les pilotes n'ont qu'une tâche de surveillance à réaliser. Les pilotes sont passifs durant toute la phase de croisière ce qui peut être problématique si une panne survient.

En outre, la charge de travail est d'autant plus faible qu'il n'y pas de tâche de pilotage durant cette phase : c'est l'autopilote qui suit les instructions fournies par le FMS.

« C'est une vérification, typiquement, une fois par heure, quelquefois même moins que ça quand on a pas de point tournant, quand les points tournants sont encore plus espacés que ça, c'est de vérifier à chaque fois qu'on est d'un point tournant à l'autre, que l'avion prend bien la bonne route. [...] Et ben le risque c'est justement que ça demande moins de vigilance. [...] C'est même assez monotone. »

Deux tâches sont communes lors de cette phase :

- Le remplissage d'un journal de bord ;
- La préparation de la phase de descente / approche. En revanche, cette dernière se fera de manière différente selon la présence du FMS ou non dans l'avion.

5.2.5 Préparation descente / approche

A l'inverse de la phase de montée, ici, la pression en termes de risques d'accident revient peu à peu, plus l'avion approche du sol.

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS (figure 42) :

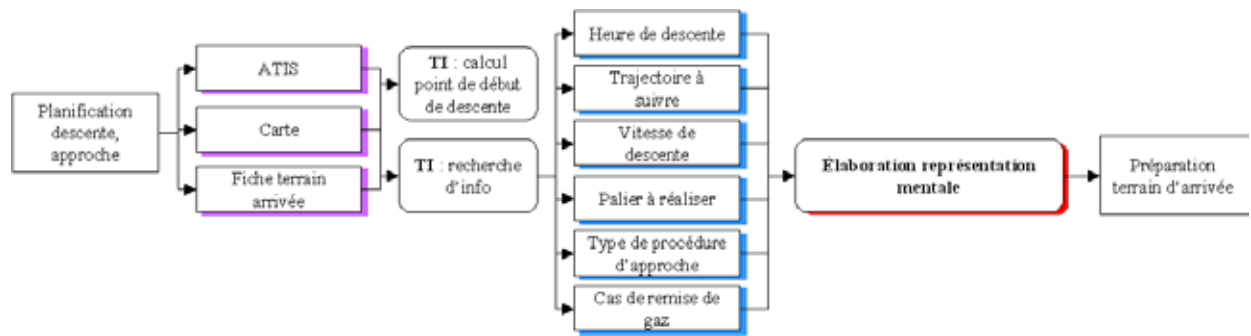


Figure 42 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de préparation descente / approche

Pour les pilotes volant sans FMS, la charge de travail n'évolue que très peu. Les pilotes continuent de surveiller la navigation et à effectuer la tâche de pilotage. Une tâche va se rajouter par rapport à la phase précédente celle du calcul du point de début de descente (TOD : Top Of Descent) ainsi que la préparation des altimètres et la préparation du carton d'atterrissage (sachant que ce dernier est principalement préparé avant le départ). Sur le carton d'atterrissage sont présentés la trajectoire et l'heure de descente, la vitesse de descente ainsi que les paliers à réaliser si nécessaire. De plus, concernant l'approche, les informations telles que le type de procédure utilisée et le cas de remise de gaz seront représentées sur le carton d'atterrissage. Ici, les pilotes mettent à jour leur conscience de la situation (compréhension de la situation actuelle ainsi que l'anticipation des états futurs).

La charge de travail est un peu plus élevée lors de cette phase car en plus des tâches de navigation et de pilotage actuels, le pilote doit également planifier la fin du vol.

« Il peut faire une approche dite de précision ou pas, ou de non précision. Y a différents types d'approche. Et puis, il a un autre calcul à faire, c'est à partir de quand le pilote veut descendre. C'est lui qui doit calculer...Donc en fonction de l'altitude à laquelle il est, de l'altitude de sécurité du terrain qui est particulier à chaque terrain, il va se dire voilà, j'ai tant d'altitude à perdre. Et puis après, là il va calculer une heure de descente. »

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS (figure 43)

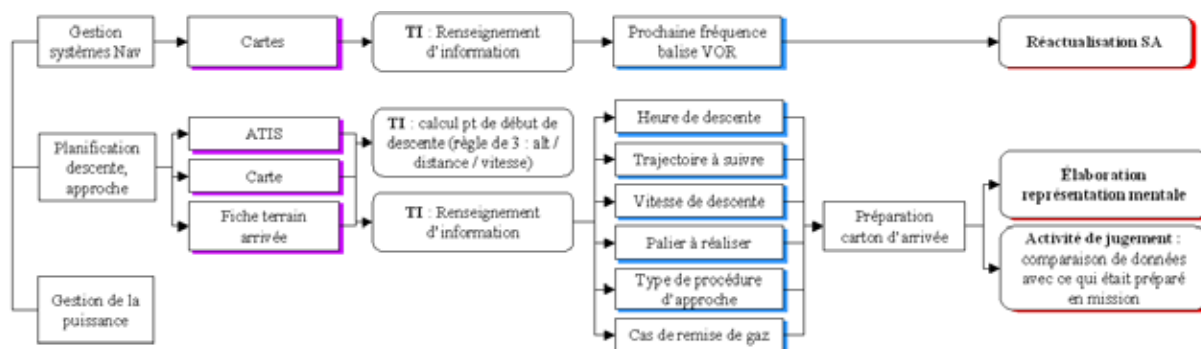


Figure 43 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de préparation descente / approche

Pour les pilotes utilisant un FMS, après une phase très calme qui peut même entraîner un risque important d'hypovigilance, ils se retrouvent rapidement dans une phase où ils vont devoir être actifs et réactifs. Ils ont ici beaucoup de données à aller rechercher (comme la météo par exemple), puis à vérifier et à comparer par rapport à celles établies au départ, pour ensuite insérer la plupart de ces données dans le FMS, et ce afin que la fin de vol soit programmée dans le FMS pour que l'autopilote puisse la suivre. Durant cette phase, les pilotes se retrouvent en double tâche : surveillance des paramètres de vol et insertion des données de l'arrivée. L'analyse des entretiens et des observations en vol réalisées ont fait apparaître que les deux pilotes sont très investis dans la tâche d'insertion des données d'approche et délaissent la surveillance des données de vol. Ainsi, leur conscience de la situation se dégrade durant cette phase.

De plus, les données insérées dans le système ne sont pas à chaque fois des données qui sont utiles au pilote dans sa construction de conscience de la situation.

« Par exemple, la vitesse d'approche, pour l'avoir, on va lui mettre une masse par l'intermédiaire du MCDU, tac. Voilà, telle masse. On la met, on se pose à telle masse. Hop, il nous calcule une vitesse volet 30 par exemple, ou volet 20, etc. Donc on dit volet 30, ok. Tac, on la met. On prend ça. Et à ce moment-là, tac, cette vitesse-là va s'afficher sur le PFD. »

La charge de travail augmente à partir de cette phase car une pression temporelle revient progressivement. En effet, ils ont un temps limité pour réaliser toute la préparation de l'arrivée.

Un briefing est réalisé dans les deux cas (avec et sans FMS) qui reprend les mêmes points principaux de la descente et de l'approche. Ce briefing est important pour les deux pilotes, il leur sert à avoir une conscience de la situation partagée.

5.2.6 Descente

La tâche de navigation principale peut se faire dans les deux cas par guidage radar, c'est-à-dire que c'est le contrôle qui donne les instructions à suivre.

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS (figure 44) :

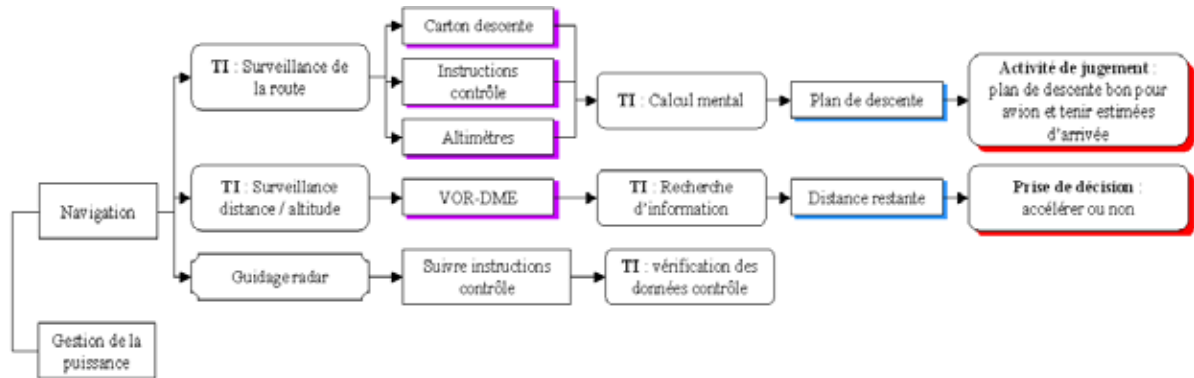


Figure 44 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de descente

Ici, la tâche principale est la tâche de navigation, et plus précisément de surveillance du taux de descente. Pour les pilotes sans FMS, ils doivent prendre en compte les instructions et faire ensuite des calculs mentaux afin de pouvoir réaliser la tâche de pilotage au mieux, ce qui améliore leur conscience de la situation.

La charge de travail est un peu plus importante que pour les tâches précédentes les calculs mentaux vont se multiplier pour vérifier que l'avion suit le bon plan de descente, notamment en cas de guidage radar.

« Sur les avions d'ancienne génération, en permanence, on vérifiait notre plan de descente, savoir si on descendait toujours sur le plan prévu et si on était toujours sur un plan qui nous amenait à être à l'altitude où on voulait pour le début de l'approche par exemple. Donc on calculait en permanence, on vérifiait en permanence notre plan de descente. »

De plus, l'avion se rapprochant de plus en plus du sol, le risque en termes de sécurité augmente entraînant de la pression, du stress pour les pilotes.

« Les descentes tardives, même sur les avions pressurisés, y a eu des gros accidents là-dessus, entraînent des vitesses élevées et des approches non stabilisées. [...] T'arrives trop vite. Y a eu des cartons, je crois que c'est à Brest sur Air Liner je crois, où ils ont vauté l'approche, [...], et ils ont jamais réussi à décélérer parce qu'ils avaient mis leur descente trop tard. »

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS (figure 45) :

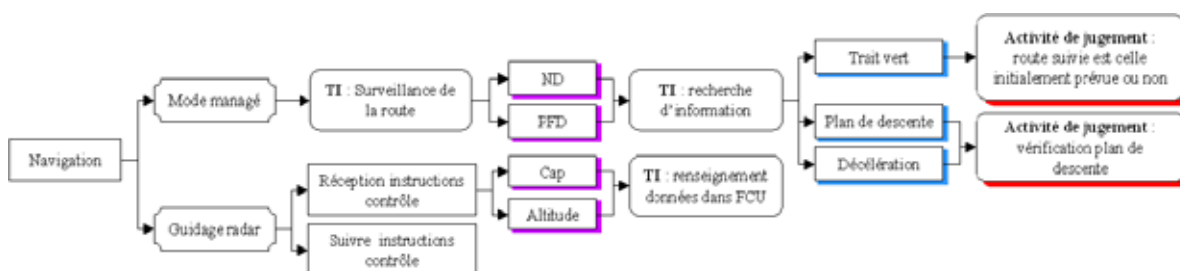


Figure 45 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de descente

Pour les pilotes avec FMS, en mode managé, la descente va se faire en suivant la route sur le ND et le PFD et également en suivant les données présentes sur le FMS concernant le plan de descente à suivre. Dans ce cas, ils sont dans une activité passive et ils ne construisent pas une conscience de la situation efficace.

Lorsqu'ils sont en guidage radar, ils vont recevoir les instructions du contrôle et les insérer ensuite dans le FCU. Dans ce deuxième cas, le pilote peut faire un calcul mental très rapide pour vérifier la cohérence du plan de descente. Cela leur permet de se créer une conscience de la situation plus efficace car le pilote est actif dans la construction de sa conscience de la situation.

« Alors là, y a la table de multiplication magique par 3. 3 fois la distance en gros ça donne l'altitude à laquelle on doit être » ; *“Very, very few young pilots today understand how to do it. They trust the FMS completely. So, you want to descend, they push the button, and the airplane descends”*⁷.

Mais l'analyse des entretiens montre que les pilotes (et notamment les novices) ne mettent pas en place cette vérification par calcul mental des données de taux de descente.

Dans les deux cas, les pilotes ont des changements de fréquence à faire afin de pouvoir contacter l'approche.

⁷ « Très très peu de jeunes pilotes d'aujourd'hui comprennent comment faire ça. Ils ont totalement confiance dans le FMS. Donc, tu veux descendre, ils appuient sur le bouton et l'avion descend. »

5.2.7 Approche

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS (figure 46) :

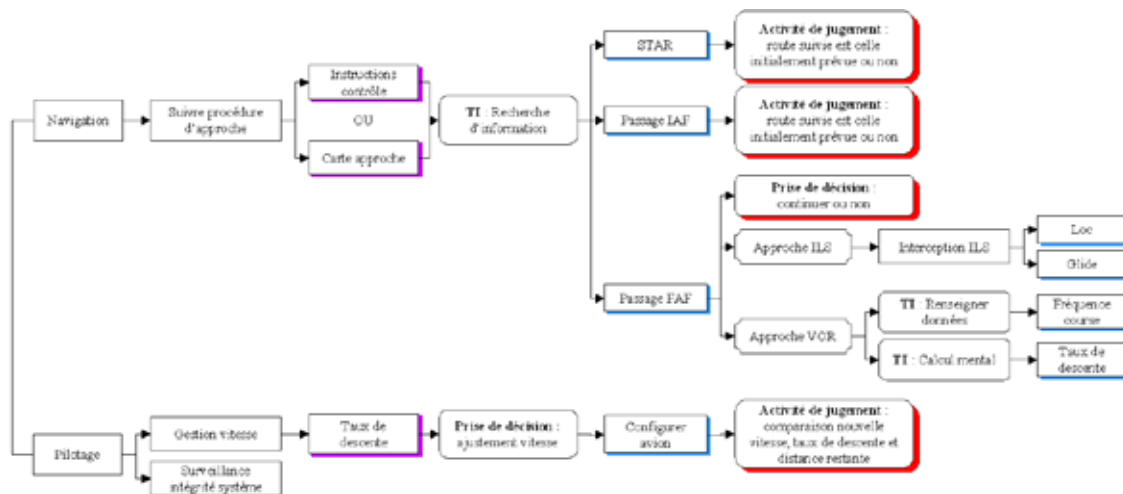


Figure 46 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase d'approche

Lors de cette phase, pour les pilotes n'utilisant pas de FMS, les tâches commencent à devenir de plus en plus nombreuses et il y a beaucoup d'éléments à gérer les uns à la suite des autres, comme par exemple, suivre la STAR puis le passage à l'IAF (Initial Approach Fix) et enfin le passage au FAF (Final Approach Fix). Il faut garder en mémoire qu'à chacune de ces étapes, des procédures sont à suivre, comme par exemple la procédure concernant les approches ILS au moment du passage au FAF.

La charge de travail va alors augmenter pour les pilotes qui doivent ici gérer cette tâche de navigation mais également la tâche de pilotage (« une fois qu'on est stable, faut tenir ces éléments. Faut tenir sa vitesse, faut tenir son vario, faut tenir son cap. ») qui est, durant cette phase, de plus en plus conséquente du fait de la proximité avec le sol.

Détails à propos des tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS (figure 47) :

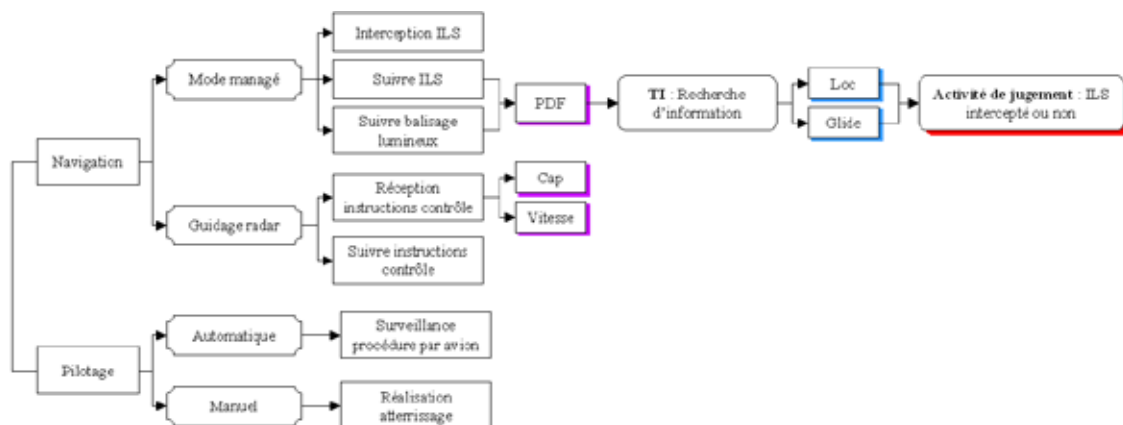


Figure 47 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase d'approche

Pour les pilotes avec FMS aussi la charge de travail va augmenter mais restera tout du moins moindre par rapport à celle des pilotes sans FMS. En effet, ici, les pilotes avec FMS vont avoir encore, jusqu'à la fin de l'approche, l'avion en mode autopilote ce qui leur permet de centrer leur attention sur la tâche de navigation. Mais la tâche est principalement une tâche de pilotage jusqu'à l'atterrissage.

« A partir du moment où on est sur le plan de descente, comme je l'ai dit un peu après le FAF, après y a une gestion de la vitesse et de la configuration de l'avion, mais sinon non, en termes de navigation. Alors sauf si on vous change de piste au dernier moment ».

5.3 Conclusion intermédiaire

L'objectif principal lors de notre étude 2 était de comprendre quelle est la tâche de navigation pour les pilotes volant avec et sans FMS. Dans un premier temps, cette étude a fait émerger les caractéristiques principales de la tâche de navigation ainsi qu'une description détaillée des sous-tâches associées et cela sur la base des représentations mentales des pilotes rencontrés. Ainsi, l'analyse de la tâche nous permet de comprendre quelles informations sont jugées comme les plus importantes pour les pilotes en fonction de la phase de vol. Par exemple, pendant les phases de décollage, montée, croisière et approche, l'information de vitesse ressort comme étant l'une des plus importantes. Un autre exemple concerne les informations de « course » et de « performances décollage » qui sont également jugées comme des informations primordiales pendant la phase de décollage.

Une autre contribution de cette étude concerne les exigences cognitives des pilotes selon la tâche à réaliser et l'information à traiter. Les résultats montrent que les différentes phases requièrent des niveaux différents de charge cognitive, ce qui va dans le sens des études présentes dans la littérature (Durso et al., 2011 ; Rudisill, 1995 ; Sarter, Woods & Billings, 1997). Cependant, cette étude révèle des différences quant à la charge de travail selon que les pilotes utilisent ou non un FMS. Pour les pilotes n'utilisant pas ce système, la charge de travail est plus ou moins régulière tout au long du vol (du décollage jusqu'à l'atterrissage). En effet, le pilote doit traiter à peu près la même quantité d'informations pour chaque phase de vol et cela en pilotant simultanément l'avion. A l'inverse, pour les pilotes utilisant le FMS, la charge de travail varie selon la phase de vol. Pendant les phases de préparation (préparation du cockpit ou préparation de la descente et de l'approche), le pilote doit traiter une grande quantité d'informations et doit également insérer beaucoup d'information dans le système automatisé (CDU). Une fois les données entrées, le système calcule des données de vol et de navigation qui fournissent de nouvelles informations au pilote qu'il devra ensuite traiter. Ainsi, ces phases de vol sont exigeantes cognitivement notamment du fait des ressources attentionnelles requises. A l'inverse, la phase de croisière est une phase où un risque d'hypovigilance se présente. En effet,

avec comme tâche principale de la surveillance des données de vol, le pilote se retrouve dans une activité passive.

Les comparaisons entre les pilotes utilisant ou non le FMS révèlent que pour les pilotes utilisant le FMS il y a significativement plus d'informations à traiter (à rechercher et / ou à insérer) que pour les pilotes n'utilisant pas de FMS. Cette observation est en lien avec la théorie selon laquelle l'automatisation peut réduire la charge de travail dans les phases de vol où la charge de travail est déjà faible (Weiner, 1989, in Rudisill, 1995). En effet, le système automatisé réalise les tâches des pilotes, réduisant leur charge de travail. Cependant, l'automatisation augmente la charge de travail à cause des tâches supplémentaires de collecte d'informations à propos des états du système (Singh et al., 2010). La quantité d'informations à traiter contribue à la complexité de sa tâche.

Enfin, une autre différence observée dans cette étude concerne le travail de planification qui est moins important pour les pilotes volant en compagnie aérienne. En effet, les pilotes volant sur avion léger (tourisme ou loisir) doivent préparer eux-mêmes leur plan de vol avant de le déposer. Cette activité de préparation du vol (de planification) permet au pilote de se construire une représentation en mémoire (modèle mental) du vol et de ses contraintes plus élaborée. Pour les pilotes volant en compagnie, le plan de vol est préparé par le Centre des Opérations. Les pilotes ont à vérifier les données du plan de vol mais ils ne construisent pas eux-mêmes tout le plan avec tous les calculs mentaux et comparaison de différentes documentations que cela implique. Ainsi, une hypothèse émise est que les pilotes ont une meilleure conscience de la situation quand ils élaborent un modèle mental via des calculs mentaux, des comparaisons de données ou une recherche d'information.

5.3.1 Limites

Une première limite dans cette deuxième étude concerne l'hétérogénéité de la longueur des entretiens. En effet, les entretiens n'ont pas tous la même durée (l'entretien le plus court étant de 25 min et le plus long de 2h55min). Ceci peut s'expliquer par le fait que certains entretiens étaient conduits sur le lieu de travail des pilotes. A cause de cette différence, la quantité d'information à coder n'était pas la même selon l'entretien et de ce fait, les arbres des tâches étaient plus ou moins détaillés. De plus, les phases de début du vol (notamment phases de préparation du cockpit et le décollage) étaient abordées beaucoup plus en détails par les pilotes que celles de fin de vol (par manque de temps pour continuer l'entretien). Ainsi, les arbres des tâches concernant les phases de fin de vol pourraient bénéficier de davantage de détails.

Une deuxième limite concerne les éléments abordés dans les entretiens. Dans cette étude, les questions posées étaient orientées vers la tâche de navigation et les informations nécessaires à la tâche. En revanche, aucune question n'était posée en relation avec la manière d'agir sur le

système pour réaliser la tâche. De ce fait, la complexité du système quant à son utilisation spécifique à une tâche précise n'était pas abordé (par exemple l'insertion d'une donnée d dans le MCDU). Il serait alors intéressant de mener de nouveaux entretiens qui permettraient de compléter ces arbres des tâches en ce qui concerne l'action sur le système et également de mettre en lumière ce qui est calculé par le système et par l'opérateur.

Une troisième limite renvoie aux choix de catégorisation thématique fait lors des analyses des entretiens. Le choix que telle unité de discours soit attribuée à telle catégorie de tâche a été fait subjectivement. Plus précisément, cette limite concerne les catégories « Aviate » et « Naviguer ». Nous avons rencontré des difficultés pour certaines unités pour décider si elles devaient être classées dans l'une ou l'autre des catégories. Par exemple, quand les pilotes parlent de « vitesse », cette information peut être classée dans les deux catégories (la vitesse étant une donnée de pilotage de l'avion mais ayant une influence directe sur le suivi de la trajectoire et donc sur la navigation). Dans cette étude, la vitesse a été incluse dans la catégorie « aviate » car il a été considéré que la vitesse était une condition nécessaire pour piloter l'avion. Ainsi, des choix ont été faits mais en gardant à l'esprit qu'il est possible de faire des choix alternatifs concernant la classification des unités des discours recueillis.

Enfin, une dernière limite pouvant être mise en lien avec la précédente concerne le fait qu'il n'a pas été possible dans cette étude de faire une confrontation experte. Autrement dit, les arbres des tâches réalisés lors de cette étude 2 n'ont pas été présentés à de nouveaux pilotes afin de les compléter ou modifier. Il convient donc pour un travail futur de procéder à cette validation experte.

5.3.2 Implications sur la conception d'un nouveau système de gestion de vol

A la suite de l'analyse du besoin réalisé préalablement (étude 1 et 2), il apparaît que la tâche de navigation va avoir un impact sur la conscience de la situation des pilotes. En effet, trois points importants émergent :

- Planification.

Comme dit précédemment, on peut remarquer que les pilotes volant sur avions légers ont eux-mêmes à préparer leur vol. Ce travail de planification est défini par van Daele et Carpinelli (2001) comme « l'élaboration et/ou l'utilisation de représentations schématiques et/ou hiérarchisés (plans) susceptibles de guider l'activité ». Ainsi, ces pilotes auront construit un modèle mental du vol à réaliser plus profond que les pilotes volant sur gros porteurs. Ils pourront donc réactualiser ce modèle mental tout au long du vol, améliorant ainsi leur conscience de la situation.

- Quantité informationnelle

Les pilotes volant sur avions légers traitent une grande quantité d'information lors de la préparation du vol (phase de planification). En revanche, tout au long du vol, ils ne traitent que les informations leur permettant de connaître leur état et de maintenir une bonne conscience de la situation. Ces informations sont notamment l'altitude, la vitesse, la position avion, le fuel, la radio et l'heure. A l'inverse, les pilotes volant sur gros porteur ont une quantité d'information à traiter différente selon les phases de vol. Plus précisément, durant les phases de préparation de cockpit et de préparation descente-approche, les pilotes vont avoir beaucoup d'information à injecter à l'avion afin que celui-ci fasse des calculs de prédiction, etc. Ces informations sont par exemple pour la préparation cockpit : le numéro de la compagnie route pour insérer le plan de vol, le vent moyen, le *zero fuel weight* (poids de l'avion à vide), le *cost-index*. Ces types d'informations ne sont pas des données « pertinentes », c'est-à-dire des données qui aident le pilote à élaborer une représentation mentale de la suite du vol, ne lui permettant pas d'avoir une bonne conscience de la situation.

- Charge de travail

Ce point est directement lié aux précédents. En effet, la quantité informationnelle différant pour les pilotes volant sur gros porteur, la charge de travail va donc différer selon les phases de vol. Elle sera donc forte pour les phases de début de vol (beaucoup d'information à traiter, notamment en phase de préparation cockpit accompagnée par de nombreuses interruption de tâche) et en fin de vol (également beaucoup d'information à traiter à partir de la phase de préparation descente-approche avec énormément de bruit environnant et de communication avec le contrôle). A l'inverse, elle va être très faible durant la phase de croisière (notamment pour les vols longs courriers) entraînant même un risque d'hypovigilance. En revanche, pour les pilotes d'avion léger, la charge de travail (bien qu'elle soit tout de même un peu plus forte pour les phases de début et de fin de vol du à une pression temporelle plus présente et un risque en termes de sécurité dû à la proximité avec le sol) reste du moins pour constante tout au long du vol.

Ainsi, pour toutes les raisons établies précédemment, on peut s'apercevoir que les pilotes volant sur avion léger mettent en place des activités (planification et traitement régulier d'information « utiles ») qui leur permettent d'avoir une bonne conscience de la situation. En revanche, pour les pilotes de gros porteurs, les phases de forte ou faible charge de travail ainsi que le traitement d'informations non pertinentes ne les aidera pas dans la construction de leur conscience de la situation.

5.4 Recommandations

Comment aider les pilotes dans la construction et/ou dans le maintien de la conscience de la situation ?

Tout d'abord, il a été remarqué sur la base des entretiens ainsi que lors des observations en vol, que les pilotes étaient très investis dans la tâche de planification pendant notamment la phase de préparation descente/approche, au détriment de la tâche de surveillance de l'état en cours de la situation. Ainsi, il est important de réduire le partage attentionnel afin que le pilote puisse consacrer un peu de ses ressources attentionnelles à la surveillance de la situation actuelle (éviter l'effet tunnel). De ce fait, il faut aider le pilote dans sa perception des informations concernant les états, les attributs et les éléments pertinents dans l'environnement. Pour cela, une première recommandation serait de consacrer une partie de l'interface à la situation en cours et l'autre partie à tout ce qui concerne l'anticipation (planification de l'arrivée). Le but poursuivi est d'avoir la représentation de l'avion toujours présente à l'écran (qu'il ne soit pas possible pour le pilote de la masquer) ainsi que les informations concernant le prochain point tournant, afin que le pilote ait toujours à sa disposition des informations relatives à la situation en cours.

Un deuxième résultat observé renvoie à l'effet de partage de l'attention (Andre & Wickens, 1989 ; Tricot, 1998). En effet, sur le FMS actuel, on observe que l'information est dispersée dans le cockpit pour plusieurs raisons.

La première est que le pilote peut rechercher de l'information textuelle sur le MCDU et de l'information textuelle et graphique sur les écrans en face de lui. Ainsi, il va passer d'une position tête basse à tête haute plusieurs fois (figure 48) et cela en tentant de faire le lien, d'associer les informations qui sont reliées entre elles (par exemple, position d'un *waypoint* sur le plan de vol sur le ND et informations relatives à ce *waypoint* sur le MCDU). De ce fait, un second objectif ici est de favoriser la proximité de présentation de l'information (Andre & Wickens, 1989 ; Tricot, 1998 ; Mayer, 2008) afin que le pilote passe moins de temps à rechercher l'information entre deux interfaces différentes (et donc que la charge de travail soit réduite) et qu'il ait une moindre charge cognitive engendrée par l'association des informations entre elles.

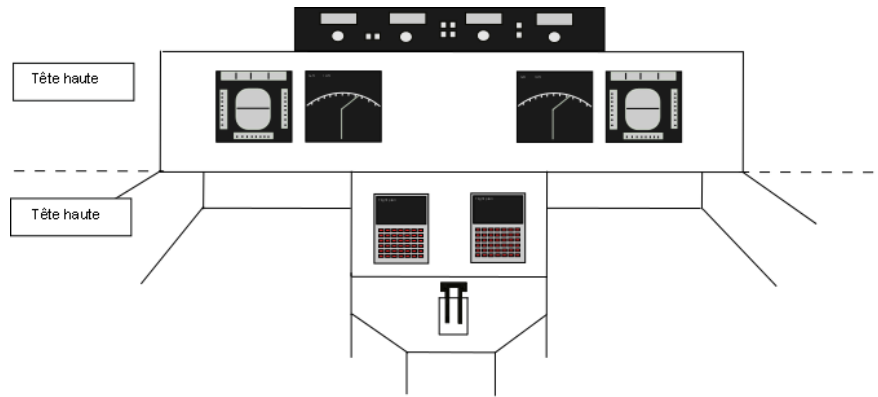


Figure 48 : Représentation des éléments « tête haute » et « tête basse » dans un glass cockpit

Pour cela, plusieurs recommandations peuvent être émises :

- La première est d'intégrer spatialement toutes les informations (ND + MCDU) sur le même écran, ce qui permet donc de réduire la distance entre les informations ;
- La deuxième est de supprimer le passage par un clavier pour insérer des données. Autrement dit, il faut que le pilote puisse insérer des données en interagissant directement sur l'interface (par le biais par exemple d'une souris).

Ces deux premières recommandations permettent de supprimer le passage par la position tête basse, ce qui laisse au pilote la possibilité de visualiser son écran (et donc sa position avion et autres données relatives) dès que souhaité et ce même lors de l'insertion de certaines données. Ainsi, la réduction du partage attentionnel permettra de réduire la charge de travail associée et donc d'améliorer la conscience de la situation des pilotes.

- La troisième recommandation est d'associer les informations textuelles aux informations graphiques liées en présentant :
 - o les informations du MCDU (liées à la navigation) telles que par exemple les informations concernant le plan de vol ou les réserves de carburant directement sur l'écran avec les éléments graphiques associés. Par exemple, présenter l'heure estimée d'arrivée à un point tournant p sur le point tournant p présenté sur le plan de vol.
 - o les informations présentes sur les cartes papiers directement sur le fond cartographique de l'écran. Par exemple, présenter les MEA directement sur les legs du plan de vol.

Cette troisième recommandation devrait réduire la charge cognitive du pilote impliquée dans la recherche d'informations et surtout dans le traitement et l'intégration mentale de ces informations, facilitant là encore une bonne construction de la CS.

Enfin, un dernier objectif poursuivi ici et en lien avec les recommandations précédemment listées est de rendre l'information cohérente avec l'activité des pilotes (Endsley, 1995). En effet, un autre résultat qui a pu être observé à la suite de l'analyse des besoins, est que la recherche d'informations dans le MCDU est complexe. Cela s'explique notamment par le fait que parfois, les pilotes doivent passer par plusieurs étapes pour récupérer l'information recherchée. De plus, un groupe d'informations liées peut être dispersé dans différentes pages du MCDU. Ainsi, une dernière recommandation est de catégoriser l'information de manière opérationnelle à partir des informations recueillies lors des entretiens.

Chapitre 6

Etude 3 : Evaluation empirique d'une nouvelle interface pour une amélioration de la conscience de la situation

| | | |
|------------|------------------------------|------------|
| 6.1 | Méthodologie | 121 |
| 6.1.1 | Participants..... | 121 |
| 6.1.2 | Matériel | 123 |
| 6.1.3 | Phases de vol étudiées | 128 |
| 6.1.4 | Scénario de vol | 128 |
| 6.1.5 | Procédure | 131 |
| 6.1.5 | Mesures..... | 132 |
| 6.2 | Hypothèses | 135 |
| 6.3 | Résultats | 136 |
| 6.3.1 | Premier scénario..... | 137 |
| 6.3.2 | Deuxième scénario | 143 |
| 6.3.3 | Utilisabilité..... | 147 |
| 6.4 | Conclusion | 148 |

Chapitre 6 : Etude 3 - Evaluation empirique d'une nouvelle interface pour une amélioration de la conscience de la situation

Afin de tester les différentes recommandations que nous avons proposées dans le chapitre précédent à l'issue des études menées auprès des pilotes (étude 1 et 2), une expérimentation a été réalisée auprès de 16 pilotes. Cette expérimentation compare deux maquettes représentant des interfaces de FMS (une interface représentant le FMS actuel et l'autre intégrant les recommandations). Cette nouvelle interface propose une nouvelle interface FMS où toutes les informations et fonctionnalités du FMS sont regroupées sur un même écran et où le pilote interagit directement sur l'écran pour renseigner de l'information. Cela a pour objectif de tester les recommandations et d'évaluer la conscience de la situation des pilotes. En effet, nous nous attendons dans cette étude à ce que l'intégration et la contextualisation des informations sur un même écran améliorent la conscience de la situation des pilotes lors des phases de préparation descente/approche, descente et approche initiale car cela va réduire l'effet de dissociation de l'attention et donc de partage attentionnel. Ainsi cela aide les pilotes dans leur prise d'information pertinentes à savoir la position actuelle de l'avion ou encore les altitudes de sécurité. Après avoir présenté la méthodologie, les résultats seront exposés et discutés.

6.1 Méthodologie

6.1.1 Participants

Seize pilotes ont accepté de participer à l'étude sur la base du volontariat (sans rémunération), (cf. fiche de consentement, Annexe 16) :

- Huit d'entre eux étaient considérés comme expert du FMS (Tableau 5). Ils étaient soit pilotes de lignes (travaillant pour Air France) soit instructeur sur A320. Ils avaient en moyenne 6262,5 heures de vol avec FMS (min = 1200h – max = 10.000h).
- Huit étaient considérés comme novices du FMS (Tableau 6). Ils avaient une moyenne de 31 heures de vol sur simulateur A320 (et donc d'utilisation du FMS), (min = 0h – max = 60h).

| | Pilotes | Heures de vol FMS | Type d'avion(s) avec FMS pilote(s) | Expérience / profession |
|-------------------------------|-----------|------------------------|--|---|
| Interface actuelle | Pilote 3 | 9500h | B777 – A320 | Commandant de bord + instructeur |
| | Pilote 4 | 10 000h | A320 | Commandant de bord + instructeur |
| | Pilote 21 | 2500h | A320 - A330 | Pilote d'essai airbus + liaison + instructeur de vol VFR |
| | Pilote 22 | 1200h | A320 | Copilote A320 |
| Nouvelle interface | Pilote 17 | 6000h de simulateur | A320 - ATR - B737 - Falcon | Instructeur et examinateur A320 + expérience militaire |
| | Pilote 18 | 2000h de simulateur | ATR - A320 | Instructeur ATR et A320 |
| | Pilote 19 | 9400h | A320 - CRJ 100 et 700 | Copilote |
| | Pilote 20 | 9500h | A320 | Commandant de bord |

Tableau 5 : Profils des pilotes « experts »

| | Pilotes | Heures de vol FMS | Type d'avion(s) avec FMS pilote(s) | Expérience / profession |
|-------------------------------|-----------|----------------------|--|--|
| Interface actuelle | Pilote 5 | 60h de simulateur | A320 | Tuteur ATPL + instructeur en aéroclub |
| | Pilote 6 | 0h | / | licence militaire + instructeur de vol + 3000h de vol VFR |
| | Pilote 7 | 30h de simulateur | A320 | Instructeur de vol pour licence privée + 1000h de vol avions légers |
| | Pilote 8 | 32h de simulateur | A320 | Instructeur avions légers + 860h de vol sur avions légers + 20h de vol sur planeur |
| Nouvelle interface | Pilote 9 | 32h de simulateur | A320 | Instructeur de vol VFR + 850h de vol sur avions légers |
| | Pilote 10 | 35h de simulateur | A320 | Instructeur de vol VFR + formation Garmin 1000 + |
| | Pilote 11 | 0h | / | Qualification ATR 42 |
| | Pilote 12 | 60h de simulateur | A320 | 250h de vol sur avions légers |

Tableau 6 : Profils des pilotes « novices »

Nous précisons que les scénarios ont été pré-testés auprès de trois pilotes (1 expert et 2 novices).

6.1.2 Matériel

Deux interfaces ont été créées avec le logiciel « Adobe Flash Professional » :

- Une interface représentant une version actuelle du FMS (cf. Annexe 17) ;
- Une interface avec une nouvelle version du FMS intégrant les recommandations émises à la suite de l'analyse de la tâche (cf. Annexe 18).

Version actuelle du FMS

Une version actuelle du FMS a été développée simulant *dans la mesure du possible* un FMS de type A320 (figure 49). On retrouve donc sur cette interface un FCU en haut de l'écran, puis le PFD et le ND et enfin le MCDU qui lors des expérimentations était déporté sur une tablette à l'aide du logiciel « Splashtop ».



Figure 49 : Maquette version actuelle du FMS

L'expression *dans la mesure du possible* fait référence à plusieurs limites rencontrées :

- En premier lieu, certains moyens d'actions ont été représentés de manière différente de la réalité.
 - *Sur le FCU* : les molettes permettant d'entrer la valeur désirée (altitude, cap, vitesse et vitesse verticale) et de choisir le mode (managé ou sélecté) en la poussant ou la tirant ont été représentées de manière à ce que ce soit manipulable par le biais d'une souris sur un écran.
- D'autre part, des informations non nécessaires à l'expérimentation n'ont pas été représentées :
 - *Sur le FCU* : les différentes informations (altitude, cap, vitesse, vitesse verticale, range et informations barométriques) n'étaient pas positionnées exactement au même endroit que sur un FCU A320. De plus, certaines informations n'étaient pas représentées sur la maquette (par exemple, les boutons d'armement de l'approche ou du pilote automatique).

- *Sur le MCDU*: seulement quatre pages ont été représentées sur le MCDU (pages progress, flight-plan, performance et radionavigation).
- *Sur le PFD*:
 - § les informations de consigne ou de données managées (triangle bleu ou magenta) ne sont pas présentes dans les bandeaux représentant la vitesse, l'altitude ou le cap.
 - § Les informations concernant le directeur de vol ne sont pas affichées.
- *Sur le ND*: les informations concernant les VOR-DME ne sont pas affichées.
- L'accès à l'information était compromis :
 - *sur le MCDU*:
 - § dans la page RAD-NAV, des informations étaient présentées mais il était impossible de les modifier ou les supprimer.
 - § Dans la page Flight-Plan, toute la fin de l'arrivée n'était pas visualisable directement sur le MCDU. Elle l'était lorsque le pilote passait en mode « plan » sur le ND et faisait défiler le plan de vol.
- Certaines informations n'étaient pas tout à fait cohérentes les unes par rapport aux autres :
 - *Sur le MCDU*: dans la page Flight-Plan, les informations d'estimation de temps à l'arrivée pouvaient changer inopinément
 - *Sur le PFD*: dans le bandeau FMA, les changements pouvaient ne pas représenter tout à fait la réalité (que ce soit au niveau des affichages ou des couleurs de présentation).

Ainsi, la nouvelle version du FMS (celle qui intègre les « recommandations ») et la version actuelle sont comparables sur tous les points sauf sur ceux qui font l'objet de l'étude : les recommandations. C'est la voie que nous avons choisie (bien que très coûteuse en développement) pour limiter autant que faire se peut l'effet de familiarité avec la version actuelle.

Nouvelle version du FMS

La figure 50 présente notre proposition d'interface intégrant les préconisations précédemment évoquées en vue d'améliorer la conscience de la situation des pilotes.

Les fonctionnalités présentes sur cette interface sont les mêmes que celles offertes sur l'autre maquette. Autrement dit, nous avons cherché à garder des interfaces comparables au niveau des fonctionnalités qu'elles proposaient. Par exemple, la fonction « Dir To » absente de la version actuelle n'était pas non plus sur cette nouvelle interface. En revanche, sur cette interface, le pilote interagit directement sur l'écran via une souris et un clavier.

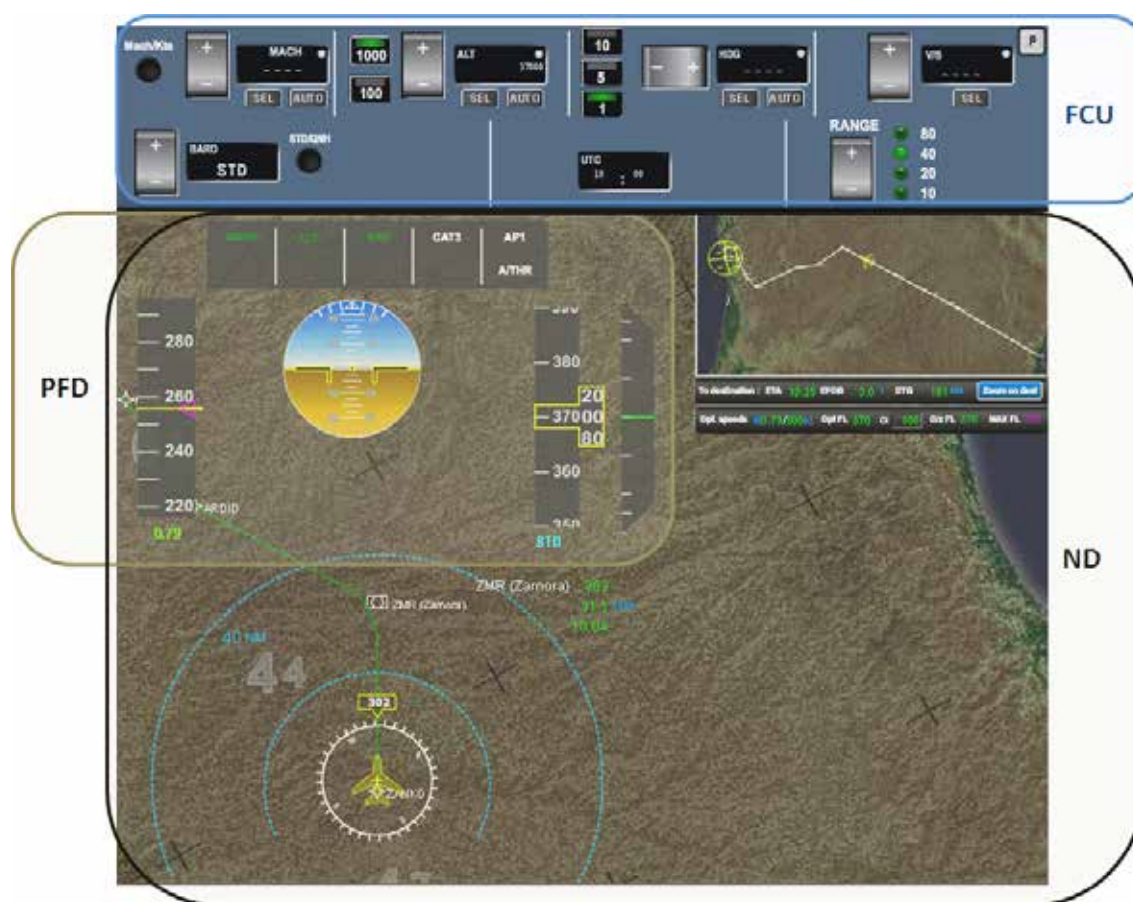


Figure 50 : Maquette représentant la nouvelle version du FMS

Ici, le FCU était donc représenté en haut de l'écran, puis, sur le même écran étaient intégrées les informations du PFD, du ND et du MCDU.

- *Le FCU est le même que sur la maquette de la version actuelle (et donc présentant les mêmes limitations).*

- *Le PFD* est également le même que sur la maquette de la version actuelle (avec également les mêmes limitations). La seule différence est que sur cette version, le PFD est en superposition sur le reste de l'écran.
- *Le ND* est ce qui diffère le plus (avec le MCDU) entre la maquette et la version actuelle. En effet, ici, le ND occupe tout l'écran. Plus précisément, l'écran est scindé en deux grandes parties :
 - le côté gauche concerne la situation en cours. Autrement dit, sont présentés sur cette partie de l'écran la trajectoire à venir prévue avec les waypoints associés ainsi que l'avion lui-même. Ce dernier est statique sur l'écran. Le pilote a la possibilité de zoomer pour afficher plus ou moins de trajectoire mais ne peut pas sortir l'avion de l'écran. De plus, sur cette partie de l'écran étaient présentées des informations concernant le relief et les altitudes de sécurité (MORA) de l'arrivée présentes à ce moment-là sur les cartes.
 - le côté droit concerne la situation à venir. Autrement dit, c'est la partie dédiée à la planification / anticipation. Ici, le pilote a à sa disposition une mini-map qui lui permet d'avoir la représentation de tout le plan de vol avec sa position actuelle dessus. En un clin d'œil, le pilote sait alors où il se situe dans son vol. Lorsqu'il vient cliquer sur une partie de la mini-map, une fenêtre pop-up vient s'ouvrir au-dessous lui offrant ainsi la possibilité de rechercher et/ou d'insérer des informations (présentées actuellement sur le MCDU). Dans cette fenêtre, le pilote peut :
 - § rechercher des informations concernant les waypoints. Sur chaque waypoint, les informations de vitesse, altitude, estimation de temps d'arrivée à ce waypoint, distance restante jusqu'à ce waypoint, et estimation de carburant restant à ce waypoint étaient présentées. Egalement, en cliquant via la souris sur l'aéroport de destination, le pilote avait les informations de piste disponible, de longueur de piste, de QFU, d'altitude de piste, d'orientation de piste, d'estimation d'arrivée, et de Direct To Go.
 - § insérer les mêmes informations que dans l'interface précédente, c'est-à-dire des informations présentes dans les pages « Progress », « Performance », et « Flight-plan ». En revanche, sur cette version, nous avons essayé de limiter au maximum le passage en tête basse lors de l'insertion des données. Ainsi, pour insérer une nouvelle approche, le

pilote devait sélectionner les différents éléments de la nouvelle arrivée via la souris.

Ne pouvant mettre en place (pour des raisons techniques) un eye-tracker, des caméras étaient utilisées afin de filmer les mouvements de souris sur l'interface et également le mouvement des yeux ou de tête du participant.

Enfin, deux expérimentateurs étaient présents pendant les évaluations. L'un d'eux jouait le rôle du contrôleur et de l'ATIS, le second observait et prenait des notes sur papier.

6.1.3 Phases de vol étudiées

Par contrainte de temps ou de mise en place expérimentale, nous ne pouvions pas travailler sur un vol entier. De ce fait, il nous a fallu choisir les phases de vol que nous souhaitions étudiées. Ainsi, nous avons décidé d'opter pour les phases de « préparation descente-approche », « descente » et « approche » (figure 51).

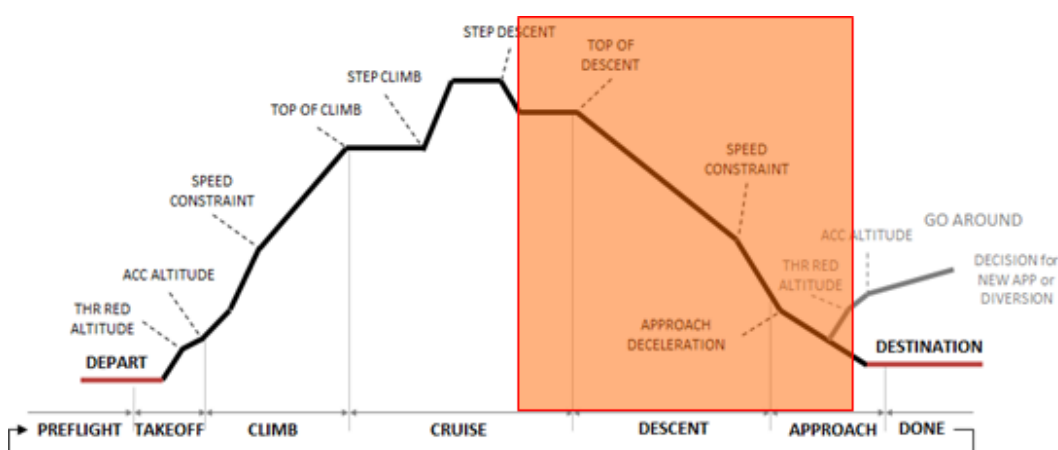


Figure 51 : Phases de vol étudiées lors de l'étude 3

Nous rappelons que lors de la phase de préparation descente / approche, la pression temporelle réapparaît (temps limité pour réaliser la préparation et le briefing). De plus, durant cette phase, les pilotes se trouvent en double tâche : préparer les données d'arrivée et surveiller les données de vol. Ce partage attentionnel va être d'autant plus important que les pilotes insèrent les données dans le FMS en mode « tête basse » avec le MCDU, augmentant la distance physique entre les différentes sources d'information et donc la charge cognitive des pilotes (Arguel et Jamel, 2004 ; Andre & Wickens, 1990). Cela entraîne ainsi une dégradation de la conscience de la situation.

Par ailleurs, les phases de descente et d'approche sont également des phases où les pilotes auront de plus en plus de données à traiter avec une pression temporelle qui sera de plus en plus forte et où les communications reprendront une place importante dans les tâches à réaliser.

Bref, la charge de travail augmente durant ces phases avec une pression en termes de risque dû au rapprochement de l'appareil avec le sol. L'augmentation de la charge de travail va avoir un impact sur la conscience de la situation des pilotes durant ces phases.

6.1.4 Scénario de vol

Le vol prévu était un vol moyen-courrier allant de Valence en Espagne à Porto au Portugal (figure 52).

Comme dit précédemment, les pilotes ne réalisaient que la dernière partie du vol, c'est-à-dire à partir de la phase de préparation descente-approche, à 190 nautiques avant l'arrivée. L'arrivée était donc prévue à Porto avec une approche ILS (*Instrument Landing System*) piste 17. Il était annoncé au pilote que l'on partait du principe que toutes les données étaient déjà insérées dans le FMS lorsqu'il commençait le vol.



Figure 52 : Vol prévu pour les expérimentations

Deux scénarios de vol ont été créés en collaboration avec des pilotes de ligne et experts Thales. Ils avaient pour objectif de mesurer la conscience de la situation des pilotes (figure 53).

Tout d'abord, une mise en situation était proposée au pilote d'une durée de 3 minutes. Cela avait pour objectif de permettre au pilote de prendre connaissance de la situation et de faire passer la période de stress qu'il peut y avoir lors d'une expérimentation.

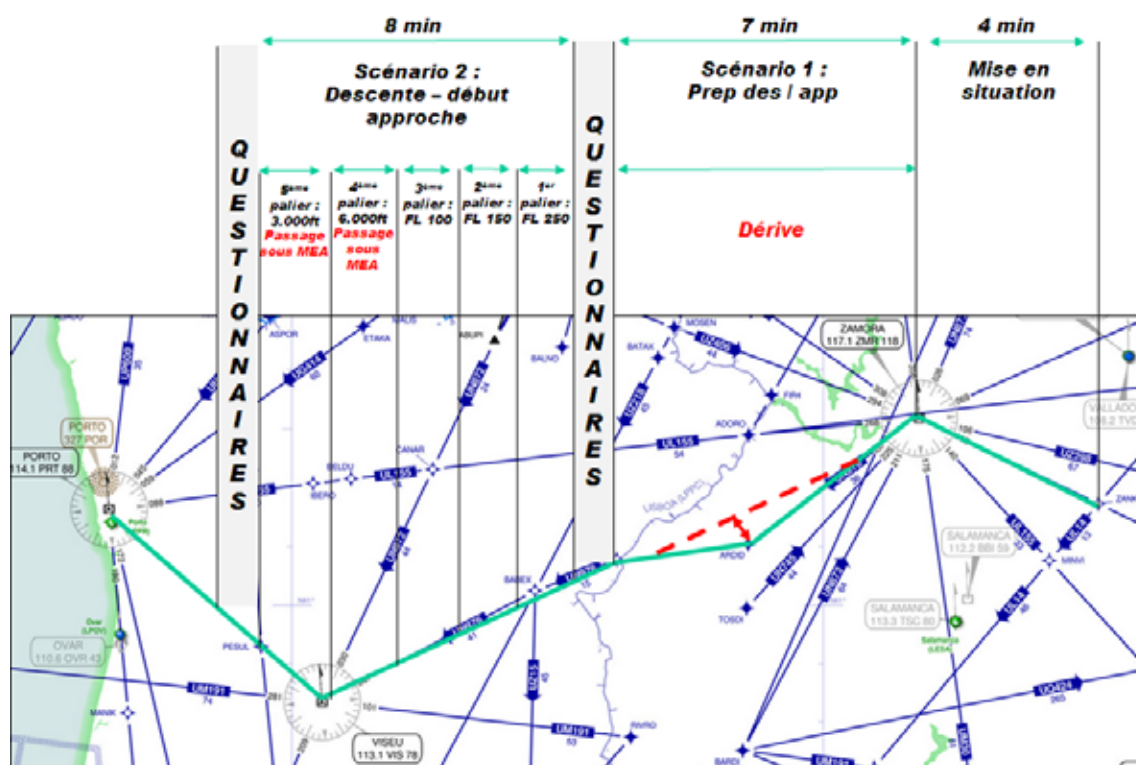


Figure 53 : Scénarios réalisés pendant les expérimentations

Plus précisément, le déroulement du scénario 1 était le suivant. Des informations concernant l'arrivée prévue (fournies habituellement par l'Automatic Terminal Information Service (ATIS)) étaient ici transmises par un expérimentateur à la suite des 3 minutes de mise en situation. Ces informations étaient les suivantes :

« Porto aéroport, information Hôtel enregistrée à 10h UTC. Approche VOR piste 35. Piste 35 en service. Décollage 35. Niveau de transition 40. Vent 320°, 04 nœuds. CAVOK. Température +20. Point de rosée +10. QNH 1026. Informer Porto dès premier contact que vous avez reçu l'information Hôtel. »

A partir de ce moment-là, le pilote passait donc dans la phase de préparation descente-approche. Il devait noter ces informations. Ces données informaient le pilote qu'il y avait un changement de piste à l'arrivée. En effet, ce n'était plus une approche ILS 17 prévue mais une VOR 35. Ainsi, le pilote était amené à insérer une nouvelle approche dans l'interface. Pendant ce temps-là, une dérive apparaissait sur l'écran. Ainsi, l'avion se décalait petit à petit du trait vert et une valeur de la distance de l'avion par rapport à sa trajectoire (valeur de cross-track) apparaissait à la droite de l'avion.

Ici, nous cherchions à voir si, selon l'interface utilisée, le pilote détectait ou non la dérive. Et s'il la détectait dans les deux conditions, la détectait-il plus rapidement dans l'une que dans l'autre ?

Second scénario

Le second scénario avait pour objectif de tester la troisième étape de la conscience de la situation des pilotes, c'est-à-dire la projection des états futurs (l'anticipation). Ce scénario se déroulait pendant la phase de descente et le début de l'approche. Ici, le pilote n'est plus dans une phase de double tâche. Le contrôleur faisait faire au pilote une descente en paliers. Au quatrième et cinquième palier, le contrôleur donnait une altitude de palier qui passait en dessous des altitudes de sécurité. Nous cherchions à voir si les pilotes anticipaient le fait que l'avion serait en dessous des altitudes de sécurité s'il acceptait les consignes du contrôleur et donc s'ils avaient conscience de son passage en dessous des altitudes de sécurité. Donc tu testes un scénario qui met à mal la SA. Il faut rappeler sur quoi tes choix de scénario jouent au niveau cognitif.

Plus précisément, le scénario 2 se déroulait de la manière suivante. Le pilote ayant fini la phase de préparation descente-approche, il était en attente du point TOD (*Top Of Descent*) afin d'entamer sa descente. Au point tournant « NINOS », le contrôleur lui fournissait une instruction pour commencer la descente avec un premier palier à 25 000 pieds. Puis, 30 nautiques avant le VOR VIS, il l'informait d'un deuxième palier à 15 000 pieds. Lorsque l'avion atteignait 200 pieds, un troisième palier était proposé à 10 000 pieds. Arrivé au VOR VIS, il était demandé au pilote de réduire à 250 nœuds et de contacter Porto approche. Lorsque le pilote contacte l'ATC de Porto, celui-ci informe le pilote que la piste est momentanément fermée pour cause de débris et qu'à cet instant, les avions sont déroutés sur l'aéroport de Vigo. Cela avait pour but de charger cognitivement le pilote. En effet, étant en condition de laboratoire, le pilote n'était pas occupé ni avec les autres conversations entre le contrôle et les autres avions, ni par les PNC, ni avec les possibles changements de trajectoire (e.g. les direct-to). Nous avons donc tenté d'augmenter l'exigence cognitive sur la fin de la descente. A la suite de cette annonce, le contrôle demande au pilote de continuer pour le moment sur la trajectoire prévue et de descendre à 6000 pieds (l'altitude de sécurité étant à 7000 pieds). Puis enfin, le contrôleur annonce que la piste est dégagée et demande au pilote de descendre à 3000 pieds (au lieu des 4000 pieds de sécurité).

Ici, nous cherchions à observer si selon les interfaces les pilotes avaient conscience qu'ils passaient en dessous des altitudes de sécurité et dans l'affirmative, s'ils en avaient conscience plus rapidement avec l'une ou l'autre des interfaces.

6.1.5 Procédure

Cette expérimentation s'est déroulée en six étapes que nous allons exposer :

1. Dans un premier temps, il était expliqué au participant le déroulement de l'expérimentation sans donner d'information sur le but de cette dernière. Egalement, il

lui était expliqué que la session serait filmée par deux ou trois caméras (selon l'interface utilisée). Il lui était ensuite présenté la fiche de consentement (cf. Annexe 16) qu'il devait signer s'il acceptait les conditions de participation à l'étude.

2. Ensuite, il y avait un temps dédié à la présentation et à l'apprentissage de l'interface. Ce temps n'était pas défini. Le participant pouvait prendre autant de temps qu'il le souhaitait pour manipuler l'interface.
3. A la suite de ce temps d'apprentissage venait une période de prise de connaissance du vol à réaliser et donc des documents de vol. Ces documents étaient :
 - le plan de vol (cf. Annexe 19),
 - les cartes d'approche pour les aéroports de Porto (cf. Annexe 20), Lisbonne et Vigo,
 - le routier,
 - les NOTAMs (cf. Annexe 21).
4. Puis, nous donnions la consigne suivante aux pilotes : « *Essayez au maximum d'imaginer que vous êtes dans un avion (type A320). Faites comme vous feriez d'habitude Si vous avez des remarques sur l'interface, nous en parlerons après le vol. Si en revanche vous avez un problème ou vous êtes bloqué quelque part, faites nous le savoir et nous vous guiderons.* » Les scénarios de vol étaient alors déroulés et le participant réalisait le vol et remplissait les questionnaires lors des gels.
5. Ensuite, un débriefing était mené sur ce qui venait d'être réalisé. Le participant était convié à donner ses impressions sur ce qu'il venait de faire. On lui demandait également des éléments de détails sur les événements du scénario.
6. Enfin, nous lui expliquions le but de l'expérimentation et nous lui présentions la seconde interface (non utilisée). Il était convié à donner son avis sur les deux interfaces.

