



HAL
open science

Mécanismes cognitifs et rôle du collectif dans la persévération : gestion d'événements imprévus dans l'activité de pilotage militaire

Léonore Bourgeon

► **To cite this version:**

Léonore Bourgeon. Mécanismes cognitifs et rôle du collectif dans la persévération : gestion d'événements imprévus dans l'activité de pilotage militaire. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2011. Français. NNT : 2011TOU20047 . tel-00651475

HAL Id: tel-00651475

<https://theses.hal.science/tel-00651475>

Submitted on 13 Dec 2011

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

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

THÈSE

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

Délivré par :
Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2 Le Mirail)

Discipline ou spécialité :
Psychologie Ergonomie

Présentée et soutenue par :
Léonore BOURGEON

le : vendredi 30 septembre 2011

Titre :
Mécanismes cognitifs et rôle du collectif dans la persévération :
gestion des événements imprévus dans l'activité de pilotage militaire
(Volume 1)

Ecole doctorale :
Aéronautique et Astronautique (AA)

Unité de recherche :
CLLE-LTC (UMR 5263), Université de Toulouse II – Le Mirail

Directeur (s) de Thèse :
Claude NAVARRO, Professeur, Université de Toulouse II – Le Mirail
Claude VALOT, Chercheur, Institut de Recherche Biomédicale des Armées, Brétigny/Orge

Rapporteurs :
Christine CHAUVIN, Professeur, Université de Bretagne-Sud
Pierre FALZON, Professeur, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris

Autre(s) membre(s) du jury :
René Amalberti, Professeur, Haute Autorité de la Santé, Saint-Denis La Plaine
Jean-Marie CELLIER, Professeur EPHE, Université de Toulouse II – Le Mirail

Cette thèse a été préparée au sein de deux laboratoires de recherche :

Le Département Action et Cognition en Situation Opérationnelle –
Unité Sécurité des Systèmes à Risques
Institut de Recherche Biomédicale des Armées
BP73 – 91223 Brétigny-sur-Orge cedex

et

Le Laboratoire Cognition, Langues, Langage, Ergonomie -
Laboratoire Travail et Cognition
Université de Toulouse le Mirail
Maison de la recherche
5, allées Machado – 31058 Toulouse cedex

Résumé

Cette recherche porte sur les mécanismes cognitifs à l'origine de la persévération lors de la conduite de systèmes dynamiques à risques. La thèse défendue est que la persévération dans l'application d'un plan d'actions inadapté résulte d'un compromis cognitif orienté vers un « mode de pensée automatique », amenant à une représentation incorrecte de la situation et à une sous-estimation des ressources nécessaires à sa gestion. L'activation d'un « mode de pensée contrôlé », essentielle à l'adaptation à une nouvelle situation, serait favorisée par la discussion argumentée d'avis divergents au sein de l'équipe.

Afin de le vérifier, trois études sont menées dans le cadre du pilotage militaire. Elles portent sur les analyses : de rapports d'accident, des processus de décision en simulation de vol statique et des interactions verbales en simulation dynamique.

Elles montrent que la persévération est liée à l'implication d'un mode de pensée automatique intervenant à trois niveaux du processus de décision : le défaut de détection des informations, l'interprétation incorrecte de la situation et le recours aux procédures. Le faible niveau de ressources disponibles, induit par une charge de travail élevée, joue un rôle important dans la survenue de la persévération tandis que l'argumentation de ses points de vue favorise la flexibilité.

Ainsi, lorsque la gestion d'événements imprévus requiert un coût cognitif élevé, la gestion des ressources est un élément clé de la persévération. Des pistes de recherche relatives aux communications verbales sont proposées afin d'améliorer l'exploitation des ressources du collectif et ainsi favoriser la récupération des comportements de persévération.