6.1.5 Mesures

Trois variables étaient mesurées pour cette expérimentation :

- la conscience de la situation,
- l'utilisabilité des interfaces,
- les procédures mises en place par les pilotes.

Mesure de la conscience de la situation

Deux types de questionnaires ont été utilisés afin de mesurer la conscience de la situation : la SAGAT (*Situation Awareness Global Assessment Technique*) d'Endsley (1995b) et la SART (*Situation Awareness Rating Technique*) de Taylor (1990).

La SAGAT

Etant une « *freeze probe technique* »⁸, la SAGAT permet de mesurer directement la conscience de la situation des opérateurs (autrement dit, pendant la réalisation de la tâche). Pour cela, la simulation est arrêtée aléatoirement et les écrans sont alors noircis. A ce moment-là, les opérateurs doivent alors remplir un questionnaire qui fait appel à leur connaissance et à leur compréhension de la situation, et ce au moment de l'arrêt inopiné de la simulation. A la suite de cela les réponses des opérateurs sont comparées à la situation et à l'état du système. Ainsi, l'avantage de la SAGAT est qu'elle permet d'obtenir des mesures objectives et directes de la conscience de la situation des opérateurs (Endsley, 1995b ; Endsley, Selcon, Hardiman, & Croft, 1998 ; Jones & Endsley, 2004). En revanche, un des inconvénients de cette technique est qu'elle introduit des coupures dans l'activité.

Dans le cadre de cette expérimentation, le nombre de questions à ce questionnaire a été limité afin de réduire au maximum le temps entre les arrêts. Ce choix nous a conduits à un questionnaire composé de sept questions (*cf.* Annexe 17):

- trois évaluant le niveau 1 de la conscience de la situation (exemple : *quel est le cap suivi par l'avion ?*),
- trois évaluant le niveau 2 de la conscience de la situation (exemple : *est-ce que la vitesse suivie par l'avion est celle requise ?*),
- et une évaluant le niveau 3 de la conscience de la situation (exemple : *y a-t-il un événement dans le déroulement du vol qui peut entraîner un risque ?*).

La SART

Cette technique propose une approche multidimensionnelle pour mesurer la conscience de la situation. Elle utilise dix dimensions : l'instabilité de la situation, la complexité de la situation, la variabilité de la situation, la vigilance, l'allocation de l'attention, la division de l'attention, la

8

Qui se traduirait en français comme « la technique d'enquête par gel »

charge mentale, la quantité informationnelle, la qualité informationnelle, et la familiarité avec la situation, que les pilotes doivent évaluer sur une échelle de Likert allant de 1 à 7 (*cf.* Annexe 18). Ces dix items sont combinés et renvoient alors à trois grandes dimensions comprises dans la conscience de la situation :

- le niveau des exigences attentionnelles,
- le niveau des réserves des ressources attentionnelles,
- le niveau de la compréhension de la situation.

Ce questionnaire est administré post-test a donc l'avantage d'être non intrusif quant à la tâche en cours. Cependant, il peut revêtir l'inconvénient d'avoir un rappel plus pauvre. Cette technique permet toutefois d'avoir accès à des mesures subjectives de la conscience de la situation (à l'inverse de la SAGAT).

Dans le cadre de cette expérimentation, les participants rencontrés étant tous francophones, le questionnaire de la SART a été traduit en français.

Pour mesurer la conscience de la situation des pilotes pour nos deux scénarios, ces deux types de questionnaires étaient complétés par les pilotes. Afin de trouver un compromis entre les inconvénients de ces deux techniques (passation online pour la SAGAT et post-test pour la SART), nous avons décidé faire intervenir un arrêt de la simulation juste avant la fin de chaque scénario. Ainsi, nous n'attendions pas la fin de la simulation totale (pour ne pas avoir trop de perte quant aux rappels) mais nous n'interrumpions pas la tâche du pilote pendant l'apparition des événements.

Mesure de l'utilisabilité de l'interface

Questionnaire « USE » de Lund (2001)

Lund a nommé son questionnaire USE pour « Usefulness, Satisfaction and Easy to use », autrement dit « utilité, satisfaction et facilité d'utilisation ». Ce questionnaire est composé de trente questions organisées autour de quatre dimensions. En effet, on retrouve les trois dimensions précédemment citées avec en plus, l'aspect « facilité d'apprentissage » qui s'ajoute. L'opérateur est alors amené à évaluer chaque question sur une échelle de Likert allant de 1 (fortement en désaccord) à 7 (fortement d'accord).

Les pilotes avaient à compléter ce questionnaire à la fin des deux scénarios. Dans le cadre de cette expérimentation, nous avons réduit le nombre de questions à seize (*cf.* Annexe 19) afin

que ce ne soit pas trop long pour les participants (qui avaient également les deux questionnaires SAGAT et SART à compléter).

Analyse des procédures mises en place par les pilotes

Pour analyser les différences procédurales selon l'expertise et le type d'interface utilisée, nous avons analysé les enregistrements vidéo. Pour cela, nous avons pris en compte quatre facteurs : le calcul du nombre de détections de dérive, le calcul du temps de détection de dérives, le calcul du temps d'insertion des données de l'approche et le calcul du nombre de détections de dépassement des altitudes de sécurité.

Le calcul du nombre de détections de dérive :

Nous avons compté combien de pilotes, selon l'interface utilisée et/ou leur expertise, détectaient la dérive. N'ayant pas pu mettre en place la technique de l'eye tracker, et de fait, ne pouvant pas dire avec certitude si les pilotes regardaient la dérive, nous avons décidé de valider la détection de la dérive lorsque les pilotes la signalaient verbalement.

Le calcul du temps de détection de la dérive :

Lorsque la dérive était détectait, le temps mis à la détecter était pris en compte. Ce calcul était fait à partir du moment où la dérive débutait jusqu'à ce que le participant commence à verbaliser sa détection.

Le calcul du temps d'insertion des données de l'approche :

Nous avons ensuite pris en compte le temps que les pilotes passaient à insérer leur approche dans le système. Ce calcul de temps était déclenché à partir du moment où le pilote commençait la première action pour insérer les données (soit premier clic du doigt sur la tablette tactile représentant le MCDU, soit premier clic de souris sur l'écran). Dans ce calcul général ont été dissociés le temps mis pour insérer la nouvelle approche et le temps consacré à insérer les performances de cette nouvelle approche.

Le calcul du nombre de détections de dépassement des altitudes de sécurité :

Enfin, nous avons calculé le nombre de détections que les pilotes ont pu faire des dépassements des altitudes de sécurité (en dessous des 7000 pieds puis en dessous des 4000 pieds). Tout comme la détection de la dérive, nous avons pris le parti de compter qu'une dérive était détectée à partir du moment où cela était verbalisé par le pilote.

6.2 Hypothèses

Quatre hypothèses présidaient à notre expérimentation :

1. Favoriser la proximité de présentation de l'information en intégrant toutes les informations sur le même écran (et donc en supprimant le passage en tête basse) permet de réduire la charge de travail dévolue à la recherche et à la saisie des informations (Andre & Wickens, 1989 ; Chanquoy, et al., 2007 ; Amadiou & al., 2009) et donc d'améliorer la conscience de la situation (conscience de la dérive de la trajectoire suivie par l'avion et du passage en dessous des altitudes de sécurité) et cela en réduisant le partage attentionnel (Bailly, 2004).
2. Favoriser la contiguïté spatiale en appariant les informations liées de formats différents (ex : image graphique du point tournant avec les informations le concernant) permet de réduire la charge de travail dévolue à la recherche d'information (Andre & Wickens, 1989 ; Chanquoy, et al., 2007 ; Amadiou & al., 2009) et ainsi améliore la conscience de la situation (Bailly, 2004) des pilotes.
3. Rendre la présentation de l'information cohérente avec l'activité des pilotes et donc contextualiser l'information améliore la conscience de la situation (Endsley, 1995).
4. Enfin, proposer en permanence les informations de la situation en cours à l'écran favorise la perception des informations et donc la conscience de la situation (Endsley, 1995 ; Stanton, et al., 2001).

6.3 Résultats

Nous rappelons que dans cette étude, deux types d'interface étaient évaluées : la première interface représentant le FMS actuel et la seconde étant une interface de FMS « nouvelle » appliquant les préconisations émises plus tôt.

Nous présentons les résultats en deux grandes parties, ceux du premier scénario puis du second. Chacune sera déclinée en deux sous-parties : d'une part, les résultats « objectifs », c'est-à-dire en lien avec la SAGAT, la performance à la tâche (nombre et temps de détection d'événements) et des différences procédurales ; et d'autre part, les résultats de la SART. Enfin, dans une dernière partie, nous exposerons le sentiment des pilotes face à ces interfaces (sentiment d'utilité, d'utilisabilité, de facilité d'apprentissage ou encore de satisfaction).

Des analyses statistiques ont été réalisées. Compte tenu nombre peu élevé de participants, des tests non paramétriques ont été utilisés, à savoir le test de Mann Whitney comparant les moyennes des variables dépendantes selon les deux groupes indépendants d'interface puis selon le niveau d'expertise des pilotes.

Note au lecteur : les résultats sont présentés à partir de moyennes. Selon les cas, le nombre de participants peut différer, et les analyses réalisées peuvent être qualitatives, quantitatives inférentielles ou descriptives.

6.3.1 Premier scénario

Rappel : Apparition d'une dérive lors d'une double tâche (programmation d'une nouvelle approche)

SAGAT

Les résultats de la SAGAT montrent que la nouvelle interface aiderait les pilotes à avoir une meilleure conscience de la situation. Le calcul d'un test de Mann-Whitney, $U(8,8) = 9,5$, $p < .05$, montre que les pilotes, toutes expériences confondues, seraient plus aptes à donner des renseignements corrects quant à la situation lorsqu'ils utilisent la nouvelle interface ($M=5$; $ET=1,19$) plutôt que l'ancienne ($M=2,75$; $ET=1,8$).

En revanche, aucune différence n'apparaît selon l'expertise des pilotes (Novices : $M=4$; $ET=1,77$ / Experts : $M=3,75$; $ET=2,12$). Il est intéressant de noter que si l'on observe les performances des experts, on peut voir qu'ils ont une meilleure performance avec la nouvelle interface ($M=5,5$; $ET=1,5$) qu'avec l'interface actuelle ($M=2,25$; $ET=1,5$), qu'ils connaissent pourtant beaucoup mieux (figure 54).

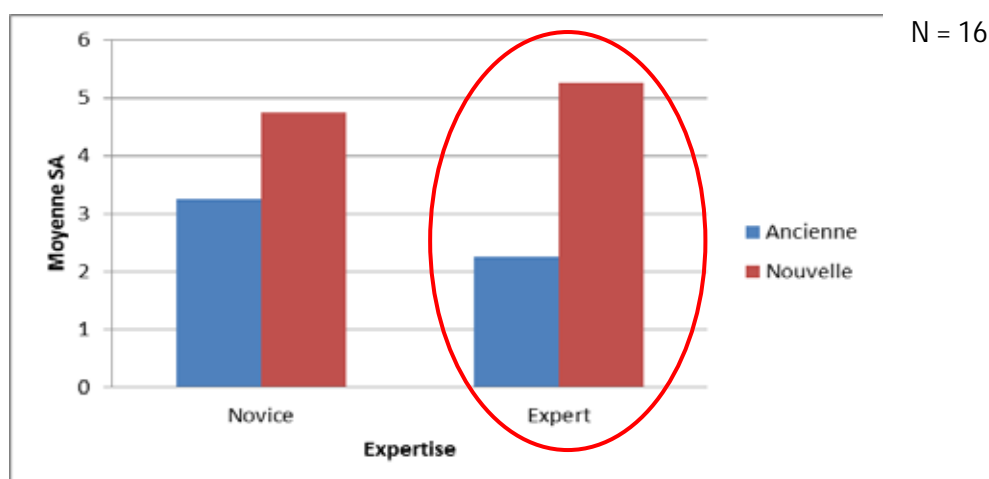


Figure 54 : Résultats obtenus au questionnaire de la SAGAT selon l'expertise des pilotes et l'interface utilisée

Détection de la dérive

En revanche, concernant la performance à la tâche (détection ou non de la dérive), il n'y a pas de différence notable entre les performances obtenues entre la nouvelle interface (5 détections sur 8) et l'interface actuelle (4 détections sur 8). Néanmoins, on peut tout de même noter une tendance dans les résultats. En effet, la dérive a été détectée une fois de plus avec la nouvelle interface pouvant donc montrer un apport de cette dernière.

Un pilote novice nous explique qu'il a vu que l'avion ne suivait pas exactement sa trajectoire mais il était tellement impliqué dans la tâche de programmation du MCDU qu'il n'y a pas vraiment prêté attention.

Un expert, également, nous explique qu'il était tellement accaparé par la programmation du MCDU et par son apprentissage qu'il n'a pas surveillé le plan de vol. Cela vient confirmer et renforcer un des constats émis par le commanditaire de cette étude selon lequel l'apprentissage du FMS est très long et que ce système est complexe. De plus, il rajoute que l'avion étant en pilote automatique, il ne s'inquiétait pas pour le suivi de la trajectoire et qu'il a délégué à ce moment-là cette tâche de surveillance au pilote automatique. Le comportement de ce pilote met en évidence une baisse de vigilance due à l'utilisation de systèmes automatiques et également montre la sur-confiance qu'ont les pilotes à l'égard du FMS.

Temps de détection de la dérive

Lorsque l'on considère les 9 pilotes qui ont détecté la dérive, d'un point de vue descriptif, l'examen du temps mis par les pilotes à détecter cette dérive indique que la nouvelle interface réduit ce temps (M=136,8 ; ET=40,58) par rapport à la version actuelle (M=142,25 ; ET=36,76). Cela va donc dans le sens de nos attentes. En effet, avoir toutes les informations intégrées sur le même écran avec les informations concernant la situation en cours disponibles en permanence à l'écran permet ici de détecter plus rapidement l'événement apparaissant dans la situation en cours. Ainsi, cela permettrait d'avoir une meilleure conscience de la situation.

Temps d'insertion de la nouvelle approche

Nous insistons cependant sur le fait que le temps mis à détecter la dérive est plus court lors de l'utilisation de la nouvelle interface. Ce résultat peut s'expliquer par le temps passé à insérer les données de la nouvelle approche.

Dans un premier temps, il faut noter que tous les pilotes de la condition « nouvelle interface » ont réussi à insérer entièrement la nouvelle approche (nouvelle piste + données de performances). A l'inverse, dans la condition « ancienne interface », seulement la moitié d'entre eux ont inséré l'approche dans sa globalité.

D'un point de vue descriptif, l'examen du temps mis pour insérer l'approche dans sa totalité montre que le temps d'insertion des données pour une nouvelle approche (nouvelle piste, ainsi que les données de performances) est plus court sur la nouvelle interface (M = 104,5 ; ET=24,97) que sur l'ancienne (M=171,75 ; ET=23,65).

Ainsi, les pilotes passent moins de temps dans la tâche d'insertion des données, ce qui leur laisse plus de temps pour se consacrer à la tâche de surveillance des données actuelles. De plus, la tâche d'insertion des données, plus longue sur l'ancienne interface, est d'autant plus néfaste à la conscience de la situation car elle se déroule en tête basse, augmentant le partage attentionnel et donc la charge de travail. La meilleure qualité de la conscience de la situation sur la nouvelle interface peut donc être expliquée également par la réduction du partage attentionnel (toutes les informations étant intégrées dans la même interface).

Si l'on réalise des comparaisons d'un point de vue descriptif chez les pilotes experts selon l'interface utilisée, le résultat vient d'autant plus dans le sens de nos attentes. En effet, les résultats à ces comparaisons montrent que même les experts sont plus rapides pour insérer l'approche avec la nouvelle interface (M=105,25 ; SD=23,26) qu'avec l'actuelle qu'avec l'actuelle (M=162,67 ; SD=18,56). Ainsi, même en étant expert du système et donc en ayant une bonne connaissance du système (où l'on pourrait penser qu'ils ont instauré des automatismes), on peut voir que la nouvelle interface permet d'obtenir un gain de temps quant à l'insertion de données.

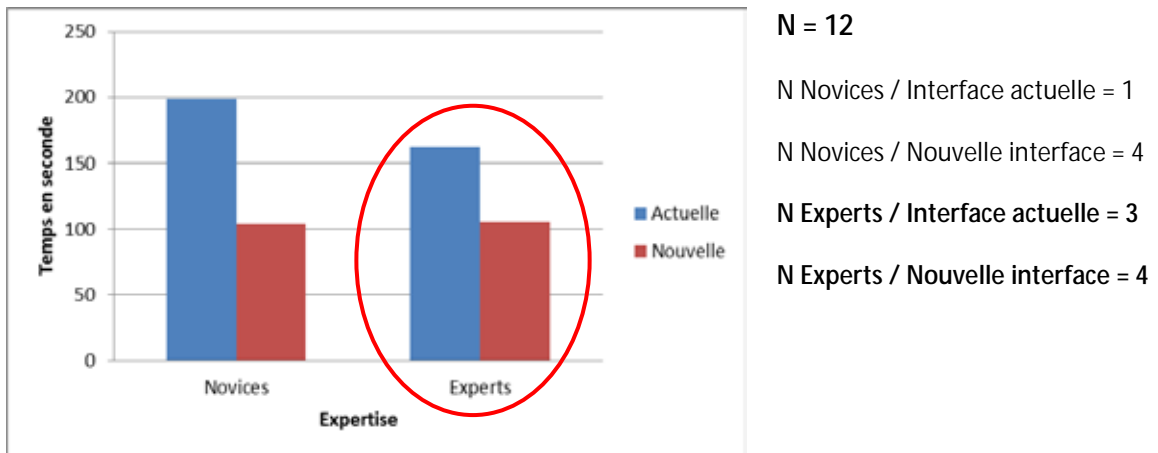


Figure 55 : Temps d'insertion de la nouvelle approche selon l'expertise des pilotes et l'interface utilisée

Deux autres résultats apparaissent lorsque l'on regarde la performance à la tâche dans sa globalité (Tableau 7), autrement dit la détection de la dérive et l'insertion de la nouvelle approche dans sa totalité (nouvelle piste + performances).

| Expertise | Détection | Insertion totale de l'approche |
|-----------|-----------|--------------------------------|
|-----------|-----------|--------------------------------|

| | | | |
|-----------------------------|--------|---|---|
| Groupe "Interface actuelle" | Novice | ✓ | ∅ |
| | Novice | ✓ | ∅ |
| | Novice | ✓ | ∅ |
| | Novice | ∅ | ✓ |
| | Expert | ∅ | ✓ |
| | Expert | ∅ | ✓ |
| | Expert | ✓ | ∅ |
| | Expert | ∅ | ✓ |
| Groupe "Nouvelle interface" | Novice | ∅ | ✓ |
| | Novice | ∅ | ✓ |
| | Novice | ✓ | ✓ |
| | Novice | ✓ | ✓ |
| | Expert | ✓ | ✓ |
| | Expert | ∅ | ✓ |
| | Expert | ✓ | ✓ |
| | Expert | ✓ | ✓ |

Tableau 7 : Performances des pilotes des deux groupes expérimentales relatives à la détection de la dérive et à l'insertion totale des données de l'approche

Le premier résultat observable ici est qu'il n'y a qu'avec la nouvelle interface que les pilotes ont réussi à être performants dans la double tâche assignée. Autrement dit, il n'y a que dans cette condition que les pilotes insèrent entièrement leur approche (sans faire d'erreur) tout en détectant la dérive (5 pilotes sur 8). A l'inverse, aucun pilote ne réussit à faire la double-tâche dans sa globalité dans la condition « Interface actuelle ». Ainsi, on peut à nouveau dire que la nouvelle interface facilite le partage attentionnel dans le sens où les pilotes ne focalisent plus toutes leurs ressources attentionnelles dans l'insertion des données. Ils sont aussi en mesure de percevoir les états et éléments pertinents dans l'environnement.

De plus, ces résultats viennent renforcer les résultats obtenus à la suite de l'analyse de la tâche concernant la tâche de préparation de l'arrivée et de l'insertion des données dans le système, jugée comme une tâche très importante pour les pilotes (ils la mettent au premier au détriment de la surveillance de la situation actuelle). En effet, on peut voir ici que toutes expertises et interfaces confondues, la tâche d'insertion des données (12 sur 16) est la mieux réussie par rapport à la détection de la dérive (9 sur 16).

Si l'on regarde la performance des pilotes novices sur l'interface actuelle, les résultats montrent que seulement un pilote a réussi à insérer l'approche dans sa globalité. Cela vient renforcer le

constat que le système actuel est complexe et que son apprentissage est difficile pour les novices. Il est intéressant de noter qu'un des novices n'ayant pas réussi à insérer l'approche s'est retrouvé en situation très inconfortable. Il s'agissait d'un pilote n'ayant aucune expérience ni aucune formation sur FMS. Cette tâche d'insertion de données dans le MCDU a engendré un état de stress important chez ce participant.

Ces résultats plaident donc en faveur de la nouvelle interface qui permet d'obtenir de meilleurs résultats quant à la performance à la tâche.

SART

En revanche, les résultats de la SART, qui sont des résultats subjectifs, indiquent des résultats inverses. Les calculs au test du Mann Whitney, $U(8,8) = 12,5$, $p < .05$, montrent que les pilotes jugent leur conscience de la situation (toute expertise confondue) comme étant meilleure avec l'interface actuelle ($M=3,47$; $ET=1,46$) qu'avec la nouvelle ($M=2,29$; $ET=0,88$). Ce résultat peut être expliqué par la nouveauté et la mauvaise connaissance de l'interface. Les pilotes, n'ayant pas eu une phase d'apprentissage assez importante en amont de l'expérimentation, ont parfois dû faire une recherche d'information plus longue ou même poser des questions pendant l'expérimentation en cours afin de savoir où trouver telle ou telle information. Ainsi, cela les a peut être amenés à évaluer moins bien leur conscience de la situation que sur l'interface connue et donc mieux maîtrisée.

De plus, à ajouter à ce premier résultat, à la vue des calculs au test du Mann Whitney ($U(8,8) = 9,5$, $p < .05$), on s'aperçoit que, quelle que soit l'interface utilisée, les experts jugent de manière plus élevée leur conscience de la situation ($M=3,51$; $ET=0,97$) en comparaison aux novices ($M=2,25$; $ET=0,89$), (figure 57).

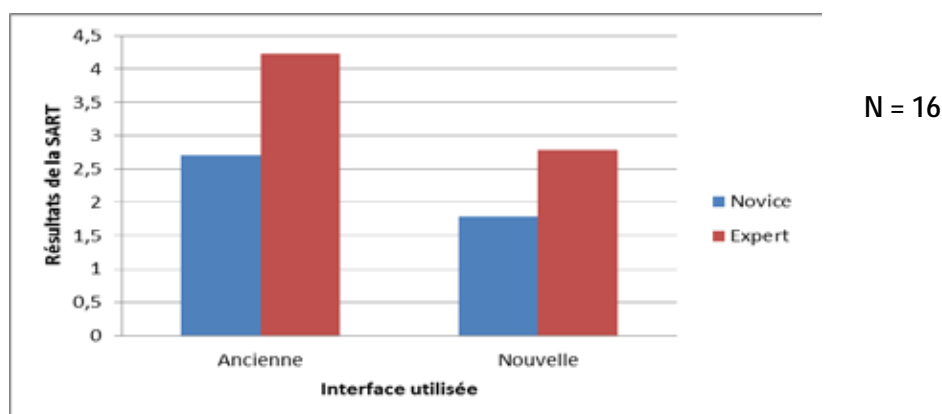


Figure 56 : Résultats obtenus au questionnaire de la SAGAT selon l'expertise des pilotes et l'interface utilisée

Notamment, si l'on regarde plus en détails les trois dimensions de la SART (« U » renvoyant à la Compréhension de la situation, « D » faisant référence aux exigences liées aux ressources attentionnelles et « S » concernant les réserves de ressources attentionnelles), les calculs au test du Mann Whitney ($U(8,8) = 11,5, p < .05$) montrent que les pilotes experts jugent la dimension « S » (réserves de ressources attentionnelles) de manière plus élevée ($M=4,96$; $ET=0,78$) que les pilotes novices ($M=2,25$; $ET=0,89$), (figure 58).

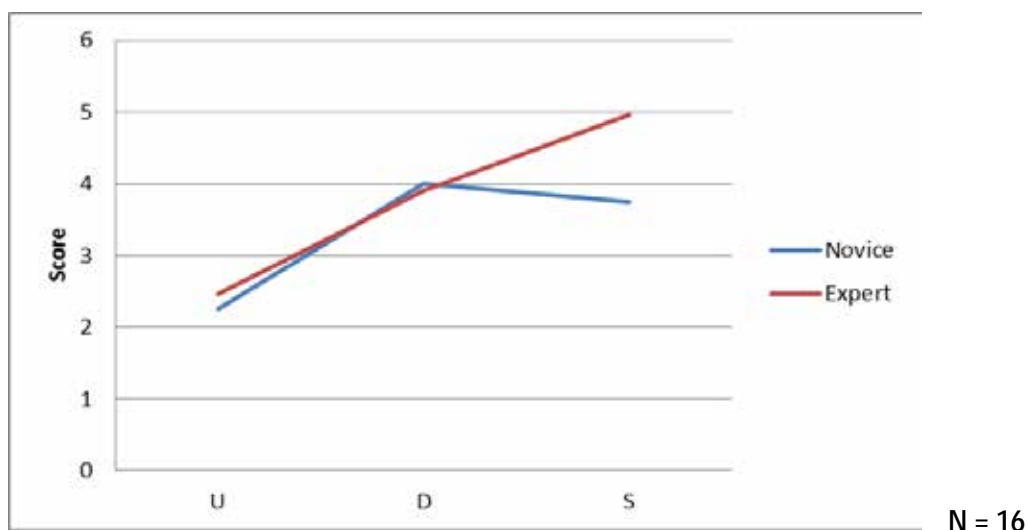


Figure 57 : Scores obtenus au questionnaire pour les trois dimensions de la SART

Ce résultat va dans le sens de nos attentes et de la littérature. Autrement dit, les experts font une recherche de l'information qui est dirigée par les buts. Ainsi, ils ne vont rechercher que l'information qu'ils jugent utile par rapport au but poursuivi. De ce fait, ils vont traiter une quantité d'informations plus réduite comparée aux novices qui se lancent dans une recherche et une analyse de l'information plus exhaustive (Dinet, 2004). Ainsi, il est cohérent que les pilotes experts évaluent leur réserve de ressources attentionnelles comme étant plus élevée que celle des novices.

Bilan du scénario 1

Etant donné l'ensemble des résultats concernant le premier scénario (Tableau 8), on peut voir que la nouvelle interface obtient un bilan positif. Dans le cadre de ce premier scénario, elle a permis d'améliorer la conscience de la situation des pilotes. En effet, ils répondent majoritairement mieux aux questions de la SAGAT faisant référence aux trois niveaux de la conscience de la situation d'Endsley (1995). De plus, les résultats concernant le nombre de détections de la dérive, ainsi que le temps de détection de cette dernière et le temps d'insertion des données de l'approche sont toujours meilleurs avec la nouvelle interface qu'avec l'actuelle. La performance globale à la tâche vient confirmer cela du fait que seuls les pilotes utilisant la nouvelle interface accomplissent toutes les tâches à réaliser. Il n'y a donc que le jugement de

conscience de la situation (via la SART) qui plaide en faveur de l'interface actuelle (cela pouvant être imputé à la nouveauté de l'interface et à son temps d'apprentissage trop court).

| | Ancienne | Nouvelle |
|---|----------|----------|
| SAGAT | - | + (**) |
| Nombre de détection de la dérive | - | + |
| Temps de détection de la dérive | - | + |
| Temps d'insertion de nouvelle approche | - | + |
| Performance globale à la tâche (détection dérive + insertion entière de l'approche) | - | + |
| SART | + | - |

Tableau 8 : Bilan des résultats concernant le premier scénario

Deuxième scénario

Rappel : Dépassement des altitudes de sécurité avec comme double tâche la préparation d'un dégagement vers VIGO.

SAGAT

Dans le cadre du deuxième scénario, les résultats au questionnaire de la SAGAT à la suite du calcul au test du Mann Whitney ($U(8,8) = 31, p > .05$) ne montrent pas de résultats significatifs. Toutefois, on peut observer un score légèrement plus élevé à la SAGAT avec la nouvelle interface ($M=5,38 ; ET=1,19$) qu'avec l'ancienne ($M=5,25 ; ET=1,49$). Il n'y a pas de différence remarquable entre les experts et les novices, et ce quelle que soit l'interface utilisée.

Cela est sûrement dû à l'attente de ce second questionnaire de la SAGAT. En effet, les participants l'ayant déjà rempli une première fois lors du précédent scénario et ayant eu des difficultés à y répondre (ce qui a eu un impact sur leur ego), ils ont passé leur temps lors de ce second scénario à surveiller les paramètres tels que le cap, l'altitude et la vitesse. Ainsi, ce second questionnaire a eu de très bon score dans toutes les conditions. Ceci est appuyé par le calcul d'un test de Mann-Whitney, $U(16,16) = 69, p < .05$, que l'on obtient si l'on compare les

scores obtenus entre le premier ($M=3,87$; $ET=1,89$) et le second scénario ($M=5,31$; $ET=1,30$), toutes conditions confondues.

De plus, lors du débriefing, les pilotes nous ont signalé que pour eux, l'information de cap n'est pas une information qu'ils jugent comme pertinente pour le vol. En effet, pour eux, l'important est de connaître la direction dans laquelle ils évoluent (par exemple, Nord-Est) et non le cap exact au degré près.

Détection des altitudes de sécurité

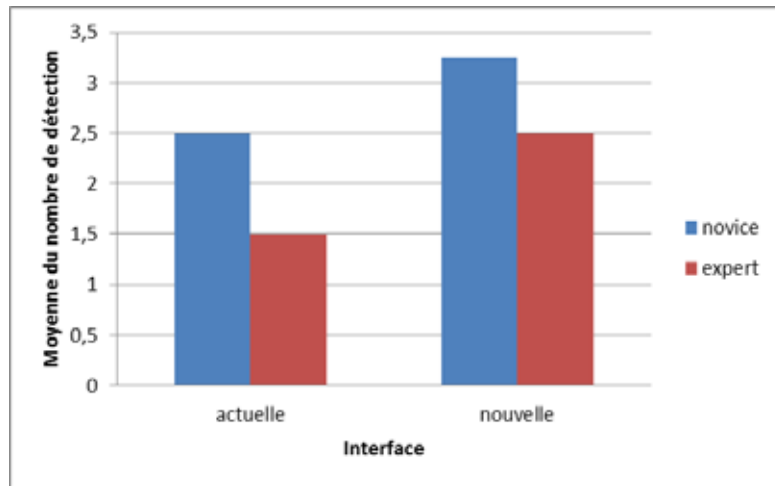
On n'observe pas de différence dans le nombre de détections d'altitude de sécurité selon l'interface utilisée (11 détections sur 16 dans les deux cas). En revanche, on peut voir que les experts détectent un peu plus les passages en dessous des altitudes de sécurité (12 sur 16) par rapport aux novices (10 sur 16).

De plus, si l'on regarde les résultats plus en détail, on s'aperçoit que, toutes expertises et interfaces confondues, les participants détectent d'avantage le passage en dessous de 3000ft (13 sur 16) que ceux à 7000ft (9 sur 16). Ce résultat paraît cohérent et corrobore les dires des pilotes. En effet, plus ils se rapprochent du sol, plus le risque est important. De ce fait, la surveillance des paramètres et surtout du paramètre des altitudes de sécurité devient une tâche prioritaire.

Malgré tout, ce résultat attire l'attention. En effet, même si le nombre de détections est supérieur à la moyenne, il est quand même surprenant de voir qu'un quart ou plus des passages en dessous des altitudes ne sont pas détectés. Une des explications peut être imputée au fait que les pilotes n'étaient pas dans des conditions naturelles. Le fait que l'expérimentation se déroulait en laboratoire a dû avoir un impact sur leur implication dans la tâche. Un des participants nous a signalé avoir détecté le passage en dessous de 7000ft mais ne pas l'avoir pris en compte pendant le scénario car « il faisait ce que nous lui demandions de faire ». De plus, ce même pilote nous a dit ne pas avoir réussi à se mettre en condition de vol du fait de ne pas avoir commencé le vol dès le début, c'est-à-dire dès le décollage. Le fait d'avoir commencé le vol en phase croisière a eu un effet perturbateur pour lui.

Nombre de vérifications des altitudes de sécurité

Les pilotes détectent autant les passages en dessous des altitudes de sécurité quelle que soit l'interface utilisée (figure 59). Pourtant, ils font d'avantage de vérifications avec la nouvelle interface ($M=2,9$; $ET=1,81$) qu'avec l'actuelle ($M=2$; $ET=1,69$).



N = 16

Figure 58 : Nombre de vérifications selon l'expertise des pilotes et de l'interface utilisée

L'augmentation du nombre de vérifications s'explique par le fait que les pilotes, sur la nouvelle interface, vont rechercher deux fois la même information (écran + papier). Mais on peut voir que cela n'améliore pas le nombre de détection des passages en dessous des altitudes de sécurité. Finalement, en augmentant la quantité d'accès à la même information et donc la quantité de recherches d'information, on a peut-être engendré une charge de travail supplémentaire qui n'a pas été bénéfique à la conscience de situation.

Comme dit précédemment, au niveau procédural, il est important de noter la différence de manière de faire qui est apparue selon les interfaces utilisées. Les pilotes volant sur l'interface actuelle se réfèrent à la carte papier pour regarder et contrôler les altitudes de sécurité. En revanche, les pilotes volant sur la nouvelle interface utilisent moins les cartes papiers et vont d'avantage rechercher les informations directement sur l'interface. Par ailleurs, le débriefing fait apparaître le fait que même si les pilotes vont naturellement chercher l'information sur l'interface quand celle-ci est disponible, ils ressentent le besoin de confirmer cette information en consultant les cartes papiers.

Il est également intéressant de noter qu'un des participants experts ayant réalisé l'expérimentation sur la nouvelle interface et n'ayant pas détecté le passage en dessous des altitudes de sécurité, nous a expliqué qu'il n'avaient fait aucune vérification des altitudes car, étant en expérimentation, il a fait ce que le « contrôleur » lui demandait (et ce malgré la consigne de départ).

SART

Le calcul d'un test de Mann-Whitney, $U(8,8) = 17$, $p > .05$, montre que les pilotes évaluent leur conscience de la situation comme meilleure avec la nouvelle interface ($M=4,16$; $ET=0,38$) qu'avec l'ancienne ($M=3,49$; $ET=0,92$). Ces résultats ne sont pas significatifs lorsqu'ils sont

observés dans leur globalité. En revanche, si l'on regarde en détail les trois dimensions de la SART, on observe une différence significative pour la dimension « Demand », ($U(8,8) = 12,5$, $p < .05$), (figure 60). Les pilotes jugent les exigences liées aux ressources attentionnelles comme étant plus élevées avec l'ancienne interface ($M=5,59$; $ET=0,35$) qu'avec la nouvelle ($M=4,49$; $ET=0,77$).

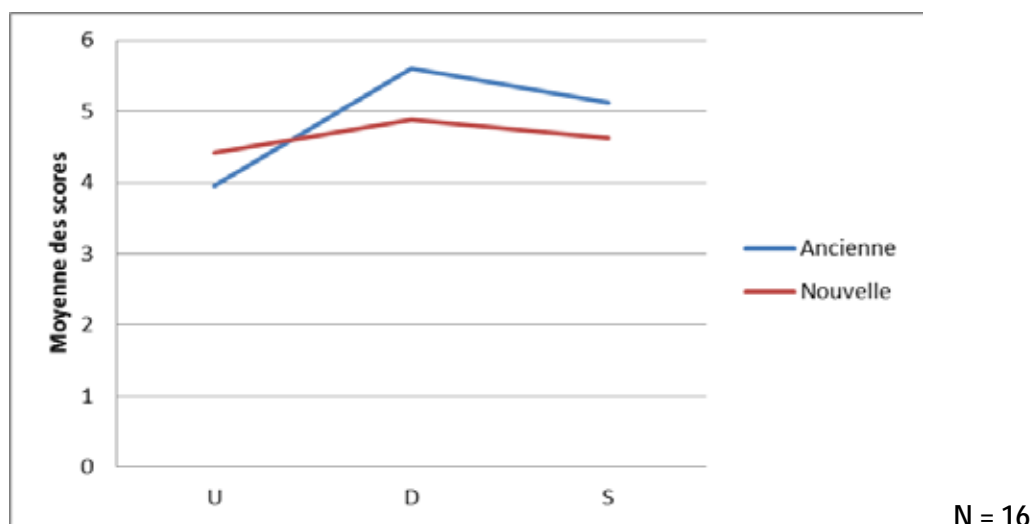


Figure 59 : Scores obtenus au questionnaire pour les trois dimensions de la SART

Ce résultat va donc dans le sens de nos attentes. Autrement dit, présenter les informations d'un point de vue opérationnel et réduire le partage attentionnel permet de réduire le sentiment de complexité, d'instabilité et de variabilité de la situation.

Ici encore, le calcul d'un test de Mann-Whitney, $U(16,16) = 58$, $p < .05$, montre que les participants dans leur totalité jugent leur conscience de la situation comme étant meilleure lors du deuxième scénario ($M=3,83$; $ET=0,77$) que dans le premier ($M=2,88$; $ET=1,11$). Cela peut être dû à une prise en main des maquettes qui s'améliore au fur et à mesure de l'avancement dans l'expérimentation. Egalement, le stress, dû au fait d'être en expérimentation, pouvant être présent lors du premier scénario, a sûrement diminué voir disparu par la suite. Cela a également un impact sur le jugement de la conscience de la situation par les pilotes.

Bilan scénario 2 :

En effet, lors du deuxième scénario, on peut voir que les résultats vont en faveur de la nouvelle interface (Tableau 9). En effet, même si cela est très léger, les scores concernant la mesure de la conscience de la situation (SAGAT et SART) sont meilleurs avec la nouvelle interface. Le nombre de détections des passages en dessous des altitudes de sécurité, en revanche, n'est pas plus élevé avec la nouvelle interface mais cela est peut-être dû au nombre de vérifications plus

importants avec la nouvelle interface. En effet, il se pourrait qu'amener les pilotes à faire plus de vérifications ne serait pas bénéfique pour leur conscience de la situation.

| | Ancienne | Nouvelle |
|---|----------|----------|
| SAGAT | - | + |
| Nombre de détection des altitudes de sécurité | = | = |
| SART | - | + |

Tableau 9 : Bilan des résultats concernant le deuxième scénario

6.3.3 Utilisabilité

Concernant le ressenti des participants quant à l'interface sur laquelle ils ont dû réaliser le vol, nous leur avons proposé de compléter le questionnaire USE afin d'extraire leur avis sur quatre dimensions : l'utilité, l'utilisabilité, l'apprentissage et la satisfaction.

Le calcul d'un test de Mann-Whitney, $U(8,8) = 11,5$, $p < .05$, montre que, toute expertise confondue, les pilotes jugent plus positivement l'interface nouvelle ($M=5,53$; $ET=0,45$) par rapport à l'actuelle ($M=4,52$; $ET=0,78$).

Si l'on regarde les quatre dimensions dans le détail, on s'aperçoit que la nouvelle interface est toujours mieux évaluée que l'actuelle. Il ressort du calcul d'un test de Mann-Whitney, pour la dimension « Satisfaction » $U(8,8) = 11,5$, $p < .05$, que les pilotes sont davantage satisfaits de la nouvelle interface ($M=5,5$; $ET=0,80$) que de l'interface actuelle ($M=3,81$; $ET=1,67$), (figure 61).

En revanche, il n'y a pas de différence d'évaluation des interfaces selon l'expertise.

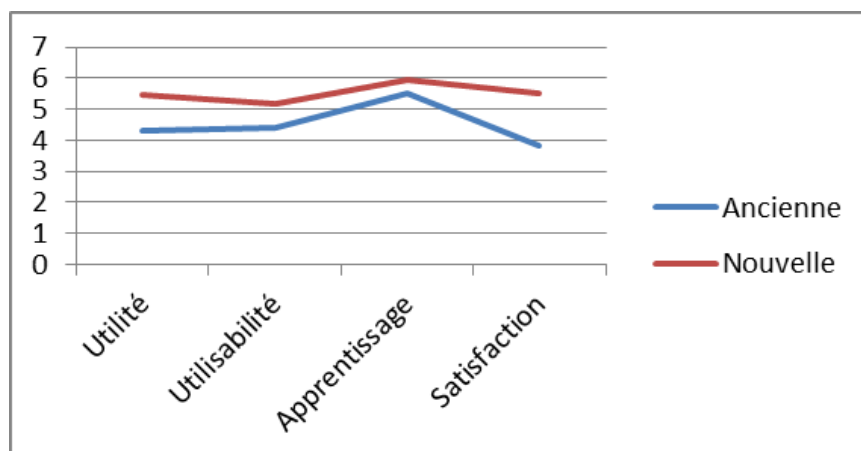


Figure 60 : Score obtenu pour les quatre dimensions du questionnaire USE

6.4 Conclusion intermédiaire

Cherchant à mesurer l'influence de la présentation des informations de navigation sur la conscience de la situation des pilotes, nous avons proposé deux interfaces intégrant des fonctions du FMS. La première était une maquette d'un FMS existant actuellement (de type A320), la seconde était une maquette d'un nouveau FMS qui intégrait les recommandations émises à la suite de l'analyse de la tâche de navigation réalisée lors de notre étude 2. Pour évaluer les deux maquettes, deux scénarios ont été proposés aux pilotes. Le premier scénario se déroulait pendant la phase de préparation descente / approche où il était demandé aux pilotes de programmer une nouvelle arrivée. Une dérive faisait à ce moment-là son apparition. Dans le second scénario, pendant la phase de descente et le début de l'approche, il était demandé aux pilotes de procéder à une descente en palier. Puis, en phase d'approche, les pilotes étaient informés d'un possible dégivrage à l'aéroport de Vigo. A ce moment-là, deux ordres de descente en dessous des altitudes de sécurité étaient envoyés par le contrôleur. Dans ces deux scénarios, nous cherchions à observer et à mesurer la conscience de la situation des pilotes selon l'interface utilisée.

Pour cette expérimentation, les différentes hypothèses émises étaient les suivantes :

- Favoriser la proximité de présentation de l'information en intégrant toutes les informations sur le même écran (et donc en supprimant le passage en tête basse) permet de réduire la charge de travail dévolue à la recherche et à la saisie des informations (Andre & Wickens, 1989 ; Chanquoy, et al., 2007) et donc d'améliorer la conscience de la situation en réduisant le partage attentionnel (Bailly, 2004).
- Favoriser la contiguïté spatiale en appariant les informations liées de formats différents (ex : image graphique du point tournant avec les informations le concernant) permet de réduire la charge de travail dévolue à la recherche d'information (Andre & Wickens, 1989 ; Chanquoy, et al., 2007 ; Mayer, 2008) et ainsi améliore la conscience de la situation (Bailly, 2004) des pilotes.
- Rendre la présentation de l'information cohérente avec l'activité des pilotes et donc contextualiser l'information améliore la conscience de la situation (Endsley, 1995).
- Enfin, rendre les informations de la situation actuelle en permanence présentes à l'écran favorise la perception des informations et donc la conscience de la situation (Endsley, 1995 ; Stanton, et al., 2001).

Pour le premier scénario, les résultats vont dans le sens de nos hypothèses. En effet, les participants utilisant la maquette représentant le nouveau FMS ont eu une meilleure conscience

de la situation : ils ont davantage donné de bonnes réponses au questionnaire de la SAGAT, et ont été les seuls en capacité d'insérer sans erreur toute la nouvelle approche tout en détectant la dérive. Un résultat intéressant est le temps gagné dans l'insertion des données d'approche. Ceci permet d'allouer ce gain de temps à la tâche de surveillance de la navigation ainsi qu'au briefing d'approche qui est une tâche importante pour les pilotes dans leur création d'une conscience de la situation commune. Un second résultat qu'il est important de noter concerne la difficulté qu'ont eu les pilotes novices dans la programmation de la nouvelle approche sur l'interface du FMS actuel. Ceci renvoie à la complexité du système et à la difficulté d'apprentissage de ce dernier. La réorganisation de l'information en lien avec l'activité des pilotes permet à ces derniers un apprentissage du système plus rapide et plus efficace. En effet, avec la nouvelle maquette du FMS, tous les pilotes ont réussi à programmer l'approche.

Concernant le second scénario, les résultats sont plus nuancés et confirment partiellement nos hypothèses. En effet, les pilotes obtiennent de meilleurs résultats au questionnaire de la SAGAT avec la nouvelle interface FMS mais ces résultats ne sont pas significatifs. En revanche, les pilotes ne détectent pas davantage le passage en dessous des altitudes de sécurité avec la nouvelle interface FMS. Presque la moitié du passage en dessous de 7000 pieds n'est pas détecté (toutes interfaces et expertises confondues). Cela peut s'expliquer par la situation d'expérimentation en laboratoire. Les conditions de représentation d'un vol « réel » n'étant pas remplies, il est possible que les pilotes n'aient pas donné la même importance à cette information de MEA que dans leur vie professionnelle de tous les jours. En revanche, seulement trois pilotes n'ont pas détecté leur erreur et n'ont pas non plus détecté le passage en dessous de 4000 pieds. Sur ces trois pilotes, deux d'entre eux nous expliquent qu'ils ne l'ont pas signalé car étant en expérimentation, ils faisaient ce que nous leur demandions. Le troisième, quant à lui, était trop investi dans la tâche d'anticipation de l'approche. Il calculait son plan de descente et n'a pas détecté le passage en dessous des MEA. Ainsi, ces résultats peuvent être expliqués par l'effet de l'expérimentation en laboratoire sur l'activité des pilotes lors de ce scénario et donc ils ne viennent ni confirmer ni infirmer nos hypothèses. En revanche, un résultat allant dans le sens de nos hypothèses concerne ceux obtenus au questionnaire de la SART. Les pilotes volant avec la nouvelle interface FMS évaluent leur SA plus positivement avec la nouvelle interface que l'actuelle et notamment, ils jugent la nouvelle interface comme étant moins exigeante en ressources attentionnelles.

Enfin, les pilotes jugent plus positivement la nouvelle interface, que ce soit au niveau de l'utilisabilité, de l'utilité, de la facilité d'apprentissage ou encore (et d'autant plus) de la satisfaction.

Tous ces résultats sont plutôt favorables à l'intégration des informations de navigation sur un seul et même écran et également à la cohérence de présentation de l'information avec l'activité des pilotes. Un prolongement de cette expérimentation serait intéressant avec des scénarios de vol où les pilotes auraient davantage de champs d'action (comme par exemple l'utilisation des Direct To) rendant ainsi l'expérimentation plus réaliste. Suivant le même objectif, il serait intéressant de faire saisir et rechercher plus d'informations par le pilote afin de vérifier nos premiers résultats.

Quatre grandes limites méthodologiques sont apparues.

La première concerne le peu de temps dévolu à l'apprentissage des maquettes. Cela est dû à l'impossibilité d'avoir une maquette avec un scénario dédié à la partie apprentissage pour chaque condition (interface actuelle vs nouvelle interface). De ce fait, les pilotes manipulaient des maquettes où le vol commençait en amont du début des scénarios. Le problème ici était que les données qu'ils pouvaient manipuler étaient celles prévues par l'expérimentateur. Ainsi, ils étaient limités dans la manipulation de l'interface. Ceci s'est parfois ressenti pendant les expérimentations où les pilotes devaient nous demander si telle ou telle information était existante sur la maquette et où elle se trouvait sur l'interface.

La deuxième limite concerne l'expertise des pilotes « experts » de notre expérimentation. Les pilotes experts dans cette étude n'ont pas tous une expertise comparable. En effet, deux de ces pilotes n'ont jamais volé sur avion doté d'un FMS et donc leur seule connaissance du FMS est issue de leur pratique sur simulateur en tant qu'instructeur. Nous les avons tout de même comptabilisés dans les pilotes experts du fait du nombre d'heures élevé qu'ils ont pu acquérir sur simulateur (6000h et 2000h). Un troisième pilote également dans la catégorie « expert » n'a jamais volé en compagnie. C'est un pilote d'essai. Là aussi, il reste dans la catégorie « expert » du fait de ces 2500h de vol sur A320.

Une troisième limite concerne l'absence de pré-test pour les questionnaires de la SAGAT et de la SART.

- Concernant la SAGAT, les questions ont été élaborées sur la base de l'analyse du besoin. Il est normalement de rigueur de les faire pré-tester auprès d'experts afin de vérifier si les questions posées répondent bien à la conscience de la situation de la situation proposée. Or, il se trouve que par manque d'experts à notre disposition, nous n'avons pas pu réaliser cette étape.
- Le questionnaire de la SART est établi en anglais. Les participants à l'expérimentation étant tous francophones, nous avons décidé de traduire ces questionnaires en français afin d'éviter les problèmes de compréhension. La limite ici est que nous n'avons pas pu,

pour les mêmes raisons citées précédemment, faire pré-tester la traduction auprès de pilotes avant de réaliser l'expérimentation.

Une quatrième limite concerne le fait que l'expérimentation ait été menée dans une condition mono-pilote et non avec un équipage. En effet, lors des phases de préparation descente / approche, descente, et approche, il y a de la charge de travail de plus en plus importante pour les pilotes (comme expliqué précédemment), du fait de la pression temporelle, de la pression en termes de risque (rapprochement avec le sol), des communications de plus en plus importantes (entre les contrôleurs et les pilotes mais également entre les contrôleurs et les autres avions) et les interruptions de tâches qu'il peut y avoir avec les PNC. Pour des contraintes techniques, nous ne pouvons pas reproduire tous ces éléments pour recréer la charge de travail endurée lors de ces phases. Ainsi, nous avons choisi de mettre le pilote en condition mono-pilote pour qu'il ait d'avantage de charge de travail sans que nous ayons besoin, dans une condition en équipage, de créer des événements importants (de type « passager malade »). Cependant, il est intéressant de réaliser des premiers travaux avec des cockpits en mono-pilote du fait de la réflexion actuelle dans le monde de l'aéronautique quant aux cockpits mono-pilote. Ainsi, les résultats de cette étude peuvent amener à des pistes de réflexions autour de ce futur cockpit.

Perspectives

Il faudrait refaire ces expérimentations en proposant au préalable un scénario de vol dédié à l'apprentissage de la maquette permettant une phase de familiarisation avec le matériel. Ceci permettrait d'exclure les résultats qui ne sont pas dus à une mauvaise conscience de la situation mais plutôt à une mauvaise connaissance du matériel.

Un examen des processus attentionnels et de la sélection des informations à l'aide de technique d'eye tracking permettrait de déterminer les informations les plus recherchées par les pilotes ainsi que les zones surveillées (ou non). Ainsi, on pourrait davantage déterminer si les informations ont été perçues mais non traitées (problème de niveau 2 de la conscience de la situation du modèle d'Endsley) ou si les informations n'ont pas été détectées (problème de niveau 1 de la conscience de la situation du modèle d'Endsley). Cela permettrait de contrôler d'autant plus nos premiers résultats et permettrait de mettre en place d'autres moyens d'action pour améliorer la conscience de la situation.

Conclusion générale

En réponse au contexte et aux objectifs de la thèse

Le pilotage est une activité complexe se déroulant dans un environnement dynamique rapide, évoluant sans action nécessaire de la part de l'opérateur. En effet, à la suite de l'avènement de l'automatisation et plus particulièrement du FMS, le pilote se retrouve petit à petit dans une activité passive de surveillance de données. La grande quantité de tâches prises en charge par le système automatisé a tendance à placer le pilote en dehors de la boucle de contrôle. De plus, cette position va être renforcée par l'opacité des systèmes. L'opérateur ne comprend pas tous les calculs et les intentions des systèmes automatisés ; sa compréhension du système en est altérée (Wiener, 1989 ; Sarter & Woods, 1992 ; Diez et al., 2001 ; Sarter, Wickens, & Mumaw, 2007). Les conséquences majeures observées sont d'une part le développement chez les pilotes d'une sur-confiance dans le système et d'autre part, d'une perte des habiletés.

Ainsi, la conscience de la situation des pilotes s'en trouve dégradée. Nous nous sommes référés au modèle de la CS d'Endsley (1995) car il implique que les opérateurs perçoivent les informations pertinentes dans l'environnement (niveau 1 de la CS) où il y a le plus d'erreurs de CS notamment dues à la complexité des systèmes (Jones & Endsley, 1996), qu'ils comprennent la situation actuelle (niveau 2) afin de pouvoir anticiper les états futurs (niveau 3). Ce modèle intègre plusieurs processus cognitifs. Tout d'abord, l'attention va y jouer un rôle très important. En effet, il va falloir que le pilote soit en mesure de mobiliser ses ressources attentionnelles afin de sélectionner la (ou les) bonne(s) information(s). En outre, il se retrouvera également à différents moments du vol en situation de double tâche. Là encore, il faudra qu'il soit en mesure d'allouer ses ressources attentionnelles selon les tâches, et la nature de ces tâches à réaliser. Des études, comme celle de Bailly (2004), montrent que lors de doubles tâches, les performances en tâche secondaire se dégradent. Il faut toutefois noter que l'expertise permet une meilleure gestion des ressources attentionnelles et favorise ainsi de meilleures performances de la tâche secondaire le cas échéant.

Ainsi, les caractéristiques des pilotes ont une influence sur la qualité de leur CS ? Tout d'abord, leur expertise joue un rôle dans la gestion des ressources attentionnelles et donc dans leurs capacités à gérer leur charge cognitive. Leur expertise va aussi avoir un impact sur les modèles mentaux disponibles en MLT et ainsi sur la sélection de l'information (information perçue indépendamment des autres ou sélection de patterns informationnels significatifs). Par ailleurs, les caractéristiques de la tâche vont aussi avoir un impact sur la construction de la CS. Le stress et la charge de travail engendrés par les tâches vont influencer la quantité de ressources attentionnelles disponibles. De plus, le niveau d'automatisation et en lien, la manière dont sont

conçues les interfaces vont jouer un rôle dans l'élaboration de la CS et plus particulièrement dans la sélection d'informations pertinentes (trouver la bonne information) et dans la construction d'une compréhension de la situation en cours.

A partir de leur CS, les pilotes seront alors amenés à prendre des décisions afin de mettre en place l'action adéquate. Là encore, l'environnement, la tâche à réaliser et les caractéristiques de l'opérateur influencent cette prise de décision. Dans cet environnement dynamique rapide qu'est le transport aérien, les pilotes n'ont pas à chaque fois la possibilité d'analyser toutes les données nécessaires pour comprendre la situation dans sa globalité. Ainsi, ils seront amenés à prendre des décisions avant même que la nature du problème soit entièrement comprise. C'est à la suite de ces constats et des travaux théoriques sur la CS que nous avons décidé de mener une série d'études qui avaient pour objectif de comprendre en détails les tâches que les pilotes avaient à réaliser tout au long d'un vol et cela dans le but de proposer des recommandations de conception pour une nouvelle interface de FMS.

Synthèse des résultats

La première étude avait pour but de comprendre plus en détails le déroulement d'un vol. Nous souhaitions recueillir des informations sur ce que chaque phase de vol impliquait que ce soit en termes de tâches (Billings, 1997), d'exigences de charge de travail (Tenney et al., 1998 ; Corwin, 1992), ou encore en termes de besoins informationnels (Schvaneveldt et al., 2001). Cette première étude, fondée sur des entretiens menés auprès de pilotes, a donc permis de confirmer la littérature relative aux quatre méta-tâches (*Aviate*, Naviguer, Communiquer, Gérer les systèmes), (Billings, 1997 ; Schutte & Tujillo, 1996 ; Wickens, 2009) et d'y associer les définitions des pilotes. Elle a également permis d'affiner les résultats déjà enregistrés recherches concernant les phases de vol : leur nombre et leurs exigences et nommant le fait que le début et la fin du vol sont des phases exigeantes par la surcharge informationnelle occasionnée et de la confrontation à des doubles-tâches (Durso & Sethumadavan, 2008 ; Schvaneveldt & al., 2001 ; Tenney & al., 1998). Également, en lien avec la charge de travail selon les phases de vol, l'analyse de ces entretiens permet de mettre en évidence la présence d'un risque d'hypovigilance en phase de croisière (Durso et al., 2011). La compréhension difficile des systèmes automatisés est aussi un aspect qui a été abordé par les pilotes venant encore une fois confirmer la littérature (Sarter & Woods, 1992 ; Weiner, 1989). Enfin, un dernier aspect présent dans les recherches dans le domaine et vérifié par nos résultats concerne la perte des habiletés manuelles du pilotage (Boy 2014 ; Damos & al., 2005 ; Schutte & Tujillo, Wickens, 2009) due au fait que les pilotes utilisent majoritairement les systèmes automatisés tout au long du vol et ne reprennent que très rarement la main. Cette étude a également permis d'acquérir des connaissances quant aux différences dans les tâches à réaliser selon l'expérience des pilotes (pilotes de ligne, pilote

de chasse, pilote de tourisme). Un des aspects les plus importants étant le fait que l'activité des pilotes de chasse est totalement différente de celles des autres pilotes et cela notamment en ce qui concerne la tâche de navigation. En effet, notamment en temps de guerre, cette navigation sera dépendante des événements. C'est pourquoi, pour la suite de ce travail de thèse, nous avons fait le choix de ne pas analyser l'activité des pilotes de chasse.

A partir de cette base de connaissances à propos des tâches de pilotage, nous nous sommes ensuite, dans une deuxième étude, concentrés sur la tâche de navigation (tâche à la base de la conception du FMS). L'analyse cognitive de la tâche réalisée à partir des entretiens menés auprès de 18 pilotes a permis de faire une description de cette tâche de navigation, et ce pour des pilotes volant avec ou sans FMS. Cette comparaison a mis en exergue l'évolution de la tâche à la suite de l'avènement du FMS et son impact sur leur activité. Les analyses ont mis en lumière le fait que l'activité de planification du vol à réaliser est une activité importante chez les pilotes de loisir. Ils vont en effet passer plusieurs heures à préparer leur vol (trajectoire complète, altitude, fréquences radio, etc.). Ainsi, ils vont mettre en place un traitement en profondeur du vol à réaliser leur permettant ainsi de développer et de construire un modèle mental du vol complet. Ce traitement en profondeur a pour effet que le modèle mental est mieux retenu en MLT (Craik, 1979, cité par Maltin, 2001). Lors du vol, les effets en seront une meilleure compréhension de la situation actuelle et également une meilleure anticipation. Autrement dit, la réactualisation de la conscience de la situation de ces pilotes sera facilitée par l'élaboration de ces modèles mentaux complets (Endsley, 1995 ; Wickens, 2009). A l'inverse, les pilotes volant sur gros porteurs en compagnie aérienne n'ont pas à créer le vol (tâche réalisée par le centre des opérations de la compagnie). Ils vont faire une vérification du plan de vol qu'il leur aura été fourni. Ainsi, ils mettront en place un traitement de l'information moins profond, impactant la qualité et la prégnance en MLT de leur modèle mental du vol à réaliser. Cela aura alors un impact sur leur conscience de la situation en vol et notamment lors d'une période de stress ou de pression temporelle où la qualité de traitement de l'information sera d'autant plus affectée (Cœugnet, 2011 ; Gärtner et al., 2014). Un autre élément mis en lumière par cette analyse cognitive de la tâche concerne la charge de travail qui est assez constante pour les pilotes volant sans FMS et très irrégulière pour les pilotes volant avec FMS. Cela est notamment lié à la quantité informationnelle à traiter lors du vol. En effet, chez les pilotes de loisir, la quantité informationnelle n'est pas trop élevée, reste dans l'ensemble assez constante tout le long du vol et ces informations sont utiles aux pilotes pour la compréhension de la situation. De plus, les pilotes auront constamment à faire des vérifications de ces informations (notamment par le biais de calculs mentaux). Ainsi, ils déploient tout au long du vol une attention sélective quant à ces informations leur permettant de réactualiser leur modèle de la situation et donc leur conscience de la situation (Endsley, 1995b, 2000 ; Wickens, 2009). A l'inverse, les pilotes de ligne

volant avec FMS ont une charge de travail beaucoup moins régulière (très élevée en début et fin de vol) due à une quantité importante d'informations à programmer dans le système (Schvaneveldt et al., 2001). Ces informations ne seront pas toujours pertinentes pour leur construction et réactualisation de leur conscience de la situation (par exemple, information de Cost Index). Le FMS tend alors à augmenter la charge cognitive inutile intrinsèque et extrinsèque (Chanquoy et al., 2007 ; Sweller, 2011) des pilotes, mobilisant ainsi leurs ressources attentionnelles, ne facilitant donc pas la construction et la réactualisation de leur conscience de la situation. Cette charge de travail très élevée en début et fin de vol va se réduire de manière importante en phase de croisière pouvant même engendrer un risque en termes d'hypovigilance. Cela est également lié à la quantité d'informations à traiter qui, dans leur cas, sera très faible (Schvaneveldt et al., 2001). De plus, les pilotes sont ici dans une activité de surveillance passive qui a une influence sur leur compréhension de la situation (Dehais, 2004) et donc leur conscience de la situation (Endsley, 1996 ; Kaber & Endsley, 1997). A la suite de ces constats, des recommandations de conception pour une nouvelle interface FMS ont été émises et cela dans le but de répondre aux besoins informationnels des pilotes afin d'améliorer leur conscience de la situation.

Nous avons donc imaginé dans une troisième étude de proposer une nouvelle interface de FMS qui faciliterait la perception des informations pour les pilotes (niveau 1 de la conscience de la situation) ce qui les aiderait ensuite dans la construction de la CS. Pour cela, différentes recommandations ont été testées, comme par exemple l'intégration des informations concernant la navigation sur un même écran permettant de réduire l'effet de dissociation de l'attention. Les résultats obtenus tendent à confirmer nos hypothèses. En effet, les pilotes ont une meilleure perception des informations et ont de meilleurs résultats en double tâche lorsque (1) l'interface permet de réduire l'effet de dissociation de l'information (Andre & Wickens, 1989 ; Chanquoy, et al., 2007 ; Mayer, 2008), (2) rend l'information utile à la compréhension de la situation actuelle présente à l'écran (Endsley, 1995) et (3) rend la présentation de l'information cohérente avec l'activité (Endsley, 1995).

Ainsi, ce travail de thèse fournit une base de connaissances solide quant à la tâche de navigation répondant à un besoin exprimé par Thales Avionics, celui de changer de point de vue pour la conception des interfaces : partir d'un point de vu centré utilisateur et non pas techno-centré. De plus, l'expérimentation réalisée permet de montrer une mise en application possible des résultats obtenus de l'analyse cognitive de la tâche.

Implications

Les éléments bibliographiques en l'ergonomie cognitive dans le domaine de l'aviation commerciale nous ont fait apparaître l'absence d'une analyse cognitive de la tâche sur toutes les phases de vol, de la préparation du vol jusqu'à l'atterrissage. Certaines études ont analysé la tâche des pilotes de ligne mais à chaque fois, cela est fait sous un angle bien précis. Soit c'est une phase de vol bien précise qui a été considérée comme Heiligers, Van Holten, et Mulder (2009) qui étudient les tâches pendant la phase d'approche finale, et plus précisément leurs exigences en termes de charge de travail. C'est aussi la phase d'approche qui est étudiée par Keller, Leiden & Small (2003) qui en proposent une analyse cognitive des tâches. De même, Kramer, Bailey et Prinzl (2009) ont étudié la phase d'approche en se focalisant spécifiquement sur les approches de basse visibilité et la prise de décision des pilotes. Corwin (1992), quant à lui, étudie spécifiquement l'évaluation de la charge de travail des pilotes en vol puis après vol. Ainsi, il étudie davantage les phases de vol et leur impact sur la charge de travail que les tâches réalisées durant les différentes phases de vol. D'autres comme Chou, Madhavan et Funk (1996), ou encore comme Shappell, Detwiler, Holcomb, Hackworth, Boquet, et Weigmann (2007), Weigmann et Shappell (2001a et b) travaillent sur les erreurs humaines dans l'aéronautique. Des études plus spécifiques existent comme celle de Hoey et Foyle (2006) qui étudient les erreurs lors de la navigation pendant la phase de roulage à l'aéroport. D'autres encore étudient la diminution de la vigilance durant un vol simulé (Wiggins, 2010). Parmi ces études, notre travail constitue une contribution pertinente, fournit une base à de futures études concernant l'analyse de la tâche de navigation pour un vol complet.

Un second intérêt lié au précédent concerne l'importante quantité de données pouvant être extraite de cette analyse cognitive de la tâche de navigation et pouvant être testé dans des études d'ergonomie cognitive des Interfaces Humains - Machines. En effet, lors de notre expérimentation, nous nous sommes centrés sur les problèmes de conscience de la situation et les besoins informationnels, cela lors des phases de préparation descente approche jusqu'à la phase d'approche initiale. Or, beaucoup d'autres données extraites de notre étude 2 pourraient être testées. Par exemple, en matière de sécurité, il serait opportun de regarder, en suivant une méthodologie comparable, le risque d'hypovigilance en phase de croisière avec très peu d'informations à traiter de la part des pilotes, ou encore la grande quantité d'information à insérer au FMS en phase de préparation croisière et cela avec beaucoup d'interruption de tâche. Un autre aspect que les entretiens avec les pilotes nous ont fait apparaître concerne la réorganisation informationnelle selon les besoins informationnels exprimés par les opérateurs. Une telle méthodologie permettrait aussi de considérer la répartition des tâches entre Pilot Flying (celui qui est en charge de piloter l'avion) et Pilot Non Flying (celui qui est en charge de l'insertion des données et de la communication). En effet, il serait également important de

compléter cette analyse cognitive de la tâche en prenant cet aspect en compte et de regarder l'impact que cela va avoir en termes de charge de travail, de conscience de la situation partagée ou encore de prise de décision.

En outre, nous tirons des enseignements de notre troisième étude (expérimentation à partir d'une maquette). En effet, en la comparant aux études menées en ergonomie des IHM, on s'aperçoit que de nouvelles interfaces sont testées ayant pour objectifs d'évaluer des recommandations émises par rapport à un sujet précis (prise de décision, utilisabilité, etc.). En revanche, ces études ne prennent pas en compte le système existant. Autrement dit, dans ces études ayant pour but de tester une nouvelle interface, il n'y a pas de groupe contrôle réalisant les mêmes tâches sur l'interface existante qui soit comparable au niveau des fonctionnalités offertes. C'est donc un point fort de l'expérimentation que nous avons menée, reposant sur deux interfaces tout à fait comparables qui offraient les mêmes fonctionnalités permettant d'atteindre dans les deux cas le résultat souhaité. Ainsi, il a pu être mis en avant les bénéfices et les limites de chacune de ces interfaces.

Perspectives

Les prolongements de notre recherche sont multiples, nous en citerons quelques-uns.

Perspective théorique

Il serait intéressant de faire une méta-analyse des études réalisées quant à l'analyse de la tâche des pilotes de ligne qui se focalisent chacune sur une phase du vol précise. Ainsi, la synthèse de ces différentes études permettrait d'obtenir des compléments d'informations quant à l'analyse de la tâche réalisée auprès de pilotes.

Perspectives méthodologiques

Une première perspective méthodologique serait de procéder à des confrontations expertes des arbres des tâches réalisés lors de cette étude afin de valider ou compléter cette analyse de la tâche. Pour cela, il conviendrait de rencontrer quatre à cinq pilotes experts et de leur présenter les graphiques représentant les arbres des tâches. Il leur serait donné comme consigne de compléter ou modifier les différentes informations présentées.

Une seconde perspective méthodologique concerne la mise en place de techniques telles que l'eye tracker. L'objectif serait alors de réaliser une expérimentation où les pilotes auraient à réaliser des scénarios de vol. Un dispositif d'eye tracking serait mis en place permettant alors de savoir où les pilotes recherchent l'information et quelle est l'information la plus regardée. Ainsi, cela permettrait de savoir quelles sont les informations les plus importantes pour eux, selon l'activité en cours et la phase de vol.

Perspectives empiriques

Premièrement, les expérimentations étaient menées sur une partie d'un vol. Il serait alors intéressant de travailler sur une interface FMS répondant aux besoins informationnels des pilotes tout au long d'un vol. En effet, il y a en début de vol à peu près les mêmes problématiques qu'en fin de vol qui sont la surcharge informationnelle et la présence de doubles tâches. Une différence présente en début de vol concerne l'interruption de tâche fréquente. Cet élément serait à prendre en compte lors de l'interfaçage d'un nouveau FMS. A l'inverse, en phase de croisière (milieu de vol), le risque est l'hypovigilance avec peu de données à surveiller et très peu d'actions à mettre en place. Il serait là aussi important de travailler sur ces aspects de baisse de vigilance qui ont un impact fort sur la CS afin de proposer une interface qui permette au pilote de maintenir et de réactualiser régulièrement sa CS. Une idée pourrait être d'amener les pilotes à faire des calculs de vérification (de position, de carburant restant, etc.) à plusieurs moments durant la phase de croisière.

Un deuxième élément important à étudier serait la réalisation d'expérimentations et donc d'interfaces adaptées à un cockpit avec deux pilotes. Cela implique alors de prendre en compte la répartition des tâches entre PF et PNF dans l'étude de l'analyse cognitive de la tâche (ce qui n'a pas pu être pris en compte dans cette thèse à cause de la durée déjà très longue des entretiens). Cette prise en compte aurait des conséquences sur le choix des scénarios de vol proposés pour les expérimentations suivantes, le cas échéant. En effet, à deux opérateurs, il faudrait proposer des scénarios qui feront apparaître davantage de tâches et de contraintes afin d'ajouter de la charge de travail pour évaluer leur conscience de la situation.

Un troisième élément de perspective est lié au précédent, proposer une nouvelle interface FMS qui prenne en charge davantage de fonction que celles étudiées dans cette thèse. Par exemple, il serait intéressant d'ajouter les fonctionnalités concernant la gestion du carburant, les Direct-To (aller directement à un autre point tournant dans le plan de vol), ou encore l'insertion du plan de vol (activité très importante en début de vol).

Perspectives dans la prolongation de ce travail pour Thales AVionics

Un aspect à étudier dans le futur peut concerner le plan de vol vertical. Autrement dit, aujourd'hui, le ND propose une vue principalement latérale. Il existe maintenant sur l'A380 et l'A400M une vue verticale du plan de vol. Or, il s'avère qu'elles ne sont pas représentatives de la situation. Il convient donc de travailler (en s'appuyant sur des travaux déjà existant comme ceux de Wickens en 2002) sur le meilleur point de vue à adopter sur les interfaces de vol : une image 2D avec les deux présentations de plan de vol horizontal et vertical ou une image 3D avec un point de vue égocentrique ou exocentrique ? Pour Wickens, la vue à adopter dépend de la tâche

à réaliser. Par exemple, une tâche de suivi du plan de vol est favorisée via une image 3D avec un point de vue égocentrique (c'est-à-dire que l'interface présente ce que voit le pilote depuis le cockpit). En revanche, la détection de danger et la compréhension de leur localisation (niveau 1 et 2 de la CS) est davantage améliorée avec un point de vue exocentrique (c'est-à-dire que la position de l'avion apparaît à l'écran).

Enfin, une autre perspective de recherche serait d'investiguer sur d'autres systèmes présents dans le cockpit comme par exemple le pilote automatique ou encore les systèmes d'alarme. Cela nécessite alors de continuer l'analyse cognitive de la tâche en ne se contrant plus seulement sur la tâche de navigation mais en prenant en compte également les tâches de pilotage, de communication et de gestion des systèmes. Ainsi, il serait possible de proposer de nouvelles interfaces qui permettraient aux pilotes de mieux comprendre les intentions des systèmes, il en découlerait des solutions d'améliorations.

Bibliographie

- Adams, M., Tenney, Y., & Pew, R. (1995). Situation awareness and the cognitive management of complex-systems. *Human Factors*, 37(1), 85-104.
- Amadiou, F., Van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction*, 19, 376-386.
- Amalberti, R. (2001). La maîtrise des situations dynamiques. In J. Cellier, J. Hoc. (Eds), *La gestion des environnements dynamiques* (pp. 107-118). Grenoble : PUG.
- Amalberti, R. (2002). Une réflexion sur le rôle des hommes dans les systèmes intelligents et automatisés. Dans *Le rôle de l'être humain dans les systèmes automatisés intelligents*, Varsovie, Pologne. RTO HFM.
- Andre, A., & Wickens, C. (1990). *Proximity compatibility and information display: Effects of color, space, and objectness on information integration*. *Human Factors*, 32, 61-78. Récupéré du site de la NASA : http://humanfactors.arc.nasa.gov/ih/hcsl/publications/Wickens_AHFD_04_15.pdf
- Andre, A., & Wickens, C. (1989). *Information processing and perceptual characteristics of display design: the role of emergent features and objects* (Technical report ARL-89-8/AHEL-89-4). Savoy, IL: University of Illinois, Aviation Research Laboratory. Récupéré du site Institute of Aviation: http://www.aviation.illinois.edu/avimain/papers/research/pub_pdfs/techreports/ARL-89-8.pdf
- Atkinson, R., & Shiffrin, R. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. Spence & J. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 89–195). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford: Clarendon Press.
- Bailly, B. (2004). *Conscience de la situation des conducteurs : aspects fondamentaux, méthodes et applications pour la formation des conducteurs* (Thèse de doctorat inédite). Université Paris V - René Descartes, Paris.

- Balfe, N., Sharples, S., & Wilson, J. (2015). Impact of automation: Measurement of performance, workload and behavior in complex control environment. *Applied Ergonomics*, *47*, 52-64.
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Developmental increase in working memory span: Resource sharing or temporal decay? *Journal of memory and Language*, *45*, 1-20.
- Bartlett, F. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Bellenkes, A., Wickens, C., & Kramer, A. (1997). Visual scanning and pilot expertise: The role of attentional flexibility and mental model development. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *68*(7), 569-579.
- Besnard, D., Greathead, D., & Baxter, G. (2004). When mental models go wrong. Co-occurrences in dynamic, critical systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, *60*, 117-128.
- Billings, C. (1997). *Aviation automation: The search for a human centered approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Bowers, C., Jentsch, F., Salas, E., & Braun, C. (1998). Analyzing communication sequences for team training needs assessment. *Human Factors*, *40*(4), 672-679.
- Boy, G. (2014). From automation to tangible interactive objects. *Annual reviews in control*, *38*, 1-11.
- Boy, G., & Pinet, J. (2008). *L'être technologique, une discussion entre un chercheur et un pilote d'essai*. Paris : l'Harmattan.
- Brandimonte, M., Hitch, G. & Bishop, D. (1992a). Influence of short-term memory codes on visual image processing: Evidence from image transformation tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, *18*, 157-165.
- Broadbent, D. (1958). *Perception and communication*. New York: Pergamon Press
- Burnham, B., Sabia, M., & Langan, C. (2014). Components of working memory and visual selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(1), 391-403.
- Carretta, T., Perry, D., & Ree, M. (1996). Prediction of situational awareness in F-15 pilots. *The International Journal of Aviation Psychology*, *6*(1), 21-41

- Cellier, J. (1996). Exigences et gestion temporelle dans les environnements dynamiques. In J. Cellier, V. De Keyser, & C. Vallot (Eds.), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques* (pp. 19-48). Paris, France : PUF.
- Cellier, J, Eyrolle, H., & Mariné, C. (1997). Expertise in dynamic environments. *Ergonomics*, 40, 1, 28-50.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive*. Paris : Armand Colin.
- Chase, W., & Simon, H. (1973). Perception in Chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Chase, W. & Ericsson, K. (1981). Skilled memory . In J. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chou, C., Madhavan, D., & Funk, K. (1996). Studies of cockpit task management errors. *The International Journal of Aviation Psychology*, 6, 307-320.
- Clark, R. E., Feldon, D., van Merriënboer, J. J. G., Yates, K., & Early, S. (2008). Cognitive task analysis. In J. Spector, M. Merrill, J. van Merriënboer, & M. Driscoll (Eds.). *Handbook of research on educational communications and technology* (3rd ed.) (pp. 577–593). New York: Routledge
- Cœugnet, S. (2011). *La pression temporelle dans les environnements dynamiques : le cas de la conduite automobile* (Thèse de doctorat inédite). Université de Valenciennes de du Hainaut-Cambresis.
- Corwin, W. (1992). In-flight and postflight assessment of pilot workload in commercial transport aircraft using the subjective workload assessment technique. *The International Journal of Aviation Psychology*. 2(2), 77-93.
- Cowan, N. (1993). Activation, attention and short-term memory. *Memory and Cognition*, 21(2), 162-167.
- Craik, F. (1979). Levels of processing: Overview and closing comments. In L. Cermak & F. Craik (Eds.), *Levels of processing in human memory* (pp. 447-461). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Craik, F. & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104, 268-294.

- Damos, D., John, R., & Lyall, E. (2005). Pilot activities and the level of cockpit automation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 15(3), 251-268.
- Dehais, F. (2004). *Modélisation des conflits dans l'activité de pilotage* (Thèse de doctorat inédite). ENSAE-Supaero, Toulouse, France.
- Debroise, X. (2010). Erreur humaine en aéronautique : Une étude du lien entre attention et erreur. (Thèse de doctorat inédite). Université Bordeaux 2, Bordeaux, France.
- Dekker, S., & Hollnagel, E. (2004). Human factors and folk models. *Cognition, Technology & Work*, 6, 79-86.
- De Keyser, V., & Woods, D. (1990). Fixation errors: failure to revise situation assessment in dynamic and risky systems. In A. Colombo & A. Saiz de Bustamante (Eds.), *Systems reliability assessment* (pp. 231-251). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Denis M., & De Vega M. (1993). Modèles mentaux et imagerie mentale. In M. Ehrlich, H. Tardieu et M. Cavazza (Eds.), *Les modèles mentaux. Approches cognitives des représentations* (pp. 79-100). Paris, France : Masson.
- Dessus, P., Pernin, J., & Lejeune, A. (2007). Prise en compte des schémas cognitifs dans la scénarisation des activités d'enseignement. In T. Nodenot, & J. Wallet (Eds.), *Actes du colloque Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain* (p. 95-100). Lausanne, France : ENS Lyon. Récupéré de l'archive HAL : <http://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00161413/>
- Diez, M., Boehm-Davis, D., Holt, R., Pinney, M., Hansberger, J., & Schoppek, W. (2001). Tracking pilot interactions with flight management systems through eye movements. In *Proceedings of the 11th International Symposium of Aviation Psychology* [CD-ROM]. Columbus: Ohio State University.
- Doyle, J., & Ford, D. (1998). Mental models concepts for system dynamics research. *System Dynamics Review* 14(1), 3-29.
- Drai-Zerbib, V., & Baccino, T. (2005). L'expertise dans la lecture musicale : intégration intermodale. *L'année psychologique*, 3(105), 387-422.
- Duley, J., Westerman, S., Molloy, R., & Parasuraman, R. (1997). Effects of display superimposition on monitoring of automation. In *Proceedings of the 9th International Symposium of Aviation Psychology*. Columbus: Ohio State University.

Durso, F., & Sethumadhavan, A. (2008). Situation awareness: Understanding dynamic environments. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 442-448.

Durso, F., Feigh, K., Fischer, U., Morrow, D., Mosier, K., Pop, V., (...), Wilson, J. (2011). Automation in the cockpit: Toward human-automation relationship taxonomy (HART-16). Washington, DC.

Edwards, W. (1962). Dynamic decision theory and probabilistic information processing. *Human Factor*, 4, 59-73

Ehrlich, M., Tardieu, H., & Cavazza, M. (1993). *Les modèles mentaux : Approches cognitives des représentations*. Paris, France : Masson.

Endsley, M. (1995a). Towards a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, 32-64.

Endsley, M. (1995b). Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, 65-84.

Endsley, M. (1996). Automation and situation awareness. In R. Parasuraman, & M. Mouloua (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications* (pp. 163-181). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Endsley, M., Selcon, S., Hardiman, T., & Croft, D. (1998). A comparative analysis of SAGAT and SART for evaluations of situation awareness. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (pp. 82-86). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.

Endsley, M. (1999). Situation awareness in aviation systems. In D. Garland, J. Wise & V. Hopkin (Eds.), *Handbook of Aviation Human Factors* (pp. 257-276). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

Endsley, M. (2000). Situation models: An avenue to the modeling of mental models. In *Proceedings of the 14th Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society* (pp. 61-64). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.

Endsley, M. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. In M. Endsley, D. Garland (Eds.), *Situation awareness analysis and measurement* (pp. 1-24). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbam Associates.

Endsley, M. (2011). *Designing for situation awareness: an approach to user-centered design* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Ericsson, K., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological review*, 102, 211-245.

Kaber, D. & Endsley, M. (1997). Out-of-the-loop performance problems and the use of intermediate levels of automation for improved control system functioning and safety. *Process Safety Progress*, 16(3), 126-131.

Kramer, B., Bailey, R., & Prinzel, L. (2009). Commercial flight crew decision making during a low-visibility approach operations using fused synthetic and enhanced vision systems. *The International Journal of Aviation Psychology*, 19(2), 131-157.

Falzon, P. (1996d). Des objectifs de l'ergonomie. In F. Daniellou (Ed.) *L'ergonomie en quête de ses principes. Débats épistémologiques* (pp. 233-242). Toulouse, France : Octarès.

Falzon, P. & Mas, L. (2007). Les objectifs de l'ergonomie et les objectifs des ergonomes. In M. Zouinar, G. Valléry & M. Le Port (Eds.), *Ergonomie des produits et des services, 42^{ème} congrès de la SELF*, Toulouse : Octarès.

Fennell, K., Sherry, L., Roberts, R., & Feary, M. (2006). Difficult access: The impact of recall steps on Flight Management System errors. *In the International Journal of Aviation Psychology*, 16(2), 175-196.

Ferguson, M., & Nelson, S. (2012). *Aviation safety: a balanced industry approach*. Clifton Park, NY: Delmar, Cengage learning.

Gärtner, M., Rohde-Liebenau, L., Grimm, S., & Bajbouj, M. (2014). Working memory-related frontal theta activity is decreased under acute stress. *Psychoneuroendocrinology*, 42, 105-113.

Gopher, D., & Donchin, E. (1986). Workload: An examination of the concept. In K. Boff & L. Kaufman (Eds.), *Handbook of perception and human performance: Sensory processes and perception* (pp. 1-49). New York: John Wiley.

- Graesser, A. (1978). How to catch a fish: the memory and representation of common procedures. *Discourse Processes*, 1, 72-89.
- Greenwald, A., & Banaji, M. (1989). The self as a memory system: Powerful, but ordinary. *Journal of personality and social psychology*, 57(1), 41-54.
- Grislin M., & Kolski C. (1996). Evaluation des interfaces homme-machine lors du développement de système interactif. *Technique et Science Informatiques TSI*, 3, pp. 265-296
- Guida, A., Gobet, F., Tardieu, H., & Nicolas, S. (2012). How chunks, retrieval structures and templates after a cognitive explanation for neuroimaging data on expertise acquisition: a two-stage framework. *Brain and Cognition*, 79, 221-244.
- Gureckis, T. & Goldstone, R. (2010). Schema. In P. Hogan (Ed.), *The Cambridge Encyclopedia of the Language Sciences* (pp. 725-727). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Gyselinck V. (1996). Illustrations et modèles mentaux dans la compréhension de textes. *L'année psychologique*, 96(3), 495-516.
- Hammontree, M., Hendrickson, J., & Hensley, B. (1992). Integrated data capture and analysis tools for research and testing on graphical user interfaces. Proceedings CHI'92 Conference, Monterey, 3-7, May, ACM Press, pp. 431-432,
- Heiligers, M., van Holten, Th., & Mulder, M. (2009). Predicting pilot task demand load during final approach. *The International Journal of Aviation Psychology*, 19(4), 391-416.
- Hoc, J. (1991). L'extraction des connaissances et l'aide à l'activité humaine. *Intellectica*, 12, 33-64.
- Hoc J, Amalberti R, & Plee G. (2000). Vitesse du processus et temps partagé : planification et concurrence attentionnelle. *L'année psychologique*, 100(4), 629-660.
- Hoc, J., & Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie Française*, 39(2), 177-192.
- Hoffman, R. (1998). How can expertise be defined? Implications of research from cognitive psychology. In R. Williams, W. Faulkner & J. Fleck (Eds.), *Exploring expertise: Issues and Perspectives*. Basingstoke: Macmillan.

Hooey, B., & Foyle, D. (2006). Pilot navigation errors on the airport surface: Identifying contributing factors and mitigating solutions. *The International Journal of Aviation Psychology, 16*, 51-76

Isreal, J., Chesney, G., Wickens, C. & Donchin, E. (1980a). P300 and tracking difficulty: evidence for a multiple capacity view of attention. *Psychophysiology, 17*, 259-273.

Jamet, E., & Erhel, S. (2006). Les effets de l'intégration spatiale de fenêtres ponctuelles sur la compréhension de documents illustrés. *Psychologie française, 51*(1), 73-86.

Jones, R. (1977). *Self-fulfilling prophecies: Social, Psychological and Physiological Effects of Expectancies*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Jones, D., & Endsley, M. (1996). Sources of situation awareness errors in aviation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine, 67*(6), 507-512.

Jones, D., & Endsley, M. (2004). Use of real-time probes for measuring situation awareness. *The International Journal of Aviation Psychology, 14*(4), 343-367.

Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press

Johnson-Laird, P. (2001). Mental models and deduction. *Cognitive Sciences, 5*(10), 434-442

Kaber, D., & Endsley, M. (2004). The effects of level automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Sciences, 5*(2), 113-153.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Keller, J., Leiden, K., & Small, R. (2003). Cognitive task analysis of commercial jet aircraft pilots during instrument approaches for baseline and synthetic vision displays. In *Proceedings of the conference on human performance modeling of approach and landing with augmented displays* (NASA/CP-2003-212267). Moffett Field, CA: NASA.

- Kerstholt, J., & Raaijmakers, J. (1997). Decision making in dynamic task environments. In R. Ranyard, W. Crozier & O. Svenson (Eds.), *Decision making: Cognitive models and explanations*. London: Routledge.
- Kilingaru, K., Tweedale, J., Thatcher, S., & Jain, L. (2013). Monitoring pilot "Situation Awareness". *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 24(3), 457-466.
- Klein, G. (1993). Sources of error in naturalistic decision-making tasks. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 37th annual meeting* (pp. 368-371), Santa Monica, CA.
- Klein, G. (2008). Naturalistic Decision Making. In *Human Factors*, 50(3), 456-460.
- Larkin J. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 75-98). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lavie, N., Hirst, A., de Fockert, J., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of experimental psychology*, 133(3), 339-354.
- Lee, J., & Moray, N. (1994). Trust, Self-Confidence, and Operator's Adaptation to Automation. *The International Journal of Human-Computer Studies*, 40, 153-184.
- Lee, J. (2008). Review of a pivotal human factors article: "Human and automation: Use, misuse, disuse, abuse". *Human Factors*, 50(3), 404-410.
- Leplat, J. (2002). Éléments pour une histoire de la notion de charge mentale (Chap. 1). In M. Jourdan, & J. Theureau, (Eds.), *Charge mentale : notion floue et vrai problème* (pp. 27-40). Toulouse, France : Octares.
- Leplat, J., Hoc, J. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de psychologie cognitive*, 3(1), 49-63.
- Lewis, J. (1995). IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use. *The International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(1), 57-78.
- Liu, C. & Hwang, S. (2000). Evaluating the effects of situation awareness and trust with robust design in automation. *The International Journal of Cognitive Ergonomics*. 4 (2), 125-144.
- Logan, G. (1988). *Toward an instance theory of automatization*. *Psychological Review*, 95, 492-527.

Lund, A. (2001). Measuring usability with the USE questionnaire. *Usability Interface*, 8(2).
Récupéré sur le site :
http://www.stcsig.org/usability/newsletter/0110_measuring_with_use.html

Maltin, M. (2001). *La cognition : une introduction à la psychologie cognitive*. Paris, France : De Boeck.

Marchand, A. (2009). Usage des récits expérientiels et des savoirs épisodiques dans l'apprentissage à la gestion des risques (Thèse de doctorat inédite). CNAM, Paris.

Mayer, R. (2008). Applying the science of learning: Evidence-based principles for the design of multimedia instruction. *American Psychologist*, 63(8), 760-769.

Mayer, R. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge : Cambridge University Press

McKeithen, K., Reitman, J., Rueter, H., & Hirtle, S. (1981). Knowledge organisation and skill differences in computer programs. *Cognitive Psychology*, 117, 379-325.

Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63, 81-87.

Miller, G., Galanter, E., & Pribram, K. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Henri Holt.

Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11, 56-60.

Moray, N. (1998). Identifying mental model of complex human machine systems. *The International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 293-297.

Myles-Worsley, M., Johnston, W. & Simons, M. (1988). The influence of expertise on X-ray image processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14, 553-557.

New FM pilot's guide Thales, 2008

[Norman](#), D. (1983). Some Observations on Mental Models. In D. Gentner, & A. [Stevens](#) (Eds.). *Mental Models* (pp. 7-14). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Norman, D. (1990). The "problem" of automation: Inappropriate feedback and interaction, not "over-automation". In D. Broadbent, A. Baddeley & J. Reason (Eds.), *Human factors in hazardous situations* (pp. 585-593). Oxford: Oxford University Press.

Ombredane, A., & Faverge, J.-M. (1955). *L'analyse du travail*. Paris: PUF

Ochanine, D. (1981). L'image opérative. *Actes du séminaire et recueil d'articles*. Paris : Université Paris V.

Olson, W. & Sarter, N. (2001). Management-By-Consent in Human-Machine Systems: When and Why It Breaks Down. *Human Factors*, 43(2), 255-266.

Palmer, E., Hutchins, E., Ritter, R., & VanCleemput, I. (1992). *Altitude Deviations: Breakdowns of an Error Tolerant System* (Technical Memorandum DOT/FAA/RD-92/7). NASA, Department of Transportation, Federal Aviation Administration. Récupéré sur le site Skybrary : http://skybrary.aero/solutions/levelbust/ResPool/NA_Error.pdf

Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I. (1993). Performance consequences of automation-induced "complacency". *The International Journal of Aviation Psychology*, 3, 1-23.

Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, 39, 230-253.

Parkes, A., & Coleman, N. (1990). Route guidance systems: a comparison of methods of presenting directional information to the driver. In E. Lovesey (Ed.), *Contemporary ergonomics* (p. 480-485). London: Taylor & Francis.

Pastorelli, I. (2007). Environnements instables et cognition : revue de la littérature. In *ORIANE 4ème colloque national sur le risque*, Biarritz, France. Récupéré de l'archive HAL : <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00268385>

Paumès, D. & Pélegrin, C. (1993). Apprendre, est-ce une aptitude réservée aux jeunes. *Formation et Emploi*, 41, 43-54.

Piaget, J. (1974a). *La prise de conscience*. Paris: Presses Universitaires de France.

Polson, P., Irving, S., & Irving, J. (1994). *Applications of formal methods of human computer interaction to training and use of the control and display unit* (Technical report 94-08). Washington, DC: Department of transportation, FAA.

Polson, P., & Smith, N. (2001). The Cockpit Cognitive Walkthrough. In *Proceedings 11th Interaction Symposium on Aviation Psychology* (pp. 427-432). Columbus, OH: Ohio State University.

Posner, M., & Boies, S. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.

Potworowski, G., & Green, L. (2013). *Cognitive task analysis: Methods to improve patient-centered medical home models by understanding and leveraging its knowledge work* (PCMH research methods series brief 13-0023-EF). Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approches cognitive des instruments contemporains*. Paris, France : Armand Colin.

Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering*. New York: North-Holland.

Rastegary, H., & Landy, F.J. (1993). The interactions among Time Urgency, Uncertainty, and Time pressure. In O. Svenson & A. Maule (Eds), *Time pressure and stress in human judgment and decision-making* (pp. 217-235). New York: Plenum.

Rudisill, M. (1995). Line pilots' attitudes about and experience with flight deck automation: Results of an international survey and proposed guidelines. In R. Jensen, & L. Rakovan (Eds.), *Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 288-293). Columbus: The Ohio State University.

Sarter, N., Mumaw, R., & Wickens, C. (2007). Pilots' Monitoring Strategies and Performance on Highly Automated Glass Cockpit Aircraft. *Human Factors*, 49(3), 347-357.

Sarter, N., & Woods, D. (1992). Pilot interaction with cockpit automation: Operational experiences with the Flight Management System. *The International Journal of Aviation Psychology*, 2(4), 303-321.

Sarter, N. & Woods, D. (1995). How in the World Did We Ever Get Into That Mode?: Mode Error and Awareness in Supervisory Control. *Human Factors*, 37(1), 5-19.

Sarter, N., Woods, D., & Billings, C. (1997). Automation Surprises. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (pp. 1926-1943). New York, NY: WileyScapin.

- Sarter, N. (2001). Multimodal communication in support of coordinative functions in human-machine teams. *The Journal of Human Performance in Extreme Environments*, 5(2), 50-54.
- Scapin, D. (1988). Vers des outils formels de description des tâches orientés conception d'interfaces (rapport de recherche n°893). Rocquencourt : INRIA.
- Scapin, D., & Pierret-Golbreich, C. (1989). Une méthode analytique de description des tâches. *Colloque sur l'ingénierie des Interfaces Homme-Machine* (pp. 131-148). Sophia Antipolis, France.
- Schaffernicht, M., & Groesser, S. (2011). A comprehensive method for comparing mental models of dynamic systems. *European Journal of Operational Research*, 210(1), 57-67.
- Schneider, W., & Schiffrin, R. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. *Detection, search and attention. Psychological Review*, 84, 1-66.
- Schriver, A., Morrow, D., Wickens, C., & Talleur, D. (2008). Expertise differences in attentional strategies related to pilot decision making. *In Human Factors*, 50(6), 864-878.
- Schutte, P., & Trujillo, A. (1996). Flight crew task management in non-normal situations. *In Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society* (pp. 244-248). Santa Monica, CA: HFES.
- Schvaneveldt, R., Durso, F., Goldsmith, T., Breen, T., Cooke, N., Tucker, R., & DeMaio, J. (1985). Measuring the structure of expertise. *The International Journal of Man-Machine Studies*, 23, 699-728.
- Schvaneveldt, R., Beringer, D., & Lamonica, J. (2001). Priority and organization of information accessed by pilots in various phases of flight. *The International Journal of Aviation Psychology*, 11(3), 253-280.
- Sebillotte, S. (1991). Décrire des tâches selon les objectifs des opérateurs : de l'interview à la formalisation. *Le Travail Humain*, 54(3), 193-223.
- Sebillotte, S. (1994). Méthodologie pratique d'analyse de la tâche en vue de l'extraction de caractéristiques pertinentes pour la conception d'interfaces (rapport technique n°0163). Rocquencourt : INRIA. Récupéré sur le site HAL : <https://hal.inria.fr/inria-00070006>
- Seamster, T., Redding, R., & Kaempf, G. (1997). *Applied cognitive task analysis in aviation*. University of Michigan: Avebury Aviation.

- Senach, B. (1984). *Assistance automatisée à la résolution d'incidents dans les systèmes dynamiques. Réduction de l'espace problème et routines cognitives* (Thèse de doctorat inédite). Université Paris V, Paris.
- Shappel, S., Detwiler, C., Holcomb, K., Hackworth, C., Boquet, A., & Wiegmann, D. (2007). Human error and commercial aviation accidents: an analysis using the human factors analysis and classification system. *Human factors*, 49(2), 227-242.
- Sherry, L., Polson, P., Feary, M. & Palmer, E. (2002). When Does the MCDU Interface Work Well? *The International Conference on Human-Computer Interaction in Aeronautics*, Cambridge, MA.
- Slamecka, N., & Graf, P. (1978). The generation effect: Declination of a phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 4, 592-604.
- Simpson, P. (2001). *Naturalistic Decision Making in Aviation Environments* (report DSTO-GD-0279). Victoria, Australia: Air Operations Division Aeronautical and Maritime Research Laboratory.
- Singh, I., Molloy, R., & Parasuraman, R. (1993). Automation-induced complacency: Development of the complacency potential rating scale. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3, 111-122.
- Singh, A., Tiwari, T., Singh, I. (2010). Performance feedback, mental workload and monitoring efficiency. *In Journal of the India Academy of Applied Psychology*, 36(1), 151-158.
- Sperandio, J. (1972). Charge de travail et régulation des processus opératoires. *Le Travail Humain*, 35, 85-93.
- Sperandio, J. (1980). *La psychologie en ergonomie*. Paris : PUF.
- Stanton, N., Chambers, P., & Piggott, J. (2001). Situational Awareness and safety. *Safety Science*, 39, 189-204.
- Steinberg, L. & Gitomer, D. (1993). Cognitive task analysis and interface design in a technical troubleshooting domain. *In Knowledge-Based Systems*, 6(4), 249-257.
- Sweller, J. (2002). Visualisation and instructional design. *In Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning* (pp. 1501-1510). Tübingen: Knowledge Media Research Center.

- Taylor, R. (1990). Situational Awareness Rating Technique (SART): The development of a tool for aircrew systems design. In AGARD-CP-478, *Situational Awareness in Aerospace Operations* (pp. 3/1 –3/17). Neuilly Sur Seine, France: NATO-AGARD.
- Tenney, Y., Rogers, W., & Pew, R. (1998). Pilot opinions on cockpit automation issues. *The International Journal of Aviation Psychology*, 8(2), 103-120.
- Thomas, M., Petrilli, R., & Dawson, D. (2004). An Exploratory Study of Error Detection Mechanisms in Normal Line Operations. In *Proceedings of the 26th Conference of the European Association for Aviation Psychology*. Lisbon, Portugal: European Association for Aviation Psychology.
- Treisman, A. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 242-248.
- Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de la Psychologie de l'Éducation*, 1, 37-64.
- Tricot, A., (2001). Interpréter les liens entre utilisabilité et utilité des documents électroniques. In M. Mojahid & J. Virbel (Eds.), *Les documents électroniques, méthodes, démarches et techniques cognitives*. Paris : Europa.
- 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, France.
- Tricot, A. (2008). De l'intelligence à l'expertise, les effets de la diversité. In P. Léna & B. Ajchenbaum-Boffety, sous l'égide de l'Académie des Sciences (Eds.), *Éducation, sciences cognitives et neurosciences* (pp. 161-178). Paris : PUF.
- Van Daele, A. & Carpinelli, F. (2001). *La planification dans la gestion d'environnements dynamiques : quelques apports récents de la psychologie ergonomiques*. Paris : Masson.
- Vermersch, P. (1980). Analyse de la tâche et fonctionnement cognitif dans la programmation de l'enseignement. *Bulletin de psychologie*, 33(340), 389-397.
- Ververs, P., & Wickens, C. (1998). *Conformal flight path symbology for head-up displays: defining the distribution of visual attention in three-dimensional space* (Technical report ARL-98-5/NASA-98-1). Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center.

- Weiner, E. (1989). *Human factors of advanced technology ("glass cockpit") transport aircraft* (Report 177528). Moffett Field, CA: Ames Research Center. Récupéré sur le site de na NASA : http://human-factors.arc.nasa.gov/publications/HF_AdvTech_Aircraft.pdf
- Weigmann, D., & Shappell, S. (2001a). Human error analysis of commercial aviation accidents: Application of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 72, 1006-1016.
- Weigmann, D., & Shappell, S. (2001b). Human error perspectives in aviation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 11(4), 341-357.
- Wickelgren, W. (1965). Acoustic similarity and intrusion errors in short-term memory. *The Journal of Experimental Psychology*, 70(1), 102-108.
- Wickens, C. (2002). Situation awareness and workload in aviation. *Current Directions in Psychological Science*, 11, 128–133.
- Wickens, C. (2007). Aviation. In F. Durso, R. Nickerson, S. Dumais, S. Lewandowsky, & T. Perfect (Eds.), *Handbook of applied cognition* (pp. 361-390). New York: Wiley & sons.
- Wickens, C. & Alexander, A. (2009). Attentional Tunneling and Task Management in Synthetic Vision Displays. *The International Journal of Aviation Psychology*, 19(2), 182-199.
- Wickens, D., Moody, M., & Shearer, P. (1976). Lack of Memory for Nonattended Items in Dichotic Listening. *Journal of Experimental Psychology*, 2(6), 712–719.
- Wickens, C. (2002). Multiples resourcces and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159-177.
- Wickens, C., Stokes, A., Barnett, B., & Hyman, F. (1993). The effects of stress on pilot judgement in a MIDIS simulator. In O. Svenson, & A. Maule (Eds.), *Time Pressure and Stress in Human Judgement and Decision Making* (pp. 271-292). New York: Plenum Press.
- Wickens, C., Helleberg, J., Goh, J., Xu, X., & Horrey, W. (2001). *Pilot task management: Testing an attentional expected value model of visual scanning* (Technical report: ARL-01-14/NASA-01-7). Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center.
- Wickens, C., McCarley, J., Alexander, A., Thomas, L., Ambinder, M., & Zheng, S. (2005). *Attention-Situation Awareness (A-SA) model of pilot error* (Technical report AHFD-04-15/NASA-04-5).

Moffett Field, CA : NASA Ames Research Center. Récupéré sur le site de la NASA : http://human-factors.arc.nasa.gov/ih/hcsl/publications/Wickens_AHFD_04_15.pdf

Wiggins, M. (2010). Vigilance decrement during a simulated general aviation flight. *Applied cognitive psychology, 25*(2), 229-235.

Wilson, G. (2002). An analysis of mental workload in pilots during flight using multiple psychophysiological measures. *The International Journal of Aviation Psychology, 12*(1), 3-18.

Zanarelli, C. (2003). Catégorisation des stratégies instrumentales de gestion d'environnements dynamiques (Thèse de doctorat inédite). Université Paris 8, Paris.

Zwaan, R., Magliano, J., & Graesser, A. (1995). Dimensions of situation-model construction in narrative comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 21*, 386–397.

Zwaan, R. (2008). Time in Language, Situation Models, and Mental Simulations. *Language Learning, 58*, 13-26.

Table des illustrations

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Boeing 307 Stratoliner..... | 8 |
| Figure 2 : Boeing 707..... | 8 |
| Figure 3 : Boeing 727..... | 9 |
| Figure 4 : A310..... | 9 |
| Figure 5 : A320..... | 10 |
| Figure 6 : Interfaces du FMS présentées aux pilotes dans un glass-cockpit..... | 13 |
| Figure 7 : <i>Mode Control Panel</i> (MCP)..... | 13 |
| Figure 8 : <i>Primary Flight Display</i> (PFD)..... | 14 |
| Figure 9 : <i>Flight Monitor Annunciator</i> (FMA)..... | 14 |
| Figure 10 : <i>Navigational Display</i> (ND)..... | 14 |
| Figure 11 : <i>Multi-Control Display Unit</i> (MCDU)..... | 15 |
| Figure 12 : Phases de vol (New FM pilot's guide Thales, 2008)..... | 20 |
| Figure 13 : Charge de travail des pilotes volant avec et sans automatisation, d'après Tenney, Rogers, et Pew, 1998..... | 20 |
| Figure 14 : Résultats moyens obtenus à la SWAT pour un vol nominal chez les pilotes volant sur B727, d'après Corwin (1992)..... | 22 |
| Figure 15 : Charge informationnelle selon les phases de vol chez les pilotes de gros porteurs, d'après Schvaneveldt, Beringer et Lamonica (2001)..... | 23 |
| Figure 16 : Axes de rotation de l'avion..... | 24 |
| Figure 17 : Modèle de la conscience de la situation d'après Endsley (1995)..... | 31 |
| Figure 18 : Modèle du traitement de l'information d'après d'Atkinson et Shiffrin (1968)..... | 31 |
| Figure 19 : Cube des réservoirs de ressources attentionnelles, d'après Wickens (2002)..... | 45 |
| Figure 20 : Exemple d'une image de fin dans l'étude de Bailly, 2004..... | 48 |
| Figure 21 : Le pilote comme système de traitement de l'information (d'après Wickens, 2009)..... | 55 |
| Figure 22 : Modèle pour proposer des recommandations pour la conception d'interface (d'après Sebillotte, 1994)..... | 67 |
| Figure 23 : Exemple d'un écart de route latérale, d'après Sherry et al. (2002)..... | 69 |
| Figure 24 : Socata TB20..... | 75 |
| Figure 25 : Mirage..... | 75 |
| Figure 26 : Nord 2500..... | 75 |
| Figure 27 : A320..... | 75 |

| | |
|--|-----|
| Figure 28 : Crusader | 76 |
| Figure 29 : Arbre hiérarchique des tâches..... | 80 |
| Figure 30 : Exemple d'analyse thématique d'un extrait d'entretien..... | 93 |
| Figure 31 : Exemple de formalisation de la tâche de navigation pour le pilote 6 pour la phase de préparation descente/approche..... | 94 |
| Figure 32 : Exemple de l'arbre des tâches « global » pour la phase de préparation de cockpit les pilotes volant avec un FMS | 96 |
| Figure 33 : Arbre des tâches « global » pour la phase de préparation de cockpit les pilotes volant sans FMS | 97 |
| Figure 34 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de préparation du cockpit..... | 98 |
| Figure 35 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de préparation du cockpit..... | 99 |
| Figure 36 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de décollage..... | 100 |
| Figure 37 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de décollage..... | 101 |
| Figure 38 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de montée..... | 102 |
| Figure 39 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de montée..... | 103 |
| Figure 40 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de croisière..... | 104 |
| Figure 41 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de croisière..... | 105 |
| Figure 42 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de préparation descente / approche..... | 106 |
| Figure 43 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de préparation descente / approche | 107 |
| Figure 44 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase de descente..... | 108 |
| Figure 45 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase de descente..... | 109 |
| Figure 46 : Tâches principales pour les pilotes n'utilisant pas de FMS pendant la phase d'approche..... | 110 |
| Figure 47 : Tâches principales pour les pilotes utilisant un FMS pendant la phase d'approche..... | 111 |
| Figure 48 : Représentation des éléments « tête haute » et « tête basse » dans un glass cockpit | 116 |
| Figure 49 : Maquette version actuelle du FMS..... | 123 |

| | |
|--|-----|
| Figure 50 : Maquette représentant la nouvelle version du FMS | 125 |
| Figure 51 : Phases de vol étudiées lors de l'étude 3 | 127 |
| Figure 52 : Vol prévu pour les expérimentations..... | 128 |
| Figure 53 : Scénarios réalisés pendant les expérimentations..... | 129 |
| Figure 54 : Résultats obtenus au questionnaire de la SAGAT selon l'expertise des pilotes et l'interface utilisée..... | 136 |
| Figure 55 : Temps d'insertion de la nouvelle approche selon l'expertise des pilotes et l'interface utilisée | 138 |
| Figure 56 : Résultats obtenus au questionnaire de la SAGAT selon l'expertise des pilotes et l'interface utilisée..... | 140 |
| Figure 57 : Scores obtenus au questionnaire pour les trois dimensions de la SART | 141 |
| Figure 58 : Nombre de vérifications selon l'expertise des pilotes et de l'interface utilisée..... | 144 |
| Figure 59 : Scores obtenus au questionnaire pour les trois dimensions de la SART | 145 |
| Figure 60 : Score obtenu pour les quatre dimensions du questionnaire USE..... | 146 |

Table des tableaux

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 : Récapitulatif pilotes volant sur gros porteurs..... | 90 |
| Tableau 2 : Récapitulatif pilotes volant sur avions non dotés de FMS ou de FMS basiques..... | 91 |
| Tableau 3 : Légende du codage couleur pour l'arbre des tâches « global » des pilotes utilisant un FMS | 95 |
| Tableau 4 : Légende du codage couleur pour l'arbre des tâches « global » des pilotes n'utilisant pas de FMS..... | 95 |
| Tableau 5 : Profils des pilotes « experts » | 121 |
| Tableau 6 : Profils des pilotes « novices » | 122 |
| Tableau 7 : Performances des pilotes des deux groupes expérimentales relatives à la détection de la dérive et à l'insertion totale des données de l'approche | 139 |
| Tableau 8 : Bilan des résultats concernant le premier scénario | 142 |
| Tableau 9 : Bilan des résultats concernant le deuxième scénario | 146 |

Annexes

| | |
|---|-----|
| Annexe 1 : Grille des entretiens semi-directif de l'étude 1 | 185 |
| Annexe 2 : Fiche de consentement pour les entretiens de l'étude 2 | 188 |
| Annexe 3 : Retranscription de l'entretien du participant 1 à l'étude 1 | 189 |
| Annexe 4 : Analyse thématique de l'entretien du participant 2 à l'étude 1 | 210 |
| Annexe 5 : Analyse de la tâche selon la méthode de description des tâches de Sebillotte (1991). | 226 |
| Annexe 6 : Grille des seconds entretiens semi-directifs pour l'étude 2 | 229 |
| Annexe 7 : Fiche de consentement pour la participation à l'étude 2 | 231 |
| Annexe 8 : Retranscription de l'entretien mené auprès du participant 1 lors de l'étude 2 | 233 |
| Annexe 9 : Analyse thématique concernant les phases de vol pour l'entretien mené auprès du P1 de l'étude 2 | 256 |
| Annexe 10 : Analyse thématique concernant les méta-tâches pour la phase de préparation de mission pour l'entretien mené auprès du P1 de l'étude 2 | 279 |
| Annexe 11 : Analyse thématique concernant les tâches et sous-tâches, les exigences et les besoins informationnels pour la phase de préparation de cockpit pour l'entretien mené auprès du P1 de l'étude 2 | 282 |
| Annexe 12 : Arbres des tâches par phases de vol et par participant pour les pilotes volant avec FMS | 285 |
| Annexe 13 : Arbres des tâches par phases de vol et par participant pour les pilotes volant sans FMS | 285 |
| Annexe 14 : Arbres des tâches par phases de vol et pour tous pilotes volant avec FMS | 285 |
| Annexe 15 : Arbres des tâches par phases de vol et pour tous pilotes volant sans FMS | 285 |
| Annexe 16 : Fiche consentement pour la participation à l'étude 3 | 286 |
| Annexe 17 : Maquette représentant l'interface actuelle du FMS | 287 |
| Annexe 18 : Maquette représentant la nouvelle interface de FMS | 287 |
| Annexe 19 : Plan de vol fourni aux pilotes pour l'expérimentation de l'étude 3 | 288 |
| Annexe 20 : Cartes fournies aux pilotes pour l'aéroport de Porto lors de l'expérimentation de l'étude 3 | 291 |
| Annexe 21 : NOTAMs | 295 |
| Annexe 22 : Questionnaire de la SAGAT | 298 |
| Annexe 23 : Questionnaire de la SART | 200 |
| Annexe 24 : Questionnaire USE | 302 |

Annexe 1 : Grille des entretiens semi-directif de l'étude 1

Contexte :

Je réalise une thèse sur les modalités d'interaction entre les pilotes et le FMS. L'objectif de cette rencontre est de recueillir des éléments d'information concernant les différentes tâches assignées aux pilotes, et également afin de mieux comprendre et d'approfondir certains aspects concernant l'automatisation des cockpits.

Je vais essayer de rencontrer plusieurs personnes qui sont, ou ont été, pilote. Je souhaitais donc vous demander pour commencer :

- Quelle était votre expérience en tant que pilote ?
- Quels types d'avion avez-vous été amené à piloter ?
- Durant votre carrière, avez-vous piloté des avions où le FMS n'avait pas encore été intégré ?

Je vous demande cela car je souhaiterais dans un premier temps que nous discutions des différentes tâches réalisées par les pilotes avant l'introduction du FMS.

Questions :

1. Tâches assignées aux pilotes :

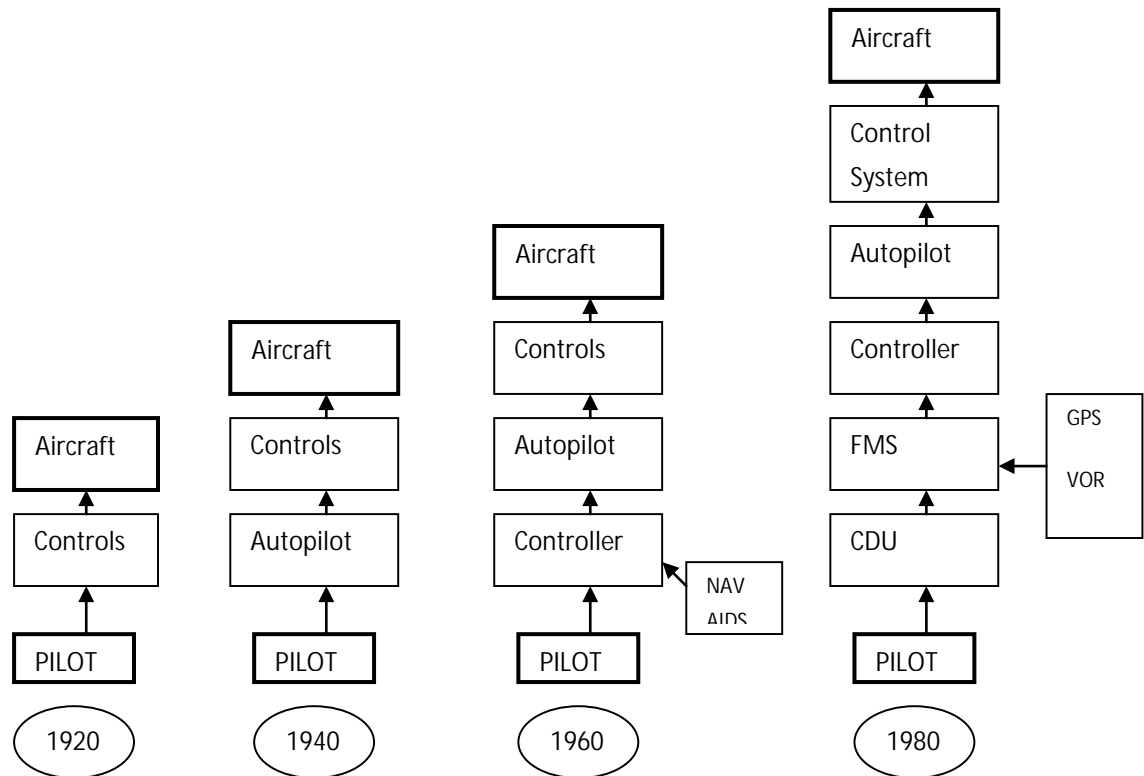
- Pouvez-vous me dire quelles sont les tâches principales assignées à un pilote ?
- Par rapport à ce que j'ai pu lire dans la littérature (*Billings, 1997. Aviation Automation*), j'ai relevé 4 grands types de tâches : la surveillance / le contrôle, la navigation, la communication, et la gestion des ressources. Qu'en pensez-vous ? Etes-vous d'accord avec cela ?
- Toujours par rapport à ma revue de la littérature (*Schvanelveldt, Beringer, Lamonica, 2001. Priority and organization information accessed by pilots in various phases of flight, in the International Journal of Aviation Psychology*), j'ai identifié 9 phases de vol :

- La préparation de vol
- Le décollage
- La montée
- La transition au passage croisière
- La croisière
- La planification en vol
- La descente
- L'approche
- L'atterrissage

- a. Etes-vous d'accord avec ces différentes phases de vol ?
- b. Y a-t-il des phases plus critiques que d'autres ?
- c. Par rapport aux tâches que nous avons évoquées précédemment, se retrouvent-elles dans chacune de ces phases de vol ?

2. Automatisation et FMS

A la suite de mes différentes lectures, notamment *Aviation Automation de Charles Billings*, j'ai compris que l'automatisation dans les cockpits s'est faite progressivement. Voici un schéma montrant l'évolution de cette automatisation :



- Pouvez-vous m'en dire plus sur cette évolution ?

(Dehais, 2004. Modélisation des conflits dans l'activité de pilotage : Au début de l'avion, le pilotage ne se réalise qu'à partir de « l'appréciation sensorielle » des pilotes. Au fur et à mesure, des instruments de bord font leur apparition afin d'aider la construction d'une conscience de la situation. Ces outils sont par exemple les cadrans analogiques (altimètre, nanomètre, l'horizon artificiel, le compas, le chronomètre, le tachymètre, le manomètre et la jauge à essence). Puis, vers 1929, apparait le gyroscope permettant de faciliter la conscience de la situation.

Puis, plus tard, c'est l'apparition des systèmes automatisés qui ont pour but de réduire le nombre de tâches à réaliser lors de la navigation.)

- Pouvez-vous m'en dire plus sur ces différents éléments (par exemple, quelles sont concrètement les fonctions de l'autopilote ? du FMS ?)

(Sarter et Woods, 1992, Pilot Interaction With Cockpit Automation, in The International Journal of Aviation Psychology : Le FMS aide les pilotes dans différentes tâches telles que la planification de vol, la navigation, la gestion de performance, le contrôle de l'évolution du vol. Une de ses fonctions majeures est le contrôle automatique des voies aériennes.)

- Quels sont les liens entre ces différents éléments ?

3. Impact de l'automatisation sur l'activité des opérateurs (plus particulièrement, impact de l'introduction du FMS) :

- Quel(s) impact(s) a eu l'automatisation des cockpits sur l'activité des opérateurs ? (Les tâches sont-elles restées les mêmes ? De nouvelles tâches sont-elles apparues ?)

(Pour Sarter et Woods, 1992, l'automatisation a modifié l'activité des pilotes. Au lieu de piloter l'avion manuellement, ils doivent contrôler l'avion par des actions menées indirectement au travers d'instructions données à l'automate.)

(Pour Dehais, l'activité des pilotes est devenue une activité de surveillance des paramètres, c'est-à-dire une activité passive : « erreur dans l'insertion des paramètres », « erreur de représentation », « erreur liée à la détérioration de la coordination de l'équipage »)

- Cette automatisation a-t-elle augmentée la charge de travail des pilotes ?

(Pour Billings, le pilote doit comprendre le fonctionnement et les particularités des sous-systèmes ajoutés)

(Pour Dehais, ces systèmes ne sont conçus que pour répondre à une situation « normale ». Dans une situation dite « anormale », c'est à l'équipage de prendre le relai.)

- Requiert-elle un coût attentionnel plus important ?

(Pour Billings, le pilote doit maintenant prêter attention à l'équipement ajouté et aux affichages)

- Par rapport au FMS :

- a. A-t-il introduit une complexité plus importante que les appareils présents avant son introduction ?
- b. Son utilisation concerne-t-elle seulement la tâche de navigation ?
- c. La tâche de navigation a-t-elle été modifiée ?

Annexe 2 : Fiche de consentement pour les entretiens de l'étude 2



Octogone, Université Toulouse – Le Mirail
Pavillon de la recherche
5, Allées Antonio Machado
F-31058 Toulouse Cedex 9

CLLE-LTC, Université de Toulouse - Le Mirail
Maison de la Recherche
5, allées Antonio Machado
F-31058 Toulouse Cedex 9

Recherche sur les modalités d'interaction entre les pilotes et le FMS

Dans le cadre de ma thèse, je réalise une recherche sur les tâches de pilotage, et notamment sur la tâche de navigation, afin de mettre en évidence les fonctionnalités attendues du FMS (Flight Management System). La finalité de ce travail est de proposer des recommandations de conceptions d'un FMS répondant aux besoins majeurs d'une tâche de navigation.

Cette étude respecte les conditions ci-dessous.

Engagement du participant

L'étude consiste à participer librement et de façon éclairée à une recherche, à l'aide d'entretien.

Liberté du participant

Les réponses aux questions posées durant l'entretien ont un caractère facultatif et le défaut de réponse n'aura aucune conséquence pour le participant.