Mots-clés : persévération, gestion de risques, prise de décision en groupe, argumentation

Cognitive mechanisms and role of the collective in perseveration: Management of unexpected events in the activity of military piloting

Summary

This research deals about the cognitive mechanisms of perseveration during management of dynamic and risky systems. The thesis asserted is that perseveration in the application of an inadequate plan of actions results from a cognitive compromise oriented toward “automatic thinking” leading to incorrect representation of the situation and under-estimation of the resources needed to handle it. The activation of “controlled thinking”, essential to new situation adaptation, would be favoured by argued discussion about divergent opinions within the team.

In order to test it, three studies have been conducted within military piloting. They were based on analyses of: accident reports, decision processes during static flight simulation and verbal interactions during dynamic simulation.

They showed that perseveration is linked to the implication of automatic thinking which operates at three levels of the decision process: Information non-detection, incorrect interpretation of the situation and use of procedures. The limited resources available, induced by high workload, play an important role in the occurrence of perseveration whereas argumentation about its viewpoints improves flexibility.

Hence, when the management of unexpected events requires a high cognitive cost, resources management is a key element of perseveration. Avenues of research concerning verbal communication are proposed in order to improve exploitation of the collective resources and thus improve perseveration behaviours recovery.

Key-words: Perseveration, risk management, group decision making, argumentation

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE THEORIQUE : LES MECANISMES COGNITIFS DE LA PERSEVERATION.....	7
Introduction	8
1. Premiers travaux : interférence d'une activité antérieure sur l'activité occurrente	9
1.1. Evaluation de différentes formes de persévération	9
1.2. La persévération relève-t-elle d'une nature unique ?	10
1.3. De la persévération à la rigidité.....	11
2. Approche cognitive : déséquilibre entre deux modes de pensée	13
2.1. Psychologie de la forme : pensée créatrice et pensée reproductrice	13
2.1.1. Effet des expériences antérieures sur la rigidité du comportement	13
2.1.2. Représentation du problème et fixation	16
2.2. Neuropsychologie : fonctions exécutives et syndrome dysexécutif.....	18
2.2.1. Nature des fonctions exécutives	18
2.2.2. Implication des fonctions exécutives dans l'apparition de comportements de persévération	20
2.3. Modèles de contrôle attentionnel des actions : processus contrôlés et processus automatiques.....	22
2.3.1. Modèle de Norman et Shallice : affectation des ressources attentionnelles	23
2.3.2. Rôle de la métacognition	25
2.3.3. Effet de l'engagement vers un but et réaction de stress.....	30
2.4. Synthèse	34
3. Approche ergonomique : analyse des erreurs de décision.....	35
3.1. Cadre de la <i>Naturalistic Decision Making</i> (NDM)	35
3.2. Erreur de fixation dans l'activité médicale.....	37
3.2.1. Définition	37
3.2.2. Mécanismes à l'origine de l'erreur de fixation.....	38
3.3. Erreur de continuation de plan (PCE) dans l'activité de pilotage	42
3.3.1. Définition	42
3.3.2. Mécanismes à l'origine des PCE	43
3.4. Synthèse	49

4. Approche collective : recherche de consensus au sein du groupe.....	50
4.1. Biais de décision.....	50
4.1.1. Modèle du Groupthink.....	50
4.1.2. Biais de préférence	54
4.2. Résolution collective de problèmes en situation de travail	58
4.2.1. Rôle de l'argumentation dans l'activité de conception.....	59
4.2.2. Rôle de la verbalisation des pensées dans l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques	60
4.3. Synthèse	63
5. Bilan de la revue de littérature.....	65
5.1. Définir la persévération dans l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques.....	65
5.2. Choix d'un cadre théorique	65
5.3. Proposition d'un modèle intégratif.....	68
PARTIE EXPERIMENTALE : ETUDE DES COMPORTEMENTS DE PERSEVERATION DANS L'ACTIVITE DE PILOTAGE MILITAIRE.....	72
6. Spécificités de l'activité de pilotage militaire et méthodes d'études choisies.....	73
6.1. Spécificités de l'aéronautique militaire.....	73
6.1.1. Quels avions pour quelles missions ?	73
6.1.2. Rôle des membres d'équipage	74
6.1.3. Formation des pilotes.....	75
6.1.4. Caractéristiques des accidents aériens militaires.....	76
6.2. Choix des méthodes d'analyse de l'activité	79
7. Etude préalable des facteurs de persévération et éléments de récupération dans les accidents aériens survenus aux avions d'état	81
7.1. Analyse des rapports d'enquête.....	81
7.1.1. Source et sélection des rapports d'enquête	81
7.1.2. Conception de la grille d'analyse	82
7.2. Résultats de l'analyse des rapports d'enquête.....	88
7.2.1. Contexte du vol.....	88
7.2.2. Nature des décisions et phases de vol.....	89
7.2.3. Traitement des informations cibles.....	90
7.2.4. Facteurs de persévération et de flexibilité	90
7.2.5. Eléments de récupération.....	92
7.3. Discussion	94
Conclusion.....	96

8. Première étude expérimentale : effet de la charge de travail et implication des processus de décision.....	98
Introduction	98
8.1. Méthode.....	100
8.1.1. Simulation de vol.....	100
8.1.2. Participants	101
8.1.3. Conception des scénarii	101
8.1.4. Interface graphique	104
8.1.5. Variables analysées.....	107
8.1.6. Procédure	111
8.2. Résultats	112
8.2.1. Résultats descriptifs : performance et critères de décision.....	112
8.2.2. Effet de la charge de travail	114
8.2.3. Liens entre processus de décision et performance.....	122
8.3. Discussion	127
8.3.1. Effet de la charge de travail sur la nature des décisions prises.....	127
8.3.2. Liens entre charge de travail, traitement des informations cibles et nature de la décision	128
8.3.3. Liens entre charge de travail, compréhension de la situation et nature de la décision	128
8.3.4. Liens entre charge de travail, nature du compromis cognitif et nature de la décision	129
8.4. Limites de l'étude.....	131
Conclusion.....	131
9. Deuxième étude expérimentale : caractéristiques des communications verbales des équipages flexibles et persévérants	133
Introduction	133
9.1. Méthode.....	135
9.1.1. Simulation de vol.....	135
9.1.2. Participants	136
9.1.3. Scénario de vol	136
9.1.4. Performance	139
9.1.5. Analyse des communications	139
9.1.6. Procédure	141
9.2. Résultats	142
9.2.1. Description des performances.....	143
9.2.2. Fréquence des messages verbaux	145

9.2.3. Proportion des catégories de nature des messages verbaux.....	146
9.3. Discussion	156
Conclusion.....	158
DISCUSSION GENERALE, IMPLICATIONS PRATIQUES ET CONCLUSION	159
10. Discussion générale	160
10.1. Implications du déséquilibre entre mode de pensée automatique et mode de pensée contrôlé dans les comportements de persévération	161
10.2. Impact de la charge de travail sur la persévération	165
10.3. Rôle de l'argumentation exprimée au sein du groupe.....	166
10.4 Comprendre la persévération dans le cadre d'une sécurité écologique.....	168
11. Implications pratiques	170
11.1. Récupérer de la persévération par l'explicitation des points de vue	170
11.2. Identifier les enchaînements de décision dans l'analyse d'accidents.....	171
11.3. Renforcer les barrières de défense : la conception d'interfaces et l'entraînement des opérateurs	171
12. Conclusion générale	173
BIBLIOGRAPHIE.....	176