Information du participant

Le participant a la possibilité d'obtenir des informations supplémentaires concernant cette étude auprès de l'investigateur principal, et ce dans la limite des contraintes du plan de recherche. Un résumé de l'état d'avancement de l'étude pourra être communiqué au participant sous simple demande.

Bénéfice de l'étude pour le participant

Cette étude est faite sans aucun bénéfice direct pour le participant.

Garantie de confidentialité des informations

Toutes les informations concernant le participant seront conservées de façon **anonyme et confidentielle**. Le nom de la personne participant aux entretiens n'apparaîtra ni dans la thèse, ni dans des documents de diffusion.

Déontologie et éthique

Le promoteur et l'investigateur principal s'engagent à préserver absolument la confidentialité et le secret professionnel pour toutes les informations concernant le participant (Titre I, articles 1, 3, 5 et 6 et titre II, articles 3, 9, et 20 du *Code de Déontologie des Psychologues* - France).

Merci de signer pour
signifier votre accord à
cette étude

Signature du participant,

Annexe 3 : Retranscription de l'entretien du participant 1 à l'étude 1

Quelle est votre expérience en tant que pilote ?

J'ai commencé à piloter en 1953, donc il y a déjà pas mal de temps. J'ai été formé aux Etats-Unis comme pilote de chasse. J'ai servi dans l'armée de l'air comme pilote de chasse. Puis je suis rentré au centre d'essai en vol comme pilote d'essai, pilote d'essai expérimental. Je me suis occupé d'essai de missiles pendant quelques années, aussi bien en France qu'en Allemagne d'ailleurs. Et ensuite, en 1965, je suis rentré à Sud Aviation pour m'occuper de Concorde. Et là, j'ai fait partie de l'équipe d'essai en vol de Concorde. J'ai suivi les essais en vol jusqu'au dernier vol d'essai qui a eu lieu en 1985. Mais entre temps, j'ai fondé le centre de formation d'Airbus, Airbus Industrie, et j'ai mis au point les programmes de formation aussi bien de concorde que de tous les Airbus jusqu'à l'A340, et donc j'ai été pilote d'essai expérimental et pilote instructeur jusqu'en 1994, date de ma retraite. Puis à partir de là, je me suis occupé, j'ai continué à m'occuper des questions de l'aéronautique, mais cette fois-ci sans piloter. J'ai été président de l'institut d'ingénierie cognitive d'EURISCO. Puis j'ai été ensuite administrateur jusqu'à sa disparition en 2008 je crois, quelque chose comme ça. Et comme je m'ennuyais, j'ai fait une thèse.

Vous faites une thèse sur quoi ?

Sur le comportement des pilotes dans des situations soudaines, inattendues et dangereuses. Donc je dois avoir 6000 heures de vol à peu près, sur une centaine de types d'avion différents.

Quels sont les types d'avion que vous avez été amené à piloter ?

Aussi bien des avions de chasse, comme le Starfighter ou le Mirage 3, que Concorde ou les Airbus A300, A310, A320, A330, A340.

Est-ce que vous avez déjà été amené à piloter des avions où le FMS n'avait pas encore été introduit ?

Oui, certainement. Le FMS a été introduit...sur l'A310, les premiers, et auparavant donc, il n'y avait pas de FMS, sur Caravelle par exemple, sur concorde, y avait pas de FMS, sur l'A300B non plus. Et j'ai été amené à mettre au point des méthodes de formation sur, justement, le FMS lorsque le 310 est arrivé.

J'ai pu lire votre ouvrage « L'être technologique » où vous parlez aussi du Douglas DC3.

Ah oui. Je l'ai piloté quand j'étais au centre d'essai en vol, et j'ai piloté cet avion de légende, le DC3, j'en ai pas fait beaucoup, mais enfin, c'était un avion sur lequel il n'y avait rien de tout ce que vous pouvez imaginer aujourd'hui d'aide au pilotage. C'était le pilotage avec des

instruments tout à fait bruts et classiques comme l'anémomètre, le conservateur de cap, l'altimètre, un horizon, un horizon artificiel. Et puis le restant, c'était les commandes de vol par câbles, par tringles, etc.

Est-ce que vous pourriez me dire quelles sont les tâches principales assignées aux pilotes ?

Comment expliquer les choses simplement. En fait, il s'agit de maîtriser un mobile, qui se déplace en trois dimensions, qui va d'un point à un autre, ou qui revient d'ailleurs au même point, peu importe, qui se déplace donc par rapport à un milieu géographique, qui lui est immuable, enfin il tourne avec la terre évidemment, mais le problème de ce mobile c'est qu'il se trouve dans un air qui lui n'est pas immobile non plus par rapport à la terre et qui se meut. Donc le pilote doit à la fois piloter l'avion dans cet environnement qui est l'air et qui est relativement instable mais en faisant attention que de toutes façons il doit décoller, il doit se poser sur des éléments stables. Donc il a à faire à ce double milieu et il doit intégrer. Donc ça s'appelle cette partie-là, cette maîtrise donc de trajectoire, c'est la navigation.

Mais pour que le mobile puisse se déplacer suivant un plan établi, autrement dit, suivant le plan de navigation, il est nécessaire que l'avion soit contrôlé par le pilote. Et pour ça, le pilote a à sa disposition des commandes de vol : le volant, le manche, les pédales, etc., qui lui permettent donc de faire bouger l'avion autour de son centre de gravité. Et comme il bouge autour de ce centre de gravité, il modifie les forces qui agissent sur l'avion. Et ces forces-là font que le mobile, le centre de gravité puissent se déplacer dans l'air. Donc déjà il peut faire bouger l'avion. Mais pour que l'avion se déplace aussi, il faut qu'il y ait une propulsion, donc il faut aussi qu'il y ait des moteurs. Et ces moteurs aussi doivent être contrôlés par le pilote. Donc là-dedans, vous voyez qu'il y a plusieurs systèmes : il y a le système de l'avion lui-même, que je qualifierai un petit peu de système aérodynamique, autrement dit c'est le mouvement de l'avion autour de ce centre de gravité qui est actionné par les commandes de vol. Puis ensuite, pour que cet avion puisse se déplacer, il y a la propulsion donc il y a des moteurs, et donc le pilote doit agir aussi sur les moteurs, en même temps qu'il agit sur les mouvements autour du centre de gravité. Le total se déplace dans l'air. Mais cet air lui est en mouvement. En plus, il a de la vapeur d'eau, donc il y a des nuages, il y a du brouillard, y a des poussières aussi. Et donc il faut aussi que le pilote maîtrise un petit peu l'avion dans ce milieu qui est un peu instable : il y a de la turbulence, etc. et il y a du vent. Et donc on arrive au système de navigation qui doit faire en sorte que dans ce milieu qui se meut, on ait toujours une conscience de situation par rapport à des repères fixes qui sont la piste de départ, la piste d'arrivée, le relief, faire attention quand même à ne pas arriver à heurter le relief, etc. ... et les autres avions aussi qui sont autour.

Voilà, donc il y a plusieurs systèmes qui sont complètement interconnectés et que le pilote doit arriver à maîtriser, tout simultanément.

Alors, le FMS là-dedans, il permet la navigation. Autrement dit, il a des références qui elles sont relativement fixes par rapport au milieu géographique. En fait, ces références sont essentiellement les centrales à inertie. Et les centrales à inertie, elles ont des repères qui sont fixes par rapport à la terre. Puis maintenant, les FMS ont une deuxième source de référence qui sont les satellites, le système de satellite par GPS, et qui donne donc une précision qui est même meilleure que la précision des centrales à inertie. Et le FMS donc compare ... le FMS d'aujourd'hui, pas celui que j'ai commencé à utiliser en 1981, 82... le FMS d'aujourd'hui il compare constamment les positions données par GPS, celle par rapport aux centrales inerties, il fait un calcul de probabilité pour savoir où ça se passe, où le mobile a le plus de probabilité de se trouver, et puis il donne donc une position qui est très précise, en fait qui est précise à une dizaine de mètres.

Donc pour en revenir à ce que vous disiez par rapport aux tâches des pilotes, donc si j'ai bien compris, les tâches les plus importantes sont la navigation et le contrôle ?

C'est ... disons c'est la maîtrise de la trajectoire. Etant donné que cette trajectoire il faut qu'elle aille d'un point A à un point B situé sur la terre avec un mobile, qui est mobile par définition, donc qui est relativement stable mais qui se meut, et dans un environnement atmosphérique qui lui se meut aussi par rapport au repère fixe géographique. Voilà, donc c'est cette maîtrise de trajectoire qu'il doit assumer. Alors, il doit les assumer sur ce que les pilotes ont l'habitude de qualifier de stratégie, de tactique, etc. à court, moyen et long terme. Court terme c'est le contrôle de la trajectoire immédiate. Autrement dit, mettons dans les dix, vingt, soixante secondes devant soi. Ça c'est le court terme. Pour ça donc il a des instruments de vol qui lui donne les paramètres tels que la vitesse, la position par rapport à l'horizon, l'altitude, éventuellement quand il va atterrir sa position par rapport à des axes radioélectriques. Ça c'est le court terme. Y a le moyen terme, c'est disons le quart d'heure qui arrive, le quart d'heure la demi-heure qui arrive, où il doit suivre une trajectoire repérées par des aides radioélectriques ou par des repères qui sont dans les positions que le FMS intègre lui-même. Et il y a le stratégique, la stratégie qui elle comporte en définitive une navigation à long terme sur une heure, cinq heures, dix heures, douze heures, pour aller par exemple de Toulouse à Pékin. Donc on suit des trajectoires qui doivent être respectées avec en plus une vérification de la consommation, une vérification de la position de l'avion par rapport à d'autres avions, etc. Donc, vous avez ces trois éléments : la conduite immédiate (court terme), la conduite à moyen terme et la conduite à long terme. Et donc il doit intégrer tout ça.

Alors, le FMS lui, il fait les trois en fait. Il fait les trois. Il est capable de faire les trois.

Je reviendrais plus tard par rapport à ce que vous dites sur le FMS. Par rapport à ce que j'ai pu lire dans la littérature, notamment l'ouvrage de Billings, et j'ai pu relever quatre grands types de tâches : la surveillance et le contrôle, la navigation, la communication, et la gestion des ressources disponibles. Etes-vous d'accord avec cela ?

Oui, c'est ça.

Quelle différence faites-vous entre « surveillance » et « contrôle » ?

Là aussi il faut faire attention aux termes : est-ce que c'est un terme français ou est-ce que c'est un terme anglais. Le terme « control » en anglais a un sens non seulement de surveillance mais de commande. Quand on parle des flights controls, en fait se sont les commandes de vol. Donc il y a une ambiguïté. En fait, control en anglais peut être mieux traduit par « commande » en français que par « contrôle ». En revanche, le contrôle en français c'est plutôt du monitoring en anglais.

Donc ces tâches de contrôle et de surveillance... alors si on parle en français, contrôle et surveillance c'est la même chose pratiquement. Si on parle donc en anglais, contrôle c'est commande, et surveillance c'est plutôt monitoring.

Dans votre ouvrage, Guy Boy parle de surveillance et il distingue la surveillance guidée par les procédures et la surveillance guidée par l'action. Est-ce que vous pourriez m'en dire plus à ce sujet ?

Je pense... parce que je me souviens plus très bien de nos conversations, parce que ça fait quand même quelques années, ce qu'il a voulu dire ... surveillance par procédure ça veut dire que le pilote est éduqué et formé pour regarder certaines situations au travers d'une procédure de surveillance. Ce sont des procédures qui ont été mises au point, et si on les respecte, on est à peu près sûr de ne rien laisser passer d'extraordinaire. Alors ça c'est une procédure, autrement dit c'est quelque chose qui est automatiquement mental, ou mentalement automatique. Alors que la surveillance par action, c'est plutôt une surveillance qui est dictée par le besoin de surveiller quelque chose plutôt qu'autre chose. Autrement dit, on ne suit pas par exemple un balayage visuel bien déterminé. On dit « il faut que je surveille ce paramètre parce qu'il me semble un peu douteux », on le regarde, mais on ne suit pas la procédure elle-même. Je pense que c'est ce qu'il a voulu dire, parce que j'avoue que je me rappelle plus du contexte dans lequel il a utilisé ça.

Et donc toujours par rapport à ma revue de la littérature, j'ai pu identifier neuf phases de vol. Donc je vais vous les citer et vous allez me dire si vous êtes d'accord avec ces différentes phases, ou si vous en rajouteriez, ou si vous en supprimeriez.

Alors, attendez, au préalable, je vais vous dire ce que c'est qu'une phase de vol. On a introduit cette référence de phases de vol parce que quand on conduit un avion d'un point A à un point B, il y a des séquences qu'il est obligatoire de respecter, parce que c'est ainsi que l'avion fonctionne. J'allais dire c'est bêtement scientifique.

Première phase de vol, on est dans l'avion avant la mise en route et on vérifie que les systèmes fonctionnent correctement. Autrement dit, c'est cette première phase ... on vérifie l'ensemble des systèmes de l'avion et on prépositionne certains systèmes afin qu'ils fonctionnent

correctement à partir du moment où on met en route et où on se déplace, en particulier le FMS. Le FMS donc au court de cette phase, on introduit les points de rapport que doit suivre la trajectoire de l'avion et on les introduit à ce moment-là. On a tout le temps. On est pas pressé, pressé. Donc si on fait une petite erreur dans l'introduction, ben on peut revenir, on a quand même relativement du temps. Donc on est au calme, et on fait donc toutes les vérifications. Ça c'est avant la mise en route.

A ce moment-là, quand il n'y avait pas le FMS, cette préparation de vol elle se passait comment ? Tout était fait à la main ou ... ?

Alors autrefois, tout était fait à la main. Aujourd'hui, il y a des systèmes, et la plupart des systèmes ont un automatisme qui, dès qu'on met la puissance, le courant, font des vérifications internes automatiques. En revanche, le prépositionnement, ce sont les pilotes qui le font. Le prépositionnement de certains systèmes, dont le FMS, ... Alors, pour le FMS, en plus, maintenant, il y a des cartes, même maintenant ça se fait par voix de radio à partir d'un bureau des opérations. L'avion doit faire une mission, par exemple Paris – Shanghai, il suit donc un plan de vol bien déterminé, le plan de vol est mis en informatique, il est soit mis sur une petite plaquette ou une cartouche, etc. qu'on insère dans l'avion, soit il est recalé automatiquement par liaisons radio avec les opérations. Bon, ça c'est donc avant la mise en route.

A la mise en route, alors là, tout s'accélère parce que le carburant est quelque chose de limité par le volume des réservoirs, et en plus y a des problèmes d'économie de carburant mais maintenant il faut être chic sur l'utilisation des carburants. Ce qui fait que quand on met en route l'avion, quand vraiment on peut pas faire autrement, et on le met en route aujourd'hui habituellement quand on a terminé la phase qu'on appelle de push-back. Autrement dit, l'avion, il est face au terminal, à la passerelle, etc., et pour commencer le taxi, y a un tracteur qui le pousse, qui le met en direction, et à ce moment-là on commence à mettre en route les moteurs de façon à ce que les moteurs soient en route quand le tracteur dégage. Mais à partir de ce moment-là, tout se passe relativement vite. Alors comme on a prépositionné les choses, bon en général y a pas de problème. Quand il y a des pannes, alors là, y a des procédures un peu particulières, si la panne est tolérée parce qu'il y a des redondances à l'intérieur de l'avion, il y a des procédures particulières, y a des limitations particulières, etc. et là, le travail des pilotes devient un peu plus difficile. Mais sinon, à partir du moment où les moteurs sont en route, il y a un certains nombres de vérifications qui sont faites, avant que l'avion ne démarre ou suive le taxiway, et c'est une phase qu'on appelle à ce moment-là le taxi.

Dans cette phase de taxi, on suit un cheminement sur le terrain, on a des vérifications à effectuer, puisque le système cette fois-ci tourne, l'hydraulique, l'électricité, etc. On vérifie que tout est en marche, que les paramètres de fonctionnement sont corrects, etc. Et donc, c'est la deuxième phase qui est la phase de taxi. On arrive donc près de l'entrée de la piste, et c'est là que se termine la phase de taxi.

Quand on a l'autorisation de s'aligner, alors on s'aligne sur la piste et là commence la phase de décollage. Cette phase de décollage elle est à partir du moment où on est aligné et elle se poursuit jusqu'à ce que par exemple on rentre le train, autrement dit quand on a une hauteur de l'ordre de 100/150 pieds, autrement dit 30/50m/s, c'est la phase de décollage. C'est donc l'une des phases les plus critiques, parce que la longueur de la piste est limitée, et qu'on est en général avec la charge maximum, et que s'il arrive un incident, il faut avoir de bons réflexes. Il y a des incidents que l'on peut tolérer et d'autres qu'on ne peut pas tolérer. Par exemple, ce qui n'est pas tolérable c'est le feu ou l'arrêt d'un moteur.

Après cette phase là quand on rentre le train. On rentre le train puis donc on accélère, alors c'est la phase de montée initiale. C'est à dire on se trouve un peu dans la zone de l'aéroport, on suit des procédures particulières à l'aéroport, pour les procédures antibruit, pour éviter d'interférer avec le trafic des autres pistes, etc. Donc c'est une phase qui va, allé, jusqu'à 7000 ou 10 000 pieds, autrement dit jusqu'à 2000 ou 3000 mètres.

Puis après, on a la phase de montée. C'est une montée continue, sauf si évidemment le trafic aérien impose des paliers, c'est une montée continue jusqu'à la phase de croisière. En suivant la route qui va bien pour aller vers l'objectif, vers le terrain sélectionné pour l'arrivée.

Puis ensuite, quand on est au niveau de croisière, ou quand on est pratiquement au niveau de croisière, c'est la croisière elle-même. La croisière elle-même qui peut être très longue. Ça peut être des croisières de 10 heures ou plus. Or c'est la partie la plus pénible parce qu'on a plus rien à faire, sauf évidemment quand on a des pannes, ce qui arrive de temps en temps. A ce moment-là, la vie devient un peu plus compliquée, mais au moins on est occupé.

Puis alors ensuite quand on arrive près de la destination, on a la descente. La descente initiale qui par une trajectoire appropriée et une correspondance d'altitude en fonction des positionnements, qui nous permet d'arriver au point d'entrée en quelques sortes de procédures du terrain de destination.

Et ensuite donc on arrive à l'approche finale. Alors là, c'est la phase où on se prépare pour l'atterrissage, où on prépare l'avion pour l'atterrissage, où on suit une procédure qui nous amène sur un axe radioélectrique, en général, qui converge donc vers la piste, vers le point de l'arrondi sur la piste. Ça c'est l'approche finale.

Ensuite, y a l'atterrissage. Alors l'atterrissage, c'est une phase qui commence à une hauteur de 100 ou 200 pieds à peu près, et qui se termine pratiquement à l'arrêt sur la piste, ou au dégagement de la piste.

Puis ensuite donc, l'avant dernière phase c'est le taxi vers le point d'arrêt.

Et après c'est la coupure des moteurs et la dernière check list avant de partir de l'avion.

Ils parlaient aussi de planification en vol ?

Alors ça c'est autre chose. La planification en vol, ça c'est ... oui, il arrive parfois qu'on a des problèmes, par exemple la météo sur le terrain d'arrivée est telle que on est obligé de se dérouter, ou bien y a eu une panne à bord, et qui nous amène à utiliser un terrain de dégagement et là il faut replanifier la trajectoire pour arriver sur un terrain donné avec les systèmes tels qu'ils sont, tels qu'ils fonctionnent.

Avec le FMS, on a la possibilité d'avoir plusieurs plans de vol, avec en particulier un plan de vol de secours éventuellement. Ce plan de vol de secours il peut être utilisé soit pour un dégagement, soit d'ailleurs à l'arrivée pour changer de piste. Au dernier moment, la piste en service a un problème parce qu'il y a un avion qui est immobilisé dessus, ou bien le vent change de direction puis on est obligé donc de changer de piste et à ce moment-là on est obligé de changer le plan de vol à la dernière minute d'approche finale.

Alors, la planification en vol... sinon dans une croisière normale, c'est pas de la planification, c'est du contrôle de la trajectoire et de la consommation et du fonctionnement des systèmes : principalement ben c'est l'anémométrie, voir si tous les paramètres sont correctes, s'ils sont, la consommation on va voir un petit peu la consommation des carburants, changer éventuellement les réservoirs alimentant les moteurs, etc. pour équilibrer la consommation, pfff... on s'occupe quoi.

Et avant l'introduction du FMS, par rapport à la gestion de trajectoire, le suivi de trajectoire, il était fait comment ? Le plan de vol était fait à la main ?

Oui, on partait, on avait des cartes. On regardait les prévisions météo, on regardait quels étaient les vents qu'on aurait avec une bonne probabilité, et on définissait un petit peu le plan de vol avec ces éléments. Donc avec les éléments de pression, de température et de vent, qu'on pouvait rencontrer. On en déterminait la consommation qu'on allait avoir, on en déterminait aussi l'altitude à laquelle on devait voler si elle n'était pas fixée, parce que parfois sur les routes aériennes, il était normal de, Donc on faisait le total à la main, et puis on remplissait donc des fiches avec des points de report, des points géographiques et puis on regardait donc le cap qu'il fallait suivre, le temps de vol, la consommation, etc. On faisait donc ce tableau de navigation, et puis quand ça n'allait pas, on essayait donc de voir un petit peu comment améliorer les choses, soit en changeant l'altitude. Alors c'est un petit peu ce que vous me disiez tout à l'heure : la planification oui. Oui parce que parfois on prévoit une altitude donnée qui correspond à la meilleure consommation et puis le trafic aérien vous oblige à choisir une autre altitude, et à ce moment-là, il faut replanifier en quelque sorte la consommation, il faut replanifier et vérifier s'il n'y a pas de consommation exagérée, etc. Ca, ça existe encore, mais maintenant avec les avions modernes, y a des calculateurs qui font ça très rapidement, et puis on a pas besoin de s'enquiquiner. Alors qu'avant on avait des abaques, il faut lire les abaques, il fallait regarder et

en déduire des chiffres, il fallait donc les recalculer, à l'époque on avait des calechettes qui était en fait des règles de calcul. Au lieu qu'elles soient horizontales, avec les ingénieurs c'était des règles circulaires. Enfin bref, on utilisait ce genre de chose. Maintenant le FMS, il fait ce genre de chose. En plus, à l'époque, il fallait contrôler le cap pour tenir compte du vent, et à chaque instant, savoir si effectivement on allait vers le point de report qui avait été fixé. Et quand on voyait que les aiguilles du VOR, ou du NDB commençait à basculer, ben il fallait corriger éventuellement parce qu'on était à droite ou à gauche de la route, etc. Donc c'était quelque chose qui se faisait manuellement et avec le cerveau du pilote qui fonctionnait, alors que maintenant c'est l'informatique du FMS qui fait le travail.

Par rapport à la tour de contrôle, quand l'avion décolle, part du point A, il discute avec quelle tour de contrôle ? Y a-t-il plusieurs tours de contrôle ?

Alors aujourd'hui il y a une communication par VHF ou UHF avec une portée qui est toujours très limitée. La portée, c'est la ligne de vue. Autrement dit, si on a un obstacle entre l'émetteur et le récepteur, et bien la réception est mauvaise. Bon, alors, il y a des changements de fréquence, autrement dit il y a des postes de communication, et pour chacune des positions géographiques de l'avion, il y a une fréquence donnée. Par exemple, quand on est en attente de démarrage, on utilise une fréquence, mais cette fréquence elle n'est utilisée aujourd'hui que pour les questions de mises en route, etc. Quand on a mis en route, on passe sur une autre fréquence qui elle contrôle la circulation au sol sur un terrain déterminé. Donc tous les avions on se... et encore même pour les gros aéroports, c'est divisé par localisation. Par exemple, à Roissy, vous avez des pistes Sud et des pistes Nord, et quand on passe des pistes Sud vers les pistes Nord on change de fréquences aussi. Vous avez donc des fréquences qui sont allouées pour des secteurs géographiques donnés. Puis quand vous êtes autorisé à vous aligner, vous passez sur une autre fréquence qui est la fréquence ... alors la fréquence de taxi c'est une petite tour qui est une tour qui gère le trafic sur l'aéroport. A Blagnac, par exemple c'est la même tour qui gère les deux. Donc il y a un changement de ... pas toujours d'ailleurs. Il peut y avoir un changement de fréquence entre le moment où l'avion passe du taxiway sur la piste ou non. A Blagnac, quand j'ai quitté Blagnac, sur le plan d'opération, c'était la même fréquence qui était utilisée pour le taxi et pour le décollage. Je pense que c'est encore la même chose.

Alors, une fois qu'on a décollé, à ce moment-là, on passe sur une autre fréquence et c'est la fréquence dite de l'approche. Alors, cette fois-ci c'est pas forcément la même tour de contrôle, mais c'est le même organisme de contrôle qui lui regarde un petit peu les trafics et alors à ce moment-là, alors que la tour de contrôle regarde à vue le trafic sur le terrain, aidé aussi d'un petit radar quand la visibilité est mauvaise, quand on passe sur la fréquence approche, autrement dit pour cette phase de montée initiale, c'est une salle de contrôle dans laquelle il y a des contrôleurs qui regardent des écrans et ces écrans donnent des éco radars. E donc le contrôle se fait à ce moment-là au travers de ces salles de contrôle jusqu'à ce qu'on passe sur la

montée vers le niveau de croisière, à ce moment-là on passe sur une autre fréquence encore. Parce qu'à ce moment-là, ce n'est plus le petit domaine de l'aéroport mais c'est le grand domaine de régions aéronautiques. Et chaque région aéronautique donc a des fréquences déterminées et prend en compte donc tous les trafics aériens qui sont dans le secteur. Et ces trafics aériens, c'est 10 à 15 avions qui circulent dans la région à peu près. Et ensuite de régions aériennes à régions aériennes, on change de fréquence. E même en passant par certaines altitudes, on change aussi de fréquence. Parce qu'il y a le contrôle dans les altitudes moyennes, met-on jusqu'à, en Europe se doit être 20 000 pieds à peu près. Et au-dessus donc c'est le trafic aérien supérieur, et à ce moment-là donc avec des fréquences qui règle le trafic sur une beaucoup plus grande région.

Et quand on arrive, c'est la même chose. On va de grandes régions vers de plus petites régions, jusqu'à arriver sur l'aéroport.

J'en reviens par rapport aux différentes phases. Vous avez dit que le décollage est une phase critique. Est-ce que pour vous, il y a aussi d'autres phases qui rentrent dans cette catégorie ?

Oui, c'est l'atterrissage.

Et l'approche ?

L'approche aussi si il y a du relief, s'il y a des problèmes de visibilité directe oui.

Les 2 tiers des accidents se passent entre 0 et 3000 mètres. Ce sont toutes les phases près du sol qui sont les plus critiques. Ou au sol d'ailleurs : à l'arrivée ou au départ du sol. C'est-à-dire le décollage et l'atterrissage.

Donc maintenant on va parler un peu plus de l'automatisation et de son évolution. Donc j'ai pu, en lisant l'ouvrage de C.Billings, regarder ce schéma qui montre l'évolution de l'automatisation, de son introduction. Donc je voulais savoir si vous pouviez m'en dire un peu plus sur cette évolution ?

Ou si vous pouviez un petit peu me détailler les éléments qui se trouvent sur ce schéma ? Par exemple, en 1920, il parle de ...

Ça c'est le DC3. Le DC3 avait un embryon de pilote automatique aussi oui. Un embryon de pilote automatique très très élémentaire. Ce pilote automatique, il stabilisait l'altitude et un cap. Avec le problème que le cap lui, c'était un cap qui était gyroscopique, recalé d'après le compas magnétique, et qu'il dérivait, et que toutes les 10 minutes ou tous les quarts d'heure, il fallait le recalé par rapport Donc c'était un automatisme très sommaire.

Alors ensuite, en 1960, le pilote automatique était un peu plus sophistiqué, pas beaucoup plus, mais il était un peu plus stable. Et en plus, sur le plan de la navigation, ici (1940), on avait des

balises avec des fréquences relativement faibles, donc avec des précisions pas très grandes. Ici, à partir de 1960, on a utilisé des balises VHF, des balises qui étaient beaucoup plus stables et qui donnaient en plus des directions radioélectriques qui étaient stables, comme le VOR. Et là, donc la navigation était un peu plus sérieuse, ce qui ne voulait pas dire que le pilote ne devait pas recalculer de temps en temps les choses mais enfin la surveillance était un peu plus aisée parce que les choses étaient plus stables. Je crois que ce qui est ... la différence c'est la stabilisation des paramètres qui s'améliorait là-dedans.

Ensuite là, il y a eu le système de commandes de vol qui s'est amélioré. Autrement dit, les commandes de vol sont devenues mécano-hydrauliques avec des commandes plus précises que les précédentes et elles sont devenues d'ailleurs, grâce à Concorde, elles sont devenues électrohydrauliques. Autrement dit, ce sont des commandes ce que l'on appelle Fly-by-wire, c'est-à-dire le vol par les câbles, autrement les commandes électriques. Alors là la précision était nettement améliorée avec en plus une stabilisation de l'avion meilleure, en particulier en turbulence, et avec le contrôle aussi du cap pour tenir compte du vent et donc pour naviguer non pas en fonction de la masse d'air dans laquelle on était, mais en tenant compte aussi de l'évolution de la masse d'air, c'est-à-dire en tenant compte du vent qui pouvait être variable suivant les régions, et en mettant donc comme référence la route et non pas le ca. La route, c'est-à-dire le cheminement sol entre deux points, alors que le cap c'est la direction de l'axe de l'avion mais qui varie avec la masse d'air.

Alors ensuite ici (1980), les automatismes se sont renforcés. Ici, on contrôlait le cap. Ici on contrôle beaucoup mieux l'altitude, le cap, la route, on commence à stabiliser la route et non seulement la route mais on peut arriver à gérer par exemple les prises de niveau de vol, les prises d'altitude de façon automatique. Là, il fallait le faire manuellement et une fois qu'on était stabilisé, pof on mettait le pilote automatique et puis il continuait. Là, on peut déjà planifier des phases qui sont évolutives, alors que là, il fallait obligatoirement que le pilote fasse les évolutions, ensuite le pilote automatique stabilisé ce que le pilote avait commencé à stabiliser.

Donc, là (60), ce ne sont que des outils qui lui sont donnés, mais que lui-même doit remettre à jour ?

Oui. Alors là, quand même pour la tenue d'un axe radio-électrique, ça pouvait se faire automatiquement. Mais c'était uniquement l'axe. Là, il commence à y avoir tout. Et en plus ici, on a donc un instrument qui lui prend en compte en quelques sortes la feuille de route du pilote, et c'est lui qui la conduit, c'est le FMS. 1980 ce sont les années 1980. En fait, le CDU est arrivé effectivement avant, 1970. Le FMS est arrivé au début des années 80.

Alors j'ai encore du mal à comprendre comment est construit le FMS. Le CDU fait partie du FMS ?

Non. Le CDU c'est ce qui rassemble tous les automatismes de conduite de vol. Autrement dit ça peut... il y a aussi la conduite de vitesse. Autrement dit, on peut sélectionner une vitesse et les commandes de poussée elles, elles sont commandées par justement cet automatisme en fonction de la vitesse qu'on veut avoir. Par exemple, si on veut stabiliser 300 nœuds, on affiche 300 nœuds, on enclenche et à ce moment-là, la poussée agit de façon à ce que l'avion accélère vers 300 nœuds puis se stabilise à 300 nœuds, et quand les 300 nœuds sont arrivés ça réduit un peu la poussée. Ou alors quand on à 320 nœuds et qu'on veut 300 nœuds ça réduit la poussée jusqu'à ce que l'avion arrive à 300 nœuds puis ça remet un petit peu la poussée de façon à stabiliser 300 nœuds. Ça stabilise un cap, ça stabilise une route éventuellement, ça stabilise une altitude, ça stabilise un changement d'altitude, enfin ça permet ce changement d'altitude, et ça c'est la dedans. Et c'est un affichage ... Je peux écrire quelque part.

Alors ça c'est le pilote, ça c'est le copi, et le CDU est là et vous avez tous les automatismes. Et ici vous avez la planche de bord du pilote, vous aviez en 1960 l'horizon ici, vous aviez la vitesse, l'altitude, le cap. Et ici vous aviez les moteurs. Mais ici vous aviez la commande de vitesse, vous aviez la commande de cap et route, et cella d'altitude. Dans les avions modernes, vous avez toujours le CDU qui est là, il est un peu plus simplifié quand même. Et ici, au lieu d'avoir ces instruments, vous avez deux écrans, vous avez ce qu'on appelle le PFD (Primary Flight Display) et vous avez le ND (Navigation Display). Le PFD concentre les 3, autrement dit, vous avez en haut un bandeau qui regarde l'état des automatismes. Autrement dit, vous commandez les automatismes ici et vous voyez dans quel état ils se trouvent ici : en attente ou en fonctionnement, et quel est l'état, parce que par exemple interception d'altitude ou montée ou descente, etc. Et ici, vous avez 3 échelles : l'horizon, l'échelle des vitesses linéaire, l'échelle d'altitude, et l'échelle de vitesse verticale. Et en bas, vous avez le cap ou la route. Plus ici, vous avez l'ILS, c'est-à-dire le contrôle des axes radioélectriques quand vous êtes en approche. Et le ND, c'est une carte, une sorte de carte. Donc vous avez ici la maquette qui donne la position de l'avion et puis ici vous avez la route qui doit suivre avec des points de repères, etc. vous avez ici le vent, vous avez les balises radioélectriques que vous avez introduit aussi avec la sélection des balises radioélectriques. Et le FMS, c'est le FMS qui donne ça.

Alors pour en revenir à votre schéma, oui mais c'est oui, ok, pourquoi pas.

Donc juste pour récapituler, pour que ce soit clair. En fait, tout ce qui est avant l'autopilote, c'est ce que le pilote entre les données dans le FMS, et l'autopilote prend juste le relais ?

Dans le FMS ou dans le CDU. Le FMS est stratégique. Le CDU est tactique. Autrement dit dans le CDU, vous affichez ce que vous voulez dans l'immédiat ou les minutes qui arrivent. Le FMS lui il fait jusqu'au bout, il donne les données jusqu'au bout. Donc au travers du FMS, la commande du FMS, vous avez donc de grandes calculatrices, vous introduisez donc en alphanumérique ce que

vous voulez, et le FMS donc il vous donne une stratégie. Ici non, ce sont des affichages manuels. Là c'est un alphanumérique.

En fait, j'ai du mal à comprendre le lien entre les deux. On entre des données dans le CDU qui les transmet au FMS ?

Le CDU il a priorité sur le FMS. Quand vous voulez que le FMS agisse, vous avez ici des boutons sur lesquels vous appuyez, et à ce moment-là, vous mettez « NAV ... », je me rappelle plus, quand vous appuyez là-dessus c'est le FMS qui prend la navigation en charge. Si vous n'appuyez pas là-dessus, c'est le CDU qui vous donne.... autrement dit le CDU vous donne des segments de vol séparés, le FMS vous donne l'enchaînement de tous les segments de vol. Et le CDU a priorité, autrement dit si vous faite une fausse manipe, ou si vous n'êtes pas content avec le FMS, vous passez sur le CDU et le CDU vous donne ce que vous avez affiché : la vitesse, l'altitude, le cap que vous avez affiché. Tandis que si vous passez sur NAV, c'est le FMS qui vous donne les indications et le CDU n'a plus rien à voir là.

Donc soit on prend la main sur le CDU soit sur le FMS.

Oui.

On décide duquel on se sert ?

Oui, c'est ça. Mais si par exemple, vous avez des soupçons sur ce que fait le FMS, ben vous passez sur le CDU ou même vous déconnectez, vous avez un bouton sur le manche, et vous passez en pilotage manuel, et vous pilotez vos instruments directement.

Sinon, on entre les données, et c'est là où le pilote automatique exécute tout seul les données ?

Oui. Alors le pilote automatique, lui, il exécute soit le CDU soit le FMS.

Là aussi on décide ?

Oui. Autrement dit, le pilote automatique il est après le CDU ou le FMS.

Qu'est-ce que c'est ce qu'il appelle « controller » ?

Ça je suppose que c'est le système qui essaie de voir si les données sont correctes. Autrement vous par exemple trois centrales à inertie, et vous avez donc des controllers qui regardent les positions données par les trois centrales, et elle fait des fautes : si y en a deux qui sont d'accord et une qui n'est pas d'accord, le controller élimine et vous donne une alarme en disant attention, y en a un qui va pas. Même chose pour les paramètres de vol, par exemple les prises de pression totale, les prises de pression statique qui vous donne les vitesses et l'altitude, si elles sont d'accord (y en a 3 aussi), y a un vote entre les trois et puis si y en a une qui n'est pas

d'accord, à ce moment-là y a un vote et ça élimine. Même chose si le GPS n'est pas d'accord les centrales à inertie, bon ben le controller là il choisit pas, il dit y a un problème, et c'est au pilote à vérifier.

Donc, je voulais vous demander par rapport à votre expérience, quel impact a eu l'automatisation des cockpits sur l'activité des opérateurs, d'après vous ?

Je suis pas d'accord avec mes petits camarades, enfin bon. Ça simplifie la vie en ce sens que on n'a pas à effectuer tous ces calculs. Donc on a un peu plus de temps disponible. Or, je constate, et c'est un constat, que dans des phases telles que les montées, ou les approches, il n'y a pas de différences d'occupations des équipages entre ce que j'ai vécu sur Carvelle et ce que j'ai vécu sur A340. Les gens sont toujours si occupés mais pas de la même façon. En fait, les automatismes ont simplifié la vie mais n'ont pas allégé la charge de travail, curieusement. En revanche, les automatismes diminuent les risques d'erreur. En ce sens que les calculs mentaux qu'on était obligé de faire, ben là ils sont fait et on a plus qu'à les contrôler, alors que là on avait à la fois à les calculer et à les contrôler aussi. Alors donc il y a une sorte de simplification du travail, mais la charge de travail quand même est la même. Et ça c'est un paradoxe. Alors je sais que mes camarades pensent que c'est mieux, moi je pense pas que ce soit mieux en fait. En fait, les choses sont compliquées. Ici, y avait pas beaucoup d'avions qui étaient en utilisation. Je dis pas que c'était le désert ou presque, mais ... Ici, c'est la population concentrée. Donc, la vigilance doit être accrue sauf en croisière, où alors là pendant 10h par exemple, on a plus rien à faire si tout marche bien. Bon la fiabilité des équipements a augmenté de façon considérable avec les équipements digitaux, leur fiabilité a été augmenté par 10, 20, 30, etc., ce qui fait que les pannes sont rares et donc on n'a pas grand chose à faire et on a la vigilance qui se relâché et parfois on ne regarde pas des dérives insidieuses qui peuvent s'effectuer et qui soudain surgissent devant nous alors qu'on aurait pu déjà les déceler et puis en tenir compte avant et puis parfois ça amène à des situations dangereuses tout à fait inattendues. Donc c'est là où il y a un problème de vigilance qui s'introduit, curieusement. Donc c'est un paradoxe.

Sarter et Woods disent que ça a modifié l'activité des opérateurs parce qu'ils ne pilotent plus directement l'avion par des actions manuelles, mais plus indirectement en donnant des instructions aux appareils.

Oui, et là y a un problème. Les risques de panne sont diminués, les risques de pannes sévères sont très fortement diminués, mais ce n'est pas entièrement annulé, ce qui fait que quand il y a une panne sérieuse, avec la panne sérieuse, on est obligé d'utiliser le contrôle manuel. Et on n'y est plus habitué. On a perdu des habiletés. On n'a peut-être pas d'ailleurs acquis des habiletés nécessaires, parce que maintenant avec la formation des pilotes, c'est surtout la formation avec les automatismes, c'est peu vers les habiletés manuelles. Et donc il peut y avoir des problèmes. Alors parfois ça se passe bien, je pense à cet accident qui a eu lieu y a deux ans : l'A320 qui était

au décollage de la Guardia à NY a rencontré un vol d'oie, les deux moteurs sont arrêtés, il était à 2000 pieds, et face à des immeubles devant lui, et il a quand même réussi à se poser sur l'Hudson, il a eu une grande chance mais faut dire aussi qu'il s'est très bien débrouillé manuellement, il a piloté l'avion manuellement parce qu'il avait une éducation de base de pilote militaire. Ce serait arrivé à un pilote qui avait un entrainement civile, je ne pense pas que ça se soit passé de la même façon. Donc si vous voulez, les automatismes introduisent plutôt une commande des automatismes, parce qu'on commande les automatismes, on ne commande pas en définitive l'avion directement. Il faut dire aussi qu'avec le pilotage, avec le flight by wire, on ne commande pas non plus l'avion directement, on le commande au travers de calculateurs. Mais ces calculateurs ont une action directe sur les servo-commandes. Donc, c'est une action semi-directe mais avec une correspondance univoque entre le mouvement du manche et le mouvement des gouvernes. Alors que les automatismes, vous ne commandez que par exemple une altitude, vous commandez une vitesse, vous commandez un cap, et ensuite ça se débrouille pour que l'avion se mette sur le cap, sur l'altitude, etc. Effectivement c'est assez changé. Mais là on a un problème sérieux, c'est le problème justement du maintien des habiletés requises en cas de panne sévère.

Les pilotes ne sont plus formés finalement ...

Ils sont mal formés. Je ne dis pas qu'ils ne sont pas formés mais enfin ils sont insuffisamment, et surtout, même s'ils sont bien formés initialement, on n'entretient pas leurs habiletés. Autrement dit, si l'on voit quelque chose à l'âge de 25 ans, et puis qu'on en a pas jusqu'à 55 ans, si on a rien fait entre temps, il peut y avoir des problèmes.

J'ai lu aussi dans l'ouvrage « L'être technologique », que l'automatisation a engendré une quantité importante de documentation. Je voulais savoir si cette documentation concernait la formation des pilotes ou si c'était la documentation de procédures à suivre lors d'une panne, où là aussi ça a engendré une charge de travail ?

Oui, en fait, pour essayer de réduire les risques de fausses manœuvres, on établit des procédures permettant si on les suit de résoudre des cas de pannes difficiles. Avec des systèmes d'ailleurs qu'on ne maîtrise pas directement en plus. Le conditionnement d'air, excusez-moi mais le conditionnement d'air, tout ce que vous avez maintenant c'est le réglage de la température, la mise en marche puis c'est tout. Ce qu'il se passe, alors c'est horriblement compliqué le conditionnement d'air, c'est l'un des systèmes le plus complexe d'un avion, mais heu on en voit rien. Bon, pour le maîtriser vous avez des procédures qui vous disent « faut couper telle valve, etc. ». Et ça c'est pas immédiat du tout. Autrefois, même pour Caravelle, on avait un panneau mécanicien sur lequel on pouvait contrôler les vannes, etc. Maintenant tout ça c'est automatique, on sait pas du tout ce qu'il se passe derrière. Alors, ces procédures là, dans ces années-là, on avait des check-lists, en fait c'était des do-lists, c'étaient des gros trucs

cartonnés et épais comme ça, et quand on avait une panne, il fallait vite aller chercher, y avait des index, etc., et on passait quand même pas mal de temps, même si on ne se trompait pas dans l'indexation. Et puis après, il fallait lire les check-lists, il fallait donc faire les actions, et puis ça prenait du temps. Et puis ici, on a des systèmes qui vous donnent des check-lists qui s'appellent ECAM, côté Airbus. ECAM c'est Electronic Centralized Aircraft Monitoring. Et sur ces ECAM, se sont des écrans sur lesquels quand il y a une panne on vous dit de quel système il s'agit, et dessous vous avez la procédure à suivre. Donc il faut la lire, alors vous avez des actions, y a marqué « close pompe number one ». Donc vous allez sur le panneau, vous arrêtez la pompe, dès que vous l'avez arrêté ça passe à la ligne suivante, etc. Donc tout ça c'est très bien, mais je vous cite un exemple, ... alors là quand j'en parle mes petits camarades ne disent rien ou contestent ce que je dis, vous avez entendu parler de l'A380 qui a eu un problème de moteur au décollage de Singapour, qui a eu un problème sérieux puisqu'il y a une turbine qui a éclaté, et qui a endommagé énormément de système. Donc, l'ECAM il était plein de rouge de procédures, etc. et sur un compte rendu préliminaire d'incident qui a été émis par les australiens et que contestent certains, il est marqué qu'ils ont mis 50 minutes à réussir à éclipser toutes les procédures ECAM qui étaient listées. Alors évidemment c'est un incident qui est très peu probable, l'ennui c'est qu'il est arrivé. Et puis y a pas que lui qui peut arriver, y a des tas de choses qui sont peu probables mais qui arrivent quand même. Alors donc c'est un petit peu ce à quoi on faisait allusion, en disant et oui, ces procédures c'est très bien mais pour les appliquer, la liste des actions est importante et il faut les faire et ça prend du temps. Et en plus ce n'est pas immédiat. Y a parfois sur l'ECAM une procédure qui arrive et vous dites « mais c'est stupide », et puis il faut la faire quand même, parce que si on la fait pas, 3 ou 4 items après ben on regrette de pas l'avoir fait. L'ennui avec l'ECAM c'est qu'on dit pas pourquoi il faut le faire. y a pas la place en plus. Et puis en général, il faut faire les choses vite, on n'a pas le temps de dire aux gens « c'est parce que ... », donc il y a un problème, des problèmes cognitifs en quelque sorte dans la gestion des check-lists.

On ne comprend pas pourquoi il faut faire ces actions, et duc oup le pilote a du mal à mettre en place ces actions.

Oui.

Ce qui est surprenant c'est qu'il soit obligé d'exécuter des actions qui peuvent lui paraître contradictoire avec la situation.

Oui, et ça c'est difficile. Alors, Boeing... alors, je sais pas du tout ce qu'ils font actuellement chez Boeing, mais enfin à l'époque, avec le 1677 qui était à l'époque leur avion le plus moderne, ils avaient une sorte d'ECAM qui s'appelait pas l'ECAM, je me souviens plus comment il s'appelait, où il donnait aussi des check-lists à appliquer avec des items mais entre parenthèse, il disait en 1 ou 2 mot pourquoi. 1 ou 2 mot mais ça tranquillisait l'esprit. Airbus ne le fait pas.

Et donc toujours par rapport à l'automatisation, est-ce que vous pensez que cette automatisation demande un effort d'attention plus important qu'avant ? Est-ce que finalement, faire attention à tous les éléments qui sont présents sur le cockpit est devenu une tâche supplémentaire ? Est-ce que l'opérateur doit porter beaucoup plus d'attention qu'auparavant ?

Je dirais que ça a l'effet inverse en fait. Avec les automatismes, on a un peu un relâchement de la vigilance. Alors, on contrôle mais on regarde à peu près si ça va dans le bon sens, etc. Et quand il faut soudainement recadrer son attention, et bien on a quelques difficultés à le faire. Encore une fois, les automatismes introduisent un sentiment de sécurité, un sentiment indu de sécurité. Alors, c'est pas facile à expliquer parce que ... Ce sentiment indu de sécurité s'introduit de plus en plus fort quand la routine s'installe. Par exemple, un A320 qui fait 4 rotations par jours, au début, les gens sont éveillés, ils regardent le premier, le deuxième, le troisième aussi, et le quatrième tout marche correctement, y a pas de problème, et là on se relâche. Donc la surveillance relâche, les automatismes fonctionnent correctement. Et quand il y a un accident, le réveil est brutal, et là on est plus préparé mentalement. Donc les automatismes ont du bon et du moins bon. C'est pas du mauvais mais c'est du moins bon.

Je voulais également vous demander plus particulièrement par rapport au FMS. Il a incrémenté de nouvelles fonctions. Avez-vous le souvenir que ces questions ont fait l'objet de discussion avec d'autres pilotes ou des réflexions personnelles ? Est-ce que le FMS a introduit une complexité plus importante que les appareils qui étaient présents avant son introduction ?

Je vous fais part d'un souvenir. Un souvenir de quand j'ai commencé à former les gens sur le FMS, c'était donc dans les années 80. A l'époque, et ça a pas vraiment changé quand même, il y avait cette insertion des données par une manipulation alphanumérique. Toute manipulation de clavier, et vous le savez certainement aussi bien que moi, engendre des possibilités d'erreur. Avec les touches, vous allez rapidement et hop. Alors l'ennui c'est quand vous l'avez inséré sur le FMS, il faut refaire la manipulation.

Depuis le début ?

Oui. Sauf quand on s'en aperçoit de suite, on fait « C » (cancel), puis on revient ; mais ça prend quand même une dizaine de seconde. Donc le problème que j'ai eu à l'époque c'était le problème d'insertion des données par justement ce fichu clavier alphanumérique. Et comme le FMS quand même introduit une simplification dans la conduite de phases de vol un peu tendu comme les approches, les pilotes avaient tendance à utiliser le FMS beaucoup plus que le CDU par exemple, et quand par exemple on leur demandait de changer de piste au dernier moment alors qu'ils avaient commencé une approche sur une piste, on leur a demandé de changer, ils commençaient à pianoter le FMS. Donc il y avait un pilote qui ne faisait que ça, donc toutes les

autres tâches étaient complètement oubliées, Or dans un équipage à deux, chaque pilote a des tâches bien établies à faire. Et quand il y en a un qui ne les fait pas, ben l'autre il est surchargé. Et il se passait en plus un autre phénomène, c'est que celui qui était au pilotage, le pilote en fonction, se mettait à surveiller l'autre, en disant « il faudrait pas qu'il m'introduise un truc idiot parce que là on serait vraiment dans un cas un peu pénible ». Ce qui fait que parfois, y avait aucun pilote qui regardait ce qu'il se passait. Tous étaient sur le FMS. Tant et si bien que les compagnies aériennes ont établi une règle, en disant « en dessous de 10 000 pieds, aucune manipulation du FMS autorisée ». Alors, aujourd'hui, je sais pas du tout. Quand j'ai quitté y a 16 ans, c'était encore la règle. Aujourd'hui, je ne sais pas. Peut-être que maintenant les choses sont simplifiées. Le fonctionnement du FMS aujourd'hui, je ne le connais pas opérationnellement, autrement dit je ne l'ai pas manipulé personnellement. Je sais ce qu'il fait, les insertions maintenant sont beaucoup plus aisées. Est-ce que cette procédure de ne rien faire en dessous de 10000 pieds est toujours en vigueur, je ne sais pas. Et la manipulation du FMS est quelque chose qui monopolise l'attention et à plein temps. C'est-à-dire qu'on peut pas faire deux choses à la fois. Alors que quand on pilote, on peut faire plusieurs choses à la fois. Là avec le FMS non, il faut se concentrer uniquement sur ce qu'on fait sur le FMS. Ça c'est à cause des risques de mauvaises manipulations.

Et est-ce que la recherche d'information, la recherche de pages dans le FMS elle requiert une grande attention ?

Oui, moi j'avais horreur de ça, personnellement. Il y en a qui s'y faisait. En fait, pour le FMS, y a pas 36 solutions, il faut une grande expérience en manipulation. C'est pour ça d'ailleurs, quand on forme des pilotes, on a des simulateurs spéciaux qui permettent de faire toutes les manipulations possibles sur le FMS. Alors là, il faut en faire beaucoup, il faut faire des tas d'erreurs, il faut vraiment s'habituer à ce genre de manipulation. C'est une question essentiellement de manipulation, et surtout de contrôle de la manipulation et de récupération d'erreur, pour le FMS. C'est un équipement qui nécessite donc beaucoup d'attention et d'habiletés.

Est-ce que ça demande aussi de la mémorisation ?

Si vous voulez, ça fait partie de la mémorisation due à l'expérience. Autrement dit, l'expérience qui s'établit dans les modèles mentaux, au travers des modèles mentaux, et puis bon, ces modèles mentaux il faut d'une part les construire, et puis d'autre part surtout aussi les maintenir. Donc le FMS à mon avis, il faut continuer de les manipuler pour bien conserver en mémoire ce qu'il faut faire et ce qui ne faut pas faire.

Donc, je reviens par rapport à la tâche de navigation. Est-ce que l'utilisation du FMS ne concerne que la tâche de navigation ? Ou bien est-ce que le FMS peut servir à autre chose ?

Oui, le FMS peut servir à ... en fait, on se sert en particulier du au travers du FMS, on se sert du calcul des vitesses de décollage. On insère la masse de l'avion, on insère la longueur de piste, on insère l'état de la piste, on insère la configuration des hyper-substantateurs, et aujourd'hui même, on insère la piste elle-même, en fonction de la pente, etc. de son état, et crac on a les vitesses de décollage, la vitesse V1, la vitesse de rotation, la vitesse stabilisée en cas de panne à la vitesse V2 en cas de panne moteur, etc. Donc ça sert aussi de calculateur, pas uniquement de navigation, mais de calculateur aussi de vitesse. Ça définit les meilleurs niveaux à utiliser en fonction de la température, en fonction du vent, etc. Autrement dit ça sert aussi à utiliser des questions économique, en particulier, d'insérer de façon indirecte les différences de prix de pétrole entre la destination et l'arrivée pour voir qu'est-ce qu'il faut utiliser pour le chargement du pétrole, pour utiliser la vitesse : quelle vitesse de montée, vitesse économique de montée. Donc en fait, c'est un calculateur qui permet de soulager le pilote de toutes ces fonctions de calcul qu'il menait avec des abaques, énormément d'abaques, et avec des données météorologiques, des données de terrain, etc. Donc tout ceci se fait automatiquement, et rapidement.

Si j'ai bien compris par rapport à cette tâche de navigation, la tâche de navigation avant l'introduction du FMS ça consistait à faire tous ces calculs pour savoir quelle était la meilleure trajectoire à suivre ?

Oui.

Et ensuite ça consistait à suivre cette trajectoire ? La tâche de navigation c'est bien ça ?

Oui.

Et donc aujourd'hui, cette tâche de navigation, c'est d'introduire toutes les données dans le FMS pour qu'il puisse lui-même calculer la trajectoire à suivre ?

Oui, tout a fait. Alors, en plus, maintenant les opérations de la compagnie aérienne ou quand y a pas d'opérations c'est quand même le pilote qui doit le faire avant le vol, la table donc de la navigation pour contrôler que le FMS fait bien son travail. Mais ce n'est qu'un contrôle. On a donc toutes étapes, on a pour chaque étape le cap, la route, etc., on a le vent estimé, la consommation estimée, etc., on a toutes les données de navigation, quelles balises il faut mettre sur les VOR, etc., tout ceci c'est sur cette fiche, et donc en fait, maintenant, c'est un contrôle.

Donc c'est devenu une activité passive...

Sauf quand il arrive un problème et que le FMS est en panne. Quoi qu'il y en a trois, alors maintenant, au pire il y en a deux, donc y en a toujours un qui fonctionne. Enfin, en général. Mais il peut y avoir de grosse panne électrique où vous n'avez plus rien. Plus de FMS ni quoi que ce soit. Alors, c'est là où vous êtes heureux d'avoir votre fiche de route sur laquelle vous pouvez

vous reposer pour continuer ou pour vous dérouter. Mais, alors maintenant, la grande idée c'est de se passer de tout papier dans le cockpit. Alors, c'est idiot. C'est le politiquement correcte aujourd'hui. Maintenant, le papier dans le cockpit, c'est enquinant parce qu'on sait pas où le mettre. Alors on le cale contre le pare-brise, etc., mais quand vous avez des cartes, etc., vous avez des tas de papiers et alors quand vous arrivez dans une approche, il faut que vous sortiez la carte d'approche de votre Jeppesen, etc., puis vous savez pas où le mettre puisque vous n'avez rien, quoique maintenant avec les avions, aujourd'hui il y a des tablettes. Ces tablettes, maintenant, de façon idiote, on a mis en place des claviers, parce que maintenant, tout est bureautique, avec l'A80, etc. Et à mon avis, ça c'est idiot, parce que quand tout se passe bien, et c'est vrai que ça se passe de mieux en mieux j'allais dire au point de vue fiabilité, y a pas de problème, on n'a pas besoin de papier, en plus vous avez un écran spécial sur lequel vous pouvez avoir tous les abaques dont je vous ai parlé, toutes les crates navigation, etc. Le problème est de feuilleter, de savoir quelle est la page, comment arriver dans le menus, vous avez des tas de menus avec des tas de..., et alors ça ça prend du temps. Alors quand vous avez la mauvaise page qui arrive, ah pourquoi est-elle arrivée, qu'est-ce que j'ai fait, il faut reprendre, etc., et ça, je suis désolée, mais on n'a pas encore trouvé la bonne solution. Et puis c'est horriblement compliqué en plus. Alors donc il y a ce problème, et à mon avis, on ne pourra pas se passer de papier et le jour où voulant se passer de papier, n'ayant pas de papier effectivement, où il y aura une grave panne, où y aura pas d'électricité, où l'électricité des circuits dont vous avez besoin pour avoir les informations ne marchent pas, si vous n'avez pas de papiers et bien vous êtes dans de beaux draps.

Donc il faut garder quand même ...

A mon avis, oui. Enfin, je suis désolé, là je suis contre l'évolution. Je m'appuie là dessus sur une chose : quand je vais à l'université ou ailleurs dans les bureaux d'étude, que je vois les gens qui pianotent, etc., ils ont des piles de papier à côté d'eux. Je n'en connais pas un seul qui n'ait pas quelques papiers à côté de lui. Donc ça me fait dire que, désolé, mais le papier on ne pourra pas s'en passer. Et dans des matériels aussi sensible que les avions, dans des situations qui peuvent être potentiellement dangereuse, se passer du papier est idiot. C'est une stupidité sans nom. Mais c'est une opinion personnelle.

Bon, pour récapituler et vérifier si j'ai bien compris, la tâche de navigation, elle a été modifiée par l'introduction du FMS ou non ?

Oui.

Par rapport à ce qu'on a dit tout à l'heure

Mais attendez, la tâche de navigation elle est la même, c'est la même. Mais les actions de navigation sont différentes. Mais la tâche c'est la même. La tâche de navigation c'est d'aller du

parking de A vers le parking de B. C'est ça la tâche de navigation, et elle n'a pas changé. Mais les actions, les actions du pilote elles ont changé.

Par rapport au fait qu'ils devaient faire les calculs manuellement ?

Voilà, elles se sont simplifiées, elles se sont très simplifiées. Mais en cas de panne, elles restent les mêmes.

Donc on peut distinguer les tâches de pilotage et les tâches liées au FMS ?

Oui. Et le pilotage restera le pilotage.

Et donc par rapport à ce qu'on disait sur la charge de travail, le FMS il a permis potentiellement une réduction de cette charge de travail, ou plutôt cette charge de travail elle a été transférée sur autre chose ?

Elle a réduit le temps passé par le pilote pour ses tâches, mais curieusement ça n'a pas diminué sa préoccupation vis à vis de l'exécution de ses tâches. Autrement dit, il est toujours préoccupé de savoir si la tâche a bien été exécutée. Et les automatismes aujourd'hui, ou plutôt la présentation du fonctionnement des automatismes aujourd'hui, autrement dit la présentation au pilote des automatismes n'est pas quelque chose qu'il peut intégrer de meilleure façon qu'il le faisait y a 20 ans ou 30 ans. Autrement dit, il est toujours obligé d'utiliser les mêmes paramètres. En fait, il s'agit de mécanique du vol. Pour aller d'un point A à un point B, l'avion il suit tous les principes et les éléments de la mécanique du vol. La navigation, c'est une partie de la mécanique du vol de l'avion. Les équations sont les mêmes. Et les paramètres qui sont donnés au pilote pour juger de cette mécanique du vol n'ont pas changé. Ce qui a changé, c'est comment on agit sur ces paramètres et comment ils sont commandés. Mais pour contrôler ces paramètres, pour contrôler la navigation, le pilote a toujours les mêmes paramètres : il a la même vitesse, même altitude, les mêmes caps, il a les mêmes valeurs de vent, les mêmes valeurs de relief, etc. Et tout ça, il doit les intégrer. Il n'y a aucune facilité qui soit donnée au pilote aujourd'hui pour qu'il, mentalement, ait une bonne conscience de situation de là où il se trouve. Il faut qu'il fasse confiance au FMS et pour qu'il fasse confiance au FMS, il utilise les mêmes paramètres que le FMS. Et ça c'est un problème. Alors qu'aujourd'hui, il serait possible de donner au pilote quelque chose de beaucoup plus synthétique. Autrement dit, avec un seul coup d'œil, pof il voit où il se trouve, etc. Le FMS lui il suit bestialement les paramètres, l'altitude, etc. la vitesse, la poussée, etc., tout ça il intègre, il applique mieux la mécanique de vol que le pilote. Il l'applique de façon rigoureuse, mais pour.... encore une fois le pilote, il lui manque cette vue synthétique qui lui permette de se soulager et de voir exactement où il en est. Il est obligé mentalement de suivre exactement les mêmes équations de vol que le FMS.