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1. Exemples de problèmes et leurs solutions issus du test des 3 jarres (Mayer, 1995).</i>	14
<i>Figure 2. Illustration du problème de la boîte et de ses solutions (Mayer, 1995).</i>	17
<i>Figure 3. Illustration de la tâche de classement du Wisconsin Sorting Card Test.</i>	20
<i>Figure 4. Modèle simplifié de Norman et Shallice (1980) (Shallice, 1982).</i>	23
<i>Figure 5. Modèle métacognitif du raisonnement (Thompson, 2009).</i>	29
<i>Figure 6. Modèle Recognition-Primed Decision (Klein, 1993).</i>	36
<i>Figure 7. Modèle du Groupthink (Janis & Mann, 1977).</i>	51
<i>Figure 8. Synthèse des processus de décision collective en jeu lors du biais de préférence et lors des décisions efficaces induites par l'influence des divergences minoritaires.</i>	57
<i>Figure 9. Représentation des mécanismes cognitifs de persévération dans l'activité de conduite de système dynamique à risques.</i>	69
<i>Figure 10. Evolution du nombre d'événements survenus aux aéronefs d'état entre 2003 et 2009 en fonction de la phase de vol (Bureau Enquêtes Accidents Défense-air, 2010).</i>	77
<i>Figure 11. Evolution du nombre d'événements survenus aux aéronefs d'état entre 2003 et 2009 en fonction du but de la mission (Bureau Enquêtes Accidents Défense-air, 2010).</i>	78
<i>Figure 12. Grille d'analyse de l'activité reconstituée à partir des rapports d'accident et d'incident.</i>	84
<i>Figure 13. Pourcentage des comportements de persévération expliqués pour chaque facteur identifié.</i>	91
<i>Figure 14. Représentation schématique des trois séries d'hypothèses concernant les liens entre la charge de travail, les processus de décision et la nature flexible ou persévérative des décisions prises lors de la gestion d'un événement inattendu à risques.</i>	99
<i>Figure 15. Illustration des six principaux instruments de bord du cockpit de l'A319.</i>	102
<i>Figure 16 Exemple d'interface présentant la situation de vol.</i>	106
<i>Figure 17. Interface de la simulation de vol représentant le tableau de bord de l'A319.</i>	106
<i>Figure 18. Nombre moyen d'informations cibles prises en compte dans les prises de décision en fonction de la phase de vol.</i>	117
<i>Figure 19. Répartition des quatre catégories de critères de décision exprimés pour chacun des deux types de performance.</i>	126
<i>Figure 20. Représentation schématique de la simulation de vol.</i>	138
<i>Figure 21. Représentation du dispositif d'observation lors de la simulation de vol.</i>	142
<i>Figure 22. Synthèse des performances réalisées par les équipages aux deux points de décision.</i>	144
<i>Figure 23. Répartition des messages verbaux en fonction de leur nature et de la performance des équipages au 1^{er} et au 2^d point de décision.</i>	147

<i>Figure 24. Répartition en pourcentage de la nature des informations partagées par les équipages flexibles et persévérants lors du 2^d point de décision.</i>	<i>149</i>
<i>Figure 25. Répartition en pourcentage de la nature des pensées exprimées par les équipages flexibles et persévérants lors du 1^{er} point de décision.</i>	<i>152</i>
<i>Figure 26. Répartition en pourcentage de la nature des arguments exprimés par les équipages flexibles et persévérants lors des deux points de décision.</i>	<i>155</i>

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1. Répartition des événements de décision en fonction de leur nature et de la catégorisation des actes risqués de Reason (1993), d'après Burian et al. (2000).</i>	43
<i>Tableau 2. Répartition en pourcentage de la nature des décisions prises en fonction de la phase de vol.</i>	89
<i>Tableau 3. Répartition en pourcentage de la nature du traitement des informations cibles en fonction de la nature des décisions.</i>	90
<i>Tableau 4. Répartition des natures de récupération des comportements de persévération en fonction de la nature du traitement des informations cibles.</i>	93
<i>Tableau 5. Nature des évènements et des informations cibles pour chacun des 6 scénarii.</i> 104	
<i>Tableau 6. Objet et nature des informations fournies aux participants dans la présentation de la situation de vol.</i>	105
<i>Tableau 7. Répartition des six scénarii en fonction de la phase de vol et de l'anticipabilité de l'évènement menaçant la sécurité du vol.</i>	108
<i>Tableau 8. Illustration des quatre catégories de critères de décision.</i>	113
<i>Tableau 9. Répartition des performances en fonction de la phase de vol lorsque les événements sont anticipables et lorsque les événements sont imprévus.</i>	114
<i>Tableau 10. Répartition du nombre de critères de décision cités en fonction de sa catégorie et de la phase de vol.</i>	120
<i>Tableau 11. Répartition du nombre de critères de décision cités en fonction de sa catégorie et de l'anticipabilité de l'évènement.</i>	121
<i>Tableau 12. Pourcentage des décisions flexibles et persévératives où une catégorie de critère de décision a été exprimée au moins une fois.</i>	125
<i>Tableau 13. Grille d'analyse des unités sémantiques.</i>	140
<i>Tableau 14. Catégorisation des natures d'arguments avec exemples.</i>	141
<i>Tableau 15. Répartition du nombre de messages verbaux, rapporté à une même durée, en fonction de la performance des équipages et du statut des locuteurs lors du 1^{er} point de décision.</i>	145
<i>Tableau 16. Répartition du nombre de messages verbaux, rapporté à une même durée, en fonction de la performance des équipages et du statut des locuteurs lors du 2^d point de décision.</i>	146
<i>Tableau 17. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre le pourcentage d'informations partagées selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages.</i>	148
<i>Tableau 18. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre la part d'initiations d'actions exprimées selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages.</i>	150
<i>Tableau 19. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre la part de reflats des pensées exprimés selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages.</i>	151

Tableau 20. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre la part d'acknowledgments exprimés selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages..... 153

Tableau 21. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre la part d'arguments exprimés selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages. 154

INTRODUCTION GENERALE

L'activité de pilotage est aujourd'hui l'une des plus sûres parmi les activités de conduite de systèmes dynamiques à risques, avec un taux d'accidents d'environ 3 par million de décollages tous types de vol confondus (Boeing, 2006). Ce chiffre est le résultat d'une politique de sécurité forte qui a conduit au développement de nombreuses réglementations et procédures facilitant les tâches de prises de décision des équipages. Parallèlement, l'accent a été porté sur la conception de formations aux compétences non techniques des équipages, dès les années 80 : la formation au *Crew Resource Management* (CRM). Ces cours portent sur l'explicitation des problèmes relatifs aux facteurs humains que peuvent rencontrer les pilotes en vol, ainsi que sur des recommandations permettant de faciliter leur gestion. L'efficacité de ces formations tient en partie du fait que leur contenu évolue en fonction des problèmes rapportés par les pilotes et des nouveaux modèles théoriques du fonctionnement humain. C'est dans ce cadre que l'Armée de l'air française a demandé la réalisation de travaux de recherche sur un comportement commun observé lors de plusieurs accidents aériens et relatif à des prises de décisions inadaptées de la part des équipages : la persistance à maintenir un plan d'actions malgré la présence d'indices signalant son caractère inadapté et risqué. Ce comportement se rapporte à la persévération.

Contrairement à la persévérance pouvant être définie comme la persistance à vouloir atteindre un objectif, la persévération peut se définir simplement comme la persistance à maintenir une décision. Dans le cas de la persévérance, l'atteinte de l'objectif n'empêche pas de réviser ses stratégies et de changer de plan d'actions, alors que dans le cas de la persévération, l'individu reste « fixé » sur sa décision. Dans l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques, qui regroupent tout système évoluant avec ou sans action de la part des opérateurs (Brehmer, 1992), l'observation de ce comportement semble d'autant plus étonnante que de nombreuses informations peuvent signaler son caractère inadapté. Deux exemples d'accidents aériens illustrant le comportement de persévération sont rapportés ici : un accident survenu le 10 avril 2010 à Smolensk impliquant l'avion gouvernemental polonais et un accident survenu à Istres le 31 mars 1992.