Pour se faire une représentation ?

Oui, pour se faire une représentation. Et ça c'est idiot. C'est idiot parce qu'on a tous les paramètres, tout ce qui est possible aujourd'hui pour que le pilote est une conscience de la situation correcte, indépendante du FMS, qu'il pourrait alors là contrôler sans aucun problème. Ce qui est primordiale et j'ai peut-être pas assez insisté là-dessus, c'est la conscience de situation que le pilote est obligé de se construire mentalement avec toute cette multitude de paramètres qui sont essentielles pour suivre la mécanique du vol mais qui ne sont pas tout essentiels pour avoir une conscience de situation correcte, c'est-à-dire savoir où l'on se trouve par rapport au relief par exemple, par rapport aux autres avions, par rapport à la piste, savoir comment éviter ou au contraire y aller, etc., avoir une conscience par rapport aux imitations de l'avion, par rapport à ses propres limitations physiques.

Annexe 4 : Analyse thématique de l'entretien du participant 2 à l'étude 1

Légende :

- Tâche : termes et définition
- Explication d'une sous-tâche, but, ou procédure
- Connecteur
- Phase de vol
- FMS

Les tâches de pilotage... Alors traditionnellement chez nous, mais pas que chez nous parce que c'est sur tous les avions, on découpe les tâches de pilotage en quatre grandes fonctions et pour ça, il suffit de se rappeler l'équipage des avions des années 50. Dans l'avion des années 50, il y avait cinq personnes. Il y avait les deux pilotes qui assurent tous les deux la même fonction, c'est la fonction pilotage, en anglais on dit FLY. Il y avait le navigateur qui assurait la navigation de l'avion, il faisait le point astro, il faisait le point, il donnait la position de l'avion, les caps à suivre. Bon, ça c'est la fonction NAVIGATE. Après, on avait un mécanicien navigant qui lui s'occupait du fonctionnement des moteurs, des systèmes de l'avion, quand on dit les systèmes c'est l'hydraulique, l'électricité, l'air, etc. Ça c'était la fonction MONITOR SYSTEM. Et la quatrième fonction, y avait un radio qui lui essayait de recevoir les signaux qui étaient souvent en graphie, c'est-à-dire en morse, et qui assurait la fonction de COMMUNICATION de l'avion avec l'extérieur, les centres de contrôle, etc. Donc à partir du moment où on a cet équipage en tête, on peut très bien se souvenir donc 5 personnes, 4 fonctions parce qu'il y a deux pilotes qui assuraient la même. Et tous nos cockpits sont organisés autour de cette idée forte où on ne mélange pas les choses parce que c'est quand même assez différent de piloter et de communiquer ou de piloter et de regarder comment fonctionne un circuit hydraulique. Donc chez nous c'est fondamental, mais c'est aussi chez les autres, on a clairement ségrégué les fonctions FLY, NAVIGATE, COMMUNICATE, MONITOR SYSTEM. Et pour ce qui nous intéresse dans le FMS, c'est la fonction navigate. Qui évidemment a de l'interaction avec certaines d'autres fonctions, ou même toutes les autres fonctions, elles sont intriquées les unes avec les autres. Enfin, je pense que dans votre thèse c'est important de toujours se référer à ces grands axes et avec ça, on a les idées plus claires.

Donc c'est quoi la différence entre piloter et naviguer ?

Ah, c'est complètement différent. **Piloter, ça consiste à stabiliser l'avion pour suivre une trajectoire donnée.** Mais est-ce que je vais accélérer, je vais décélérer. Est-ce que je vais me mettre dans une configuration avec des volets, sans des volets. Quel angle d'inclinaison je vais prendre pour tourner. Ça c'est le pilotage de l'avion. Alors, **le pilotage de l'avion, on peut le faire soit manuellement avec le manche, soit automatiquement en demandant au pilote automatique d'effectuer ces fonctions.** C'est-à-dire qu'à partir du moment où on a engagé le pilote automatique, c'est lui qui pilote l'avion, mais il le pilote selon certains objectifs. Et ces objectifs, **ils sont donnés par la fonction 'naviguer'.** C'est comme en voiture, si on se déplace en voiture et y en a un qui a la carte et qui dit tu prendras la deuxième à droite, pour après pendant cent mètres, tu vas tourner à gauche sur le rond-point, etc. Celui-là, il navigue. Et celui qui conduit, quand on lui dit tu prendras la deuxième à droite, c'est lui qui va mettre les clignotants, qui va vérifier, qui va tourner, il va réduire sa vitesse pour prendre le virage, il va respecter le stop s'il y en a un, etc. Ça s'est 'piloter'. C'est exactement pareil. **FLY je pilote l'avion,** NAVIGATE... Alors, toujours pour poursuivre l'analogie avec la voiture, si celui qui conduit il a envie de rouler à 60 à l'heure, il roule à 60 à l'heure manuellement, mais maintenant, sur beaucoup de voiture, on peut mettre un speed contrôle qui va tenir 60 à l'heure. Ben là, c'est le pilote automatique qui tient 60 à l'heure, mais c'est quand même l'opérateur qui conduit qui décide de rouler à 60 à l'heure, de rouler un peu plus vite, de rouler plus lentement. Donc la différence FLY, NAVIGATE, elle est quand même très clairement marquée.

Est-ce que la tâche de navigation, elle peut être divisée en sous tâches principales ?

Oui, bien sûr. **Alors, la tâche de navigation, elle consiste à savoir quelle route on va suivre, mais aussi à quel niveau on va voler.** Donc c'est trois dimensions : je vole plus ou moins haut, et pour ça je vais tenir compte de tout un tas de facteurs : le reste de la circulation aérienne, les vents et la météo. C'est-à-dire que si j'ai des vents favorables, ben je vais plutôt choisir un niveau de vol qui prend bénéfice des vents favorables. Si j'ai des mauvaises conditions météo, ben je vais éviter les zones qui sont à éviter parce que j'ai du givrage, parce que j'ai de la grêle, etc. Je vais aussi, dans la fonction navigate, établir ma stratégie de consommation de carburant. C'est-à-dire que suivant que je privilégie plutôt du temps ou plutôt du carburant, je vais adapter ma vitesse, qui elle-même va s'adapter en fonction du vent. C'est-à-dire qu'on démontre que si j'ai beaucoup de vent de face, j'ai plutôt intérêt à augmenter ma vitesse jusqu'à un certain point, si j'ai du vent d'arrière, j'ai plutôt intérêt à la diminuer en terme de vitesse indiquée, c'est-à-dire la vitesse par rapport à l'air. Ensuite, je vais avoir à calculer mon profil de descente pour arriver sur ma destination. Je vais avoir aussi à choisir quel type d'arrivée et quel type d'approche je vais effectuer selon la piste en service, suivant la météo, suivant les instructions que va me donner le contrôle aérien qui lui-même a ses propres contraintes d'intégration des avions les uns par rapport aux autres, ça c'est toujours du naviguer. Et puis, je vais avoir à guider mon avion sur la trajectoire d'arrivée jusqu'à l'atterrissage avec les contraintes météo et ce qu'on appelle les

minimas opérationnels. Minimas opérationnels, c'est la hauteur ou l'altitude la plus basse à laquelle on peut descendre sans voir dehors jusqu'à *in fine* voir dehors et se poser sur la piste. Et alors, tout ça s'est de la nav, navigate, mais **j'ai besoin d'asservir mon avion sur cette trajectoire navigate, ce morceau de plan de vol**. Et pour ça, soit le pilote manuellement va suivre cette espèce de fil là, ça s'est du **FLY**, mais pour faire ça il peut s'aider du pilote automatique ou du **directeur de vol**. Alors, le directeur de vol en fait c'est un indicateur à barres croisées que vous voyez ici. Ça c'est un instrument primaire de pilotage, et ben on a un indicateur à barres croisées qui donne au pilote l'ordre qu'il doit effectuer pour suivre la trajectoire. En fait, en faisant ça, le pilote il fait exactement la même chose que ce que ferait le pilote automatique si le pilote automatique était engagé. Donc à la limite, c'est plus simple d'engager le pilote automatique et puis il va suivre cette fameuse trajectoire jusqu'à l'atterrissage qui peut lui aussi être fait automatiquement. C'est-à-dire que si j'ai des moyens de final qui le permettent, mon avion il peut se poser automatiquement. Mais cet atterrissage c'est de la fonction **FLY** qui **est surveillé par le pilote** mais c'est de la fonction FLY.

Alors, je reviens à mes quatre fonctions fondamentales parce que ça correspond... voilà un cockpit de 380, pour piloter l'avion, j'utilise cet instrument qui me donne l'attitude de mon avion, la vitesse, l'altitude et ça c'est les modes de pilotage automatique qui sont engagés et pour faire ça, j'utilise mon manche qui est là, les palonniers et/ou cet instrument qui s'appelle le Fly Control Unit dans lequel je vais choisir à quelle vitesse je veux voler, à quel cap je veux voler, à quelle altitude et à quelle vitesse de montée ou de descente. Donc ça c'est la fonction FLY.

Après, y a **la fonction NAVIGATE**. Donc là j'ai un petit symbole qui représente mon avion, j'ai un trait qui représente mon plan de vol horizontal, ici mon plan de vol vertical, et ce plan de vol il est élaboré par le FMS par lequel on a accès sur cette surface-là. Ça c'est la fonction NAVIGATE.

COMMUNICATE, je peux échanger des messages avec l'extérieur soit par la radio à voix et j'utilise pour ça cette boîte radio dans laquelle je vais afficher des fréquences et puis je vais parler. Et puis, je peux aussi échanger des messages avec le contrôle aérien par Data Link, ça s'appelle le CPDLC. Ça veut dire Controler Pilot DataLink Communication, qui est une espèce de boîte à mail dans lequel je peux rédiger des messages et les envoyer, et sur laquelle je vais recevoir les instructions, les réponses du centre de contrôle qui me contrôle. Et on peut aussi grâce à ce système-là, **recevoir des morceaux de plan de vol**. Le contrôleur nous dit « vous allez voler selon cette trajectoire », donc ça il nous donne des instructions de navigation, et ayant reçu cette instruction de navigation, je peux la charger dans mon FMS et dire à l'avion, et bien voilà ce que le contrôleur me demande de suivre, voilà le plan de vol qui s'affichera sur cet écran, et donc je demande à l'avion de suivre ce plan de vol. Je finis. Donc FLY, NAVIGATE, COMMUNICATE et MONITOR SYSTEM.

MONITOR SYSTEM ce sont ces deux écrans dans lesquels là je regarde comment fonctionnent mes moteurs, c'est les paramètres de fonctionnement moteur. Ça c'est des écrans qui représentent le synoptique de fonctionnement des systèmes de l'avion. Donc ça c'est, par exemple là on est sur une page hydraulique, mais on a tout plein de pages qu'on peut ouvrir grâce à cette surface où on va appeler la page qui montre le circuit électrique, le circuit hydraulique, les circuits d'air, le circuit de pressurisation, etc.

FLY, NAVIGATE, COMMUNICATE, MONITOR SYSTEM, voilà les fonctions de base et qui sont bien différenciées.

Alors, il reste d'autres trucs dans le cockpit. Par exemple, ce panneau plafond là. Ça c'est les commandes de fonctionnement des systèmes, donc ça fait partie de la fonction Monitor system. Puisque là, avec ça, je peux couper une pompe, ouvrir une vanne, fermer une vanne, etc. Et l'action que je vais faire là va être reflétée sur cet écran. Toujours dans le cadre monitor system, si y a une panne qui apparaît, à ce moment-là on me montre le système qui est en panne avec un petit synoptique qui me dit, y a telle pompe, telle truc qui est en panne, et ici on va me marquer les actions que je dois faire pour régler ce problème-là. Donc il va y avoir des actions à faire. Bon alors, dans ce cockpit, il reste ces deux écrans-là qui eux sont les écrans qui remplacent en fait la documentation papier qu'on avait dans le temps. Donc en fait, ça c'est relié à un PC qui possède ce qu'on avait dans le temps dans la sacoche, c'est-à-dire les cartes, les documents opérationnels qui permettent de calculer les performances, d'aller lire de la documentation qu'on connaît pas tout par cœur. Donc ça c'est la doc finalement ces deux écrans et pour accéder à la doc et pour interfacier avec elle, on a dans la tablette ces claviers, c'est une interface de PC classique.

C'est les procédures aussi ?

On retrouve là-dedans le bouquin, mais en fait dans un avion moderne, les procédures sont intégrées dans le... les procédures de panne. Par contre là-dedans on va trouver les cartes d'approche qui nous disent voilà la fréquence à contacter, voilà la consigne de trajectoire. Cette carte d'approche, on la retrouve ici, mais ici elle est plus détaillée. C'est-à-dire, c'est écrit d'une manière exhaustive, y a tout. Alors qu'ici, c'est que la partie trajectoire pure. Là, y a d'autres informations du genre, les fréquences radios, les altitudes de sécurité, des trucs comme ça. Alors d'ailleurs, si on réfléchit aux avions futurs, pour rester sur ce sujet de navigate, c'est-à-dire qu'ici j'ai ma carte d'approche, ici j'ai ma trajectoire, on voit qu'on a deux fois la même information, et l'idée mais c'est pas facile à faire, ce serait de les regrouper, c'est-à-dire d'intégrer, ça ça pourrait être un paragraphe de votre thèse, d'intégrer dans l'interface FMS l'ensemble des informations dont j'ai besoin pour naviguer et du coup, faire l'économie de ces cartes-là. C'est une espèce de redondance qui est parfois pas facile à gérer parce que j'ai besoin des deux informations. L'idéal, ce serait d'avoir tout sur le même écran. Mais ça c'est ce qu'on cherche à

faire pour l'avion futur. Donc voilà quand même avec cette vue du cockpit et ces quelques éléments, je pense que ça vous donne une idée assez claire de la manière d'opérer un avion.

Donc j'ai deux questions par rapport à ça. D'abord par rapport à la navigation, avec tous les entretiens que j'ai pu faire, on m'a parlé de navigation à court terme, à moyen terme et à long terme. Est-ce que vous êtes d'accord ?

Ouais, c'est ... Disons, la navigation à ... Alors, c'est pas si tranché que ça. C'est vrai que quand on dit **navigation à court terme**, ça veut dire, maintenant je subis une turbulence très inconfortable pour les passagers. Donc maintenant, je vais envisager de changer de niveau. Je vais monter ou je vais descendre. Pour ça, j'ai besoin de demander l'autorisation au contrôle, et l'ayant obtenu, je vais décider, basé sur des informations diverses et variées, qui peuvent être en particulier des informations venant d'autres avions, qui m'expliquent que si je vole 2000 pieds plus bas, ça va aller beaucoup mieux. C'est la navigation à court terme. Après, ça c'est maintenant, c'est mes fesses qui le sentent, parce que c'était en ciel clair, y avait pas d'informations radar, j'ai pas pu faire mieux.

Après, sur mon écran de navigation qui est ici, je fais figurer aussi là l'image radar de ce que j'ai devant moi et ce truc-là, il peut, enfin l'échelle de ce truc-là peut aller jusqu'à 640 nautiques. Enfin, 640 nautiques, le radar il voit plus grand chose mais le radar il voit quand même loin et je peux avoir des échos qui commencent à apparaître à plus de 100 nautiques. 100 nautiques, je vais mettre ... je fais 8 nautiques/minutes, donc dans 10 minutes, je suis à 80, si j'ai 160 nautiques mettons, c'est dans 20 minutes. Je commence à avoir des informations dans 20 minutes. Ça c'est... on peut parler de moyen terme. Et puis, je sais que dans une heure, 480 nautiques, ça fait partie d'ailleurs de l'échelle maximum. Là je sais pas si on parle de moyen ou de long terme. Et puis, si je considère les conditions météo à l'arrivée de ma destination qui est dans encore 6 heures de vol, là on peut parler de long terme mais la frontière entre court, moyen et long terme elle est floue. Est-ce qu'un truc qui arrive dans 5 minutes c'est court ou moyen terme, moi j'en sais rien. Puis je m'en fous en fait. C'est la même information qui est le long de mon vol et qui se termine par l'arrivée. Mais enfin bon, ça peut être commode dans certains cas de faire cette différenciation, mais faut pas en faire une doctrine parce que, et en particulier faut pas que ça conduise à des principes d'architecture de l'interface du cockpit parce que c'est artificiel.

Parce que le moyen terme, on m'en avait parlé par rapport aux balises, comme le VOR où il faut passer à certains moments, à certains endroits...

Ça peut être aussi du long terme. Si on me dit « tu as un créneau à l'arrivée ». Il est actuellement 9h local et on me dit « tu as un créneau à l'arrivée à 13h local », ben c'est une contrainte de temps, c'est dans 4 heures mais ... alors je sais pas, est-ce que c'est du long terme. Mais ça influe tout de suite sur ma stratégie de dire bon ben dans ce cas-là, je vais demander à mon FMS « ben

met moi une contrainte de temps à 13h à mon point de descente mettons, et d'ores et déjà, mon FMS il va adapter ma vitesse pour respecter cette contrainte de temps. Donc ça c'est un objectif qu'on peut peut-être caractériser de long terme sauf que ça a un effet immédiat. Donc faut pas se laisser embarquer dans des trucs trop rigides parce que ... mais bon ça peut aider le raisonnement des fois.

Pour vous, y a-t-il plusieurs phases de vol, et si oui, quelles sont les différentes phases de vol ?

Là, on peut classer ... D'ailleurs, l'avion lui-même, que ce soit pour la gestion des systèmes, que ce soit pour la navigation, et même que ce soit pour le pilotage, il différencie des phases de vol. La manière dont les systèmes fonctionnent, ils tiennent compte de la phase de vol. Alors pour ça, on peut s'inspirer par exemple des phases de ... ça, ça s'appelle l'ECAM, le système qui gère les systèmes. Vous en entendrez sûrement parler. Alors l'ECAM, ça date des premiers avions à pilotage à deux. En fait, ce système, il est destiné à remplacer le mécanicien navigant. Ça veut dire que dans le temps, y avait les mécaniciens navigants avec des tas de boutons et des tas de pendules, et puis il a fallu regrouper et simplifier pour que cette fonction soit désormais assurée par les deux pilotes. Parce que j'ai peut-être pas précisé clairement tout à l'heure, nos quatre fonctions de base qui nécessitaient 5 personnes désormais existent toujours mais elles n'en nécessitent plus que deux. Donc pour arriver à deux, il a fallu faire appel à l'informatique et c'est l'informatique qui a permis de faire des choses intelligentes et intégrées qui a permis de passer à deux pilotes. Alors, pour revenir à l'ECAM, ECAM ça veut dire « Electronic Centralized Aircraft Monitoring », et l'ECAM lui-même si vous voulez voir les phases de vol de l'ECAM, lui, il découpe son vol en tout un tas de phases de vol, et en fonction des phases de vol, il va afficher certaines choses et pas d'autres. Y a certaines pannes qu'il va annoncer, d'autres qu'il va pas annoncer. Alors les phases de vol, je les sais pas toutes par cœur mais enfin y a au sol avant la mise en route, après y a au sol entre la mise en route et le début du décollage. Après, y a le décollage. Alors lui-même il est découpé en plusieurs phases parce que tant qu'on est à basse vitesse, c'est une situation où l'avion a peu d'énergie et on peut se permettre de faire des choses. Après, l'avion accélérant, là on est à haute énergie donc on peut toujours s'arrêter mais enfin s'arrêter commence à devenir plus risqué parce qu'on met beaucoup d'énergie dans les freins donc on ne s'arrêtera que si vraiment on peut pas faire autrement. Après y a une vitesse à laquelle on ne peut plus s'arrêter, donc on passe dans une autre phase, là on est sûr qu'on va continuer, décoller de toutes façons quoi qu'il arrive. Après, on est dans la phase initiale après décollage. Après on va passer à une certaine hauteur près du sol, typiquement 1500 ft, où là on dit ça y est, le décollage est terminé. Maintenant, on rentre dans la phase de montée. Et puis après on va avoir une phase de croisière, puis une phase de descente, puis après une phase d'approche, et puis une phase d'atterrissage, etc. Donc c'est vrai que le vol il est découpé en phase, et c'est vrai que l'activité de l'équipage et la pression temporelle, la contrainte de temps est pas du tout la même lorsqu'on est en croisière pour 7 heures de temps que lorsqu'on est à la vitesse de

décision au décollage. C'est vrai pour les systèmes, c'est vrai aussi pour l'équipage. Mais ils travaillent pas exactement de la même manière.

Pour vous, les phases les plus critiques, ce sont lesquelles ?

Les phases où la tension est la plus élevée, c'est la course au décollage parce que c'est là où on a une décision à prendre à la fameuse V1 et où on a une seconde pour prendre une décision et que si on prend pas la bonne décision, en cas de problème, ça peut avoir des conséquences. Donc y a deux phases où y a le plus de pression, c'est la course au décollage et puis c'est la courte finale et l'atterrissage parce que là, suivant les conditions météo, on peut avoir soit à se poser, soit à remettre les gaz et ... bon alors, évidemment quand il fait très beau la question se pose pas, bon et l'atterrissage ça devient quelque chose de tout à fait banal. Mais lorsqu'on a des conditions météo limites, y a là aussi un peu de tension parce qu'à un moment donné, on doit décider si on continue de se poser ou si on remet les gaz, sachant qu'une remise de gaz, c'est quelque chose qui est tout à fait normal, on l'envisage à chaque atterrissage, mais après va falloir décider de la stratégie, est-ce qu'on refait une tentative, est-ce qu'on va sur une autre piste ou est-ce qu'on va sur un autre aérodrome, et là va falloir prendre des décisions en fonction des informations qu'on a.

Est-ce que vous incluriez la préparation de vol dans les phases de vol ?

Alors, oui mais du point de vue de l'avion et du point de vue de l'équipage, c'est pas exactement pareil. C'est-à-dire que du point de vue de l'avion, la préparation du vol, c'est tout ce qui se passe avant la mise en route des moteurs, et c'est parfaitement défini puisque c'est dans cette phase-là que l'équipage va rentrer les données du vol, en particulier le plan de vol dans le FMS, le chargement de l'avion, et c'est là où le FMS va commencer à faire son calcul. On lui rentre les vents, donc il va calculer des temps, il va calculer des Mach de croisière, il va calculer des tas de trucs. Donc ça c'est la préparation du vol vu du point de vue de l'avion. En revanche, si on parle de la préparation du vol vu du point de vue de l'équipage, ça commence avant. Parce qu'avant le vol, lui, il va passer dans sa salle d'opération, on va lui donner un dossier où il aura les informations concernant la météo, concernant ce qu'on appelle les NOTAM. Je sais pas si vous en avez entendu parler, c'est « NOTice To Air Men », c'est les particularités du jour concernant la navigation ; on va vous dire que tel terrain est fermé, que tel moyen radioélectrique fonctionne pas. Enfin, tout ce qui peut intéresser un pilote. Donc la météo, les Notam, on va lui donner aussi l'état technique de son avion. On va lui dire sur cet avion, y a telles fonctions qui est pas assurée, mais on a le droit de voler quand même comme ça, etc. Et puis, des consignes commerciales, la charge, on va lui dire aujourd'hui combien il a de passager, l'avion est chargé à telle masse avec tel centrage, et puis on te propose d'embarquer tant de carburant pour faire ta mission. Ça c'est la phase de préparation hors avion. Mais après, avec ces informations-là, l'équipage va à l'avion, et en fait c'est à ce moment-là qu'il les communique à l'avion.

Et tout ça, ça se fait dans le centre d'opération ?

Alors ça se fait soit dans un centre d'opération de la compagnie aérienne. Dans une grande compagnie aérienne, y a des milliers de gens qui préparent leurs vols. Si on va tôt le matin chez Air-France c'est la ruche. Mais ça peut aussi se faire dans l'avion. C'est-à-dire que, mettons, un moyen-courrier qui fait Toulouse-Paris-Toulouse. Donc l'équipage, il a pris l'avion le matin, on lui a donné son premier dossier dans la salle d'opération, il a été dans son avion, il a fait tout ça, il s'est posé à Toulouse. Maintenant, il prépare son vol retour, mettons qu'il retourne à Paris, ou qu'il aille je sais pas où, à strasbourg, que sais-je, là on va lui donner son dossier de vol, mais il va probablement pas quitter l'avion. Cette phase de préparation de la mission elle peut se faire aussi dans l'avion.

Et les pilotes, ils doivent vérifier ces informations ? Entre ce qu'on leur donne et le moment où ils vont...

Ben y a des informations... si on me dit « voilà la prévision météo de mon terrain de destination », ça s'appelle le TAF, c'est « Terminal Area Forecast », ça je suis obligé de la croire, et puis je sais que c'est une prédiction. On me donne les conditions météo présentent à tel endroit, ben je suis obligé, je peux pas le vérifier. On me dit « voilà le chargement c'est tant de tonnes », je vais pas aller peser le chargement. Donc oui, il y a beaucoup de choses qui ont été vérifiées par le processus de fonctionnement de la compagnie aérienne mais y a des tas d'informations que je peux pas vérifier.

Et par rapport à tout ça, quand le FMS fait les calculs après, c'est lui aussi par rapport à la vitesse,...

Alors, le FMS lui... on peut prendre plusieurs exemples. Y a pas que le FMS qui fait des calculs. **Le FMS reçoit des informations, mais il les envoie aussi à d'autres parties de l'avion.** Je prends un exemple : la masse et le centrage de l'avion. Ce que me donne la préparation du vol, c'est ce qu'on appelle le « Zero Fuel Weight », c'est le poids de l'avion sans carburant mais avec sa charge pour la mission : les passagers, le fret, etc. Et le « Zero Fuel Weight Center of Gravity » parce que l'avion il peut voler qu'avec le centre de gravité dans certaines limites sinon il vole pas, enfin ça marche pas. Ça c'est donc la masse et le centrage de l'avion sans carburant. Ça c'est ce que sait la préparation de vol, le type qui me donne le dossier, il me donne ça. Moi, **je vais rentrer ça dans mon FMS pour lui dire quelle est la masse en carburant et le centre de gravité sans carburant.** **Mais avec ça, le FMS il lui manque des informations pour calculer la masse de l'avion et pour savoir comment il va naviguer.** Donc lui, il va chercher dans le système carburant de l'avion les informations qu'il lui manque. **C'est la quantité de carburant qu'on a rentré dans l'avion et la distribution du carburant dans les différents réservoirs de l'avion, parce qu'on a besoin des deux informations pour calculer le centrage de l'avion.** Et à ce moment-là, le FMS lui, il connaît... alors non, ça se passe pas comme ça. **Donc le FMS envoie au système de carburant**

les paramètres sans carburant. Le système carburant dit « moi, je vais te calculer combien pèse ton avion avec le pétrole et quel est le centrage. Et ça, ça revient au FMS. Donc, y a un espèce d'aller-retour pour cette information. Mais le FMS interface aussi avec plein de choses. Par exemple, c'est chez lui que je vais rentrer les paramètres de décollage. Je vais lui dire « on a calculé en utilisant cet outil là quelles sont les vitesses de décollage et la configuration », parce que selon la masse, selon la longueur de la piste, selon la température, selon l'altitude du terrain, tout ça, ça peut changer. Donc on a calculé qu'aujourd'hui on allait décoller en configuration 3 avec V1 : 135, VR : 140 et V2 : 150, mettons. Ça je le rentre dans mon FMS, et là le FMS, lui, il envoie ça un peu à tout le monde dans l'avion qui est courant. Et par exemple, mon « Flight Warning Computer », celui qui pilote l'ECAM dont on a parlé tout à l'heure, lui il va savoir quelle va être la V1 par exemple. L'instrument primaire de pilotage va me mettre des bugs aux vitesses que je viens de rentrer dans le FMS, donc ça, ça remonte dans le FMS vers ce qu'on appelle le PFD « Primary Flight Display ». Ça il faut savoir que le PFD on en parle tout le temps. Primary Flight Display, Navigation Display, Engine Warning Display, System Display, et Multifonction Display. Ça, ça héberge le FMS, mais ça héberge aussi d'autres fonctions qui sont pas FMS. Ici en haut, j'ai un menu, un peu comme sur un PC, j'ai soit FMS mais je peux aller aussi dans une page qui s'appelle SURV. Dans laquelle je vais pouvoir paramétrer mon radar, des trucs comme ça. J'ai un truc qui s'appelle BACK-UP FCU et j'ai... Voilà.

C'est le MCU qui est en haut ?

C'est le FCU « Flight Control Unit ». Sur un Boeing, ça s'appelle un MFD, non ça s'appelle FCP « Flight Control Panel », mais ça sert à la même chose.

Parce que là, le pilote va rentrer différentes vitesses ...

Les vitesses... si on prend au décollage, le pilote il va les rentrer à l'aide de ce clavier dans une page particulière du FMS qui est là. Et ces vitesses-là, elles vont s'afficher ici. Il va aussi rentrer la configuration bec et volet, elle va s'afficher ici, et le pilote va régler ses becs et ses volets grâce à cette manette pour mettre la valeur que ne l'occurrence sera la position 3, donc il va mettre sa manette ici. Là, on va lui indiquer la position des becs et des volets, donc ça c'est fait. Et par ailleurs, le fameux ECAM, lui il vérifie que la configuration que j'ai rentrée ici correspond bien à la configuration que j'ai mise, parce que si je me suis trompé, il va me dire « attention, y a un truc qui colle pas ». De la même manière, j'ai rentré mon Zero Fuel Weight CG, le système de carburant a calculé la valeur totale qui me sera affichée ici. Mais à cette position de centrage, correspond un réglage qu'on appelle le Trim, c'est-à-dire à l'arrière de l'avion, l'empennage qui est derrière, tout ça, ça bouge. Et suivant le centrage de l'avion, je vais le mettre plutôt à cabrer ou plutôt à piquer. Donc en fonction de ce centrage-là, qui est donc calculé à partir d'une donnée FMS, je vais devoir... alors, sur des avions comme le 380 ça se fait tout seul, sur les avions d'avant je devais le faire à la main, les commandes de vol vont me mettre la position de

pitch trim correspondant au centrage de l'avion, donc si je suis centré avant, on va le mettre plutôt à cabrer, si je suis centré arrière on va plutôt vers le nez. Mais je peux aussi l'afficher manuellement en utilisant ça, ou alors l'automatisme a pu ne pas fonctionner. Et donc si ce que j'ai rentré dans le FMS, ce qui est calculé par l'avion, la position de mon trim, tout ça c'est pas d'accord, j'ai une alarme qui va me dire « t'as trois infos et elles couchent pas toutes les trois ensembles, donc y a un problème quelque part, essaie de trouver ». Voilà. Tout ça pour dire que le FMS interface avec tout l'avion et sert à plein de chose, alors j'en oublie. Y en a qui ont dit, maintenant un avion c'est un FMS avec un peu d'avion autour, pour donner l'importance de ce truc-là. Enfin y a pas que ça, y a les commandes de vol aussi quand même.

Je voulais vous demander justement, par rapport à l'évolution de cette automatisation, j'ai pu lire l'ouvrage de Charles Billings...

Ça me dit quelque chose oui. D'accord, mais enfin, il oublie quand même les fonctions ... parce que même en 1920 il fallait savoir où on allait. Je suis pas trop d'accord avec ça, parce que ... ça c'est faux parce qu'en 1920 y avait effectivement le pilote, il agissait sur les commandes de vol qui pilotaient l'avion, mais pour agir sur les commandes de vol, il avait dans sa tête sur une carte ses yeux, il savait où il allait. Donc y avait une fonction de navigation qui intervenait au milieu. Et aussi, il fallait qu'il surveille la pression d'huile de son moteur, le régime de rotation de son moteur, la température des culasses, et puis si ça tombait en panne il fallait ... Donc dès 1920, y avait quand même la fonction FLY, mais y avait aussi la fonction NAVIGATE, y avait la fonction COMMUNICATE et la fonction MONITOR SYSTEM. Donc ça c'est faux. Ce qui a changé c'est l'automation. Alors ça c'est vrai. Mais alors, on assure toujours les mêmes fonctions mais avec des outils qui automatisent les fonctions plus ou moins. Ça c'est vrai. Donc si on prend en 1980, le pilote il agit ... ça c'est vrai pour la fonction navigation, c'est-à-dire que j'agis sur le ... en l'occurrence CDU c'est MCDU qui agit que le FMS. Contrôler, je sais pas ce qu'il veut dire par contrôler.

Alors, je me demande si c'est pas les aides à la navigation justement qu'on retrouve en 1960.

Ah d'accord, en fait, ça peut être la position de l'avion. C'est-à-dire comment l'avion connaît sa position. Ça, ça évolue au cours du temps. Alors, c'est annexe mais comment le FMS connaît sa position. Parce que le FMS lui, il fait des calculs, il détermine la position de l'avion mais à partir de sources. Dans le temps, il faisait ça à partir de source radioélectrique, c'est-à-dire qu'il faisait du DME-DME en particulier. C'est-à-dire qu'en faisant de la triangulation de distance sur plusieurs... DME c'est Distance Measurement Equipment. Donc en faisant de la triangulation à partir de plusieurs distances, j'arrive à trouver ma position. Il utilisait aussi les centrales à inertie. Les centrales à inertie, elles connaissent la position de l'avion. Donc en faisant un mixe du DME-DME et des centrales à inertie, puis on avait d'autres fonctions qui étaient le LOC DME qui étaient plus ou moins précises, on arrivait à connaître la position de l'avion. Maintenant tout ça

existe toujours mais surtout la position de l'avion elle est recalée par le GPS qui lui donne des positions beaucoup plus fines. Mais ça a rien changé sur le principe. On est plus précis mais on a toujours le FMS qui détermine la position de l'avion en allant chercher des informations sur le GPS qui est pas chez lui, c'est hybridé sur les centrales à inertie. Il va toujours d'ailleurs rechercher des informations radioélectriques parce que si le GPS tombe en panne il continue à faire comme avant. Donc là on peut dire que ça a pas changé. Non mais c'est pas ça puisque là il dit contrôler, alors je sais pas ce qu'il veut dire par contrôler. Bon mais peu importe. Et effectivement mon FMS à travers le pilote automatique, il agit sur les commandes de vol et il agit sur l'avion, mais aussi aujourd'hui, mon FMS connaît la position de l'avion et le pilote peut très bien suivre le trait vert qui est sur la carte tout à fait manuellement. On peut passer par l'autopilote mais on est pas obligé. Bon alors c'est vrai que la plupart du temps on le fait. D'ailleurs faudrait marquer Autopilot Flight Director. Parce que le Flight Director comme je l'ai expliqué tout à l'heure, on demande au pilote de faire à la main ce que fait l'autopilote, mais de suivre des ordres élaborés par la machine. Mais bon, non ça me plait pas ça, parce qu'on a l'impression qu'il y a ... si c'est vrai que l'automatisation a changé mais ce que je crois qu'il faudrait développer c'est plutôt les quatre grandes fonctions et regarder comment au fil des âges c'est grandes fonctions ont été automatisées. Et là, effectivement, y a des choses à dire. Et on peut le résumer très facilement. On les reprend. FLY : dans le temps j'avais que mon manche et des câbles et un jour on s'est dit quand même pour voler pendant des heures et des heures, on peut très bien assurer l'altitude de l'avion, donc on a inventé le pilote automatique qui consiste à stabiliser la trajectoire de l'avion. Alors, ce pilote automatique il était rudimentaire. C'est que lui, il faisait que stabiliser l'avion. Et très vite, on s'est dit que ce serait quand même pas con qu'il puisse tenir l'altitude puisqu'on a une information barométrique. Donc je vais mettre en mode de tenue d'altitude, c'est-à-dire que maintenant il se stabilise à une altitude qui reste constante. Après on va dire j'aimerais aussi qu'il garde mon cap, parce que c'est bien de garder l'avion comme ça mais enfin si je prends une rafale, etc., mon cap va changer. Donc je mets une fonction tenue de cap. Après, je vais dire ce serait pas mal qu'il soit capable de monter ou de descendre donc je vais mettre des fonctions vertical speed vers le haut et vers le bas. Et puis je peux imaginer des fonctions de montée dans lesquelles le système, comme le fait le pilote, garde une vitesse constante en montée. Ça c'est un mode dit OPEN, Open Climb, Open Descent. Donc voilà ma fonction FLY, j'ai inventé le pilote automatique. Donc là, dans la fonction FLY 1940, le pilote automatique est arrivé.

(Fait schéma sur papier) Donc là on a la fonction FLY 1920 c'était manche, manette. 1940 on va avoir le premier pilote automatique de base. Puis après qu'est-ce qu'il a mis lui. Il a mis 1960. En 1960 on avait le PA mode élaboré, mode avancé. Puis après 1980, ben c'est pareil, idem.

Alors NAVIGATE, ça c'était carte + les yeux (1920), ça c'était carte + les yeux + RadNav (1940), après c'était idem + couplage PA (1960), c'est-à-dire que dès 60 j'avais pas de FMS mais j'étais

capable de coupler mon pilote automatique sur un VOR par exemple, et ça c'est idem + couplage FMS (1980).

COMMUNICATE. Alors là en 1920 c'était HF + graphie, ici (1940) c'était HF, même il devait y avoir de la VHF en 40, (1960) VHF + HF phonie, et quand j'ai eu la phonie j'ai viré mon radio, parce que j'avais plus besoin d'un type qui détectait le morse. Et ici (1980), j'ai VHF + HF. Et ici, 2000 mettons, j'ai VHF + HF + CPDLC. Ça, ça existait pas en 80, c'est ce qu'on a dit tout à l'heure, c'est le datalink.

MONITOR SYSTEM. En 1920 c'était cadran. (1940) idem, (1960) idem. Mais alors suivant... il fallait le mécano nav, donc cadran + mec nav. Pardon là (NAVIGATE) j'ai oublié carte + yeux, ça dépendait du type d'avion. Là (1980) y a plus de nav. Et donc là je mets ECAM. J'ai Boeing c'est l'EICAS, mais c'est pareil. Et le mec nav n'est plus là et ECAM ici toujours (2000).

Voilà en gros comment ça évolue. Je pense que c'est mieux parce que toutes ces fonctions elles existaient dès l'origine de l'aviation. Faut savoir où on va.

En fait, les tâches sont restées les mêmes mais c'est la façon de les réaliser qui a évolué ?

Voilà, on a apporté des outils qui les ont rendus de plus en plus faciles et qui ont permis de passer de... Ici je mets, on avait 5 PMT, y en avait toujours 5 en 40, y en avait plus que 4 en 60, y en a plus que 2 ici. Enfin, y a une étape intermédiaire, ici en 1970 qui est ici c'est idem mais + IRS. C'est-à-dire que quand on a introduit les centrales à inertie, on a supprimé le Nav, ce qui fait qu'ici on est passé à 3. Voilà, je préfère présenter les choses comme ça.

Et est-ce que pour vous, l'évolution de l'automatisation a introduit une plus grande complexité dans la réalisation des tâches ou au contraire, ça a diminué la complexité ?

Donc on se recentre un peu sur la navigation et le FMS. Ce qu'a apporté le FMS d'absolument magique, c'est la carte. C'est-à-dire positionner mon avion sur une carte et mettre le trait de mon plan de vol avec les balises, les waypoints, les terrains, etc., ça c'est une révolution. Parce que dans le temps j'avais des aiguilles et je devais à partir d'angles de relèvement d'aiguilles recréer dans ma tête la position de l'avion et savoir quelle route je suivais. Je devais mettre une aiguille toujours à midi pour suivre ma route. Mais en fait, il fallait pas qu'elle soit à midi parce qu'avec la dérive du vent il fallait qu'elle soit corriger de la dérive, et ça c'était du calcul parce que je savais pas de combien ... le vent je le connaissais pas, alors que maintenant le FMS il me dit quel est le vent. Ça je le connaissais pas donc il fallait que je fasse des calculs savants pour arriver à estimer quel était le vent pour arriver à corriger ma dérive. Donc, l'introduction du FMS a été une révolution en termes de navigation, simplifier la tâche, et surtout améliorer considérablement la sécurité parce que quand on me montre sur une carte où je suis, y a des erreurs que je commets plus. Si on me dit « là, y a la montagne », j'ai beaucoup moins de chance

d'aller dans la montagne que lorsqu'à l'époque j'avais que des aiguilles qui indiquaient des choses qui étaient parfois fausses. Pourquoi fausses, parce que c'est moi qui m'étais gouré dans le réglage de la fréquence, je m'étais gouré de balise. Et un exemple célèbre à Valence d'un avion qui est allé dans le Vercors parce qu'il s'était trompé de balise. Il était sur le bon radial mais sur la mauvaise balise, donc il allait dans la montagne. Ça, ça n'existe plus bien qu'il y ait toujours des avions qui vont dans la montagne mais beaucoup moins. Donc pour répondre à la question, oui **il y a eu un énorme progrès en termes de sécurité par l'introduction du FMS**. Alors après les automatismes, ils se sont quand même accompagnés d'une diminution des membres de l'équipage donc sur un avion A5, le pilote lui il avait juste à s'occuper de piloter son avion, j'allais dire un peu bêtement quoi, lui il se battait avec un truc qui était pas forcément facile. A l'époque les commandes de vol s'étaient pas ce qu'elles sont aujourd'hui, et il avait que ça à faire. Maintenant, on lui a simplifié la tâche mais en même temps on lui demande aussi de naviguer et de s'occuper des systèmes. Donc y a eu l'automatisation qui a permis de réduire le nombre de pilote mais on lui demande quand même plus de choses que par le passé. Donc au total, sa charge de travail elle est à peu près équivalente. Sauf que quand on regarde le taux, y a quand même un bénéfice absolument énorme en termes de taux d'accident. Quand on regarde le taux d'accident des avions des années 50 et celui des avions d'aujourd'hui, comme ça de mémoire, y a un rapport 100 dans le taux de risque qu'on prend. C'est extraordinaire. Donc y a eu quand même en même temps une énorme progression en termes de sécurité.

Alors la question c'est quel est l'inconvénient de l'automatisme ? **A partir du moment où on fait pour vous des tâches que dans le passé vous aviez à faire vous, ben vous désapprenez un peu à faire ces tâches. Forcément, vous les faites plus, plus jamais. Vous avez peut-être su les faire à une époque, mais vous les faites de moins en moins souvent et puis in fine plus jamais. Donc la tendance qu'on observe c'est que comme y a des tâches que les pilotes ne font plus jamais, leur aptitude à les effectuer lorsqu'ils ont à nouveau besoin de les faire, c'est-à-dire lorsqu'il y a des pannes qui conduisent l'avion à être dégradé d'une manière où finalement tous ces automatismes, ben y en a une partie ou la totalité qui ont disparu, c'est au pilote de retrouver des réflexes qu'il avait à ce stade-là par exemple en 1960-70. Et ce qu'on observe aujourd'hui c'est que certaines de ces habiletés ont plutôt tendance à s'émousser.** Alors ce qu'on fait pour pallier ça sur les avions à mesure qu'on évolue, c'est que les automatismes deviennent de plus en plus robustes, c'est-à-dire qu'ils tombent de moins en moins en panne. De sorte que finalement, on a très peu souvent, même plus jamais à faire appel à certaines habiletés dont on observe quelles sont en train de disparaître. Mais au bilan, on progresse quand même, parce que... Pourquoi un automatisme ? Un automatisme, on dit que ça avait servi à réduire le nombre de membre d'équipage. Mais en même temps, lorsque c'est le pilote automatique qui fait le boulot pour suivre l'avion sur sa trajectoire calculée par le FMS, moi pilote, je suis déchargé de cette tâche un peu stupide qui consiste à suivre un trait. La valeur ajoutée du pilote elle est quasiment nulle, dans ce cas-là, elle est même nulle. Elle est même négative, je vais dire

pourquoi, c'est parce que quand je pilote l'avion avec le manche en suivant un trait, mon esprit il est pas mal occupé par ça, et il est pas disponible pour avoir une vue globale de la situation, savoir où je suis, savoir si j'ai un problème quelle est la meilleure décision à prendre pour une diversion ou pas. Donc l'automatisme en cela il apporte de la sécurité à l'avion parce qu'il décharge les équipages des tâches qui sont sans valeurs ajoutées et il lui permette de remplir son rôle, qui est finalement le seul rôle qu'on peut pas automatiser, c'est-à-dire la politique au sens large. C'est-à-dire quelle est la meilleure conduite à tenir dans des cas qui sont pas prévus par la machine, parce que les possibilités qui peuvent arriver, dans les événements qui peuvent possiblement arrivés au cours d'un vol sont tellement infinis. Il peut y avoir des combinaisons de tout un tas de trucs : des combinaisons de météos avec des pannes de systèmes, mais avec des passagers qui sont malades ou des passagers qui créent des désordres, et l'équipage pourquoi on a besoin de lui finalement, c'est pour ça, c'est pour gérer des situations. Et c'est pas pour tenir le manche, ça on s'en fout. Et la tendance toujours de l'aviation, à mon avis c'est ça. C'est-à-dire qu'on va avoir de moins en moins besoin des habiletés manoeuvrières en terme de FLY, mais on va toujours avoir besoin d'une volonté humaine pour décider de la gestion du vol. Alors à ce stade-là, on peut se poser la question, cette volonté humaine personne ne la conteste, mais faut bien savoir où on va, décider de partir ou de ne pas partir, d'aller à tel endroit ou à tel autre endroit, ça c'est un choix humain, c'est pas la machine, elle s'en fout elle. Mais à partir du moment où on en est à ce stade-là, on peut se dire ben finalement, cette volonté humaine elle peut très bien s'exercer depuis le sol. Moi, j'accepte volontiers de discuter de ça, mais à ce moment-là, il faut que le lien qui va lier le sol, le centre de contrôle des opérations des avions aux avions eux-mêmes, faut que ce lien soit d'une extrême robustesse parce qu'évidemment si je perds le lien, mon avion il est un peu livré à lui-même, il sait plus... Bon après y a ça, et après, y a le fait que lorsqu'on est dans un avion, y a des choses qu'on voit avec ses yeux et que l'avion ne voit pas, du genre pendant la course au décollage où un vol d'oiseau qui décolle de la piste, ben je sais que si j'ai un peu de piste devant moi, je vais peut-être retarder un peu ma rotation pour éviter d'aller bêtement mettre les oiseaux dans les moteurs. Je peux voir en vol un avion qui est sans plan de vol qui s'est perdu, un petit avion, ce qui arrive quelque fois, et qui est conflictuel avec moi. Je vois avec mes yeux, mais y a pas de transpondeur, le TCAS ne marche pas. Ça, si le type est par terre, il risque pas de le voir. Voilà, je peux aussi apprécier, à la couleur d'un nuage qu'il faut vraiment pas y mettre le nez dedans, alors que le radar lui, selon la nature des gouttelettes, il aura peut-être pas mis l'image qui correspond avec ce que je vois avec mes yeux, ce qui fait qu'on est très loin de débarquer le pilote des avions. Mais ce dont je suis sûr, c'est que leur rôle va tendre de plus en plus à de la gestion du vol, à de la prise de décision, ce qu'ils font déjà, mais si on les aide encore plus à faire face au pilotage, même dans les cas dégradés, parce qu'il faut, quand on en est là, on dit même quand j'ai des pannes, il faut que mes combinaisons de pannes ne me conduisent plus jamais à des situations où j'ai besoin de

faire appel à mes habiletés que les pilotes, pas parce qu'ils sont plus mauvais qu'avant, mais parce que l'histoire est comme ça, des habiletés qu'ils ont perdu.

Au final, ça devient plus une activité de surveillance finalement que de ...

Pas seulement de surveillance, de gestion. Quand je gère, je ne fais pas que surveiller, j'agis, je décide, je vais à droite, je vais à gauche, je vais à tel endroit. Donc c'est pas que de la surveillance, c'est du management, de la gestion de vol, mais un gestionnaire d'une entreprise, il regarde pas son entreprise marcher toute seule. Il prend des décisions d'acheter à tel endroit, de vendre à tel endroit, etc.

C'est plus des actions directes...

C'est plus du pilotage au sens manœuvrier du terme. Et ça, faut bien noter que c'est vrai, en situations... alors, aujourd'hui, c'est déjà vrai en situations normales, c'est-à-dire quand je prends un 320 sans panne, ou n'importe quel avion, et que je vais à Paris et qu'il y a pas de panne, en fait, j'ai besoin de piloter, mes capacités de pilote elles sont pas utilisées. En revanche, aujourd'hui, quand je dégrade mon avion, j'ai toujours besoin de ces capacités. Et l'évolution futures, c'est que ces capacités, on en aura de moins en moins besoin, pour plus en avoir besoin du tout. Voilà en gros la vision de l'avenir.

Je voulais juste vous demander quels types d'avion vous avez été amené à piloter et quelle est votre expérience en tant que pilote ?

Si je compte les avions, c'est très large parce que je commence à avoir une longue carrière derrière moi. Mais j'ai à peu près tout piloté. J'ai piloté à peu près tout, du planeur, de l'ULM, l'avion léger jusqu'au chasseur super sonique. J'ai volé à peu près sur 160, ça dépend comment on compte, mais pas loin de 200 types d'avion, et j'ai à peu près piloté tous les types d'avion. De l'ULM au chasseur supersonique et à tous les avions de transport.

Et votre expérience en tant que pilote ?

Alors, moi j'ai été pilote, j'ai été formé comme pilote de chasse au début. Donc c'était mirage 3, la chasse, une dizaine d'années. Au bout d'une dizaine d'année, j'ai suivi les cours de pilote d'essai. Ayant été breveté pilote d'essai, j'ai pendant 5/6 ans des essais essentiellement d'avion de chasse. Et après ça, je me suis plus orienté sur les essais d'avion de transport civil. En même temps, je suis devenu pilote de ligne. J'ai piloté comme pilote de ligne pendant quelques années chez Air France en temps partiel et le reste de ma carrière s'est plus orientée vers les avions de transport civil. Au début de ma carrière, j'étais plus du côté des autorités de certifications, parce que pour certifier un avion, y a des pilotes de l'état, de la communauté européenne qui jouent le rôle des experts, c'est ce que je faisais au début de ma carrière après la phase d'avion militaire, et puis pour terminer chez Airbus depuis maintenant 15/16 ans.

Alors, votre sujet de thèse, c'est un sujet qui m'a toujours intéressé. Alors, faut voir qu'ici à airbus, on fait des essais en vol, mais surtout ce cockpit, c'est nous qui l'avons fait en relation avec le bureau d'étude, mais enfin, les inputs ... par exemple, votre sujet de thèse, l'interface du FMS, savoir si on écrit telle ligne à telle endroit de telle couleur, si telle information on la met dans telle page ou dans telle autre page, là c'est nous. Donc c'est exactement au cœur de ce que vous faites. Ça c'est nous, ça a été fait, l'avion a volé en 2005, ça a été fait entre 2000 et 2005. Et là, sur ce sujet-là, moi pendant cette période, j'avais plusieurs fois par semaine une réunion avec les gens du bureau d'étude où on regardait les fonctions du FMS et où on disait voilà comment on présentait l'information aux pilotes, dans quel champ il va avoir à agir pour entrer telles informations. Et ça c'est basé sur l'expérience qu'on a déjà et aussi en se projetant dans l'avenir et en se disant ... d'ailleurs, le jour où on a mis le curseur là, on s'est dit mais ces avions, la plupart des pilotes qui vont le piloter sont pas encore nés. On est en 2000, l'avion il va voler jusqu'à la fin du siècle donc y en a beaucoup qui sont pas encore nés. Donc on s'est dit, cet avion faut le faire pour des gens qui vont avoir grandi baigné dans l'informatique.

Annexe 5 : Analyse de la tâche selon la méthode de description des tâches de Sebillotte (1991)

T1 : Voler

Définition : « stabiliser l'avion pour suivre une trajectoire donnée »

Pré-condition : Objectif de navigation

Conditions déclenchantes : Allumage des moteurs

Procédure : 3 sous-tâches (parallèle)

st1.1 Voler automatiquement

Définition : pilotage automatique

Condition déclenchante :

sst1.1.1 engager le pilote automatique

ssst1.1.1.1 Appuyer sur le bouton PA sur le FCU

ssst1.1.1.2 Surveillance des paramètres de vol

sst1.1.2 modification de données de vol

ssst1.1.2.1 Agir sur le FCU

st1.2 Voler manuellement

Définition : réaliser des actions manuelles sur les manettes

sst1.2.1 Accélérer

ssst 1.2.1.1 agir sur les manettes de gaz (Palonnier ???)

sst1.2.2 Configurer les volets

ssst 1.2.1.2 agir sur

sst1.2.3 Prendre un angle d'inclinaison

ssst 1.2.1.3 agir sur le manche

T2 : Naviguer

Définition : « connaître la route et niveau de vol »

Prérequis : connaître le reste de la circulation aérienne, les vents et la météo

St2.1 : aller chercher le dossier dans la salle des opérations

St2.1.1 : prendre connaissance de la météo

Sst2.1.2 : prendre connaissance des NOTAM (NOTice To Air MEN)

Sst2.1.3 : prendre connaissance de l'état technique de l'avion

Sst2.1.4 : prendre connaissance des consignes commerciales

Sst2.1.5 : prendre connaissance de la charge

Ssst2.1.5.1 : nombre de passager

Ssst2.1.5.2 : la masse de l'avion

Ssst2.1.5.3 : le centrage de l'avion

Ssst2.1.5.4 : quantité de carburant

st2.1 : entrer les données de vol

Sst2.1.1 : entrer du plan de vol

st2.1.2 : entrer des données lu dans le dossier donné par le centre des opérations

st2.1 : établir ma stratégie de consommation de carburant

sst2.1.1 Adapter la vitesse

st2.2 : calculer mon profil de descente

st2.3 : choisir type d'arrivée

st2.4 : choisir type d'approche

sst2.4.1 : savoir quelle piste est libre

sst2.4.2 : connaitre la météo

sst2.4.3 : prise en compte des instructions du contrôle aérien

è Avant FMS : calcul fait mentalement

T3 : Communiquer

Définition : échanger des informations avec l'extérieur

Prérequis : avoir les fréquences radio

st3.1 : échanger avec l'extérieur par radio (voix)

sst3.1.1 : affichage des fréquences radio dans la boîte radio

sst3.1.2 : parler en langage aéronautique

st3.2 : échanger avec l'extérieur par data link

sst3.2.1 : rédiger des messages à partir du CPDLC (Controler Pilot DataLink Communication)

sst3.2.2 : envoyer des messages à partir du CPDLC

sst3.2.3 : recevoir des instructions de navigation (ex : morceaux de plan de vol)

T4 : Monitor système

Définition : Savoir comment fonctionnent les moteurs.

st4.1 : Surveillance des paramètres moteurs

Prérequis : agir sur l'ECAM en affichant la page adéquate

sst4.1.1 : surveillance du circuit hydraulique

sst4.1.2 : surveillance du circuit électrique

sst4.1.3 : surveillance des circuits d'air

sst4.1.4 : surveillance de la pressurisation

sst4.1.5 : etc.

st4.2 : Action sur les commandes de fonctionnement des systèmes

Prérequis : agir le panneau de commande au plafond

sst4.2.1 couper une pompe

sst4.2.2 : ouvrir une vanne

sst4.2.3 : etc.

Phase de vol :

- Préparation de vol
- Au sol avant mise en route
- Phase de course au décollage (au sol entre la mise en route et le début du décollage)
- Le décollage
 - o A basse vitesse
 - o Avion accélérant
 - o A haute vitesse
- Phase initiale après décollage
- Fin de décollage (environ 1500ft)
- Phase de montée
- Phase de croisière
- Phase de descente
- Phase d'approche
- Phase d'atterrissage

Phase les plus critiques :

- Phase de course au décollage car décision importante à prendre en cas de problème
- L'atterrissage car décision importante à prendre en cas de problème

Annexe 6 : Grille des seconds entretiens semi-directifs pour l'étude 2

Contexte :

Je réalise une thèse sur les modalités d'interaction entre les pilotes et le FMS. L'objectif de cette rencontre est de recueillir des éléments d'information concernant la tâche de navigation. C'est-à-dire par exemple comment vous réalisez cette tâche, avec quelles informations, etc.

Pour commencer, je souhaitais vous demander :

- Quelle est votre expérience en tant que pilote ? (heures, compagnies, fonction)
- Quels types d'avion avez-vous été amené à piloter ? (fréquence et diversité)

Et comment définiriez-vous la tâche de navigation ?

Pour la poursuite de cet entretien, je souhaiterais que vous vous mettiez en situation de vol « normal ».

1. Objectif : vérifier l'exactitude de l'analyse hiérarchique de la tâche concernant la navigation et la compléter

Présentation d'un schéma présentant toutes les phases de vol.

- 1.1. Dans un premier temps, pourriez-vous me dire si vous êtes d'accord avec chacune des phases de vol présentées sur ce schéma ?

Nous allons reprendre chacune des phases de vol une par une. La suite de l'entretien sera construite de la même manière en procédant phase par phase selon celles dont le pilote estime que la tâche de navigation est présente.

- 1.2. Pourriez-vous me dire si vous réalisez la tâche de navigation durant cette phase de vol ?
- 1.3. En quoi consiste ici la tâche de navigation ? (pourquoi et comment)

2. Objectif : comprendre les exigences de chaque sous-tâche

- 2.1. Y a-t-il des conditions qui doivent être remplies pour pouvoir commencer la réalisation de cette tâche ?
- 2.2. Quels types de décisions devez-vous prendre lors de la réalisation de cette tâche ?
- 2.3. Quels traitements mettez-vous en jeu lors de la réalisation de cette tâche ? (c'est-à-dire à quoi pensez-vous, à quoi réfléchissez-vous, qu'est-ce que vous calculez ou encore qu'est-ce que vous évaluez ?)
- 2.4. Quels traitements sont réalisés par l'automate ?

3. Objectif : recueillir les besoins informationnels

- 3.1. Quelles informations recherchez-vous pour réaliser cette tâche ?
- 3.2. Sur quels éléments du cockpit recherchez-vous cette information ?
- 3.3. Quelles informations devez-vous renseigner ?
- 3.4. Où les renseignez-vous ?

Selon le temps qu'il reste à la fin de l'entretien :

Quand il y a un changement des données de navigation, est-ce que c'est le pilote qui choisit la nouvelle trajectoire (avec accord du contrôleur) ou bien est-ce le contrôleur qui impose une nouvelle trajectoire ?

- *Si c'est le pilote : y a-t-il des éléments à anticiper lors d'un changement de trajectoire ?*
- *Quand vous prenez l'avion manuellement, est-ce que les données concernant la navigation sont déjà préparées ?*

Annexe 7 : Fiche de consentement pour la participation à l'étude 2



| | | |
|--|--|---|
| Octogone, Université Toulouse – Le Mirail Pavillon de la recherche 5 allées Antonio Macahdo F-31058 Toulouse, Cedex 9 | CLLE-LTC, Université Toulouse – Le Mirail Maison de la recherche 5 allées Antonio Macahdo F-31058 Toulouse, Cedex 9 | Thales Avionics 105 Avenue du Général Eisenhower 31100 Toulouse |
|--|--|---|

Recherche sur les modalités d'interaction entre les pilotes de ligne et le Flight Management System (FMS), **Marie Lacabanne**

Dans le cadre de ma thèse, je réalise une recherche sur les tâches de pilotage, et notamment sur la tâche de navigation, afin de mettre en évidence les fonctionnalités attendues du FMS. La finalité de ce travail est de proposer des recommandations de conception d'un FMS répondant aux besoins majeurs d'une tâche de navigation.

Cette étude respecte les conditions ci-dessous.

Engagement du participant

L'étude consiste à participer librement et de façon éclairée à une recherche, à l'aide d'entretien.

Liberté du participant

Les réponses aux questions posées durant l'entretien ont un caractère facultatif et le défaut de réponse n'aura aucune conséquence pour le participant.

Information du participant

Le participant a la possibilité d'obtenir des informations supplémentaires concernant cette étude auprès de l'investigateur principal, et ce dans la limite des contraintes du plan de recherche. Un résumé de l'état d'avancement de l'étude pourra être communiqué au participant sous simple demande.

Bénéfice de l'étude pour le participant

Cette étude est faite sans aucun bénéfice direct pour le participant.

Garantie de confidentialité des informations

Toutes les informations concernant le participant seront conservées de façon **anonyme et confidentielle**. Le nom de la personne participant aux entretiens n'apparaîtra ni dans la thèse, ni dans des documents de diffusion.

Déontologie et éthique

Le promoteur et l'investigateur principal s'engagent à préserver absolument la confidentialité et le secret professionnel pour toutes les informations concernant le participant (Titre I, articles 1, 3, 5, et 6 et titre II, articles 3, 9, et 20 du *Code de déontologie des Psychologues - France*).

Consentement :

Merci de signer pour signifier
votre accord à cette étude

Annexe 8 : Retranscription de l'entretien mené auprès du participant 1 lors de l'étude 2

Quelle est votre expérience en tant que pilote ?

.... instructeur simulateur. Donc je ne vole plus en ligne comme d'autres pilotes le font, donc on ne s'occupe que de la partie simulateur et mes origines c'est le militaire. J'ai passé 18 ans dans l'aéronaval sur les multi moteurs, donc sur la patrouille maritime, les avions. Donc mon expérience pilote de ligne est inexistante. Donc c'est un peu par rapport au civile, et puis par rapport à ce que je vois du monde civile au travers du simulateur ou des vols d'observations que j'ai pu faire. Donc des fois on a un autre point de vue qui est plus...

Au niveau militaire, c'était des avions de chasse ?

Non, c'est pas des avions de chasse. Moi c'était la patrouille maritime donc c' »était des avions qui étaient assez gros, 40 tonnes en équipage 15 personnes à bord.

C'est des avions où il y a de l'automatisation à l'intérieur ou ça reste...

Y en a, mais j'ai fait aussi du Falcon 50 donc qui était glass cockpit, donc y avait quand même des automatismes.

Est-ce que vous êtes d'accord avec toutes ces phases ?

Là, j'aurais plutôt mis aircraft preparation qui est un peu plus générique parce que dedans y a quand même le tour de l'avion aussi, le work around, toute la préparation du cockpit. Mais y a aussi toute la préparation du chargement, les problèmes qui peut y avoir sur toutes les phases d'embarquement, des passagers qui sont handicapés... Et donc c'est pas que le cockpit. Le commandant de bord va être souvent interrompu par bon voilà, la loadfeet arrive, y a un changement ici, on doit embarquer 5 personnes avec des sièges handicapés donc est-ce qu'on a les issus de secours, est-ce qu'on a ci, est-ce qu'on a le personnel, où est-ce qu'on les met. Y a des enfants qui sont en bas âge, donc faudra avoir les ceintures. Y a tout un environnement qui en dehors de la cockpit preparation est que le monde serait plus simple qi y avait que ça. Y en a un petit peu plus. Donc je mettrais plus aircraft preparation. Puis y a le tour de l'avion aussi qui doit se faire où y a des vérifications.

En fait, c'est une tâche parmi une phase...

Voilà. Donc le taxi...check climb preparation.... Qu'est-ce que vous entendez par là ?

Est-ce que vous faites une préparation de la montée, soit une vérification de données, soit un briefing ou autre ?

En fait, cette partie-là, elle a été briefée ici pendant le ... juste avant le roulage en fonction de la clairance qui a été donnée, et en fait ce check sera plus si y a une modification pendant le roulage qui intervient où effectivement là on va devoir rappeler ... vérifier... enfin introduire dans le FMS les nouveautés. Forcément faut que ce soit cross-checké par l'autre pilote, et à ce moment-là va falloir updaté le briefing aux nouveaux items en refaisant un mais qui ne va reprendre que les items principaux de modification. Si y a pas de changement, bon ben c'est comme ... Donc la phase peut très bien être inexistante si tout va bien et que tout est conforme.

Donc le décollage. Là, takeoff préparation, c'est ... plus dans le sens takeoff qu'on va le faire. La montée y a pas vraiment de ... c'est une montée quoi. C'est un ensemble en fait. C'est le décollage plus la montée initiale. Donc après le décollage. Y a toute la phase de montée oui. La check croisière préparation elle est quasiment inexistante. Ça fait partie après du vol. Donc on passe en croisière et juste vérifier qu'on est bien ALT CRZ au niveau de notre FM et puis c'est tout. Y a rien de plus simple. Après la phase de croisière oui. Alors préparation descente et préparation approche c'est une phase ensemble. On fait une seule. On prépare toute la descente. En fait, avant de commencer la descente, on va tout préparer pour que, au niveau du briefing quand on va le faire, on puisse raconter tout ce qu'on va faire pendant la descente. Y a des choses particulières. Et surtout la phase d'approche, parce qu'en fait l'important, c'est plus on est près du sol, c'est une phase critique en fait. Tant qu'on a de l'eau sous la quille on peut dire, y a de quoi faire. Mais plus on se rapproche du sol et moins y a de marge et plus va falloir être vigilant et plus les choses se précipitent. On passe d'une phase qui est très calme pendant la croisière et à partir du moment où y a le début de descente, le temps s'accélère. Ça se multiplie très rapidement. Et jusqu'arriver au niveau du sol. Une fois qu'on est au sol et que l'avion est contrôlé, on est à vitesse de taxi, c'est un peu plus tranquille à nouveau. Et plus les conditions météo sont mauvaises, et plus cette phase aussi dans la dernière partie devient... peut être intense et où on peut être amené des fois à réagir en fonction de sensation. On va dire pourquoi t'as fait ça ? J'en sais rien. Je l'ai fait parce qu'il fallait le faire.

Des prises de décision très rapide ?

Très rapide. Des contrôles. Ben l'avion est parti et clac, clac je l'ai rattrapé. Je me souviens d'une fois où on est arrivé, il faisait un temps pourri. On avait fait un vol très long tout de nuit. On arrive il fait nuit en plus. Quand on arrive et qu'y fait jour c'est déjà plus facile, on voit mieux, ça nous réveille. Mais là on arrive de nuit avec vent maximum traversier, pluie battante... enfin, tout ce qui s'en suit. Je sais qu'entre le moment où on a commencé l'arrondi jusqu'au contrôle de l'avion, je m'en souviens pas. Voilà, c'est une phase qui s'est passée.. j'ai réagi en réflexe. Je sais pas ce que j'ai fait mais j'ai contrôlé l'avion et puis on était posé. Derrière ça c'est bien fini

mais c'est une phase de contrôle voilà, tout est bon, on peut se poser, on a les paramètres, la distance, donc on est pas trop long. On se pose. Et là, c'est on se bat avec l'avion. Contre les éléments plutôt, parce que l'avion il réagit... Donc on se bat contre les éléments pour que l'avion fasse ce qu'on veut et pas que ce soit les éléments qui décident de ce qu'on fait. Jusqu'au moment où on est posé et puis voilà. Et puis on s'arrête. Et là, c'est bon y a plus qu'à rouler. Donc tranquillement. Puis l'équipage qui est derrière recommence à redevenir... alors qu'y a un grand silence qui se crée à un moment. Voilà.

Est-ce que vous pourriez me dire comment vous définiriez la tâche de navigation en général ?

La tâche de navigation, c'est suivre une trajectoire sol alors qu'on est soumis à une atmosphère qui bouge, donc une trajectoire aire. Donc c'est bien suivre qu'on est bien sur le trait qu'on ait prévu de suivre et puis de respecter les obstacles. Bon avec les avions modernes, les histoires de pannes moteurs où il faut avoir les plafonds de rétablissement c'est plus aussi problématique qu'avant. Avant il fallait penser bon on survole les alpes donc si on a une panne, il va falloir aller de tel côté, de tel côté. Maintenant, surtout avec le 380, même des fois on perd un moteur, on peut encore monter. Bon on monte. Des fois on peut être à 35 000 pieds, quand on perd un moteur, on peut monter encore à 39 000 pieds. Donc on est plus gêné. Faut en perdre 2. Et encore, perdre deux, y a que l'Himalaya qui commence à nous gêner mais sinon c'est tout. Donc on est tranquille en fait maintenant. Ce qui était pas le cas avant.

Est-ce que je peux juste rajouter une chose ? C'est qu'avec la navigation moderne, GPS, FMS et tout ça, on suit le trait vert. Alors c'est très beau, c'est magnifique. L'ennui c'est que, quand ça merde, on a besoin d'un pilote qui réagisse. Donc on ne forme plus vraiment les pilotes à naviguer à l'ancienne, avec les aiguilles et tout ça. Donc la génération qui sait encore le faire, ça ira. Mais plus on va avancer, et plus cette génération disparaîtra et on aura des gens qui ne sauront plus faire. Mais c'est qu'on est pas encore avec des avions, qui même en panne, sont capables de continuer à gérer comme ça. On y arrivera peut-être un jour, mais pour l'instant on y est pas encore. Donc on a tendance des fois à former un pilote à la nouveauté sans vraiment prendre en compte l'ancienne manière. Et ça pose des soucis, parce qu'on demande à un pilote des fois beaucoup de choses sans vraiment l'avoir formé à cette prise de décision. Donc c'est un peu le défaut, le revers des automatismes, de la nouveauté où ben ça fait gagné, c'est beaucoup plus facile mais en contrepartie... Alors, je suis pas du tout à dire qu'il faut revenir à l'ancien temps. Faut aller de l'avant, on est obligé. Maintenant, ne mettons pas des fois la charrue avant les bœufs, parce que ça fait gagner des sous, ça coûte cher, mais en même temps ça coûte cher mais quand y a un accident ça coûte très, très cher. Donc le but, c'est quand même d'arriver à pas avoir d'accident.

Alors par rapport à la phase de préparation de la mission...

C'est un des points les plus importants.

Est-ce que pour vous il y a une tâche de navigation pendant la phase de préparation du vol ?

C'est le point le plus important. C'est là où tout se décide. C'est là où on va décider de la navigation en fonction de la météo. C'est là où on va voir les points particuliers, les problèmes. Donc ça peut être avec les ETOPS, c'est là où on sait que jusqu'à tel endroit on va appliquer ceci. C'est la phase de préparation qui est le moment privilégié pour pouvoir préparer tout ceci, où le pilote et le commandant de bord vont se retrouver, puis vont tracer sur la carte, vont regarder les routes qu'ils vont faire. Parce que dans le militaire, on était tout seul. Donc on préparait tout. On prenait nos cartes, on traçait nos routes, on calculait le pétrole, on faisait tout. Là, dans les avions de lignes, c'est le service opération de la compagnie qui prépare tout et qui donne ça aux pilotes. Donc le pilote, pour se mettre dans l'ambiance et prendre la connaissance, prendre action, enfin se familiariser avec le vol, faire part avec le vol, c'est le moment où il va le faire, en regardant tout ce qui était préparé et en épluchant. Et ça fait partie d'ailleurs de son rôle d'éplucher ces choses importantes.

Et c'est quoi comme données qu'il va vérifier ?

C'est à peu près les mêmes choses sauf que d'un côté, on lui fournit alors que nous, c'est nous qui allons chercher tout. Donc on avait plus de temps à passer dessus parce que toute cette partie était faite manuellement. Tandis que là, ça va être déjà les NOTAMs, savoir ce qui marche, ce qui marche pas, les problèmes de route et tout, ça peut être un secteur où on peut passer à côté d'une zone de conflit, donc ça va être se dérouter par rapport à d'autres choses, donc avoir des contacts particuliers, des choses particulières à faire attention. Y a des endroits pendant la guerre froide fallait faire attention, être sûr de sa navigation parce qu'il y a quelques avions de ligne qui se sont fait shooté avec ça. Donc y a des moments plus particuliers que d'autres. C'est aussi la météo. Parce qu'en fonction de la météo, on va préférer une route plus nord, une route plus sud. On va prendre peut être un petit peu plus de pétrole pour avoir plus de marge, parce qu'on sait qu'on va être amené peut être à faire plus de détour. Et puis après, ça va être les caractéristiques de la route et toutes les choses qui sont demandées. Si on est en espace RVSM, il faudra bien faire attention que l'avion le soit aussi. Généralement, ils le sont maintenant, donc c'est plus trop le cas. Ou alors se réviser certaines phases bien particulières en cas de panne, ou en MNPS, manual procedure, qui sont bien particulières. Voilà. C'est le commandant de bord un peu qui met le rythme. Le copil il va plus être quelqu'un qui va guider, qui va peut-être, si y a un oubli, ou si lui-même veut insister sur un point, le dire au commandant de bord et lui dire voilà. Sinon, c'est le commandant de bord qui fait.

Par rapport au fuel, est-ce qu'il y a une proposition qui est faite au pilote ?

La proposition, c'est la proposition standard compagnie, donc avec le minimum requis réglementaire, plus peut être les minimums rajoutés par la compagnie. Après, le commandant de bord peut demander plus. C'est lui qui décide de cette marge d'ajustement. Alors y a des compagnies vont recommander de prendre le minimum. La plupart des grandes compagnies elles ... le pilote est libre de son choix. Donc faut pas en prendre trop... c'est toujours ça le problème. Ben faut pas en prendre trop parce que une tonne de carburant transporté, ben pour transporter cette tonne, il faut consommer plus de carburant. Donc au bout du compte, on se retrouve avec de la dépense superflue. Il faut pas en prendre pas assez parce que ça peut manquer. Donc c'est toujours un juste équilibre. C'est là où y a le rôle du commandant de bord, c'est la pression un peu entre j'en prendrais bien plus mais en même temps, bon, faut rester raisonnable, je vais pas en prendre trop.

Et ce choix, il doit le faire en préparation de mission ou il le fait plus au niveau de la phase préparation du cockpit ?

Non, il le fait pendant la préparation de mission. Après, quand il arrive dans la cockpit preparation, il informe le refueleur de ce qu'il veut.

Et ce choix de la quantité de fuel pris, ça va être par rapport à quoi ?

Par rapport à la météo, par rapport aux problèmes de la route, par rapport à toute... quand y a un problème qui va forcer... que l'avion finalement va consommer plus que prévu parce qu'il a quelque chose qui ne marche pas tout à fait correctement. Donc en fonction de tous ces points, c'est lui qui va peut-être en prendre un petit peu plus, un peu moins. Principalement, c'est la météo qui ... si à destination y a une mauvaise météo, il va peut-être en vouloir un petit peu plus dans la poche, qu'un peu moins.

Donc par rapport à la préparation de l'avion ?

Là c'est de la préparation, donc on met en fonction tout ce qui est avion, et puis y a pas trop de choses de navigation, mis à part la préparation du FMS. Donc c'est là qu'il va rentrer la route. Il va vérifier par rapport à son plan de vol, computer as flight plan. Donc il vérifie que ça correspond bien. Vérifier que les fuels correspondent. Que tout est conforme. Et puis, c'est plus de la vérification de ce qui a été décidé pendant la préparation.

Il arrive souvent qu'il rentre des co-routes ?

C'est des compagnies routes oui. Mais il doit vérifier chaque point. Il doit vérifier que ça correspond. C'est assez rapide, parce qu'en fait c'est des points, donc là clac, après je prends telle airways jusqu'à tel point, ok, donc là... donc c'est ... ça peut être pas très long et très compliqué non plus.

Et la piste de décollage, est-ce que c'est quelque chose que le pilote connaît à l'avance ou bien il le sait au dernier moment ?

Il a une idée, il le sait. Maintenant, ça peut changer. On peut se retrouver avec un autre départ, parce qu'entre le moment où y a la préparation et le moment où y a le décollage, ben le vent peut avoir tourné, les conditions peuvent avoir tournées. A Paris, c'est tout le monde qui passe d'un côté ou qui passe de l'autre. Donc c'est un moment, même si sur le terrain on aurait pu rester sur cette piste, ben les départs sont face à l'est. Allez hop, tout le monde dans Paris c'est face à l'est.

Et à ce moment-là, est-ce qu'il a préparé une autre piste qu'il suppose ...

Pas forcément. Mais c'est assez rapide de updater. Au niveau du FMS, c'est juste departure, prendre la piste, la sélectionner, et puis y a le départ qui est associé qui est donné généralement, donc au lieu du départ Moulin 5 bravo, ça va être un Moulin 6 Viktor qui correspond à l'autre côté. Il le rentre. Après il va updater la carte qui est de chaque côté, et puis il regarde. Alors sur du court courrier ça peut être important parce qu'il peut y avoir quand même... d'un côté on passait direct, on décollait puis on se reposait de l'autre côté. Et de l'autre côté, y a tout un détour parce qu'il faut faire tout un tour d'un secteur avant de rejoindre la route. En même temps, c'est anticipé. Y a quand même de quoi faire. Sur un long courrier ça va jouer sur pas grand chose.

Donc au niveau de la charge de travail du pilote, à un moment donné, si on lui change la piste au dernier moment au décollage, c'est pas quelque chose qui va lui...

Non, plus maintenant. Avant oui. Parce qu'avant, y avait des départs qui étaient très faciles. C'était monter dans l'axe jusqu'à tel point et puis après virez et puis après, hop ça y est, on partait. Et alors que de l'autre côté, c'était montez jusqu'à tel endroit, stabilisez, contactez telle fréquence, repartir de l'autre côté, prendre ceci, prendre... et donc c'était un peu plus difficile. Y avait des départs où... et puis surtout on jouait qu'avec les aiguilles. Donc c'était des affichages de radio, en même que la radio qui parlait, des changements de fréquence. Alors que maintenant, tout ce fait automatiquement, on monte, zuiip. Passez telle fréquence, c'est le plus dur. Donc c'est beaucoup plus facile maintenant. C'est incomparablement plus facile.

Et est-ce qu'il a du calcul mental à faire ? Est-ce qu'il a des choses à calculer pendant cette préparation ?

Non. Le fuel on le rentre. Même avant, c'était juste vérifier que le fuel qu'on avait calculé avant correspond au fuel qu'on a vraiment dans les moteurs, enfin dans les réservoirs, et puis c'est tout. Non ça... Même pendant le vol, du calcul mental, y en avait avant mais maintenant, y en a de moins en moins. Tout est donné, tout est calculé.

Parce que je me demande si pour faire une vérification de ce qui est donné par le système, est-ce que le pilote refait des petits calculs, pour vérifier que ce qui lui est donné comme information est adéquat ?

Non, ça c'est plus pendant la préparation de mission que ça va se faire. Il va regarder... il sait qu'il a une consommation moyenne tant. Donc tant de distance, tant de temps de vol, donc multiplié par ça, il me faut à peu près 12 tonnes de carburant. Ça me suffit. Ou 250 tonnes de carburant et puis voilà. Et là il regarde, il trouve 260 tonnes et puis c'est bon.

Et donc ensuite, par rapport à la phase de taxi, est-ce que pour vous y a une tâche de navigation ?

Non. La seule tâche de navigation qu'il peut y avoir, mais à ce moment-là le taxi sera interrompu pour refaire la préparation c'est si y a un changement dans la clairance. Donc là, va falloir updater le FMS, que l'autre cross check pour réajuster briefing. Mais ça va être la seule tâche qu'il peut y avoir. Donc c'est pas vraiment, c'est pas une tâche de navigation. Si, navigation au sol. Parce que des fois les aéroports ils sont gros, ils sont complexes, donc va falloir faire le roulage et puis suivre le bon taxiway. Alors maintenant en plus, avec les derniers systèmes qu'on a chez airbus l'OANS, l'Onboard Airport Navigation System, directement y a la carte de l'aéroport qui s'affiche et on a la petite silhouette, donc ça aide beaucoup pour les ... ça aide bien. Donc y a des choses qui simplifient la vie. En même temps, ce n'est qu'une information. Ce n'est pas un système de guidage ou rien d'autre. Donc c'est à titre informatif qu'il faut le prendre. C'est une aide. C'est pas autre chose. Mais sinon, c'est tout. C'est de la navigation sol en fait. Qui est problématique. C'est je pars de ma gate et je vais jusqu'à mon point de manœuvre.

Et ça, ça se fait par rapport... le pilote, il regarde quasiment que à l'extérieur ?

Ah c'est que dehors. C'est que regarder dehors, oui. Même s'il fait très mauvais, ça ne peut se faire... y a pas de système pour l'amener jusqu'à un endroit.

Donc ensuite, par rapport à la préparation du décollage, en quoi elle consiste ?

Y a rien. Non, y a rien du tout. Il prépare son décollage, qui est la phase critique du décollage. Il va préparer le reste de la navigation. Il va juste informer comment on va faire ça, ça, ça. Si on a une panne moteur ou une panne importante, on va suivre peut être autre chose et c'est tout. C'est un petit briefing rapide et qui généralement à été fait à la préparation. Si y a rien de nouveau, ben voilà, on briefing, ok, check.

Par rapport au décollage, est-ce qu'il y a une tâche de navigation pendant cette phase ?

Non, c'est suivre son axe de piste et puis après, suivre son départ et puis c'est tout. Y a pas de phase de navigation.

C'est plus du pilotage ?

Ouais.

Il se fait en manuel le décollage ?

Oui, oui.

Pour vous, elle se termine quand cette phase de décollage ?

Règlementairement, c'est 50 pieds. Le passage à 50 pieds, c'est la fin du décollage. On passe dans la phase de la lancée. La réglementation, c'est 1500 pieds. 1500 pieds, 5 minutes, c'est la réduction, c'est la phase de décollage. On va passer le premier segment, le deuxième, le troisième et le final. Mais pratiquement, on va dire que c'est la fin de rentrée du train. Fin de rentrée du train, là le décollage est fait. Généralement, le pilote automatique est mis. L'avion monte et donc on suit le profil. On vérifie qu'il monte correctement. A partir du moment où il monte correctement, on va effacer les obstacles correctement et donc on est passé en phase de navigation.

1500 pieds se serait la réglementation. C'est la fin de la phase de décollage. Maintenant, je pense que pour un pilote, le décollage, c'est quand l'avion est en l'air, qu'on a rentré le train, tout va bien, on monte. Voilà. On est dans la phase après décollage.

Parce que sur le PFD, sur le bandeau du FMA, y a les différents modes, où il affiche un peu les différentes phases où il est. Est-ce que, par rapport à la rentrée des trains, ça sera déjà passé en phase de montée sur le FMA ?

Non, pas encore. On sera toujours en SRS. Moi, simplement, c'est que j'ai quitté le sol. J'ai quitté le sol et maintenant je monte. Donc je suis dans, on peut dire, dans la phase 2 du décollage. La phase 1 qui était le contrôle sol et puis la rotation et éventuellement garder mon axe de piste si j'ai besoin. Après, je passe dans la phase 2 de la partie décollage qui va être gérer la montée jusqu'au moment où j'ai rentré mes volets et que je suis clean et que ... voilà, mon avion est complètement lisse. Enfin, j'ai encore des trainées, j'ai encore des choses dehors mais je suis plus quand même dans une phase montée, début de montée, montée initiale.

Ets-ce que pour vous c'est une phase qui requiert beaucoup d'attention de la part du pilote, qui requiert beaucoup de ressources attentionnelles, une forte pression temporelle ... ?

Surtout dans la première partie, parce qu'il faut quand même contrôler ... il faut à la fois... la plupart du temps tout ce passe bien et en même temps, il faut être prêt à réagir s'il se passe

quelque chose. Et très rapidement, il faut être capable de dire j'arrête, je continue. Donc c'est réglé. Mais quand on entraîne au simulateur, on entraîne avec des pannes qui sont assez flagrantes, c'est blanc ou c'est noir. C'est assez facile. Dans la vraie vie, c'est souvent gris. On est jamais dans le franchement évident ou dans le franchement ben non, on continue. Donc toujours décider j'arrête ou je continue. En sachant ben voilà, là je continue, là j'arrête. Et donc ça demande quand même une prise d'attention, surtout que la vitesse accélère... donc plus on accélère, plus l'avion... surtout si les conditions météo sont pas très favorables, ben ça va glisser un petit peu. Ça va ... il va falloir le maintenir, il va falloir... parce que lui, plus il avance, plus il est prêt à partir, à décoller. Donc faut toujours être conscient de ceci. Faut bien faire les bonnes actions au bon moment, aux bonnes vitesses.

Est-ce qu'il y a des décisions que le pilote va devoir prendre pendant cette phase de décollage ?

Ben y a déjà jusqu'à 100 nœuds. 100 nœuds c'est le moment qui commence à être critique pour l'arrêt décollage. Donc déjà y a plein de pannes où avant on sera arrêté. Après, on va peut-être continuer. Va falloir envisager de continuer. Y a V1 où là, quoi qu'il se passe, on arrête... enfin, on arrête de vouloir s'arrêter. C'est ce que je voulais dire. Faut continuer parce qu'on a plus assez de piste pour s'arrêter donc il faut continuer. Et puis, y a la fin où on approche près de V1, parce qu'on est proche de la vitesse de décision, et cette phase intermédiaire, suivant la panne, ben je vais peut-être devoir dire, ben non, on continue quand même. Voilà, j'aurais dû m'arrêter. Maintenant, je sais que je suis sur une piste limitative. Si j'essaie de m'arrêter, cette panne va m'emmerder et va faire que finalement je vais pas pouvoir m'arrêter. Donc là, ça va être décision captain ça va être GO. Malgré qu'on soit un petit peu avant. Et donc faut toujours être GO minded, ça veut dire être plutôt avoir tendance à vouloir décoller plutôt qu'à avoir tendance à rester au sol et à s'arrêter. Bon après la rotation, y a toujours le moment de la rotation où dès qu'on passe en rotation... bon tant qu'on est sur trois points quelque part, on a une stabilité. Dès qu'on passe sur 2 points, ben ça peut partir beaucoup plus rapidement, donc y a toute cette rotation et puis surtout on a l'arrière qui passe pas loin du sol, donc si on tire trop vite, trop fort, on peut toucher. Donc une fois qu'on est en l'air, c'est plus bon le contrôle et puis le train va rentrer.

Donc la décision vraiment importante du décollage, ça va être arrêter ou continuer et si on continue, qu'est-ce qu'on fait après ?

Ben ce qu'on fait après, on l'a briefé. L'important, c'est pas de créer des choses pendant cette phase. Pendant ces phases, ça va tellement vite qu'on doit switcher au niveau du cerveau sur des phases qui sont déjà préétablies. On sait voilà que clac on fait ça, donc ... Et là, ah j'ai ça donc clac je bascule sur ce plan d'action. C'est des plans d'action qui sont empilés et puis on va prendre le plan d'action directement pour agir dans une phase bien particulière. Et ça là où

J'apprécie quand même beaucoup airbus, sans faire de publicité, c'est que c'est vrai qu'y a des plans d'action qui sont quand même bien définis et bien établis, où on n'a pas à recréer des choses qui prennent du temps. On est directement sur des choses qui sont ... une fois qu'on a bien compris ces automatismes, comment ils fonctionnaient, comment les vérifier, comment parler avec l'avion, comment il nous parle, on a plein d'information qui nous aident et qui nous font avoir du recul sur l'avion, et pas être avec l'avion qui se retrouve devant nous. C'est nous. L'avion il est devant, on le regarde et on est en arrière par rapport à l'action.

Ces plans d'action, c'est le pilote qui a décidé ce qu'il allait faire avant, ou ça lui est imposé par la compagnie ?

C'est imposé par la compagnie. C'est pas le pilote qui décide ce qu'il va faire. Alors après, effectivement, y a des choses où il a des options, donc c'est lui qui va choisir parmi des options qui sont possibles. Mais c'est des choses qui sont définies. C'est soit de la procédure airbus, soit c'est de la procédure compagnie, soit c'est des compagnies qui vont dire bon voilà c'est de la panne moteur, tu montes à 1500 pieds avant de te poser... de faire le level off. D'autres ça va être plus bas, d'autres ça va être plus haut. Et on applique les consignes de sa compagnie. Parce que si on les applique pas après... La seule fois où il peut être amené à... et encore ça se posera pour le militaire, pas dans le civile. Le civile, il partira sur des lignes qui sont ouvertes par la compagnie, donc avec des procédures bien établies. Le militaire, nous, on peut aller sur des terrains des fois où y a rien. Donc là, effectivement, on doit créer. Mais on crée toujours par rapport quelque chose qui est existant, par rapport à la réglementation. Alors, y a la réglementation et après y a les caractéristiques militaires. A un moment, on peut être amené à être en zone conflit. Et en zone de conflit, la réglementation c'est bien beau, mais ça s'applique pas à la zone de conflit. Donc là, y a peut-être des choses particulières, après décollage, eh ben je garderai l'avion plaqué au sol, on rentrera tout au ras du sol parce que faut passer le plus vite possible des batteries ennemies qui sont de l'autre côté de la piste, parce que si on monte normalement, ben on est vulnérable. Donc on montera à partir de tel point. Donc y a un truc qui va être particulier dans ces cas-là, où des fois on envisage plus la panne. Parce que quoi qu'il se passe, si y a une panne, ça va mal se finir. Donc c'est quelque chose de particulier, mais c'est applicable pour le monde militaire, dans des situations de conflits. Dans la situation normale, même le militaire, il va faire ce que la réglementation prévoit et ce qui est prévue. On en sortira pas à ce moment-là. Et même des fois, c'est déjà plus ou moins préparé... c'est des choses qui sont quand même préparées pendant la préparation de mission. C'est pas des choses qu'on va créer pendant la phase de préparation au décollage. C'est trop tard. C'est de la préparation de mission ça. On en revient toujours à l'importance de la préparation de mission.

C'est une des phases les plus...

C'est là où on va créer tout le vol et on va mettre de la cadence sur le vol et tout va être... on va essayer de planifier le plus possible pour avoir le moins de choses à faire après pendant le vol.

Donc ensuite, du coup, pas de préparation de montée...

Non, parce qu'elle s'enchaîne avec le takeoff. Tout a été préparé avant.

Donc pour vous, dans la phase de montée, est-ce qu'il y a une tâche de navigation dans cette phase ?

C'est toujours la phase de vérification des contraintes. Des contraintes qu'on peut avoir, des contraintes de stopper la montée à tel niveau, jusqu'à tel point, reprendre la montée, contraintes de vitesses qui peut y avoir, des contraintes données par le contrôleur, des contraintes où le contrôleur va nous donner des directs, donc, pour nous faire gagner du temps généralement, ou pour que lui il puisse nous faire éviter une zone. Ça peut être un environnement aussi où il peut y avoir beaucoup d'avions. On est près de l'aéroport, donc y a pas mal de trafic. Donc y a une surveillance par rapport aux autres avions. Donc ça va être des phases qui vont être comme ça.

Est-ce que c'est une phase qui requiert beaucoup d'attention de la part du pilote ?

C'est un peu moins que le takeoff mais y a quand même toute une phase où y a beaucoup de changements des fois avec le contrôle, des fois avec Paris. Donc y a beaucoup de trafic, y a beaucoup de monde et souvent, c'est ... quand on nous demande de changer de fréquences, on passe sur l'autre fréquence et là, ça arrête pas, ça arrête pas, ça arrête pas. Il faut profiter de la fraction de seconde où y a un petit blanc pour clac rebalancer le message et être le premier à balancer, pour que les autres se taisent. Donc c'est pas facile, parce que des fois on avance, y a les butées qui arrivent où on était clairé, et là, ben on arrive pas à en placer une parce que ça arrête pas et le contrôleur des fois c'est du sans arrêt, même pendant les phases de descente c'est pareil. C'est sans arrêt. C'est Air-France machin tournez à truc, vous, vous descendez vous prenez là, suisse air vous faites ci, vous faites ça, vous vous montez, vous vous descendez, vous vous tournez, vous vous passez sur telle fréquence. Eh je peux en passer une.

Et c'est possible que par exemple, on vous dise : montez à telle altitude et que le pilote dise non pour je sais pas quelle raison ?

Oui, bien sûr. Faut toujours se rappeler que le maître du vol, c'est le commandant de bord. Donc à partir de là, le contrôleur, il a été créé pour faciliter et pour rajouter une tâche de sécurité entre la gestion des avions. Maintenant, c'est pas le contrôleur qui décide. Le commandant de bord, si le contrôleur lui dit de monter à un niveau où l'avion est pas possible de monter, il montera pas. Donc si à un moment, le commandant de bord il a une descente d'urgence à demander et que le contrôleur lui dit négatif, ça passera pas non plus. Donc y a des phases où le

contrôle est là pour aider les avions, et c'est pas les avions qui doivent aider le contrôle. Bon y a un arrangement après, mais quand on dit faites ceci, faites cela, négatif, unable because... Est-ce que vous pouvez monter à tel niveau en moins de 5 minutes ? Eh ben, négatif, impossible. J'ai pas assez de puissance pour monter aussi vite. Ou alors, je peux pas me permettre avec la cargaison que j'ai de monter aussi rapidement, alors je monte plus lentement. Donc je peux dire non au contrôle. Et le contrôle le sait. Généralement, ça ... ils sont pas stupides non plus. Ils savent très bien que quand on peut on fait, que quand on peut pas, on leur dit non, on peut pas. Et c'est à lui de faire en sorte... des fois lui, il va aider pour faciliter. Donc il va monter plus vite, comme ça il va permettre à l'autre de pouvoir passer le niveau et de pouvoir descendre. Donc il gère un ensemble. Maintenant on peut pas. Ben des fois, on arrivait avec des avions qui étaient quand même de génération ancienne, sur Paris, en descente à 200 nœuds. Est-ce que vous pouvez accélérer monsieur ? Oui, à 205. Bon ben restez à votre vitesse alors. Ça sert à rien du tout. Il avait compris que c'était non. On peut pas, on peut pas. Parce que notre vitesse max c'était 205, on peut pas plus.

Et les directs, c'est les pilotes qui vont les demander aux contrôleurs ?

C'est le contrôleur qui va les offrir.

Sans forcément qu'il y a une demande...

Sans forcément. Alors ça dépend un peu du bon vouloir du contrôle. Des fois, ils sont bien lunés, ils vont lui donner facilement. Des fois, ils ont pas trop envie de s'embêter, donc ils vont pas lui donner. La plupart du temps, ils essaient quand même de fluidifier le trafic, donc ils essaient de les donner.

Ça les arrange aussi de les donner ?

Pas forcément. Eux non, c'est à peu près pareil. Mais ça fait partie de leur travail. Et puis après c'est le pilote qui peut dire à un moment, est-ce que je peux aller direct jusqu'à tel endroit ? Alors, c'est ben je vous rappelle ou oui à partir de tel point ou attendez c'est pas possible, y a trop de trafic. Si on demande pas, on aura pas, donc...

Et au niveau des informations que vous allez surveiller pendant cette montée ?

Ben déjà les obstacles, parce que tant qu'il y a des obstacles. Après quand on est au-dessus, y a plus de souci. Ça va être le départ surtout, c'est la partie la plus dense. Et puis après surveiller sa navigation par rapport à la carte, c'est tout.

Vous surveillez tout ce qui est altitude...

Altitude moins, parce qu'on s'éloigne du sol. Donc dans ce sens-là, ça va. Alors ce qui fait que les obstacles, une fois qu'on est au-dessus de l'altitude de sécurité, y a plus d'obstacle autour. C'est

plutôt par rapport aux autres trafics que ... qu'il y ait pas une alerte TCAS qui arrive. Et encore, même maintenant, tout ce fait automatiquement avec le 380. Donc... et puis c'est juste par rapport à la carte, qu'on est bien sur la trajectoire qui est demandée.

La carte papier ?

Oui, la carte papier, je crois qu'il la vérifie toujours, quand même un petit peu. Y a toujours la carte papier. Maintenant, la carte c'est devant. Mais c'est intéressant toujours de savoir par rapport au papier ben voilà on est là, on va par là, ça correspond donc tout va bien. Avant, c'était plus problématique, parce qu'avant on avait pas tout ça, donc quand on nous disait un direct pour aller sur tel point, alors soit c'était un VOR et à ce moment-là, on mettait la fréquence on avait l'aiguille et ça allait. Des fois c'était trop loin donc on avait pas l'aiguille. Ou alors c'était des intersections, c'était des points... des intersections de différents radial qui donnés un point, donc là, c'était un peu, on prenait le stylo, clac, voilà, donc ça fera du 325 pour, clac, 62 nautiques. Il fallait le vérifier. Donc après, y a une habitude qui se fait, ce qui fait qu'on sait en fonction du vent, en fonction de tout. Mais avant tout ce calculait. On calculait le vent, on calculait la vitesse sol, il fallait calculer ensuite le temps. Il fallait calculer sa dérive. Y avait pas tout ça avant. Mais ça se faisait à peu pr... après ça se faisait un peu au nez on va dire. On sait qu'aux vues de la carte météo, on avait du vent qui était de tant, donc clac, directement on affichait 4 degrés. On voyait. C'était pas suffisant, allé 5. Ouais, c'est bon, ça marche.

Avec le cap aussi, c'est une information...

Avec le cap... mais maintenant y a tout. Maintenant, il fait tout. Donc y a plus besoin de calculer du tout. Avant fallait calculer de tel point à tel point. Allé, j'ai 250 nautiques, donc en vent, je sais que j'ai un vent de tant pour tant. Donc ça me fait un vent de... , donc j'ai une vitesse sol qui va être de tant. Donc ça va être calculé avec le facteur de base, donc ça va être calculé le temps que je vais mettre d'un point A à un point B et on recalculait tous les points et à chaque point fallait réajuster tous les calculs. Ça se faisait assez rapidement. C'était de l'habitude de calcul mental. L'étape de sinus et cosinus, on avait l'approximation, on les connaissait. Maintenant, les jeunes pilotes, je suis pas sûr qu'ils les connaissent. J'en ai vu plein, ils les connaissent plus. Ils savent même plus calculer un vent en approche, parce que le FMS le dit. Ça leur est plus demandé. En même temps, des fois, ça permet de savoir à peu près...

Est-ce qu'il y a quand même des vérifications comme ça qui étaient faites ?

Ben les anciens le faisaient. Mais les nouveaux ne le font plus. Ce qui pose souci.

J'ai discuté avec une pilote qui me disait que ça lui était arrivé une fois sur le ND que l'avion était posé sur le trait, mais ils se sont aperçus qu'il y avait un décalage entre leur position sur le ND et leur position réelle.

Oui, ça c'est toujours de la surveillance de navigation secondaire. Quand on peut le faire, parce que maintenant, on peut du coup de moins en moins le faire, parce que y a tout le système RNAV qui arrive. Des fois, la navigation n'est plus, n'a plus de repère par rapport à un VOR. Mais encore, la plupart du temps on l'a. Donc on peut vérifier par certains points si on l'a. Mais encore faut-il que le pilote il l'ai vérifié par rapport à... tient voilà, y a tel VOR, tac je suis sur tel axe, donc voilà, clac, oui c'est bon, ma navigation elle est bonne. Ou alors, c'est surtout pendant les phases d'approche que c'est important. Et là, les pilotes le font pas toujours. Parce qu'ils ont tendance à croire la boîte qui est devant. Enfin, l'image qui est devant. C'est tellement plus facile.

Donc préparation de croisière...

Non y a rien du tout là. Ici, on passe d'une phase qui termine la montée... enfin, passant le niveau 100, déjà, y a une partie de la montée qui est plus tranquille. C'est... déjà, pour les pilotes Air-France, par exemple avec le 380, pour le HUD, ben là ça y est, ils peuvent le clac, ils peuvent le remonter. Il est obligatoire en dessous, mais au dessus ils peuvent le remonter, et une fois qu'on est en croisière, on passe dans une phase qui est plus relax. On peut pas se permettre de rester pendant 4 heures, 5 heures, 6 heures, 10 heures, en phase hyper tendue où les deux pilotes sont concentrés, ils sont en train de calculer et tout ça. Forcément, ça passe par une phase qui va être plus relâchée, qui va être moins attentive. Mais c'est ... après, c'est des phases alternatives. Donc y en a un qui se repose, qui va lire. L'autre pendant ce temps-là, ben il va faire son loc de navigation, il va s'occuper des calculs. Et puis après ça va être ah ben tient, je passe tel point, bon écoute, je pose le papier, le figaro ou le libération, et puis je recalculer mes choses, mes données pour que ça corresponde, je remplis les papiers.

Qu'est-ce qu'il vérifie à ce moment-là comme données ?

Chaque fois qu'ils passent un point, ils sont censés vérifier que pétrole correspond, qu'il y a pas de ... parce que ça permet de savoir aussi... on avait calculé qu'on devait passer avec tant de pétrole, et on s'aperçoit qu'entre temps, ben y en a beaucoup moins que prévu. Il en reste moins. Et forcément, le quantité de fuel qui a été utilisé plus la quantité de fuel restant, ça doit être égale au fuel qu'on avait au départ. Si on en trouve plus, on s'est trompé. Parce qu'on a pas inventé d'avion qui crée du pétrole encore. Donc on s'est trompé. Et quand recalculer, si on trouve moins, en revanche, là, c'est problématique, parce que ça veut dire qu'on en a perdu. Comme on est en vase clôt, ce qu'on consomme forcément c'est en moins. Donc peut y avoir une fuite. Donc c'est pour vérifier, vérifier ceci, noter le temps, noter la météo. Alors des choses qui se font automatiquement. Maintenant, on appelle des pages et tout se fait automatiquement. Demander une clairance océanique maintenant c'est d'une simplicité ; avant, y avait un message établi, fallait remplir les cases, fallait bien tout dire et après tout renoter. Maintenant, les clairances océaniques, c'est la page est pré-préparée, on voit plus les blancs. On

l'envoi. Quelques instants après, bizzt, ah message ACARS, ok, clairances océaniques clac, clac, clac, clac, c'est bon, acceptées ou refusées. Acceptées. Voilà. C'est pas plus compliqué que ça. Donc les choses se simplifient.

Et c'est réellement fait par les pilotes toutes ces vérifications ?

Ils sont censés le faire. S'ils le font pas c'est qu'ils font pas leur boulot. Parce que c'est juste aux points tournants donc c'est quand même... quand ils sont en croisière, les points sont assez longs. Alors, sur les petits vols c'est différent puisque sur les petits vols, y a quand même beaucoup de choses qui doivent être faites et puis la distance de croisière est très courte. Donc c'est pas forcément à tous les points que tout ce fait. C'est pas à tous les points que ça se fait. Parce qu'il y a d'autres choses à préparer. A un moment, va falloir faire la préparation de l'arrivée. Et y en a pas un qui va être en train de faire toutes ces notes pendant que l'autre il est en train de faire la préparation. Il faut toujours qu'il y en ait un quand même qui regarde dehors.

Et après, entre temps, ça peut être des périodes un peu de ...

Quand c'est des longues périodes, oui, y a des périodes qui sont calmes en fait.

La charge de travail c'est juste de la vérification de données ?

Du monitoring. Donc c'est du monitoring effectivement. C'est de... ça s'appelle de la routine. Donc c'est là où y a besoin aussi de casser cette routine. Donc les pilotes vont parler du resto qu'ils vont faire à l'arrivée. Ils vont parler de... ça à l'air de choquer des fois les gens, mais non, c'est pas possible de rester professionnel pendant 10 heures en parlant que de trucs professionnels. Mais aussi les pilotes, faut qu'ils prennent l'habitude, pendant cette période, d'aller approfondir peut être un petit peu leur connaissance sur l'avion, d'aller regarder dans le FCOM, de trifouiller un petit peu dans les pages du FCOM pour augmenter leur connaissance de l'avion sur des points qu'ils maîtrisent pas trop. Généralement, les pages qu'on a pas envie de regarder, c'est les pages qu'on doit bosser. Ben c'est un peu comme tout. Quand on fait de l'exercice physique, ce qu'on aime pas faire, généralement, c'est ce qu'on doit travailler. Donc c'est lui, à charge personnelle, de le faire. Le pilote, qui a un moment, il prend que les magazines, et puis pendant tout le vol ... il peut le faire pendant un vol, mais l'autre vol, il va le regarder. S'il fait un vol de nuit, c'est peut-être pas là où il va regarder le FCOM. Tout ce qu'il va lire, il va l'oublier dans le seconde qui suit, donc ça sert à rien. Le vol qui est un peu plus... de jour, qui est un peu plus calme, tout ça, à un moment, il va se dire, tient je vais aller regarder cette procédure parce que je m'en souviens plus beaucoup. Et je vais revoir ce truc parce que ça m'a interpellé. La compagnie me demande ça. Ils vont regarder les notes qu'ils ont reçu de la compagnie. Ils profitent de ces vols pour faire un peu de tout ça. Bon, y a des pilotes qui ont tendance aussi à, dans une croisière, à se faire que du relax. C'est un juste milieu entre les deux. Il peut faire ses comptes personnelles à la maison à partir du moment où il fait autre chose aussi.

Sur 10 heures, il a bien le temps de passer une heure à faire ça. Et s'il passe les 10 heures à faire ça, c'est pas bien aussi. Faut avoir de la curiosité, faut ...

Par rapport à la préparation descente/approche ?

Descente et approche oui. Tout se prépare. En fait, on prépare toute la suite. Tu te souviens que pendant la descente ça s'accélère. Donc y a plus le temps après. Tout se prépare à l'avance. C'est un petit peu comme la préparation va influencer tout le vol. Cette phase-là va influencer tout le reste. C'est là où on va se préparer, on va tout préparer pour que toutes les options soient possibles.

Tout c'est quoi ?

Ben ça va être l'arrivée, l'approche qui va se faire avec peut être l'anticipation sur d'autres approches. Parce que à New York par exemple, y a beaucoup d'approches et des fois, ça change. Des fois c'est la même mais c'est rare et ça change très rapidement, et ça peut être surtout la remise de gaz. Parce que la remise de gaz, si je dois me dérouter sur un terrain qui est juste à côté, et qui est pas très loin, ça va très vite. Si j'ai rien préparé, ça va... généralement, on le fait une fois, on le fait pas deux. Moi, je l'ai fait une fois où j'étais persuader que j'allais me poser parce qu'il faisait beau. Y a eu du vent mais il faisait beau. C'était en corse. Donc j'étais, je me souviens plus, sur Figari je crois, oui sur Figari. Approche sur Figari, beaucoup de vent, tellement de vent que impossible de me poser. Cisaillement de vent en finale, donc obligé de faire une remise de gaz. Le déroutement c'était Ajaccio. En Falcon 50, ça va vite. C'est très proche. Surtout qu'on est repassé dans les nuages. Que c'est quand même mal pavé à Ajaccio, y a des montagnes et tout. Et là il fallut faire les préparations et ça a été un rush. Alors, ça a été un rush. Et puis en plus y a la pression qui arrive, donc on se sent pas bien et on se dit, c'est passé, ça aurait pu merder, je me refais plus avoir.

Donc tout ce qui peut arriver, c'est préparé.

C'est envisagé si ça merde. Ça fait partie du boulot. La remise de gaz doit être inclut dans la préparation du vol. Je fais ma remise de gaz, mais après je fais quoi.

Et du coup, c'est des entrées qui vont être mises au niveau du MCDU ?

C'est déjà préparé depuis le début en fait, la remise de gaz. C'est updaté pendant le vol parce que des fois ce terrain va se fermer avec la météo donc le déroutement va être à un autre endroit.

Mais sinon, tout ça, c'est déjà préparé pendant la préparation de mission ?

Oui, oui. y a des déroutements qui sont prévus, qui sont celui-là, celui-là, celui-là. Y a des déroutements qui sont en route aussi. On sait que si on a une panne à telle endroit, ben que ce

sera tel terrain ou tel terrain. Donc en fonction c'est le commandant de bord qui décide. Des fois y en a qu'un, des fois y en a plusieurs, donc c'est un choix, en fonction de la météo, en fonction de...donc y a toute une... aussi, pendant la croisière une phase où on va demander régulièrement la mise à jour de la météo. Donc avant ça se faisait en HF. Maintenant, c'est directement par ACARS. Y a une demande, puis clac. Tout tombe au fur et à mesure de manière automatique. Et y a rien à faire.

Et au niveau de cette préparation, est-ce qu'il y a une phase aussi où ils préparent l'atterrissage ?

Au niveau de l'état de la piste... parce que quand on arrive à la décision de notre approche, c'est soit on fait une remise de gaz, soit on se pose. Si on se pose, il faut savoir qu'est-ce qu'on attend comme repères visuels : est-ce qu'on a une rampe d'approche, est-ce qu'on en a pas, est-ce qu'il y a un lièvre, est-ce qu'il y a des feux de balises, est-ce qu'il y en a pas, où est-ce que je vais stopper l'avion en fonction de ma distance d'atterrissage. Alors maintenant c'est facile, on a un BTV, break to vacate, on le dit directement, tient, je veux m'arrêter là, et lui il va faire en sorte qu'on s'arrête là.

Et c'est le pilote qui décide ça ?

Ah c'est le pilote qui décide, oui, oui. C'est le pilote qui décide, je veux m'arrêter à tel endroit. Lui juste ce qu'il va calculer, il va dire voilà en piste sèche, tu vas t'arrêter là, piste mouillé, tu vas t'arrêter là. Maintenant, voilà, après tu choisies ce que tu veux.

Là, c'est libre choix au pilote de dire à quel moment il veut s'arrêter sur la piste ?

Oui. Voilà.

Et il va faire ce choix par rapport à quoi ?

Ça peut être par rapport à une facilité de roulage par rapport à la gate où il va aller. Parce que là, s'il va là-bas, ben finalement, il va devoir faire un trajet beaucoup plus long. Ça peut être par rapport au temps qu'il a ... que l'avion soit près. S'il s'arrête très rapidement, donc il va utiliser beaucoup les freins, les freins vont chauffer. Donc pour le prochain décollage, il peut être limité. Alors que s'il a pris l'exit qui est beaucoup plus loin, il devra rouler un petit peu plus mais en même temps, les freins auront été pratiquement pas sollicités, donc ils seront froids et il pourra décoller quasiment de suite.

Donc c'est par rapport aussi à ce qu'y va se passer aussi après. Il anticipe déjà pour le vol suivant s'il y a...

Pas toujours. On aimerait bien qu'ils anticipent un peu plus. Parce que les freins carbonés ça coûte cher aussi et les utiliser ... ben quand il faut les changer, ça coûte cher à la compagnie.

Donc y a toute cette notion de commercial. J'ai utilisé, oui j'ai freiné comme un malade et j'ai roulé très vite, donc j'ai fait gagner 10 minutes à ma compagnie. Oui, mais en même temps, j'ai abimé mes trains et ils vont devoir changer les pneumatiques et puis les freins carbonés. Donc les 10 minutes que j'ai gagné, ça a fait économiser tant, mais en revanche, j'ai coûté 4 fois plus cher en maintenance de l'autre côté. Donc finalement, j'ai gagné rien du tout.

Et dans cette préparation, est-ce qu'il y a tout ce qui est altitude de descente, d'approche, la vitesse ?

Aussi. Tout. Alors y a des fois des choses qui sont prévues, qui sont... tout est automatique parce que ça fait partie de la carte d'approche, ou les restrictions de vitesse, d'altitude. Puis, y a des fois d'autres... des restrictions arrivent, parce qu'elles sont pas prévues. Donc ça, effectivement, elles sont gérées au fur et à mesure qu'elles arrivent. Et toute l'approche est préparée, les cartes sont préparées, la remise de gaz est faite et le pilote a déjà une idée s'il va retenter une deuxième approche ou s'il va attendre un petit peu avant d'en faire une deuxième ou alors s'il va se dérouter directement.

Donc ensuite par rapport à la phase de descente, est-ce qu'il y a une tâche de navigation pendant cette phase ?

Ben oui, parce qu'il faut suivre toute la trajectoire d'approche qui peut se terminer par un radar vector aussi. Mais même si on est avec un radar vector, on ne s'affranchit pas quand même de suivre ce qu'on fait. Parce que le contrôleur peut faire une faute, nous faire descendre en dessous de la sécurité, lui aussi c'est un humain, il fait des erreurs comme tout le monde. Donc c'est à nous à un moment à lui dire vous me confirmez je suis bien à votre altitude radar.

Et est-ce qu'il y a des calculs qui sont fait pendant l'approche ou pendant la descente ? Par exemple si on vous demande de descendre à telle altitude à tel moment, et finalement, l'avion ne peut pas faire ça.

Ça peut se faire, mais beaucoup de choses sont affichées maintenant sur le FMS, donc le pilote ne calcule plus. Y a beaucoup de pilote qui calculent plus, qui surveillent plus leur profil de descente parce que le système le gère. Y a des pilotes qui ont le top of descent qui est marqué sur le MCDU, ou sur le ND, donc ils le calculent plus. Ils vont plus s'amuser à se dire, tient je veux descendre à un plan de 3%, donc je vais faire mon altitude divisée par trois et ça va me donner ma distance pour débiter ma descente.

Donc y a pas de calculs de pente.

Voilà. Je suis au niveau 300, donc il va falloir qu'à 100 nautiques à peu près je commence ma descente. Donc au fur à mesure, ils vont calculer, ils vont surveiller leur plan de descente.

Donc c'est plus une surveillance de données au niveau des instruments que du calcul.

Oui, oui. Y a ce côté qui se perd. L'ennui, c'est qu'on est dans la phase de transition. La phase où on a vraiment plus besoin de le faire et la phase où y avait strictement besoin de le faire. On a plus besoin de le faire sauf que c'est quand même bien de le faire. Et si y a problème, ben va falloir le faire. Donc voilà, c'est tous les automatismes, je le vois maintenant au training, tous les automatismes qu'on me sort m'embêtent plus qu'autres choses parce que si je n'avais qu'à entraîner l'automatisme, ça ferait gagner du temps, ça serait plus simple. L'ennui c'est qu'il faut que j'entraîne aussi la perte de l'automatisme et donc faut que j'entraîne à l'ancienne. Mais j'ai pas plus de temps. Donc y a un moment voilà... qu'est-ce que je fais ? Donc plus on va être près du sol et plus la phase de surveillance de la navigation est importante et surtout la phase de surveillance de l'altitude. Parce que dans les zones montagneuses et tout, des fois la navigation passe entre les montagnes et donc faut vraiment être sûr de là où on est.

Donc l'information principale là c'est l'altitude ?

C'est l'altitude et puis la position de l'avion. Savoir si on est vraiment entre les montagnes ou pas. Et plus on descend et plus... jusqu'au moment où on est sur l'axe d'approche où là, on sait que tant qu'on respecte les altitudes qui sont marquées, c'est bon.

A quel moment en fait, on passe de la descente à l'approche ?

La réponse réglementaire c'est à l'IAF, quand on passe l'IAF, l'intermédiaire approche fixe. C'est là où on a quitté notre navigation pour aller sur notre premier point de l'approche. Généralement, c'est à peu près là. Ou alors, déjà quand on est passé en vecteur radar, le contrôleur d'approche, là on est déjà dans la phase d'approche et d'interception de notre axe d'approche.

Et pendant cette phase d'approche, est-ce que la tâche de navigation reste la même que pendant la phase de descente ?

Non, elle est plus concentrée sur un axe. Alors qu'avant elle pouvait évoluer en fonction d'un guidage radar et des directs qu'on pouvait nous donner. Là elle est vraiment sur un axe qui est bien défini qui lui ne bougera pas. Donc c'est plus du contrôle de... soit de l'altitude et de la distance d'interception pour un glide qu'on va faire, ou alors sur une approche de non précision, c'est sur les différentes distances que l'on a par rapport à la carte, et à checker par rapport à quelque chose de réel. Parce que si j'ai une information qui vient de mon GPS et que sur la carte y a des informations GPS qu'on me donne, ben je cross check que mon GPS est bon. En revanche, je sais pas du tout si je suis sur mon profil ou pas. On va avoir un map shift et tout que j'ai pas vu, et ça ne me dit rien. Je vérifie que l'information qui est marqué là, c'est la même que celle qui est là. Aucun intérêt. L'information que me dit mon GPS, moi j'ai toujours tendance à

me dire que tout ce qui est GPS et IRS, c'est un monde virtuel. Il me dit, bon en fonction des satellites que je calcule et tout ça, je pense que t'es là. Et en fonction des positions qu'il a trouvé, il me recrée le monde tout autour parce qu'il sait que par rapport à cette position, tel VOR il se trouve à telle distance dans tel axe et ainsi de suite, il me recrée le monde autour. Mais c'est du virtuel. Moi, faut que je check par rapport à du réel. Donc si je peux dire à un moment voilà, effectivement t'as calculé que t'es là. Moi je regarde le VOR qui est là. Lui il me dit que vraiment je suis là, bon. Mais si un jour j'ai la navigation qui me dit qu'il faut aller là puis j'ai l'aiguille qui me dit d'aller là, la vérité c'est l'aiguille. Y a beaucoup de pilotes qui des fois oublient que la vérité c'est l'aiguille.

En fait, y aurait une comparaison de deux données ...

Qu'il faut quand même toujours garder un petit peu. Ça permet toujours de continuer à s'entraîner un petit peu à piloter un petit peu à l'ancienne. Parce que d'après mon expérience, on s'y habitue très vite au glass cockpit. C'est... au début on est perdu parce qu'il y a trop d'information, on sait plus où regarder, y en a trop. Très vite après, on sait les gérer. On sait que quand on en a besoin, elle est là. On la regarde pas parce qu'on en a pas besoin. Mais si j'en ai besoin elle est là. Donc clac, clac, clac, clac et on a plein d'informations qui peuvent être prises, plein d'anticipation. En revanche, un jour, y a un instructeur qui m'a dit ben voilà, ton FMS est en panne. Eh bien je me suis retrouvé aveugle. J'ai eu l'impression d'être aveugle, qu'on m'avait coupé la vue. Alors qu'en fait, j'avais plus qu'avant, puisque j'avais toujours la petite silhouette avec les dessins des VOR qui étaient là, et pourtant j'étais perdu dans ma navigation. Parce que j'ai été déstabilisé. Donc le fait de continuer à savoir toujours utiliser les aiguilles et tout, permet de continuer à suivre cette navigation. Mais c'est vrai quand on fait des vols routiniers des fois, on a tendance un peu...

A faire avec ce qui est fourni.

Voilà.

Et donc dans l'approche, c'est toujours du suivi de la position avec altitude et...

Ben plus on est près du sol et plus c'est important vraiment de vérifier qu'on est là-dessus.

Et est-ce que le pilote va être amené à prendre des décisions durant l'approche ou plutôt en phase d'atterrissage ?

Ça va être les deux. Parce que pendant l'approche, à tout moment, il peut décider d'interrompre l'approche parce qu'il y a une...la piste est bloquée. Par exemple, l'avion qui était devant, ben il a pas dégagé la piste, ou l'avion qui était encore devant, parce que des fois y en a quatre ou cinq qui sont approches, et c'est le petit train qui suit les uns. Et l'autre, ben il a éclaté une basket sur la piste, une roue, et puis il est bloqué et donc ben les autres, il faut faire une remise de gaz. Ça

peut être aussi parce que les conditions météo on fait qu'on a des conditions météo qui sont exécrables, et à un moment faut savoir dire stop. Alors ça c'est dur. C'est dur parce qu'on est fatigué, parce qu'on a envie de se poser, on a envie de finir avec ce vol, et à un moment faut quand même toujours savoir dire, ben non, stop, j'arrête, c'est... je le sens plus. J'ai ... ça va plus. Ça c'est dur, parce qu'il y a la pression économique aussi derrière. Si je fais une remise de gaz, mais passagers, ou je suis déjà un peu en retard, ils vont louper leur correspondance, ça va couter cher à la compagnie. Si je fais une remise de gaz en même temps, je vais consommer du pétrole, ça va prendre du temps. Donc, y a une tendance naturelle qui est de vouloir aller se poser, et puis en même temps, de pouvoir aller à l'hôtel, on va pouvoir se reposer, ça va peut-être me faire aller au resto tranquille, alors que là ça va être le bazar. C'est aussi con que ça des fois. C'est pas forcément que le pilote a envie de mal faire. C'est que y a plein de chose qui peuvent rentrer dans la tête à ce moment-là. Et qui peuvent forcer à dire non, je continue. J'ose, j'y vais. Des fois la fierté. Parce que faire une remise de gaz, quelque part, c'est un peu comme un échec. J'ai merdé mon approche. Alors qu'en fait non, c'est je vais faire une approche sûre. C'est le contraire, mais des fois... c'est idiot. Donc c'est à tout moment pendant l'approche, je vais le faire. Mais même après, une fois que j'ai ma décision, c'est pas pour autant que je vais me poser. Même une fois j'ai touché les roues, et pourtant je peux remettre les gaz. Tant que je n'ai pas utilisé des moyens de décélération et de freinage, tels que les autobreaks, les spoilers et tout ça, je peux être amené à refaire une remise de gaz. J'ai un truc et je vois que j'ai un cerf qui se trouve sur la piste, je fais une remise de gaz. Ça, ça arrive. Une fois moi, j'ai tué un lapin en touch and go.

Et là, même si c'est pas très gros un lapin, ça peut quand même...

Ah ben c'est un moment ... c'est que je l'aurais bien évité mais je bouge quand même plus difficilement que lui, et puis je vais pas me mettre ...

Mais par rapport à l'avion, ça a pas posé de souci ?

Ça peut faire des dégâts. Ça peut arracher des tuyaux d'hydraulique, ça peut ... parce qu'on le prend quand même à 180 km/h. moi, je l'ai pris autour de 100 nœuds. Donc c'est quand même une bonne vitesse d'impact. Moi j'ai vu déjà ce que donnaient des chiens sur une voiture, c'était une Mercedes pourtant. La Mercedes elle faisait un mètre de moins. Ça fait des dégâts. Donc si on peut on va faire une remise de gaz. Maintenant, sur un gros appareil, c'est pas si facile que ça, donc... sur un lapin, il va se poser et on va s'arrêter. Mais en revanche, si c'est un cerf qui se trouve devant, s'il est très loin, peut être qu'une remise de gaz sera préférentielle. Donc là, y aura remise de gaz et puis l'avion va toucher et va repartir aussi tôt. Donc la décision, on dit qu'il faut rester go minded jusqu'au dernier moment. Jusqu'au moment où on a touché les roues

et qu'on a commencé à décélérer. Et là vraiment on s'arrête parce qu'il y a pas d'autres solutions.

Et est-ce qu'il y a une tâche de navigation pendant la phase d'atterrissage ?

C'est rester sur la piste.

C'est plus du pilotage ?

Ça peut être de l'autoland aussi, donc c'est faire confiance en ses automatismes pour qu'ils nous posent sur la piste et qu'ils nous maintiennent l'axe de piste. Parce que des fois ils peuvent se poser avec des visibilités qui sont de 00, donc on voit rien. On voit juste de temps en temps une bande blanche qui passe. Ou alors, c'est à la main. La plupart du temps c'est à la main, donc c'est contrôler l'avion sur la piste. Ne pas se laisser embarquer par le vent. Ne pas se laisser embarquer parce que la piste est glissante. C'est contrôler son avion pour l'amener à une vitesse où on contrôle l'avion et où on est sûr que ça peut être l'arrêt complet ou arriver à sa vitesse de roulage. Et après le vol n'est pas fini parce qu'il faut encore faire le roulage jusqu'à ... On repasse dans la navigation qui est comme le taxi pour le takeoff sauf que là on va en sens inverse, on va vers la gate.

Mais sinon, c'est la même chose ?

C'est pareil. Ça peut être long des fois aussi. Barcelone, c'est long. Entre le moment où on se pose et le moment où on arrive à la gate, y a bien des fois 20 minutes.

Et la charge de travail, à partir du moment de la descente, est-ce que...

Elle augmente. Parce que y a de plus en plus de pression, de plus en plus de vérification, de plus en plus de monde. Autant quand on décolle, on va vers l'allègement. Autant quand on se pose, on va vers la complexité. Et puis vers, peut être quand il fait pas beau, on va vers la phase où là ça va commencer à secouer, ça va commencer à bouger, ça va commencer à avoir tous les impacts du sol. Avant on est au-dessus, donc on passe... généralement, on est au-dessus, ou alors ils sont à côté, on peut les éviter, c'est bien. Et quand on descend, ben là, on va devoir traverser toutes les couches nuageuses qui font des turbulences, qui font du givrage, ou il peut y avoir du cisaillement. Donc on va vers la complexité, et vers le temps qui, au lieu de se dilater, se contracte. Donc ça va de plus en plus vite, et pourtant il faut... et c'est la phase où il faut aller de plus en plus vers la concentration. Donc on passait d'une phase qui était concentrée vers une phase où on est cool. Et là, on est dans une phase où il fait cool, surtout quand on était en équipage avec toute une tranche arrière, eux la mission était terminée, donc y avait un relâchement, ils préparaient les papiers pour les comptes rendus de mission, derrière ça commençait à déconner, à rigoler et tout ça. Et devant, tant qu'on est en croisière, on rentre, c'est la fin de la mission, on s'est fait 12 heures de nuit, bien fatigué, et puis là on attaque la

phase de descente et faut se reconcentrer. Alors que derrière ça continue de déconner. Donc c'est un peu... c'est pas facile, parce que ça arrive, ça arrive, ça arrive, et que plus les conditions météo sont mauvaises, plus faut être concentré vraiment... mais généralement ils le comprenaient parce que les premières secousses, y avait le silence qui arrivait derrière. Ils disaient bon, faudrait peut-être les laisser tranquilles devant. Après, une fois qu'on est à la gate, y a tout le shoot down et le débarquement. Mais bon, là y a plus de navigation, la mission est terminée.

Annexe 9 : Analyse thématique concernant les phases de vol pour l'entretien mené auprès du P1 de l'étude 2

Légende :

Préparation de vol

Préparation du cockpit

Roulage de départ

Préparation décollage

Décollage

Préparation de la montée

Montée

Préparation croisière

Croisière

Préparation descente / approche

Descente

Préparation approche

Approche

Atterrissage

Roulage

Est-ce que vous êtes d'accord avec toutes ces phases ?

Là, j'aurais plutôt mis aircraft preparation qui est un peu plus générique parce que dedans y a quand même le tour de l'avion aussi, le work around, toute la préparation du cockpit. Mais y a aussi toute la préparation du chargement, les problèmes qui peut y avoir sur toutes les phases d'embarquement, des passagers qui sont handicapés... Et donc c'est pas que le cockpit. Le commandant de bord va être souvent interrompu par bon voilà, la loadfeet arrive, y a un changement ici, on doit embarquer 5 personnes avec des sièges handicapés donc est-ce qu'on a les issus de secours, est-ce qu'on a ci, est-ce qu'on a le personnel, où est-ce qu'on les met. Y a des enfants qui sont en bas âge, donc faudra avoir les ceintures. Y a tout un environnement qui en dehors de la cockpit preparation est que le monde serait plus simple qi y avait que ça. Y en a un petit peu plus. Donc je mettrais plus aircraft preparation. Puis y a le tour de l'avion aussi qui doit se faire où y a des vérifications.

En fait, c'est une tâche parmi une phase...

Voilà. **Donc le taxi**...check climb preparation.... Qu'est-ce que vous entendez par là ?

Est-ce que vous faites une préparation de la montée, soit une vérification de données, soit un briefing ou autre ?

En fait, cette partie-là, elle a été briefée ici pendant le ... juste avant le roulage en fonction de la clairance qui a été donnée, et en fait ce check sera plus si y a une modification pendant le roulage qui intervient où effectivement là on va devoir rappeler ... vérifier... enfin introduire dans le FMS les nouveautés. Forcément faut que ce soit cross-checké par l'autre pilote, et à ce moment là va falloir updaté le briefing aux nouveaux items en refaisant un mais qui ne va reprendre que les items principaux de modification. Si y a pas de changement, bon ben c'est comme ... Donc la phase peut très bien être inexistante si tout va bien et que tout est conforme.

Donc le décollage. Là, takeoff préparation, c'est ... plus dans le sens takeoff qu'on va le faire. La montée y a pas vraiment de ... c'est une montée quoi. C'est un ensemble en fait. C'est le décollage plus la montée initiale. Donc après le décollage. Y a toute la phase de montée oui. La check croise preparation elle est quasiment inexistante. Ça fait partie après du vol. Donc on passe en croisière et juste vérifier qu'on est bien ALT CRZ au niveau de notre FM et puis c'est tout. Y a rien de plus simple. Après la phase de croisière oui. Alors préparation descente et préparation approche c'est une phase ensemble. On fait une seule. On prépare toute la descente. En fait, avant de commencer la descente, on va tout préparer pour que, au niveau du briefing quand on va le faire, on puisse raconter tout ce qu'on va faire pendant la descente. Y a des choses particulières. Et surtout la phase d'approche, parce qu'en fait l'important, c'est plus on est près du sol, c'est une phase critique en fait. Tant qu'on a de l'eau sous la quille on peut dire, y a de quoi faire. Mais plus on se rapproche du sol et moins y a de marge et plus va falloir être vigilant et plus les choses se précipitent. On passe d'une phase qui est très calme pendant la croisière et à partir du moment où y a le début de descente, le temps s'accélère. Ça se multiplie très rapidement. Et jusqu'arriver au niveau du sol. Une fois qu'on est au sol et que l'avion est contrôlé, on est à vitesse de taxi, c'est un peu plus tranquille à nouveau. Et plus les conditions météo sont mauvaises, et plus cette phase aussi dans la dernière partie devient... peut être intense et où on peut être amené des fois à réagir en fonction de sensation. On va dire pourquoi t'as fait ça ? J'en sais rien. Je l'ai fait parce qu'il fallait le faire.

Des prises de décision très rapide ?

Très rapide. Des contrôles. Ben l'avion est parti et clac, clac je l'ai rattrapé. Je me souviens d'une fois où on est arrivé, il faisait un temps pourri. On avait fait un vol très long tout de nuit. On arrive il fait nuit en plus. Quand on arrive et qu'y fait jour c'est déjà plus facile, on voit mieux, ça nous réveille. Mais là on arrive de nuit avec vent maximum traversier, pluie battante... enfin, tout ce qui s'en suit. Je sais qu'entre le moment où on a commencé l'arrondi jusqu'au contrôle de l'avion, je m'en souviens pas. Voilà, c'est une phase qui s'est passée.. j'ai réagi en réflexe. Je sais pas ce que j'ai fait mais j'ai contrôlé l'avion et puis on était posé. Derrière ça c'est bien fini

mais c'est une phase de contrôle voilà, tout est bon, on peut se poser, on a les paramètres, la distance, donc on est pas trop long. On se pose. Et là, c'est on se bat avec l'avion. Contre les éléments plutôt, parce que l'avion il réagit... Donc on se bat contre les éléments pour que l'avion fasse ce qu'on veut et pas que ce soit les éléments qui décident de ce qu'on fait. Jusqu'au moment où on est posé et puis voilà. Et puis on s'arrête. Et là, c'est bon y a plus qu'à rouler. Donc tranquillement. Puis l'équipage qui est derrière recommence à redevenir... alors qu'y a un grand silence qui se crée à un moment. Voilà.

Est-ce que vous pourriez me dire comment vous définiriez la tâche de navigation en général ?

La tâche de navigation, c'est suivre une trajectoire sol alors qu'on est soumis à un atmosphère qui bouge, donc une trajectoire aire. Donc c'est bien suivre qu'on est bien sur le trait qu'on ait prévu de suivre et puis de respecter les obstacles. Bon avec les avions modernes, les histoires de pannes moteurs où il faut avoir les plafonds de rétablissement c'est plus aussi problématique qu'avant. Avant il fallait penser bon on survole les alpes donc si on a une panne, il va falloir aller de tel côté, de tel côté. Maintenant, surtout avec le 380, même des fois on perd un moteur, on peut encore monter. Bon on monte. Des fois on peut être à 35 000 pieds, quand on perd un moteur, on peut monter encore à 39 000 pieds. Donc on est plus gêné. Faut en perdre 2. Et encore, perdre deux, y a que l'Himalaya qui commence à nous gêner mais sinon c'est tout. Donc on est tranquille en fait maintenant. Ce qui était pas le cas avant.

Est-ce que je peux juste rajouter une chose ? C'est qu'avec la navigation moderne, GPS, FMS et tout ça, on suit le trait vert. Alors c'est très beau, c'est magnifique. L'ennui c'est que, quand ça merde, on a besoin d'un pilote qui réagisse. Donc on ne forme plus vraiment les pilotes à naviguer à l'ancienne, avec les aiguilles et tout ça. Donc la génération qui sait encore le faire, ça ira. Mais plus on va avancer, et plus cette génération disparaîtra et on aura des gens qui ne sauront plus faire. Mais c'est qu'on est pas encore avec des avions, qui même en panne, sont capables de continuer à gérer comme ça. On y arrivera peut-être un jour, mais pour l'instant on y est pas encore. Donc on a tendance des fois à former un pilote à la nouveauté sans vraiment prendre en compte l'ancienne manière. Et ça pose des soucis, parce qu'on demande à un pilote des fois beaucoup de choses sans vraiment l'avoir formé à cette prise de décision. Donc c'est un peu le défaut, le revers des automatismes, de la nouveauté où ben ça fait gagné, c'est beaucoup plus facile mais en contrepartie... Alors, je suis pas du tout à dire qu'il faut revenir à l'ancien temps. Faut aller de l'avant, on est obligé. Maintenant, ne mettons pas des fois la charrue avant les bœufs, parce que ça fait gagner des sous, ça coûte cher, mais en même temps ça coûte cher mais quand y a un accident ça coûte très, très cher. Donc le but, c'est quand même d'arriver à pas avoir d'accident.

Alors par rapport à la phase de préparation de la mission...

C'est un des points les plus importants.

Est-ce que pour vous il y a une tâche de navigation pendant la phase de préparation du vol ?

C'est le point le plus important. C'est là où tout se décide. C'est là où on va décider de la navigation en fonction de la météo. C'est là où on va voir les points particuliers, les problèmes. Donc ça peut être avec les ETOPS, c'est là où on sait que jusqu'à tel endroit on va appliquer ceci. C'est la phase de préparation qui est le moment privilégié pour pouvoir préparer tout ceci, où le pilote et le commandant de bord vont se retrouver, puis vont tracer sur la carte, vont regarder les routes qu'ils vont faire. Parce que dans le militaires, on était tout seul. Donc on préparait tout. On prenait nos cartes, on traçait nos routes, on calculait le pétrole, on faisait tout. Là, dans les avions de lignes, c'est le service opération de la compagnie qui prépare tout et qui donne ça aux pilotes. Donc le pilote, pour se mettre dans l'ambiance et prendre la connaissance, prendre action, enfin se familiariser avec le vol, faire part avec le vol, c'est le moment où il va le faire, en regardant tout ce qui était préparé et en épluchant. Et ça fait parti d'ailleurs de son rôle d'éplucher ces choses importantes.

Et c'est quoi comme données qu'il va vérifier ?

C'est à peu près les mêmes choses sauf que d'un côté, on lui fournit alors que nous, c'est nous qui allons chercher tout. Donc on avait plus de temps à passer dessus parce que toute cette partie était faite manuellement. Tandis que là, ça va être déjà les NOTAMs, savoir ce qui marche, ce qui marche pas, les problèmes de route et tout, ça peut être un secteur où on peut passer à côté d'une zone de conflit, donc ça va être se dérouter par rapport à d'autres choses, donc avoir des contacts particuliers, des choses particulières à faire attention. Y a des endroits pendant les guerre froide fallait faire attention, être sûr de sa navigation parce qu'il y a quelques avions de ligne qui se sont fait shooté avec ça. Donc y a des moments plus particuliers que d'autres. C'est aussi la météo. Parce qu'en fonction de la météo, on va préférer une route plus nord, une route plus sud. On va prendre peut être un petit peu plus de pétrole pour avoir plus de marge, parce qu'on sait qu'on va être amené peut être à faire plus de détour. Et puis après, ça va être les caractéristiques de la route et toutes les choses qui sont demandées. Si on est en espace RVSM, il faudra bien faire attention que l'avion le soit aussi. Généralement, ils le sont maintenant, donc c'est plus trop le cas. Ou alors se réviser certaines phases bien particulières en cas de panne, ou en MNPS, manual procedure, qui sont bien particulières. Voilà. C'est le commandant de bord un peu qui met le rythme. Le copil va plus être quelqu'un qui va guider, qui va peut être, si y a un oubli, ou si lui même veut insister sur un point, le dire au commandant de bord et lui dire voilà. Sinon, c'est le commandant de bord qui fait.

Par rapport au fuel, est-ce qu'il y a une proposition qui est faite au pilote ?

La proposition, c'est la proposition standard compagnie, donc avec le minimum requis réglementaire, plus peut être les minimums rajoutés par la compagnie. Après, le commandant de bord peut demander plus. C'est lui qui décide de cette marge d'ajustement. Alors y a des compagnies vont recommander de prendre le minimum. La plupart des grandes compagnies elles ... le pilote est libre de son choix. Donc faut pas en prendre trop... c'est toujours ça le problème. Ben faut pas en prendre trop parce que une tonne de carburant transporté, ben pour transporter cette tonne, il faut consommer plus de carburant. Donc au bout du compte, on se retrouve avec de la dépense superflue. Il faut pas en prendre pas assez parce que ça peut manquer. Donc c'est toujours un juste équilibre. C'est là où y a le rôle du commandant de bord, c'est la pression un peu entre j'en prendrais bien plus mais en même temps, bon, faut rester raisonnable, je vais pas en prendre trop.

Et ce choix, il doit le faire en préparation de mission ou il le fait plus au niveau de la phase préparation du cockpit ?

Non, il le fait pendant la préparation de mission. Après, quand il arrive dans la cockpit preparation, il informe le refueleur de ce qu'il veut.

Et ce choix de la quantité de fuel pris, ça va être par rapport à quoi ?

Par rapport à la météo, par rapport aux problèmes de la route, par rapport à toute... quand y a un problème qui va forcer... que l'avion finalement va consommer plus que prévu parce qu'il a quelque chose qui ne marche pas tout à fait correctement. Donc en fonction de tous ces points, c'est lui qui va peut-être en prendre un petit peu plus, un peu moins. Principalement, c'est la météo qui ... si à destination y a une mauvaise météo, il va peut-être en vouloir un petit peu plus dans la poche, qu'un peu moins.

Donc par rapport à la préparation de l'avion ?

Là c'est de la préparation, donc on met en fonction tout ce qui est avion, et puis y a pas trop de choses de navigation, mis à part la préparation du FMS. Donc c'est là qu'il va rentrer la route. Il va vérifier par rapport à son plan de vol, computer as flight plan. Donc il vérifie que ça correspond bien. Vérifier que les fuels correspondent. Que tout est conforme. Et puis, c'est plus de la vérification de ce qui a été décidé pendant la préparation.

Il arrive souvent qu'il rentre des co-routes ?

C'est des compagnies routes oui. Mais il doit vérifier chaque point. Il doit vérifier que ça correspond. C'est assez rapide, parce qu'en fait c'est des points, donc là clac, après je prends telle airways jusqu'à tel point, ok, donc là... donc c'est ... ça peut être pas très long et très compliqué non plus.

Et la piste de décollage, est-ce que c'est quelque chose que le pilote connaît à l'avance ou bien il le sait au dernier moment ?

Il a une idée, il le sait. Maintenant, ça peut changer. On peut se retrouver avec un autre départ, parce qu'entre le moment où y a la préparation et le moment où y a le décollage, ben le vent peut avoir tourné, les conditions peuvent avoir tournées. A Paris, c'est tout le monde qui passe d'un côté ou qui passe de l'autre. Donc c'est un moment, même si sur le terrain on aurait pu rester sur cette piste, ben les départs sont face à l'est. Allez hop, tout le monde dans Paris c'est face à l'est.

Et à ce moment-là, est-ce qu'il a préparé une autre piste qu'il suppose ...

Pas forcément. Mais c'est assez rapide de updater. Au niveau du FMS, c'est juste departure, prendre la piste, la sélectionner, et puis y a le départ qui est associé qui est donné généralement, donc au lieu du départ Moulin 5 bravo, ça va être un Moulin 6 Viktor qui correspond à l'autre côté. Il le rentre. Après il va updater la carte qui est de chaque côté, et puis il regarde. Alors sur du court courrier ça peut être important parce qu'il peut y avoir quand même... d'un côté on passait direct, on décollait puis on se reposait de l'autre côté. Et de l'autre côté, y a tout un détour parce qu'il faut faire tout un tour d'un secteur avant de rejoindre la route. En même temps, c'est anticipé. Y a quand même de quoi faire. Sur un long courrier ça va jouer sur pas grand chose.

Donc au niveau de la charge de travail du pilote, à un moment donné, si on lui change la piste au dernier moment au décollage, c'est pas quelque chose qui va lui...

Non, plus maintenant. Avant oui. Parce qu'avant, y avait des départs qui étaient très faciles. C'était monter dans l'axe jusqu'à tel point et puis après virez et puis après, hop ça y est, on partait. Et alors que de l'autre côté, c'était montez jusqu'à tel endroit, stabilisez, contactez telle fréquence, repartir de l'autre côté, prendre ceci, prendre... et donc c'était un peu plus difficile. Y avait des départs où... et puis surtout on jouait qu'avec les aiguilles. Donc c'était des affichages de radio, en même temps que la radio qui parlait, des changements de fréquence. Alors que maintenant, tout ce fait automatiquement, on monte, zuiip. Passez telle fréquence, c'est le plus dur. Donc c'est beaucoup plus facile maintenant. C'est incomparablement plus facile.

Et est-ce qu'il a du calcul mental à faire ? Est-ce qu'il a des choses à calculer pendant cette préparation ?

Non. Le fuel on le rentre. Même avant, c'était juste vérifier que le fuel qu'on avait calculé avant correspond au fuel qu'on a vraiment dans les moteurs, enfin dans les réservoirs, et puis c'est tout. Non ça... Même pendant le vol, du calcul mental, y en avait avant mais maintenant, y en a de moins en moins. Tout est donné, tout est calculé.

Parce que je me demande si pour faire une vérification de ce qui est donné par le système, est-ce que le pilote refait des petits calculs, pour vérifier que ce qui lui est donné comme information est adéquat ?

Non, ça c'est plus pendant la préparation de mission que ça va se faire. Il va regarder... il sait qu'il a une consommation moyenne tant. Donc tant de distance, tant de temps de vol, donc multiplié par ça, il me faut à peu près 12 tonnes de carburant. Ça me suffit. Ou 250 tonnes de carburant et puis voilà. Et là il regarde, il trouve 260 tonnes et puis c'est bon.

Et donc ensuite, par rapport à la phase de taxi, est-ce que pour vous y a une tâche de navigation ?

Non. La seule tâche de navigation qu'il peut y avoir, mais à ce moment là le taxi sera interrompu pour refaire la préparation c'est si y a un changement dans la clairance. Donc là, va falloir updaté le FMS, que l'autre cross check pour réajuster briefing. Mais ça va être la seule tâche qu'il peut y avoir. Donc c'est pas vraiment, c'est pas une tâche de navigation. Si, navigation au sol. Parce que des fois les aéroports ils sont gros, ils sont complexes, donc va falloir faire le roulage et puis suivre le bon taxiway. Alors maintenant en plus, avec les derniers systèmes qu'on a chez airbus l'OANS, l'Onboard Airport Navigation System, directement y a la carte de l'aéroport qui s'affiche et on a la petite silhouette, donc ça aide beaucoup pour les ... ça aide bien. Donc y a des choses qui simplifient la vie. En même temps, ce n'est qu'une information. Ce n'est pas un système de guidage ou rien d'autre. Donc c'est à titre informatif qu'il faut le prendre. C'est une aide. C'est pas autre chose. Mais sinon, c'est tout. C'est de la navigation sol en fait. Qui est problématique. C'est je pars de ma gate et je vais jusqu'à mon point de manœuvre.

Et ça, ça se fait par rapport... le pilote, il regarde quasiment que à l'extérieur ?

Ah c'est que dehors. C'est que regarder dehors, oui. Même s'il fait très mauvais, ça ne peut se faire... y a pas de système pour l'amener jusqu'à un endroit.

Donc ensuite, par rapport à la préparation du décollage, en quoi elle consiste ?

Y a rien. Non, y a rien du tout. Il prépare son décollage, qui est la phase critique du décollage. Il va préparer le reste de la navigation. Il va juste informer comment on va faire ça, ça, ça. Si on a une panne moteur ou une panne importante, on va suivre peut être autre chose et c'est tout. C'est un petit briefing rapide et qui généralement à été fait à la préparation. Si y a rien de nouveau, ben voilà, on briefing, ok, check.

Par rapport au décollage, est-ce qu'il y a une tâche de navigation pendant cette phase ?

Non, c'est suivre son axe de piste et puis après, suivre son départ et puis c'est tout. Y a pas de phase de navigation.

C'est plus du pilotage ?

Ouais.

Il se fait en manuel le décollage ?

Oui, oui.

Pour vous, elle se termine quand cette phase de décollage ?

Règlementairement, c'est 50 pieds. Le passage à 50 pieds, c'est la fin du décollage. On passe dans la phase de la lancée. La réglementation, c'est 1500 pieds. 1500 pieds, 5 minutes, c'est la réduction, c'est la phase de décollage. On va passer le premier segment, le deuxième, le troisième et le final. Mais pratiquement, on va dire que c'est la fin de rentrée du train. Fin de rentrée du train, là le décollage est fait. Généralement, le pilote automatique est mis. L'avion monte et donc on suit le profil. On vérifie qu'il monte correctement. A partir du moment où il monte correctement, on va effacer les obstacles correctement et donc on est passé en phase de navigation.

1500 pieds se serait la réglementation. C'est la fin de la phase de décollage. Maintenant, je pense que pour un pilote, le décollage, c'est quand l'avion est en l'air, qu'on a rentré le train, tout va bien, on monte. Voilà. On est dans la phase après décollage.

Parce que sur le PFD, sur le bandeau du FMA, y a les différents modes, où il affiche un peu les différentes phases où il est. Est-ce que, par rapport à la rentrée des trains, ça sera déjà passé en phase de montée sur le FMA ?

Non, pas encore. On sera toujours en SRS. Moi, simplement, c'est que j'ai quitté le sol. J'ai quitté le sol et maintenant je monte. Donc je suis dans, on peut dire, dans la phase 2 du décollage. La phase 1 qui était le contrôle sol et puis la rotation et éventuellement garder mon axe de piste si j'ai besoin. Après, je passe dans la phase 2 de la partie décollage qui va être gérer la montée jusqu'au moment où j'ai rentré mes volets et que je suis clean et que ... voilà, mon avion est complètement lisse. Enfin, j'ai encore des trainées, j'ai encore des choses dehors mais je suis plus quand même dans une phase montée, début de montée, montée initiale.

Est-ce que pour vous c'est une phase qui requiert beaucoup d'attention de la part du pilote, qui requiert beaucoup de ressources attentionnelles, une forte pression temporelle ... ?

Surtout dans la première partie, parce qu'il faut quand même contrôler ... il faut à la fois... la plupart du temps tout se passe bien et en même temps, il faut être prêt à réagir s'il se passe

quelque chose. Et très rapidement, il faut être capable de dire j'arrête, je continue. Donc c'est réglé. Mais quand on entraîne au simulateur, on entraîne avec des pannes qui sont assez flagrantes, c'est blanc ou c'est noir. C'est assez facile. Dans la vraie vie, c'est souvent gris. On est jamais dans le franchement évident ou dans le franchement ben non, on continue. Donc toujours décider j'arrête ou je continue. En sachant ben voilà, là je continue, là j'arrête. Et donc ça demande quand même une prise d'attention, surtout que la vitesse accélère... donc plus on accélère, plus l'avion... surtout si les conditions météo sont pas très favorables, ben ça va glisser un petit peu. Ça va ... il va falloir le maintenir, il va falloir... parce que lui, plus il avance, plus il est prêt à partir, à décoller. Donc faut toujours être conscient de ceci. Faut bien faire les bonnes actions au bon moment, aux bonnes vitesses.

Est-ce qu'il y a des décisions que le pilote va devoir prendre pendant cette phase de décollage ?

Ben y a déjà jusqu'à 100 nœuds. 100 nœuds c'est le moment qui commence à être critique pour l'arrêt décollage. Donc déjà y a plein de pannes où avant on sera arrêté. Après, on va peut être continuer. Va falloir envisager de continuer. Y a V1 où là, quoi qu'il se passe, on arrête... enfin, on arrête de vouloir s'arrêter. C'est ce que je voulais dire. Faut continuer parce qu'on a plus assez de piste pour s'arrêter donc il faut continuer. Et puis, y a la fin où on approche près de V1, parce qu'on est proche de la vitesse de décision, et cette phase intermédiaire, suivant la panne, ben je vais peut être devoir dire, ben non, on continue quand même. Voilà, j'aurais dû m'arrêter. Maintenant, je sais que je suis sur une piste limitative. Si j'essaie de m'arrêter, cette panne va m'emmerder et va faire que finalement je vais pas pouvoir m'arrêter. Donc là, ça va être décision captain ça va être GO. Malgré qu'on soit un petit peu avant. Et donc faut toujours être GO minded, ça veut dire être plutôt avoir tendance à vouloir décoller plutôt qu'à avoir tendance à rester au sol et à s'arrêter. Bon après la rotation, y a toujours le moment de la rotation où dès qu'on passe en rotation... bon tant qu'on est sur trois points quelque part, on a une stabilité. Dès qu'on passe sur 2 points, ben ça peut partir beaucoup plus rapidement, donc y a toute cette rotation et puis surtout on a l'arrière qui passe pas loin du sol, donc si on tire trop vite, trop fort, on peut toucher. Donc une fois qu'on est en l'air, c'est plus bon le contrôle et puis le train va rentrer.

Donc la décision vraiment importante du décollage, ça va être arrêter ou continuer et si on continue, qu'est-ce qu'on fait après ?

Ben ce qu'on fait après, on l'a briefé. L'important, c'est pas de créer des choses pendant cette phase. Pendant ces phases, ça va tellement vite qu'on doit switcher au niveau du cerveau sur des phases qui sont déjà préétablies. On sait voilà que clac on fait ça, donc ... Et là, ah j'ai ça donc clac je bascule sur ce plan d'action. C'est des plans d'action qui sont empilés et puis on va prendre le plan d'action directement pour agir dans une phase bien particulière. Et ça là où

J'apprécie quand même beaucoup airbus, sans faire de publicité, c'est que c'est vrai qu'y a des plans d'action qui sont quand même bien définis et bien établis, où on n'a pas à recréer des choses qui prennent du temps. On est directement sur des choses qui sont ... une fois qu'on a bien compris ces automatismes, comment ils fonctionnaient, comment les vérifier, comment parler avec l'avion, comment il nous parle, on a plein d'information qui nous aident et qui nous font avoir du recul sur l'avion, et pas être avec l'avion qui se retrouve devant nous. C'est nous. L'avion il est devant, on le regarde et on est en arrière par rapport à l'action.

Ces plans d'action, c'est le pilote qui a décidé ce qu'il allait faire avant, ou ça lui est imposé par la compagnie ?

C'est imposé par la compagnie. C'est pas le pilote qui décide ce qu'il va faire. Alors après, effectivement, y a des choses où il a des options, donc c'est lui qui va choisir parmi des options qui sont possibles. Mais c'est des choses qui sont définies. C'est soit de la procédure airbus, soit c'est de la procédure compagnie, soit c'est des compagnies qui vont dire bon voilà c'est de la panne moteur, tu montes à 1500 pieds avant de te poser... de faire le level off. D'autres ça va être plus bas, d'autres ça va être plus haut. Et on applique les consignes de sa compagnie. Parce que si on les applique pas après... La seule fois où il peut être amené à... et encore ça se posera pour le militaire, pas dans le civile. Le civile, il partira sur des lignes qui sont ouvertes par la compagnie, donc avec des procédures bien établies. Le militaire, nous, on peut aller sur des terrains des fois où y a rien. Donc là, effectivement, on doit créer. Mais on crée toujours par rapport quelque chose qui est existant, par rapport à la réglementation. Alors, y a la réglementation et après y a les caractéristiques militaires. A un moment, on peut être amené à être en zone conflit. Et en zone de conflit, la réglementation c'est bien beau, mais ça s'applique pas à la zone de conflit. Donc là, y a peut-être des choses particulières, après décollage, eh ben je garderai l'avion plaqué au sol, on rentrera tout au ras du sol parce que faut passer le plus vite possible des batteries ennemies qui sont de l'autre côté de la piste, parce que si on monte normalement, ben on est vulnérable. Donc on montera à partir de tel point. Donc y a un truc qui va être particulier dans ces cas-là, où des fois on envisage plus la panne. Parce que quoi qu'il se passe, si y a une panne, ça va mal se finir. Donc c'est quelque chose de particulier, mais c'est applicable pour le monde militaire, dans des situations de conflits. Dans la situation normale, même le militaire, il va faire ce que la réglementation prévoit et ce qui est prévue. On en sortira pas à ce moment-là. Et même des fois, c'est déjà plus ou moins préparé... c'est des choses qui sont quand même préparées pendant la préparation de mission. C'est pas des choses qu'on va créer pendant la phase de préparation au décollage. C'est trop tard. C'est de la préparation de mission ça. On en revient toujours à l'importance de la préparation de mission.

C'est une des phases les plus...

C'est là où on va créer tout le vol et on va mettre de la cadence sur le vol et tout va être... on va essayer de planifier le plus possible pour avoir le moins de choses à faire après pendant le vol.

Donc ensuite, du coup, pas de préparation de montée...

Non, parce qu'elle s'enchaîne avec le takeoff. Tout a été préparé avant.

Donc pour vous, dans la phase de montée, est-ce qu'il y a une tâche de navigation dans cette phase ?

C'est toujours la phase de vérification des contraintes. Des contraintes qu'on peut avoir, des contraintes de stopper la montée à tel niveau, jusqu'à tel point, reprendre la montée, contraintes de vitesses qui peut y avoir, des contraintes données par le contrôleur, des contraintes où le contrôleur va nous donner des directs, donc, pour nous faire gagner du temps généralement, ou pour que lui il puisse nous faire éviter une zone. Ça peut être un environnement aussi où il peut y avoir beaucoup d'avions. On est près de l'aéroport, donc y a pas mal de trafic. Donc y a une surveillance par rapport aux autres avions. Donc ça va être des phases qui vont être comme ça.

Est-ce que c'est une phase qui requiert beaucoup d'attention de la part du pilote ?

C'est un peu moins que le takeoff mais y a quand même toute une phase où y a beaucoup de changements des fois avec le contrôle, des fois avec Paris. Donc y a beaucoup de trafic, y a beaucoup de monde et souvent, c'est ... quand on nous demande de changer de fréquences, on passe sur l'autre fréquence et là, ça arrête pas, ça arrête pas, ça arrête pas. Il faut profiter de la fraction de seconde où y a un petit blanc pour clac rebalancer le message et être le premier à balancer, pour que les autres se taisent. Donc c'est pas facile, parce que des fois on avance, y a les butées qui arrivent où on était clairé, et là, ben on arrive pas à en placer une parce que ça arrête pas et le contrôleur des fois c'est du sans arrêt, même pendant les phases de descente c'est pareil. C'est sans arrêt. C'est Air-France machin tournez à truc, vous, vous descendez vous prenez là, suisse air vous faites ci, vous faites ça, vous vous montez, vous vous descendez, vous vous tournez, vous vous passez sur telle fréquence. Eh je peux en passer une.

Et c'est possible que par exemple, on vous dise : montez à telle altitude et que le pilote dise non pour je sais pas quelle raison ?

Oui, bien sûr. Faut toujours se rappeler que le maître du vol, c'est le commandant de bord. Donc à partir de là, le contrôleur, il a été créé pour faciliter et pour rajouter une tâche de sécurité entre la gestion des avions. Maintenant, c'est pas le contrôleur qui décide. Le commandant de bord, si le contrôleur lui dit de monter à un niveau où l'avion est pas possible de monter, il montera pas. Donc si à un moment, le commandant de bord il a une descente d'urgence à

demander et que le contrôleur lui dit négatif, ça passera pas non plus. Donc y a des phases où le contrôle est là pour aider les avions, et c'est pas les avions qui doivent aider le contrôle. Bon y a un arrangement après, mais quand on dit faites ceci, faites cela, négatif, unable because... Est-ce que vous pouvez monter à tel niveau en moins de 5 minutes ? Eh ben, négatif, impossible. J'ai pas assez de puissance pour monter aussi vite. Ou alors, je peux pas me permettre avec la cargaison que j'ai de monter aussi rapidement, alors je monte plus lentement. Donc je peux dire non au contrôle. Et le contrôle le sait. Généralement, ça ... ils sont pas stupides non plus. Ils savent très bien que quand on peut on fait, que quand on peut pas, on leur dit non, on peut pas. Et c'est à lui de faire en sorte... des fois lui, il va aider pour faciliter. Donc il va monter plus vite, comme ça il va permettre à l'autre de pouvoir passer le niveau et de pouvoir descendre. Donc il gère un ensemble. Maintenant on peut pas. Ben des fois, on arrivait avec des avions qui étaient quand même de génération ancienne, sur Paris, en descente à 200 nœuds. Est-ce que vous pouvez accélérer monsieur ? Oui, à 205. Bon ben restez à votre vitesse alors. Ça sert à rien du tout. Il avait compris que c'était non. On peut pas, on peut pas. Parce que notre vitesse max c'était 205, on peut pas plus.

Et les directs, c'est les pilotes qui vont les demander aux contrôleurs ?

C'est le contrôleur qui va les offrir.

Sans forcément qu'il y a une demande...

Sans forcément. Alors ça dépend un peu du bon vouloir du contrôle. Des fois, ils sont bien lunés, ils vont lui donner facilement. Des fois, ils ont pas trop envi de s'embêter, donc ils vont pas lui donner. La plupart du temps, ils essaient quand même de fluidifier le trafic, donc ils essaient de les donner.

Ça les arrange aussi de les donner ?

Pas forcément. Eux non, c'est à peu près pareil. Mais ça fait partie de leur travail. Et puis après c'est le pilote qui peut dire à un moment, est-ce que je peux aller direct jusqu'à tel endroit ? Alors, c'est ben je vous rappelle ou oui à partir de tel point ou attendez c'est pas possible, y a trop de trafic. Si on demande pas, on aura pas, donc...

Et au niveau des informations que vous allez surveiller pendant cette montée ?

Ben déjà les obstacles, parce que tant qu'il y a des obstacles. Après quand on est au dessus, y a plus de souci. Ça va être le départ surtout, c'est la partie la plus dense. Et puis après surveiller sa navigation par rapport à la carte, c'est tout.

Vous surveillez tout ce qui est altitude...

Altitude moins, parce qu'on s'éloigne du sol. Donc dans ce sens là, ça va. Alors ce qui fait que les obstacles, une fois qu'on est au dessus de l'altitude de sécurité, y a plus d'obstacle autour. C'est plutôt par rapport aux autres trafics que ... qu'il y ait pas une alerte TCAS qui arrive. Et encore, même maintenant, tout ce fait automatiquement avec le 380. Donc... et puis c'est juste par rapport à la carte, qu'on est bien sur la trajectoire qui est demandée.

La carte papier ?

Oui, la carte papier, je crois qu'il la vérifie toujours, quand même un petit peu. Y a toujours la carte papier. Maintenant, la carte c'est devant. Mais c'est intéressant toujours de savoir par rapport au papier ben voilà on est là, on va par là, ça correspond donc tout va bien. Avant, c'était plus problématique, parce qu'avant on avait pas tout ça, donc quand on nous disait un direct pour aller sur tel point, alors soit c'était un VOR et à ce moment là, on mettait la fréquence on avait l'aiguille et ça allait. Des fois c'était trop loin donc on avait pas l'aiguille. Ou alors c'était des intersections, c'était des points... des intersections de différents radial qui donnés un point, donc là, c'était un peu, on prenait le stylo, clac, voilà, donc ça fera du 325 pour, clac, 62 nautiques. Il fallait le vérifier. Donc après, y a une habitude qui se fait, ce qui fait qu'on sait en fonction du vent, en fonction de tout. Mais avant tout ce calculait. On calculait le vent, on calculait la vitesse sol, il fallait calculer ensuite le temps. Il fallait calculer sa dérive. Y avait pas tout ça avant. Mais ça se faisait à peu pr... après ça se faisait un peu au nez on va dire. On sait qu'aux vues de la carte météo, on avait du vent qui était de tant, donc clac, directement on affichait 4 degrés. On voyait. C'était pas suffisant, allé 5. Ouais, c'est bon, ça marche.

Avec le cap aussi, c'est une information...

Avec le cap... mais maintenant y a tout. Maintenant, il fait tout. Donc y a plus besoin de calculer du tout. Avant fallait calculer de tel point à tel point. Allé, j'ai 250 nautiques, donc en vent, je sais que j'ai un vent de tant pour tant. Donc ça me fait un vent de... , donc j'ai une vitesse sol qui va être de tant. Donc ça va être calculé avec le facteur de base, donc ça va être calculé le temps que je vais mettre d'un point A à un point B et on recalculait tous les points et à chaque point fallait réajuster tous les calculs. Ça se faisait assez rapidement. C'était de l'habitude de calcul mental. L'étape de sinus et cosinus, on avait l'approximation, on les connaissait. Maintenant, les jeunes pilotes, je suis pas sûr qu'ils les connaissent. J'en ai vu plein, ils les connaissent plus. Ils savent même plus calculer un vent en approche, parce que le FMS le dit. Ça leur est plus demandé. En même temps, des fois, ça permet de savoir à peu près...

Est-ce qu'il y a quand même des vérifications comme ça qui étaient faites ?

Ben les anciens le faisaient. Mais les nouveaux ne le font plus. Ce qui pose souci.

J'ai discuté avec une pilote qui me disait que ça lui était arrivé une fois sur le ND que l'avion était posé sur le trait, mais ils se sont aperçus qu'il y avait un décalage entre leur position sur le ND et leur position réelle.

Oui, ça c'est toujours de la surveillance de navigation secondaire. Quand on peut le faire, parce que maintenant, on peut du coup de moins en moins le faire, parce que y a tout le système RNAV qui arrive. Des fois, la navigation n'est plus, n'a plus de repère par rapport à un VOR. Mais encore, la plupart du temps on l'a. Donc on peut vérifier par certains points si on l'a. Mais encore faut-il que le pilote il l'ai vérifié par rapport à... tient voilà, y a tel VOR, tac je suis sur tel axe, donc voilà, clac, oui c'est bon, ma navigation elle est bonne. Ou alors, c'est surtout pendant les phases d'approche que c'est important. Et là, les pilotes le font pas toujours. Parce qu'ils ont tendance à croire la boîte qui est devant. Enfin, l'image qui est devant. C'est tellement plus facile.

Donc préparation de croisière...

Non y a rien du tout là. Ici, on passe d'une phase qui termine la montée... enfin, passant le niveau 100, déjà, y a une partie de la montée qui est plus tranquille. C'est... déjà, pour les pilotes Air-France, par exemple avec le 380, pour le HUD, ben là ça y est, ils peuvent le clac, ils peuvent le remonter. Il est obligatoire en dessous, mais au dessus ils peuvent le remonter, et une fois qu'on est en croisière, on passe dans une phase qui est plus relax. On peut pas se permettre de rester pendant 4 heures, 5 heures, 6 heures, 10 heures, en phase hyper tendue où les deux pilotes sont concentrés, ils sont en train de calculer et tout ça. Forcément, ça passe par une phase qui va être plus relâchée, qui va être moins attentive. Mais c'est ... après, c'est des phases alternatives. Donc y en a un qui se repose, qui va lire. L'autre pendant ce temps-là, ben il va faire son loc de navigation, il va s'occuper des calculs. Et puis après ça va être ah ben tient, je passe tel point, bon écoute, je pose le papier, le figaro ou le libération, et puis je recalcule mes choses, mes données pour que ça corresponde, je remplis les papiers.

Qu'est-ce qu'il vérifie à ce moment-là comme données ?

Chaque fois qu'ils passent un point, ils sont censés vérifier que pétrole correspond, qu'il y a pas de ... parce que ça permet de savoir aussi... on avait calculé qu'on devait passer avec tant de pétrole, et on s'aperçoit qu'entre temps, ben y en a beaucoup moins que prévu. Il en reste moins. Et forcément, le quantité de fuel qui a été utilisé plus la quantité de fuel restant, ça doit être égale au fuel qu'on avait au départ. Si on en trouve plus, on s'est trompé. Parce qu'on a pas inventé d'avion qui crée du pétrole encore. Donc on s'est trompé. Et quand recalcule, si on trouve moins, en revanche, là, c'est problématique, parce que ça veut dire qu'on en a perdu. Comme on est en vase clôt, ce qu'on consomme forcément c'est en moins. Donc peut y avoir une fuite. Donc c'est pour vérifier, vérifier ceci, noter le temps, noter la météo. Alors des choses qui se font automatiquement. Maintenant, on appelle des pages et tout se fait

automatiquement. Demander une clairance océanique maintenant c'est d'une simplicité ; avant, y avait un message établi, fallait remplir les cases, fallait bien tout dire et après tout renoter. Maintenant, les clairances océaniques, c'est la page est pré-préparée, on voit plus les blancs. On l'envoie. Quelques instants après, bizzt, ah message ACARS, ok, clairances océaniques clac, clac, clac, clac, c'est bon, acceptées ou refusées. Acceptées. Voilà. C'est pas plus compliqué que ça. Donc les choses se simplifient.

Et c'est réellement fait par les pilotes toutes ces vérifications ?

Ils sont censés le faire. S'ils le font pas c'est qu'ils font pas leur boulot. Parce que c'est juste aux points tournants donc c'est quand même... quand ils sont en croisière, les points sont assez longs. Alors, sur les petits vols c'est différent puisque sur les petits vols, y a quand même beaucoup de choses qui doivent être faites et puis la distance de croisière est très courte. Donc c'est pas forcément à tous les points que tout ce fait. C'est pas à tous les points que ça se fait. Parce qu'il y a d'autres choses à préparer. A un moment, va falloir faire la préparation de l'arrivée. Et y en a pas un qui va être en train de faire toutes ces notes pendant que l'autre il est en train de faire la préparation. Il faut toujours qu'il y en ait un quand même qui regarde dehors.

Et après, entre temps, ça peut être des périodes un peu de ...

Quand c'est des longues périodes, oui, y a des périodes qui sont calmes en fait.

La charge de travail c'est juste de la vérification de données ?

Du monitoring. Donc c'est du monitoring effectivement. C'est de... ça s'appelle de la routine. Donc c'est là où y a besoin aussi de casser cette routine. Donc les pilotes vont parler du resto qu'ils vont faire à l'arrivée. Ils vont parler de... ça à l'air de choquer des fois les gens, mais non, c'est pas possible de rester professionnel pendant 10 heures en parlant que de trucs professionnels. Mais aussi les pilotes, faut qu'ils prennent l'habitude, pendant cette période, d'aller approfondir peut être un petit peu leur connaissance sur l'avion, d'aller regarder dans le FCOM, de trifouiller un petit peu dans les pages du FCOM pour augmenter leur connaissance de l'avion sur des points qu'ils maîtrisent pas trop. Généralement, les pages qu'on a pas envie de regarder, c'est les pages qu'on doit bosser. Ben c'est un peu comme tout. Quand on fait de l'exercice physique, ce qu'on aime pas faire, généralement, c'est ce qu'on doit travailler. Donc c'est lui, à charge personnelle, de le faire. Le pilote, qui a un moment, il prend que les magazines, et puis pendant tout le vol ... il peut le faire pendant un vol, mais l'autre vol, il va le regarder. S'il fait un vol de nuit, c'est peut être pas là où il va regarder le FCOM. Tout ce qu'il va lire, il va l'oublier dans le seconde qui suit, donc ça sert à rien. Le vol qui est un peu plus... de jour, qui est un peu plus calme, tout ça, à un moment, il va se dire, tient je vais aller regarder cette procédure parce que je m'en souviens plus beaucoup. Et je vais revoir ce truc parce que ça m'a interpellé. La compagnie me demande ça. Ils vont regarder les notes qu'ils ont reçu de la

compagnie. Ils profitent de ces vols pour faire un peu de tout ça. Bon, y a des pilotes qui ont tendance aussi à, dans une croisière, à se faire que du relax. C'est un juste milieu entre les deux. Il peut faire ses comptes personnelles à la maison à partir du moment où il fait autre chose aussi. Sur 10 heures, il a bien le temps de passer une heure à faire ça. Et s'il passe les 10 heures à faire ça, c'est pas bien aussi. Faut avoir de la curiosité, faut ...

Par rapport à la préparation descente/approche ?

Descente et approche oui. Tout se prépare. En fait, on prépare toute la suite. Tu te souviens que pendant la descente ça s'accélère. Donc y a plus le temps après. Tout se prépare à l'avance. C'est un petit peu comme la préparation va influencer tout le vol. Cette phase là va influencer tout le reste. C'est là où on va se préparer, on va tout préparer pour que toutes les options soient possibles.

Tout c'est quoi ?

Ben ça va être l'arrivée, l'approche qui va se faire avec peut-être l'anticipation sur d'autres approches. Parce que à New York par exemple, y a beaucoup d'approches et des fois, ça change. Des fois c'est la même mais c'est rare et ça change très rapidement, et ça peut être surtout la remise de gaz. Parce que la remise de gaz, si je dois me dérouter sur un terrain qui est juste à côté, et qui est pas très loin, ça va très vite. Si j'ai rien préparé, ça va... généralement, on le fait une fois, on le fait pas deux. Moi, je l'ai fait une fois où j'étais persuader que j'allais me poser parce qu'il faisait beau. Y a eu du vent mais il faisait beau. C'était en corse. Donc j'étais, je me souviens plus, sur Figari je crois, oui sur Figari. Approche sur Figari, beaucoup de vent, tellement de vent que impossible de me poser. Cisaillement de vent en finale, donc obligé de faire une remise de gaz. Le déroutement c'était Ajaccio. En Falcon 50, ça va vite. C'est très proche. Surtout qu'on est repassé dans les nuages. Que c'est quand même mal pavé à Ajaccio, y a des montagnes et tout. Et là il fallu faire les préparations et ça a été un rush. Alors, ça a été un rush. Et puis en plus y a la pression qui arrive, donc on se sent pas bien et on se dit, c'est passé, ça aurait pu merder, je me refais plus avoir.

Donc tout ce qui peut arriver, c'est préparé.

C'est envisagé si ça merde. Ça fait parti du boulot. La remise de gaz doit être inclut dans la préparation du vol. je fais ma remise de gaz, mais après je fais quoi.

Et du coup, c'est des entrées qui vont être mises au niveau du MCDU ?

C'est déjà préparé depuis le début en fait, la remise de gaz. C'est updaté pendant le vol parce que des fois ce terrain va se fermer avec la météo donc le déroutement va être à un autre endroit.

Mais sinon, tout ça, c'est déjà préparé pendant la préparation de mission ?

Oui, oui. y a des déroutements qui sont prévus, qui sont celui-là, celui-là, celui-là. Y a des déroutements qui sont en route aussi. On sait que si on a une panne à telle endroit, ben que ce sera tel terrain ou tel terrain. Donc en fonction c'est le commandant de bord qui décide. Des fois y en a qu'un, des fois y en a plusieurs, donc c'est un choix, en fonction de la météo, en fonction de...donc y a toute une... aussi, pendant la croisière une phase où on va demander régulièrement la mise à jour de la météo. Donc avant ça se faisait en HF. Maintenant, c'est directement par ACARS. Y a une demande, puis clac. Tout tombe au fur et à mesure de manière automatique. Et y a rien à faire.

Et au niveau de cette préparation, est-ce qu'il y a une phase aussi où ils préparent l'atterrissage ?

Au niveau de l'état de la piste... parce que quand on arrive à la décision de notre approche, c'est soit on fait une remise de gaz, soit on se pose. Si on se pose, il faut savoir qu'est-ce qu'on attend comme repères visuels : est-ce qu'on a une rampe d'approche, est-ce qu'on en a pas, est-ce qu'il y a un lièvre, est-ce qu'il y a des feux de balises, est-ce qu'il y en a pas, où est-ce que je vais stopper l'avion en fonction de ma distance d'atterrissage. Alors maintenant c'est facile, on a un BTV, break to vacate, on le dit directement, tient, je veux m'arrêter là, et lui il va faire en sorte qu'on s'arrête là.

Et c'est le pilote qui décide ça ?

Ah c'est le pilote qui décide, oui, oui. C'est le pilote qui décide, je veux m'arrêter à tel endroit. Lui juste ce qu'il va calculer, il va dire voilà en piste sèche, tu vas t'arrêter là, piste mouillée, tu vas t'arrêter là. Maintenant, voilà, après tu choisies ce que tu veux.

Là, c'est libre choix au pilote de dire à quel moment il veut s'arrêter sur la piste ?

Oui. Voilà.

Et il va faire ce choix par rapport à quoi ?

Ça peut être par rapport à une facilité de roulage par rapport à la gate où il va aller. Parce que là, s'il va là-bas, ben finalement, il va devoir faire un trajet beaucoup plus long. Ça peut être par rapport au temps qu'il a ... que l'avion soit près. S'il s'arrête très rapidement, donc il va utiliser beaucoup les freins, les freins vont chauffer. Donc pour le prochain décollage, il peut être limité. Alors que s'il a pris l'exit qui est beaucoup plus loin, il devra rouler un petit peu plus mais en même temps, les freins auront été pratiquement pas sollicités, donc ils seront froids et il pourra décoller quasiment de suite.

Donc c'est par rapport aussi à ce qu'y va se passer aussi après. Il anticipe déjà pour le vol suivant s'il y a...

Pas toujours. On aimerait bien qu'ils anticipent un peu plus. Parce que les freins carbonés ça coûte cher aussi et les utiliser ... ben quand il faut les changer, ça coûte cher à la compagnie. Donc y a toute cette notion de commercial. J'ai utilisé, oui j'ai freiné comme un malade et j'ai roulé très vite, donc j'ai fait gagner 10 minutes à ma compagnie. Oui, mais en même temps, j'ai abimé mes trains et ils vont devoir changer les pneumatiques et puis les freins carbonés. Donc les 10 minutes que j'ai gagné, ça a fait économiser tant, mais en revanche, j'ai coûté 4 fois plus cher en maintenance de l'autre côté. Donc finalement, j'ai gagné rien du tout.

Et dans cette préparation, est-ce qu'il y a tout ce qui est altitude de descente, d'approche, la vitesse ?

Aussi. Tout. Alors y a des fois des choses qui sont prévues, qui sont... tout est automatique parce que ça fait partie de la carte d'approche, ou les restrictions de vitesse, d'altitude. Puis, y a des fois d'autres... des restrictions arrivent, parce qu'elles sont pas prévues. Donc ça, effectivement, elles sont gérées au fur et à mesure qu'elles arrivent. Et toute l'approche est préparée, les cartes sont préparées, la remise de gaz est faite et le pilote a déjà une idée s'il va retenter une deuxième approche ou s'il va attendre un petit peu avant d'en faire une deuxième ou alors s'il va se dérouter directement.

Donc ensuite par rapport à la phase de descente, est-ce qu'il y a une tâche de navigation pendant cette phase ?

Ben oui, parce qu'il faut suivre toute la trajectoire d'approche qui peut se terminer par un radar vector aussi. Mais même si on est avec un radar vector, on ne s'affranchit pas quand même de suivre ce qu'on fait. Parce que le contrôleur peut faire une faute, nous faire descendre en dessous de la sécurité, lui aussi c'est un humain, il fait des erreurs comme tout le monde. Donc c'est à nous à un moment à lui dire vous me confirmez je suis bien à votre altitude radar.

Et est-ce qu'il y a des calculs qui sont fait pendant l'approche ou pendant la descente ? Par exemple si on vous demande de descendre à telle altitude à tel moment, et finalement, l'avion ne peut pas faire ça.

Ça peut se faire, mais beaucoup de choses sont affichées maintenant sur le FMS, donc le pilote ne calcule plus. Y a beaucoup de pilote qui calculent plus, qui surveillent plus leur profil de descente parce que le système le gère. Y a des pilotes qui ont le top of descent qui est marqué sur le MCDU, ou sur le ND, donc ils le calculent plus. Ils vont plus s'amuser à se dire, tient je veux descendre à un plan de 3%, donc je vais faire mon altitude divisée par trois et ça va me donner ma distance pour débiter ma descente.

Donc y a pas de calculs de pente.

Voilà. Je suis au niveau 300, donc il va falloir qu'à 100 nautiques à peu près je commence ma descente. Donc au fur à mesure, ils vont calculer, ils vont surveiller leur plan de descente.

Donc c'est plus une surveillance de données au niveau des instruments que du calcul.

Oui, oui. Y a ce côté qui se perd. L'ennui, c'est qu'on est dans la phase de transition. La phase où on a vraiment plus besoin de le faire et la phase où y avait strictement besoin de le faire. On a plus besoin de le faire sauf que c'est quand même bien de le faire. Et s'y a problèmes, ben va falloir le faire. Donc voilà, c'est tous les automatismes, je le vois maintenant au training, tous les automatismes qu'on me sort m'embêtent plus qu'autres choses parce que si je n'avais qu'à entrainer l'automatisme, ça ferait gagner du temps, ça serait plus simple. L'ennui c'est qu'il faut que j'entraîne aussi la perte de l'automatisme et donc faut que j'entraîne à l'ancienne. Mais j'ai pas plus de temps. Donc y a un moment voilà... qu'est-ce que je fais ? Donc plus on va être près du sol et plus la phase de surveillance de la navigation est importante et surtout la phase de surveillance de l'altitude. Parce que dans les zones montagneuses et tout, des fois la navigation passe entre les montagnes et donc faut vraiment être sûr de là où on est.

Donc l'information principale là c'est l'altitude ?

C'est l'altitude et puis la position de l'avion. Savoir si on est vraiment entre les montagnes ou pas. Et plus on descend et plus... jusqu'au moment où on est sur l'axe d'approche où là, on sait que tant qu'on respecte les altitudes qui sont marquées, c'est bon.

A quel moment en fait, on passe de la descente à l'approche ?

La réponse règlementaire c'est à l'IAF, quand on passe l'IAF, l'intermédiaire approche fixe. C'est là où on a quitté notre navigation pour aller sur notre premier point de l'approche. Généralement, c'est à peu près là. Ou alors, déjà quand on est passé en vecteur radar, le contrôleur d'approche, là on est déjà dans la phase d'approche et d'interception de notre axe d'approche.

Et pendant cette phase d'approche, est-ce que la tâche de navigation reste la même que pendant la phase de descente ?

Non, elle est plus concentrée sur un axe. Alors qu'avant elle pouvait évoluer en fonction d'un guidage radar et des directs qu'on pouvait nous donner. Là elle est vraiment sur un axe qui est bien défini qui lui ne bougera pas. Donc c'est plus du contrôle de... soit de l'altitude et de la distance d'interception pour un glide qu'on va faire, ou alors sur une approche de non précision, c'est sur les différentes distances que l'on a par rapport à la carte, et à checker par rapport à quelque chose de réel. Parce que si j'ai une information qui vient de mon GPS et que sur la carte

y a des informations GPS qu'on me donne, ben je cross check que mon GPS est bon. En revanche, je sais pas du tout si je suis sur mon profil ou pas. On va avoir un map shift et tout que j'ai pas vu, et ça ne me dit rien. Je vérifie que l'information qui est marqué là, c'est la même que celle qui est là. Aucun intérêt. L'information que me dit mon GPS, moi j'ai toujours tendance à me dire que tout ce qui est GPS et IRS, c'est un monde virtuel. Il me dit, bon en fonction des satellites que je calcule et tout ça, je pense que t'es là. Et en fonction des positions qu'il a trouvé, il me recrée le monde tout autour parce qu'il sait que par rapport à cette position, tel VOR il se trouve à telle distance dans tel axe et ainsi de suite, il me recrée le monde autour. Mais c'est du virtuel. Moi, faut que je check par rapport à du réel. Donc si je peux dire à un moment voilà, effectivement t'as calculé que t'es là. Moi je regarde le VOR qui est là. Lui il me dit que vraiment je suis là, bon. Mais si un jour j'ai la navigation qui me dit qu'il faut aller là puis j'ai l'aiguille qui me dit d'aller là, la vérité c'est l'aiguille. Y a beaucoup de pilotes qui des fois oublient que la vérité c'est l'aiguille.

En fait, y aurait une comparaison de deux données ...

Ou'il faut quand même toujours garder un petit peu. Ça permet toujours de continuer à s'entraîner un petit peu à piloter un petit peu à l'ancienne. Parce que d'après mon expérience, on s'y habitue très vite au glass cockpit. C'est... au début on est perdu parce qu'il y a trop d'information, on sait plus où regarder, y en a trop. Très vite après, on sait les gérer. On sait que quand on en a besoin, elle est là. On la regarde pas parce qu'on en a pas besoin. Mais si j'en ai besoin elle est là. Donc clac, clac, clac, clac et on a plein d'informations qui peuvent être prises, plein d'anticipation. En revanche, un jour, y a un instructeur qui m'a dit ben voilà, ton FMS est en panne. Eh bien je me suis retrouvé aveugle. J'ai eu l'impression d'être aveugle, qu'on m'avait coupé la vue. Alors qu'en fait, j'avais plus qu'avant, puisque j'avais toujours la petite silhouette avec les dessins des VOR qui étaient là, et pourtant j'étais perdu dans ma navigation. Parce que j'ai été destabilisé. Donc le fait de continuer à savoir toujours utiliser les aiguilles et tout, permet de continuer à suivre cette navigation. Mais c'est vrai quand on fait des vols routiniers des fois, on a tendance un peu...

A faire avec ce qui est fourni.

Voilà.

Et donc dans l'approche, c'est toujours du suivi de la position avec altitude et...

Ben plus on est près du sol et plus c'est important vraiment de vérifier qu'on est là-dessus.

Et est-ce que le pilote va être amené à prendre des décisions durant l'approche ou plutôt en phase d'atterrissage ?

Ça va être les deux. Parce que pendant l'approche, à tout moment, il peut décider d'interrompre l'approche parce qu'il y a une...la piste est bloquée. Par exemple, l'avion qui était devant, ben il a pas dégagé la piste, ou l'avion qui était encore devant, parce que des fois y en a quatre ou cinq qui sont approches, et c'est le petit train qui suit les uns. Et l'autre, ben il a éclaté une basket sur la piste, une roue, et puis il est bloqué et donc ben les autres, il faut faire une remise de gaz. Ça peut être aussi parce que les conditions météo on fait qu'on a des conditions météo qui sont exécrables, et à un moment faut savoir dire stop. Alors ça c'est dur. C'est dur parce qu'on est fatigué, parce qu'on a envie de se poser, on a envie de finir avec ce vol, et à un moment faut quand même toujours savoir dire, ben non, stop, j'arrête, c'est... je le sens plus. J'ai ... ça va plus. Ça c'est dur, parce qu'il y a la pression économique aussi derrière. Si je fais une remise de gaz, mais passagers, ou je suis déjà un peu en retard, ils vont louper leur correspondance, ça va coûter cher à la compagnie. Si je fais une remise de gaz en même temps, je vais consommer du pétrole, ça va prendre du temps. Donc, y a une tendance naturelle qui est de vouloir aller se poser, et puis en même temps, de pouvoir aller à l'hôtel, on va pouvoir se reposer, ça va peut-être me faire aller au resto tranquille, alors que là ça va être le bazar. C'est aussi con que ça des fois. C'est pas forcément que le pilote a envie de mal faire. C'est que y a plein de chose qui peuvent rentrer dans la tête à ce moment-là. Et qui peuvent forcer à dire non, je continue. J'ose, j'y vais. Des fois la fierté. Parce que faire une remise de gaz, quelque part, c'est un peu comme un échec. J'ai merdé mon approche. Alors qu'en fait non, c'est je vais faire une approche sûre. C'est le contraire, mais des fois... c'est idiot. Donc c'est à tout moment pendant l'approche, je vais le faire. Mais même après, une fois que j'ai ma décision, c'est pas pour autant que je vais me poser. Même une fois j'ai touché les roues, et pourtant je peux remettre les gaz. Tant que je n'ai pas utilisé des moyens de décélération et de freinage, tels que les autobreaks, les spoilers et tout ça, je peux être amené à refaire une remise de gaz. J'ai un truc et je vois que j'ai un cerf qui se trouve sur la piste, je fais une remise de gaz. Ça, ça arrive. Une fois moi, j'ai tué un lapin en touch and go.

Et là, même si c'est pas très gros un lapin, ça peut quand même...

Ah ben c'est un moment ... c'est que je l'aurais bien évité mais je bouge quand même plus difficilement que lui, et puis je vais pas me mettre ...

Mais par rapport à l'avion, ça a pas posé de souci ?

Ça peut faire des dégâts. Ça peut arracher des tuyaux d'hydraulique, ça peut ... parce qu'on le prend quand même à 180 km/h. moi, je l'ai pris autour de 100 nœuds. Donc c'est quand même une bonne vitesse d'impact. Moi j'ai vu déjà ce que donnaient des chiens sur une voiture, c'était une Mercédès pourtant. La Mercédès elle faisait un mètre de moins. Ça fait des dégâts. Donc si on peut on va faire une remise de gaz. Maintenant, sur un gros appareil, c'est pas si facile que ça, donc... sur un lapin, il va se poser et on va s'arrêter. Mais en revanche, si c'est un cerf qui se

trouve devant, s'il est très loin, peut être qu'une remise de gaz sera préférentielle. Donc là, y aura remise de gaz et puis l'avion va toucher et va repartir aussi tôt. Donc la décision, on dit qu'il faut rester go minded jusqu'au dernier moment. Jusqu'au moment où on a touché les roues et qu'on a commencé à décélérer. Et là vraiment on s'arrête parce qu'il y a pas d'autres solutions.

Et est-ce qu'il y a une tâche de navigation pendant la phase d'atterrissage ?

C'est rester sur la piste.

C'est plus du pilotage ?

Ça peut être de l'autoland aussi, donc c'est faire confiance en ses automatismes pour qu'ils nous posent sur la piste et qu'ils nous maintiennent l'axe de piste. Parce que des fois ils peuvent se poser avec des visibilitées qui sont de 00, donc on voit rien. On voit juste de temps en temps une bande blanche qui passe. Ou alors, c'est à la main. La plupart du temps c'est à la main, donc c'est contrôler l'avion sur la piste. Ne pas se laisser embarquer par le vent. Ne pas se laisser embarquer parce que la piste est glissante. C'est contrôler son avion pour l'amener à une vitesse où on contrôle l'avion et où on est sûr que ça peut être l'arrêt complet ou arriver à sa vitesse de roulage. Et après le vol n'est pas fini parce qu'il faut encore faire le roulage jusqu'à ... On repasse dans la navigation qui est comme le taxi pour le takeoff sauf que là on va en sens inverse, on va vers la gate.

Mais sinon, c'est la même chose ?

C'est pareil. Ça peut être long des fois aussi. Barcelone, c'est long. Entre le moment où on se pose et le moment où on arrive à la gate, y a bien des fois 20 minutes.

Et la charge de travail, à partir du moment de la descente, est-ce que...

Elle augmente. Parce que y a de plus en plus de pression, de plus en plus de vérification, de plus en plus de monde. Autant quand on décolle, on va vers l'allègement. Autant quand on se pose, on va vers la complexité. Et puis vers, peut être quand il fait pas beau, on va vers la phase où là ça va commencer à secouer, ça va commencer à bouger, ça va commencer à avoir tous les impacts du sol. Avant on est au-dessus, donc on passe... généralement, on est au-dessus, ou alors ils sont à côté, on peut les éviter, c'est bien. Et quand on descend, ben là, on va devoir traverser toutes les couches nuageuses qui font des turbulences, qui font du givrage, ou il peut y avoir du cisaillement. Donc on va vers la complexité, et vers le temps qui, au lieu de se dilater, se contracte. Donc ça va de plus en plus vite, et pourtant il faut... et c'est la phase où il faut aller de plus en plus vers la concentration. Donc on passait d'une phase qui était concentrée vers une phase où on est cool. Et là, on est dans une phase où il fait cool, surtout quand on était en équipage avec toute une tranche arrière, eux la mission était terminée, donc y avait un

relâchement, ils préparaient les papiers pour les comptes rendus de mission, derrière ça commençait à déconner, à rigoler et tout ça. Et devant, tant qu'on est en croisière, on rentre, c'est la fin de la mission, on s'est fait 12 heures de nuit, bien fatigué, et puis là on attaque la phase de descente et faut se reconcentrer. Alors que derrière ça continue de déconner. Donc c'est un peu... c'est pas facile, parce que ça arrive, ça arrive, ça arrive, et que plus les conditions météo sont mauvaises, plus faut être concentré vraiment... mais généralement ils le comprenaient parce que les premières secousses, y avait le silence qui arrivait derrière. Ils disaient bon, faudrait peut-être les laisser tranquilles devant. Après, une fois qu'on est à la gate, y a tout le shoot down et le débarquement. Mais bon, là y a plus de navigation, la mission est terminée.

Annexe 10 : Analyse thématique concernant les méta-tâches pour la phase de préparation de mission pour l'entretien mené auprès du P1 de l'étude 2

Légende :

- Navigation
- Pilotage
- Communication
- Gestion des système

Alors par rapport à la phase de préparation de la mission...

C'est un des points les plus importants.

Est-ce que pour vous il y a une tâche de navigation pendant la phase de préparation du vol ?

C'est le point le plus important. C'est là où tout se décide. C'est là où on va décider de la navigation en fonction de la météo. C'est là où on va voir les points particuliers, les problèmes. Donc ça peut être avec les ETOPS, c'est là où on sait que jusqu'à tel endroit on va appliquer ceci. C'est la phase de préparation qui est le moment privilégié pour pouvoir préparer tout ceci, où le pilote et le commandant de bord vont se retrouver, puis vont tracer sur la carte, vont regarder les routes qu'ils vont faire.

Là, dans les avions de lignes, c'est le service opération de la compagnie qui prépare tout et qui donne ça aux pilotes. Donc le pilote, pour se mettre dans l'ambiance et prendre la connaissance, prendre action, enfin se familiariser avec le vol, faire part avec le vol, c'est le moment où il va le faire, en regardant tout ce qui était préparé et en épluchant. Et ça fait partie d'ailleurs de son rôle d'éplucher ces choses importantes.

Et c'est quoi comme données qu'il va vérifier ?

C'est à peu près les mêmes choses sauf que d'un côté, on lui fournit alors que nous, c'est nous qui allons chercher tout. Donc on avait plus de temps à passer dessus parce que toute cette partie était faite manuellement. Tandis que là, ça va être déjà les NOTAMs, savoir ce qui marche, ce qui marche pas, les problèmes de route et tout, ça peut être un secteur où on peut passer à côté d'une zone de conflit, donc ça va être se dérouter par rapport à d'autres choses, donc avoir des contacts particuliers, des choses particulières à faire attention. Y a des endroits pendant les

guerre froide fallait faire attention, être sûr de sa navigation parce qu'il y a quelques avions de ligne qui se sont fait shooter avec ça. Donc y a des moments plus particuliers que d'autres. C'est aussi la météo. Parce qu'en fonction de la météo, on va préférer une route plus nord, une route plus sud. On va prendre peut-être un petit peu plus de pétrole pour avoir plus de marge, parce qu'on sait qu'on va être amené peut être à faire plus de détour. Et puis après, ça va être les caractéristiques de la route et toutes les choses qui sont demandées. Si on est en espace RVSM, il faudra bien faire attention que l'avion le soit aussi. Généralement, ils le sont maintenant, donc c'est plus trop le cas. Ou alors se réviser certaines phases bien particulières en cas de panne, ou en MNPS, manual procedure, qui sont bien particulières. Voilà. C'est le commandant de bord un peu qui met le rythme. Le copil va plus être quelqu'un qui va guider, qui va peut-être, si y a un oubli, ou si lui-même veut insister sur un point, le dire au commandant de bord et lui dire voilà. Sinon, c'est le commandant de bord qui fait.

Par rapport au fuel, est-ce qu'il y a une proposition qui est faite au pilote ?

La proposition, c'est la proposition standard compagnie, donc avec le minimum requis réglementaire, plus peut-être les minimums rajoutés par la compagnie. Après, le commandant de bord peut demander plus. C'est lui qui décide de cette marge d'ajustement. Alors y a des compagnies vont recommander de prendre le minimum. La plupart des grandes compagnies elles ... le pilote est libre de son choix. Donc faut pas en prendre trop... c'est toujours ça le problème. Ben faut pas en prendre trop parce que une tonne de carburant transporté, ben pour transporter cette tonne, il faut consommer plus de carburant. Donc au bout du compte, on se retrouve avec de la dépense superflue. Il faut pas en prendre pas assez parce que ça peut manquer. Donc c'est toujours un juste équilibre. C'est là où y a le rôle du commandant de bord, c'est la pression un peu entre j'en prendrais bien plus mais en même temps, bon, faut rester raisonnable, je vais pas en prendre trop.

Et ce choix de la quantité de fuel pris, ça va être par rapport à quoi ?

Par rapport à la météo, par rapport aux problèmes de la route, par rapport à toute... quand y a un problème qui va forcer... que l'avion finalement va consommer plus que prévu parce qu'il a quelque chose qui ne marche pas tout à fait correctement. Donc en fonction de tous ces points, c'est lui qui va peut-être en prendre un petit peu plus, un peu moins. Principalement, c'est la météo qui ... si à destination y a une mauvaise météo, il va peut-être en vouloir un petit peu plus dans la poche, qu'un peu moins.

Ces plans d'action, c'est le pilote qui a décidé ce qu'il allait faire avant, ou ça lui est imposé par la compagnie ?

C'est imposé par la compagnie. C'est pas le pilote qui décide ce qu'il va faire. Alors après, effectivement, y a des choses où il a des options, donc c'est lui qui va choisir parmi des options

qui sont possibles. Mais c'est des choses qui sont définies. C'est soit de la procédure airbus, soit c'est de la procédure compagnie, soit c'est des compagnies qui vont dire bon voilà c'est de la panne moteur, tu montes à 1500 pieds avant de te poser... de faire le level off. D'autres ça va être plus bas, d'autres ça va être plus haut. Et on applique les consignes de sa compagnie. Parce que si on les applique pas après... Le civile, il partira sur des lignes qui sont ouvertes par la compagnie, donc avec des procédures bien établies.. Donc là, effectivement, on doit créer. Mais on crée toujours par rapport quelque chose qui est existant, par rapport à la réglementation. Alors, y a la réglementation

Dans la situation normale, même le militaire, il va faire ce que la réglementation prévoit et ce qui est prévue. On en sortira pas à ce moment-là. Et même des fois, c'est déjà plus ou moins préparé... c'est des choses qui sont quand même préparées pendant la préparation de mission. C'est pas des choses qu'on va créer pendant la phase de préparation au décollage. C'est trop tard. C'est de la préparation de mission ça. On en revient toujours à l'importance de la préparation de mission.

Mais sinon, tout ça, c'est déjà préparé pendant la préparation de mission ?

Oui, oui. y a des déroutements qui sont prévus, qui sont celui-là, celui-là, celui-là.

Donc en fonction c'est le commandant de bord qui décide. Des fois y en a qu'un, des fois y en a plusieurs, donc c'est un choix, en fonction de la météo, en fonction de...

Annexe 11 : Analyse thématique concernant les tâches et sous-tâches, les exigences et les besoins informationnels pour la phase de préparation de cockpit pour l'entretien mené auprès du P1 de l'étude 2

Navigation

- tâche et sous-tâches
- info en entrée
- info en sortie
- exigences

Donc par rapport à la préparation de l'avion ?

, et puis y a pas trop de choses de navigation, mis à part la préparation du FMS. Donc c'est là qu'il va rentrer la route. Il va vérifier par rapport à son plan de vol, computer as flight plan. Donc il vérifie que ça correspond bien. Vérifier que les fuels correspondent. Que tout est conforme. Et puis, c'est plus de la vérification de ce qui a été décidé pendant la préparation.

Il arrive souvent qu'il rentre des co-routes ?

C'est des compagnies routes oui. Mais il doit vérifier chaque point. Il doit vérifier que ça correspond. C'est assez rapide, parce qu'en fait c'est des points, donc là clac, après je prends telle airways jusqu'à tel point, ok, donc là... donc c'est ... ça peut être pas très long et très compliqué non plus.

Et la piste de décollage, est-ce que c'est quelque chose que le pilote connaît à l'avance ou bien il le sait au dernier moment ?

Il a une idée, il le sait. Maintenant, ça peut changer. On peut se retrouver avec un autre départ, parce qu'entre le moment où y a la préparation et le moment où y a le décollage, ben le vent peut avoir tourné, les conditions peuvent avoir tournées.

Et à ce moment-là, est-ce qu'il a préparé une autre piste qu'il suppose ...

Pas forcément. Mais c'est assez rapide de updatier. Au niveau du FMS, c'est juste departure, prendre la piste, la sélectionner, et puis y a le départ qui est associé qui est donné généralement, donc au lieu du départ Moulin 5 bravo, ça va être un Moulin 6 Viktor qui correspond à l'autre côté. Il le rentre. Après il va updatier la carte qui est de chaque côté, et puis il regarde. Alors sur du court courrier ça peut être important parce qu'il peut y avoir quand

même... d'un côté on passait direct, on décollait puis on se reposait de l'autre côté. Et de l'autre côté, y a tout un détour parce qu'il faut faire tout un tour d'un secteur avant de rejoindre la route. En même temps, c'est anticipé. Y a quand même de quoi faire. Sur un long courrier ça va jouer sur pas grand chose.

Et est-ce qu'il a du calcul mental à faire ? Est-ce qu'il a des choses à calculer pendant cette préparation ?

Non. Le fuel on le rentre. Même avant, c'était juste vérifier que le fuel qu'on avait calculé avant correspond au fuel qu'on a vraiment dans les moteurs, enfin dans les réservoirs, et puis c'est tout. Non ça... Même pendant le vol, du calcul mental, y en avait avant mais maintenant, y en a de moins en moins. Tout est donné, tout est calculé.

Parce que je me demande si pour faire une vérification de ce qui est donné par le système, est-ce que le pilote refait des petits calculs, pour vérifier que ce qui lui est donné comme information est adéquat ?

Non, ça c'est plus pendant la préparation de mission que ça va se faire. Il va regarder... Il sait qu'il a une consommation moyenne tant. Donc tant de distance, tant de temps de vol, donc multiplié par ça, il me faut à peu près 12 tonnes de carburant. Ça me suffit. Ou 250 tonnes de carburant et puis voilà. Et là il regarde, il trouve 260 tonnes et puis c'est bon.

C'est une des phases les plus...

C'est là où on va créer tout le vol et on va mettre de la cadence sur le vol et tout va être... on va essayer de planifier le plus possible pour avoir le moins de choses à faire après pendant le vol.

Communication :

- tâche et sous-tâches
- info en entrée
- info en sortie
- exigences

Est-ce que vous êtes d'accord avec toutes ces phases ?

Mais y a aussi toute la préparation du chargement, les problèmes qui peut y avoir sur toutes les phases d'embarquement, des passagers qui sont handicapés...

Le commandant de bord va être souvent interrompu par bon voilà, la loadfeet arrive, y a un changement ici, on doit embarquer 5 personnes avec des sièges handicapés donc est-ce qu'on a

les issus de secours, est-ce qu'on a ci, est-ce qu'on a le personnel, où est-ce qu'on les met. Y a des enfants qui sont en bas âge, donc faudra avoir les ceintures.

Après, quand il arrive dans la cockpit preparation, il informe le refueleur de ce qu'il veut.

Gestion des systèmes

- tâche et sous-tâches
- info en entrée
- info en sortie
- exigences

Là, j'aurais plutôt mis aircraft preparation qui est un peu plus générique parce que dedans y a quand même le tour de l'avion aussi, le work around, toute la préparation du cockpit.

Y a tout un environnement qui en dehors de la cockpit preparation est que le monde serait plus simple si y avait que ça. Y en a un petit peu plus. Donc je mettrais plus aircraft preparation. Puis y a le tour de l'avion aussi qui doit se faire où y a des vérifications.

Là c'est de la préparation, donc on met en fonction tout ce qui est avion

Annexe 12 : Arbres des tâches par phases de vol et par participant pour les pilotes volant avec FMS

Voir dossier « Arbresind_FMS » dans le CD disponible en fin de document

Annexe 13 : Arbres des tâches par phases de vol et par participant pour les pilotes volant sans FMS

Voir dossier « Arbresind_Ø » dans le CD disponible en fin de document

Annexe 14 : Arbres des tâches par phases de vol et pour tous pilotes volant avec FMS

Voir dossier « Arbresglobaux_FMS » dans le CD disponible en fin de document

Annexe 15 : Arbres des tâches par phases de vol et pour tous pilotes volant sans FMS

Voir dossier « Arbresglobaux_Ø » dans le CD disponible en fin de document

Annexe 16 : Fiche consentement pour la participation à l'étude 3



UMR CLLE-LTC 5263
URI Octogone-Lordat EA 4156
Université Toulouse – Le Mirail
Pavillon de la recherche
5, Allées Antonio Machado
F-31058 Toulouse Cedex 9

THALES AVIONICS
105 Avenue du Général Eisenhower,
31100 Toulouse

Expérimentation maquettage FMS

Dans le cadre de ma thèse, j'ai réalisé une analyse de la tâche de navigation chez les pilotes d'avions de ligne. A la suite cette analyse, j'ai réalisé une description de la tâche de navigation sur laquelle je me suis basée pour fournir des recommandations de conception. J'ai ainsi pu produire un prototype incluant ces préconisations. Ainsi, cette expérimentation a pour but de recueillir certaines données quant aux préconisations fournies précédemment.

Cette étude respecte les conditions ci-dessous.

Engagement du participant

L'étude consiste à participer librement et de façon éclairée à une expérimentation concernant la simulation d'un vol sur un prototype de FMS.

Droit de retrait sans préjudice de la participation

Le participant peut mettre fin à tout moment à sa participation à la recherche sans avoir à se justifier ni encourir aucune responsabilité

Liberté du participant

Les réponses aux questions posées durant l'expérimentation ont un caractère facultatif et le défaut de réponse n'aura aucune conséquence pour le participant.

Information du participant

Le participant a la possibilité d'obtenir des informations supplémentaires concernant cette étude auprès de l'investigateur principal, et ce dans la limite des contraintes du plan de recherche. Un résumé de l'état d'avancement de l'étude pourra être communiqué au participant sous simple demande.

Bénéfice de l'étude pour le participant

Cette étude est faite sans aucun bénéfice direct pour le participant.

Enregistrement vidéo

Cette recherche prévoit l'utilisation d'enregistrements vidéo afin d'analyser certaines données.

Le participant autorise l'enregistrement vidéo d'une session de simulation de vol sur prototype dans le cadre de ce travail de thèse.

Garantie de confidentialité des informations

Toutes les informations concernant le participant seront conservées de façon **anonyme et confidentielle**. Le nom de la personne participant à cette expérimentation n'apparaîtra ni dans la thèse, ni dans des documents de diffusion.

Déontologie et éthique

Le promoteur et l'investigateur principal s'engagent à préserver absolument la confidentialité et le secret professionnel pour toutes les informations concernant le participant (Titre I, articles 1, 3, 5 et 6 et titre II, articles 3, 9, et 20 du *Code de Déontologie des Psychologues* - France).

Merci de signer pour signifier votre accord

Annexe 17 : Maquette représentant l'interface actuelle du FMS

Voir dossier « maquette_actu » dans le CD disponible en fin de document

Annexe 18 : Maquette représentant la nouvelle interface de FMS

Voir dossier « maquette_new » dans le CD disponible en fin de document

Annexe 19 : Plan de vol fourni aux pilotes pour l'expérimentation de l'étude 3

SKYTRACK OFP - OPERATIONAL FLIGHT PLAN
SEQ0001 RLS-- 0744Z 28NOV 13

SNJER01 28NOV 13 LEVC/LPPR STD0840Z
SNJER01 STA0950Z
A320-200 OOSNA/GSEK C20 PROG J060028/J120028

TYPE OF OPERATION: -----

RMKS/
RTE 01

WARNING/
ALTITUDE STEP 19000 AT VIS

GDIS 493 A/WC T018 ADIS 471 TROP FL381 ISA P05

ALTN LEVX FL150 GDIS 72 A/WC H007 ADIS 74 TIME 0021 FUEL 1.0

FUEL SUPPLIER: TNK/-- 1T/37 KG

| | FUEL | TIME | FL |
|-------|------|------|-------------|
| PLAN | 3507 | 0117 | 370/VIS/180 |
| BELOW | 3480 | 0117 | 350/VIS/180 |
| BELOW | 3472 | 0116 | 330/VIS/180 |

| | FUEL | | TIME | WEIGHTS | | WEIGHTS | |
|---------|--------|-------|--------|---------|-------|---------|-------------|
| | PLND | RVSD | PLND | PLND | RVSD | ACTUAL | |
| BIAS | 0.5PCT | | | | | | |
| LPPR | 3.5 | ----- | 0117 | 56.6 | ----- | ZFW | ----- 62.5S |
| H 5MIN | 0.2 | ----- | 0005 | 6.1 | ----- | DSRD | ----- |
| LEVX | 1.0 | ----- | 0021 | 62.7 | ----- | RMPW | ----- 77.4S |
| FR | 1.2 | ----- | 0030 | 0.2 | ----- | TAXI | ----- |
| MINTO | 5.9 | ----- | 0213 | 62.5 | ----- | TO | ----- 77.0S |
| TAXI | 0.2 | ----- | (0013) | 3.5 | ----- | TRIP | ----- |
| MIN REQ | 6.1 | ----- | 0213 | 59.0 | ----- | LDG | ----- 66.0S |
| REQ | 6.1 | ----- | 0213 | 2.4 | ----- | LDGF | ----- |
| EXT | ---- | ----- | ---- | | | | |
| DSRD | 6.1 | ----- | 0213 | | | | |

** ALL WEIGHTS IN TONS ** MIN REQ SIX DEC ONE

| LEST | LPPT | LEAS | LPFR |
|------|------|------|------|
| 6.6 | 1.5 | 6.7 | 1.6 |
| | | 7.6 | 2.4 |
| | | | 7.4 |
| | | | 2.2 |

DESC/FMS RTE -- / AV.TTRK 286

DISPATCHER COMMANDER CAPT F/O F/O

DENIS B -----

SEQ0001 RLS-- SNJER01 28NOV 13 LEVC/LPPR

SCHEDULED OUT: 28/08.40 ASSUMED OFF: 28/08.53
 LEVC VLC U 8.53 - 9.53 DEP
 LPPR OPO U 9.10 - 11.10 DEST
 LEVX VGO U 9.31 - 11.31 DEST-ALT1A

EXTRA ALTN
 LEST SCQ U 9.42 - 11.42
 LPPT LIS U 9.46 - 11.46
 LEAS OVD U 10.02 - 12.02
 LPFR FAO U 10.03 - 12.03

SEQ0001 RLS-- SNJER01 28NOV 13 LEVC/LPPR

SNJER01 STA 28/0950Z ENG OFF ---- LDG ---- DEICING ----
 SNJER01 STD 28/0840Z ENG ON ---- TO ---- T/O BEFORE ----
 LEVC/LPPR (227FT) BLKTIME ---- FLT ---- SLOT ----

DELAY CODE: ---/-- DELAY CODE: ---/--

TAKE OFF ALTERNATE: ----

ATC PLAN
 N0453F370 CJN UN733 ZMR UN976 ARDID DCT VIS/N0365F180 W2 PESUL

ATIS: -----

CLEARANCE: -----

BEFORE ENTERING RVSM AIRSPACE: ABLE RVSM: Y / N

RVSM ALTIMETER READING

| | | | |
|------------|------------|-----------------|------------|
| ALTI1(CPT) | ALTI2(F/O) | ALTI3(PNF ON 3) | STDBY ALTI |
| -----FT | -----FT | -----FT | -----FT |

FIREST
 LECB0001 LECM0005 LPPC0045

| MSA | CHKPT | COORDINATES | REMT | ETO | ATO | ACT | RMAD | REMF | FREQ | GMT |
|-----|-------|-------------|---------|--------|-----------|------|------|------|------|------|
| | G/S | W/V | GDIS | TRACK | EET | FL | | | | |
| | LEVC | N39294 | W000289 | 0117 | ----/---- | ---- | 471 | 5.9 | ---- | ---- |
| | 369 | 322007 | 109 | 299.8T | 18 | | | | | |
| 8.5 | CJN | N40223 | W002327 | 0059 | ----/---- | ---- | 363 | 4.5 | ---- | ---- |
| | 460 | 081020 | 16 | 298.0T | 2 | | | | | |
| 5.5 | LIPOR | N40295 | W002509 | 0057 | ----/---- | ---- | 347 | 4.4 | ---- | ---- |
| | 457 | 080020 | 9 | 297.9T | 1 | | | | | |
| 4.8 | TOC | | | 0056 | ----/---- | ---- | 339 | 4.3 | ---- | ---- |
| | 469 | 080020 | 12 | 297.9T | 2 | | | | | |
| 4.8 | MITUM | N40387 | W003149 | 0054 | ----/---- | ---- | 327 | 4.2 | ---- | ---- |
| | 472 | 082024 | 16 | 297.8T | 2 | | | | | |
| 9.0 | MAGIN | N40460 | W003339 | 0052 | ----/---- | ---- | 312 | 4.1 | ---- | ---- |
| | 475 | 082027 | 12 | 297.7T | 1 | | | | | |
| 9.9 | INDEG | N40512 | W003475 | 0051 | ----/---- | ---- | 300 | 4.1 | ---- | ---- |
| | 477 | 082030 | 22 | 297.6T | 3 | | | | | |
| 9.9 | DISKO | N41009 | W004134 | 0048 | ----/---- | ---- | 279 | 4.0 | ---- | ---- |


```

    482 082037   37 297.5T   5
9.9 ZANKO  N41173 W004579 0043 ----/----/--- 245 3.8 ---- ---
    488 083044   34 297.2T   4
4.1 ZMR    N41318 W005384 0039 ----/----/--- 213 3.6 ---- ---
    489 082043   36 233.0T   4
4.2 ARDID  N41104 W006169 0035 ----/----/--- 180 3.5 ---- ---
    484 078032   78 250.2T  10
5.5 VIS    N40434 W007532 0025 ----/----/--- 107 3.1 ---- ---
    379 065042   14 312.0T   2
5.5 PESUL  N40529 W008069 0023 ----/----/---  93 3.0 ---- ---
    379 064040   43 311.6T   7
5.5 TOD                                0016 ----/----/---  52 2.7 ---- ---
    321 064040   55 311.6T  16
5.5 LPPR   N41141 W008407 0000 ----/----/---   0 2.4 ---- ---

```

ATIS: -----

ROUTE TO DESTINATION ALTERNATE

```

MSA CHKPT   COORDINATES  REMT  ETO ATO  ACT  RMAD  REMF  FREQ  GMT
G/S  W/V   GDIS  TRACK  EET          FL
LPPR   N41141 W008407 0021 ----/----/---  74  2.4 ---- ---
250 071038   24 005.8T   5
5.6 TOC                                0016 ----/----/---  50  1.7 ---- ---
344 071038    7 005.8T   1
5.6 TOD                                0015 ----/----/---  42  1.7 ---- ---
318 071038   20 005.8T   4
5.6 TURON  N42041 W008338 0011 ----/----/---  21  1.6 ---- ---
270 074040   15 353.6T   3
5.6 VGO    N42193 W008361 0008 ----/----/---   6  1.5 ---- ---
256 075040    6 191.8T   8
4.5 LEVX   N42137 W008377 0000 ----/----/---   0  1.4 ---- ---

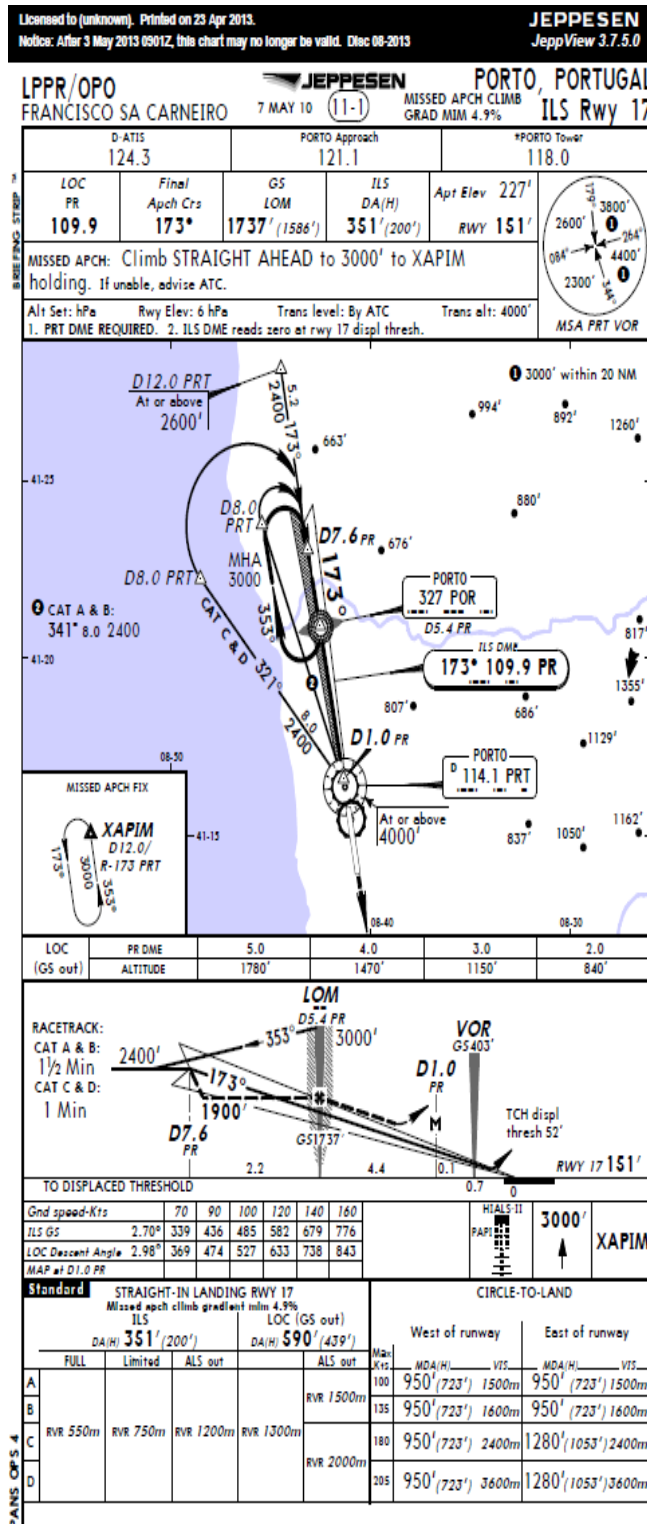
```

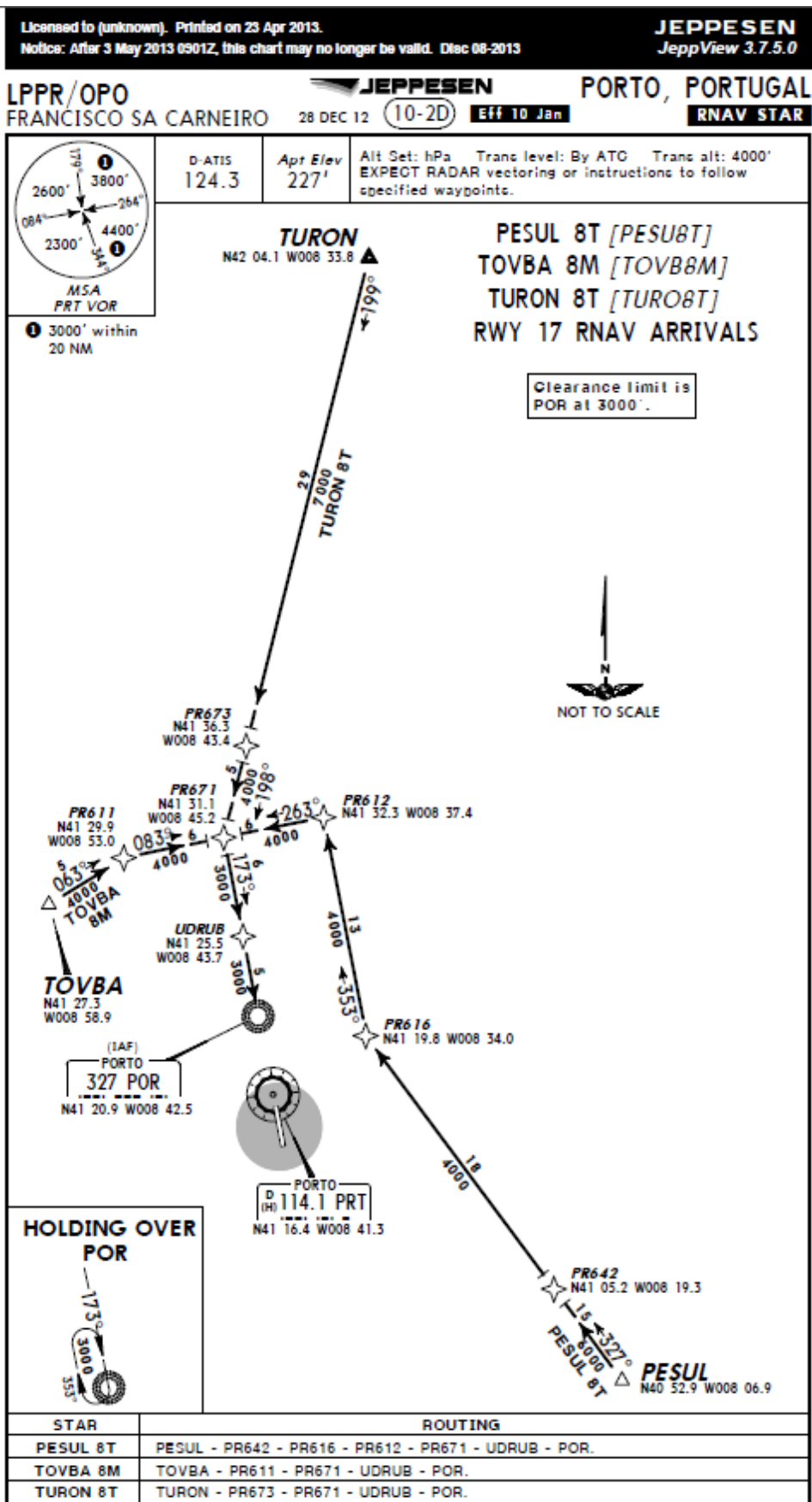
ATIS: -----

MEL/CDL:
CHECK OPERATIONAL STATUS OF AIRCRAFT REPORT

SEQ0001 RLS-- SNJER01 28NOV 13 LEVC/LPPR

Annexe 20 : Cartes fournies aux pilotes pour l'aéroport de Porto lors de l'expérimentation de l'étude 3

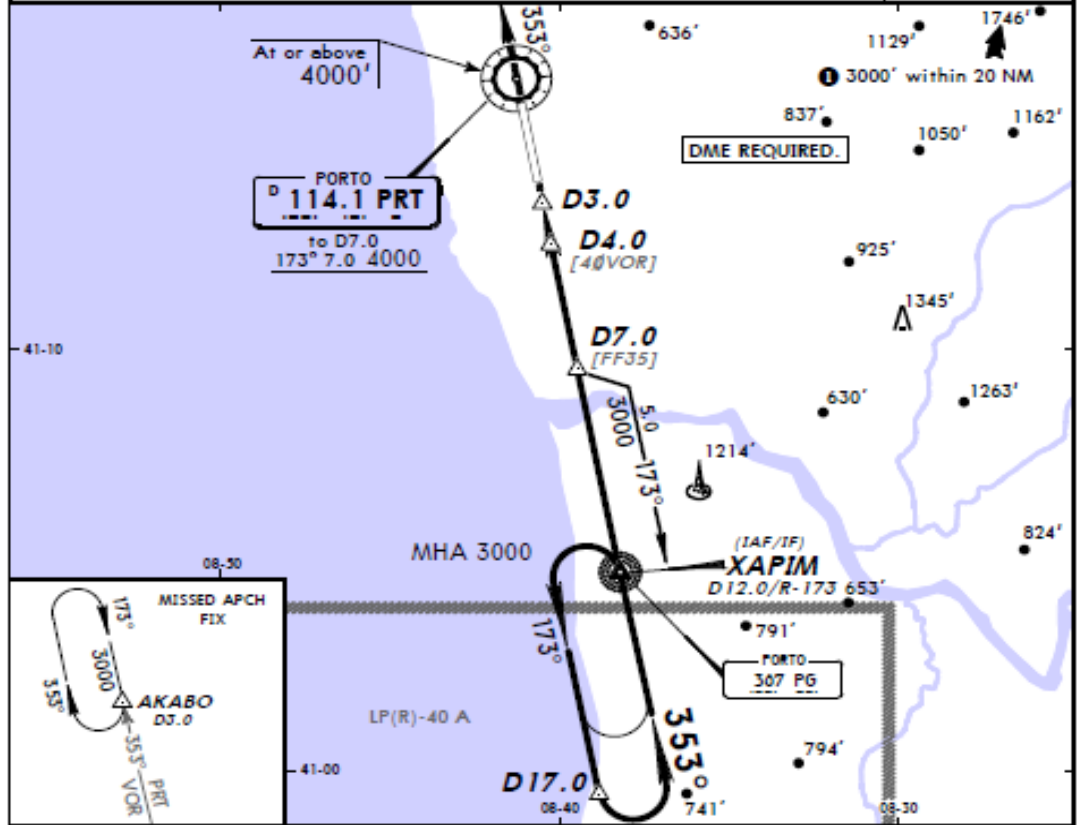




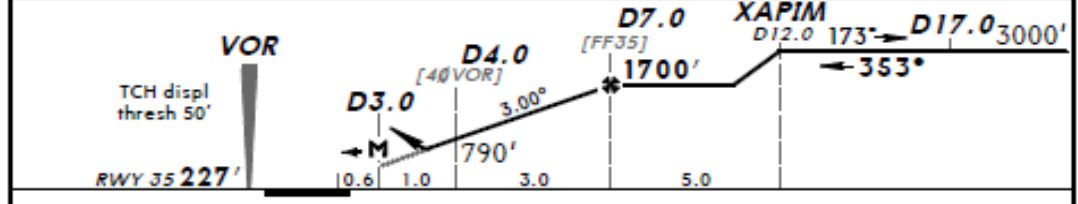
Notice: After 3 May 2013 0901Z, this chart may no longer be valid. Disc 08-2013
 JEPPESEN JeppView 3.7.5.0

LPPR/OPO FRANCISCO SA CARNEIRO 7 MAY 10 (13-2) **PORTO, PORTUGAL VOR Rwy 35**

| | | | | |
|--|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------|
| D-ATIS 124.3 | PORTO Approach 121.1 | *PORTO Tower 118.0 | | |
| VOR PRT 114.1 | Final Apch Crs 353° | Minimum Alt D7.0 1700' (1473') | DA(H) 600' (373') | Apt Elev 227' RWY 227' |
| MISSED APCH: Climb on 353° to 1500', then proceed to 3000' to AKABO holding and contact Porto APP. | | | | |
| Alt Set: hPa | | Rwy Elev: 8 hPa | Trans level: By ATC | Trans alt: 4000' |



| | | | | |
|----------|------|-------|-------|-------|
| PRT DME | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 |
| ALTITUDE | 790' | 1100' | 1400' | 1700' |



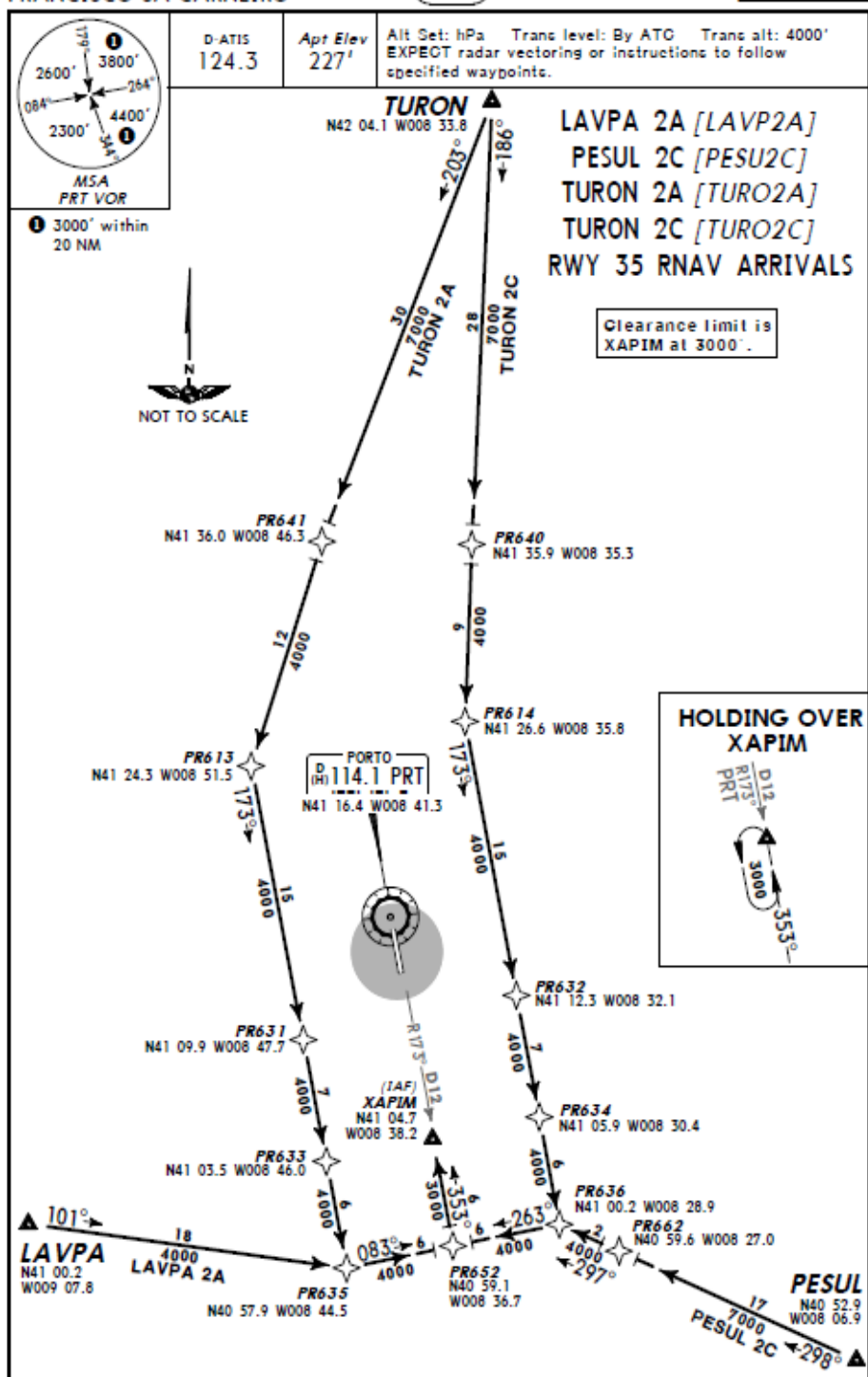
| | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Gnd speed-Kts | 70 | 90 | 100 | 120 | 140 | 160 | |
| Descent Angle 3.00° | 372 | 478 | 531 | 637 | 743 | 849 | |
| MAP at D3.0 | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------------|--|-----------|----------------|-------------|----------------|-------------|-------|
| PANS OPS 4 | Standard STRAIGHT-IN LANDING RWY 35 | | CIRCLE-TO-LAND | | | | |
| | DA(H) 600' (373') | | West of runway | | East of runway | | |
| | ALS out | | M20 | MDA(H) | VIS | MDA(H) | VIS |
| | A | RVR 1500m | 100 | 950' (723') | 1500m | 950' (723') | 1500m |
| | B | RVR 1000m | 135 | 950' (723') | 1600m | 950' (723') | 1600m |
| C | RVR 1700m | 180 | 950' (723') | 2400m | 1280' (1053') | 2400m | |
| D | | 205 | 950' (723') | 3600m | 1280' (1053') | 3600m | |

CHANGES: Communications. © JEPPESEN, 2000, 2010. ALL RIGHTS RESERVED.

Licensed to (unknown). Printed on 23 Apr 2013. **JEPPESEN** JeppView 3.7.5.0
 Notice: After 3 May 2013 0901Z, this chart may no longer be valid. Disc 08-2013

LPPR/OPO FRANCISCO SA CARNEIRO 12 OCT 12 (10-2A) Eff 18 Oct **PORTO, PORTUGAL** **RNAV STAR**



| STAR | ROUTING |
|----------|--|
| LAVPA 2A | LAVPA - PR635 - PR652 - XAPIM. |
| PESUL 2C | PESUL - PR662 - PR636 - PR652 - XAPIM. |
| TURON 2A | TURON - PR641 - PR613 - PR631 - PR633 - PR635 - PR652 - XAPIM. |
| TURON 2C | TURON - PR640 - PR614 - PR632 - PR634 - PR636 - PR652 - XAPIM. |

Annexe 21 : NOTAMs

Type de bulletin : Notam nommés sur bulletin d'aérodrome

Identifiants : LPPP A 3723/13 ; LPPP A 4897/11 ; LPPP A 3721/13 ; LPPP A 3747/13 ; LPPP A 0254/14 ; LEAN B 0540/14 ; LEAN B 0026/14 ; LEAN B 0082/14 ; LEAN B 7927/13 ; LEAN B 0363/14 ; LEAN D 0103/14 ; LEAN D 0168/14 ; LEAN D 0203/14 ; LEAN E 0768/14

Nombre de NOTAM : 14

LPPP-A3723/13

Q)LPPC/QFAXX/IV/NBO/ A/000/999/4114N00841W005

A) LPPR PORTO

B) 201401010000 C) PERM

E) SCHEDULING COORDINATION FOR LPPR DELETE SITA ADDRESS

LISCSXH.

REF AIP PORTUGAL GEN 1.2.1.

LPPP-A4897/11

Q)LPPC/QFAHW/IV/NBO/ A/000/999/3846N00908W005

A) LPPT LISBON

B) 201112071839 C) 201112072200 EST

E) TEMPORARY HAZARD. TOPOGRAPHICAL WIP ON PAPI RWY 35. MEN AND

EQUIPMENT UNDER TWR CONTROL AND AIRPORT AUTHORITY

SUPERVISION.

CAUTION ADVISED.

LPPP-A3721/13

Q)LPPC/QFAXX/IV/NBO/ A/000/999/3846N00908W005

A) LPPT LISBON

B) 201401010000 C) PERM

E) SCHEDULING COORDINATION FOR LPPT DELETE SITA ADDRESS LISCSXH.

REF AIP PORTUGAL GEN 1.2.1.

LPPP-A3747/13

Q)LPPC/QMAXX/IV/ M/ A/000/999/3846N00908W005

A) LPPT LISBON

B) 201312191028 C) PERM

E) LPPT AD TAXIING REPLACE LAST PARAGRAPH AS FOLLOWS:

- ALL AIRCRAFT DETERMINED TO BE ICAO CODE E AND ABOVE MUST PERFORM

JUDGMENTAL OVERSTEERING INSTEAD OF COCKPIT OVER CENTRELINE STEERING

WHEN TAXIING IN ORDER TO AVOID TWY LATERAL EXCURSIONS FROM MAIN GEAR. TAXI CAUTION REQUIRED ON ALL AERODROME TAXI ROUTES.

- ALL 4 ENGINE AIRCRAFT DETERMINED TO BE ICAO CODE E AND ABOVE SHALL

NOT USE DIFFERENTIAL ENGINE THRUST ON ENGINES 1 AND 4 ABOVE 40 PERCENT N1 (FAN SPEED) OR ENGINE REVERSE THRUST TO MAKE SHARP TURNS

OVERSTEERING

IN ORDER TO AVOID TWY AND RWY FOREIGN OBJECT DEBRIS HAZARDS.
REF AIP PORTUGAL LPPT AD 2.20 3.5 TAXIING.

LPPP-A0254/14

Q) LPPC/QMKLT/IV/ M/ A/000/999/3846N00908W005

A) LPPT LISBON

B) 201401281603 C) 201405262359

E) DUE TO SHORTAGE OF PARKING STANDS, THE FOLLOWING
RESTRICTIONS ARE
IMPOSED:

- FOR THE PERIOD OF UEFA CHAMPIONS LEAGUE FINAL, TEMPORARILY,
FROM

20TH MAY 2014 00H00 UTC TO 26TH MAY 2014 23H59 UTC, AIRPORT AD-HOC
SLOTS FOR NON-BASED CARRIERS ARE RESTRICTED TO A MAXIMUM
TURNAROUND

OF:

- 45 MINUTES, AIRCRAFTS ICAO CODE A AND B

- 60 MINUTES, AIRCRAFTS ICAO CODE C AND D

- 90 MINUTES, AIRCRAFTS ICAO CODE E.

WHEN REQUESTING AN AIRPORT SLOT IT IS COMPULSORY TO MENTION:

- GROUND HANDLING AGENT AT LPPT

- NAME AND FULL CONTACT OF TOUR OPERATOR AND LOCAL
REPRESENTATIVES

IN LISBON

- ADDRESS, E-MAIL, TELEPHONE NUMBER (INCLUDING MOBILE).

PARKING PERIODS EXCEEDING THE TIMES ABOVE, ONLY ASSIGNED AFTER
15TH

MAY AND UPON PRIOR APPROVAL FROM LISBON AIRPORT MANAGEMENT.

IF NEEDED, AIRCRAFT LAYOVER WILL BE DONE IN LPPR, LPFR AND LPBJ
WITH

SEGREGATION OF TRAFFIC, ACCORDING TO SECURITY RULES TO BE
ESTABLISHED FOR THE EVENT.

LEAN-B0540/14

Q) LECM/QLAXX/IV/NBO/ A/000/999/4254N00825W005

A) LEST SANTIAGO

B) 201401311400 C) 201402151400

E) RWY17 APCH LIGHTING SYSTEM PRECISION CAT II/III: 2 LIGHTS (NO
CONSECUTIVES) OF FIRST SECTION U/S

LEAN-B0026/14

Q) LECM/QLAXX/IV/NBO/ A/000/999/4334N00602W005

A) LEAS ASTURIAS

B) 201401031111 C) 201402282359 EST

E) RWY29 APCH LIGHTING SYSTEM, BARRETTE LOCATED 420M FROM THR
U/S

LEAN-B0082/14

Q) LECM/QFATT/IV/ BO/ A/000/999/4334N00602W005

A) LEAS ASTURIAS

B) 201402060000 C) 201402192359

E) TRIGGER NOTAM - PERM AIRAC AMDT 14/13 WEF 06-FEB-14:
ATS AND AIRPORT ACTIVITY HOURS

LEAN-B7927/13

Q)LECM/QMPLC/IV/ BO/ A/000/999/4214N00838W005

A) LEVX VIGO

B) 201311120944 C) 201402052200 EST

E) ACFT STAND 6 CLSD

LEAN-B0363/14

Q)LECM/QFAHW/IV/NBO/ A/000/999/4214N00838W005

A) LEVX VIGO

B) 201401221141 C) 201403052359

E) REF SUP 30/13.- WORKS FOR AIRFIELD IMPROVEMENT:

NEW ENDING DATE 01-MAY-14

LEAN-D0103/14

Q)LECM/QRTCA/IV/ BO/AW/000/055/4057N00530W006

A) LESA SALAMANCA

B) 201401291315 C) 201402141545

D) JAN 29-31 1315-1545, FEB 01 03-08 10-14 1315-1545

E) TEMPORARY RESTRICTED AREA FOR UNMANNED AIRCRAFT VEHICLE

FLYING ACTIVATED WI 06NM RADIUS OF 405712N 0053012W

SALAMANCA/MATACAN

F)SFC G)05500FT AMSL

LEAN-D0168/14

Q)LECM/QRTCA/IV/ BO/AW/000/055/4057N00530W006

A) LESA SALAMANCA

B) 201402010730 C) 201402151000

D) 01 08 15 0730-1000

E) TEMPORARY RESTRICTED AREA FOR UNMANNED AIRCRAFT VEHICLE

FLYING ACTIVATED WI 06NM RADIUS OF 405712N 0053012W

SALAMANCA/MATACAN

F)SFC G)05500FT AMSL

LEAN-D0203/14

Q)LECM/QRTCA/IV/ BO/AW/000/055/4057N00530W006

A) LESA SALAMANCA

B) 201402050730 C) 201402141000

D) 05-07 10-14 0730-1000

E) TEMPORARY RESTRICTED AREA FOR UNMANNED AIRCRAFT VEHICLE

FLYING ACTIVATED WI 06NM RADIUS OF 405712N 0053012W

SALAMANCA/MATACAN

F)SFC G)05500FT AMSL

Annexe 22 : Questionnaire de la SAGAT

Quel est le cap suivi par l'avion ?

- 240°
- 270°
- 250°
- 260°
- Autre :

A quelle vitesse va l'avion ?

- .77
- .79
- .76
- .78
- Autre :

A quelle altitude se trouve l'avion ?

- FL 340
- FL 380
- FL 370
- FL 300
- Autre :

Est-ce que le cap suivi par l'avion est celui requis ?

- Oui
- Non : Pourquoi ?

Est-ce que la vitesse suivie par l'avion est celle requise ?

- Oui
- Non : Pourquoi ?

Est-ce que l'altitude suivie par l'avion est celle requise ?

- Oui
- Non : Pourquoi ?

Y a-t-il un événement dans le déroulement du vol qui peut entraîner un risque ?

- Non
- Oui :
 - à Pourquoi ?
 - à Est-il possible d'y remédier ?

Annexe 23 : Questionnaire de la SART

Instabilité de la situation

A quel point la situation évolue ? Est-ce que la situation est hautement instable, risque-t-elle de changer subitement (7) ou est-ce une situation stable (1) ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Complexité de la situation

A quel point la situation est compliquée ? Est-ce une situation complexe (7) ou est-ce une situation simple et non ambiguë (1) ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Variabilité de la situation

Combien de variables évoluent dans la situation ? Y a-t-il peu (1) ou beaucoup (7) de variables qui évoluent au cours du scénario ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Vigilance

A quel niveau de vigilance étiez-vous ? Etiez-vous peu (1) ou très (7) vigilant durant le scénario ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Allocation de l'attention

A quel point étiez-vous concentré sur la situation ? Votre attention était-elle ailleurs (1) ou arriviez-vous à diriger vos idées (7) ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Division de l'attention

A quel point votre attention était-elle divisée dans la situation ? Etiez-vous concentré sur plusieurs aspects de la situation (7) ou concentré sur un seul d'entre eux (1) ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Charge mentale

Utilisez-vous toutes vos capacités cognitives pour réaliser le scénario ? Pendant que vous réalisez le scénario, vous restait-t-il des ressources mentales à disposition (7) ou les avez-vous toutes épuisées (1) ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Quantité informationnelle

Combien d'information avez-vous récolté à propos de la situation ? Avez-vous traité et compris beaucoup (7) ou très peu (1) d'information ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Qualité informationnelle

A quel point l'information que vous avez recueillie est correcte ? Est-ce qu'elle s'est révélée très utile (7) ou bien était-ce sans rapport avec la situation proposée dans le scénario (1) ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Familiarité avec la situation

A quel point étiez-vous familier avec la situation ? Avez-vous beaucoup expérimenté cette situation (7) ou était-elle nouvelle pour vous (1) ?

1

7

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Annexe 24 : Questionnaire USE

Utilité

Cela m'aide à être plus efficace.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

C'est utile.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Cela rend les choses que je souhaite réaliser plus facile à faire.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Cela me fait gagner du temps.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Cela répond à mes besoins.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Utilisabilité

C'est facile à utiliser.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

C'est convivial.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Cela requiert le moins d'étapes possibles pour réaliser ce que je veux faire.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Je peux l'utiliser sans lire les instructions écrites.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Je n'ai pas noté d'incohérence lors de mon utilisation.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Apprentissage

J'ai appris à l'utiliser très rapidement.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Je me souviens facilement de comment l'utiliser.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

C'est facile d'apprendre à l'utiliser.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Je suis devenu rapidement habile avec cette interface.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Satisfaction

Je suis satisfait de cette interface.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

C'est agréable à utiliser.

Pas du tout d'accord

Tout à fait d'accord

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|