Accident survenu le 10 avril 2010 à Smolensk (Interstate Aviation Committee, 2011)

Le plan de vol consistait à transporter des passagers, dont plusieurs membres du gouvernement polonais, depuis Varsovie en Pologne jusqu'à Smolensk, en Russie. L'équipage était composé de trois personnes : le commandant de bord, le copilote et le navigateur. A l'approche de l'aéroport de destination, le contrôle aérien informe l'équipage d'une visibilité inférieure à 500 m due à la présence de brouillard et rappelle que ce

paramètre ne permet pas d'assurer un atterrissage. L'équipage décide tout de même de réaliser une tentative d'approche, tout en anticipant un possible déroutement en discutant des terrains alternatifs accessibles. Le contrôle rappelle alors les conditions de la tentative d'approche : une remise de gaz doit être effectuée si, à 100 m de hauteur, l'équipage n'a toujours pas de références visuelles. Quelques minutes plus tard, un équipage posé un peu plus tôt leur apprend que l'avion les précédant s'est dérouté après deux tentatives d'approche et que la visibilité s'est réduite à 200 m. L'équipage prend en compte ces informations, mais n'en discute pas. Arrivés à la hauteur de 100 m, annoncée par le navigateur à trois reprises, aucune réaction de l'équipage n'est observée malgré l'absence de références visuelles. La procédure indique qu'un ordre de remise de gaz aurait dû être prononcé par le commandant de bord, ou, à défaut, par le copilote. Dans les instants qui suivent, l'alarme « pull up » retentit, signalant une proximité dangereuse de l'avion avec le sol. La réaction à cette alarme devrait être la réalisation d'une remise de gaz. L'équipage continue cependant sa descente. Cette alarme retentira jusqu'au moment de l'accident. A la hauteur de 60 m, l'alarme signalant que la hauteur de décision est atteinte retentit et, simultanément, le copilote ordonne une remise de gaz. Cet ordre n'est pas suivi d'effet et l'équipage poursuit sa descente sans visibilité. Enfin, arrivés à 30 m de hauteur, une nouvelle intervention du contrôle aérien aurait à nouveau dû les faire réagir. Quelques secondes plus tard, le commandant de bord réalise une remise de gaz, probablement du fait de la récupération de la visibilité, mais trop tardivement pour éviter une collision avec les arbres puis l'impact au sol.

Cet exemple montre que la persévération dans le maintien d'une décision risquée peut être observée en dépit de nombreuses informations, provenant de sources variées, signalant son inadéquation par rapport à la situation rencontrée. Il révèle également certaines défaillances dans les communications échangées au sein de l'équipage. En effet, la remise de gaz prévue à 100m n'est pas discutée en termes de procédures et de répartition des tâches et le maintien du plan d'action, en dépit des informations signalant son caractère risqué, n'est jamais remis en question. Seul un ordre de remise de gaz est énoncé par le copilote mais n'est ni suivi d'effets, ni explicité.

A l'inverse, le rôle positif que peuvent jouer les membres d'équipages dans la décision du commandant de bord est justement mis en valeur dans l'exemple suivant où des comportements de persévération ont été récupérés grâce à l'intervention du copilote.

Accident survenu le 31 mars 1992 à Istres (Bureau d'Enquêtes et d'Analyses, 1992)

Parti depuis Luxembourg, cet avion cargo avait pour destination Kano au Nigéria, et son équipage était constitué de trois personnes : le commandant de bord, le copilote et un mécanicien-navigant. Lors du survol du sud de la France, l'équipage est confronté à la perte soudaine de ses deux moteurs droits (ils se détachent de l'aile) conduisant à de nombreuses pannes. Le copilote, en charge des communications radio, demande l'autorisation au contrôle d'amorcer une descente en urgence. Chaque membre d'équipage se concentre sur sa tâche tout en communiquant sur les actions effectuées. Alors que l'équipage prend le cap du terrain connu le plus proche, Marseille, le commandant de bord décide de ne pas s'y dérouter ; il souhaite se dérouter sur Palma. Il argumente sa décision en raison des conditions météorologiques aux abords de la ville. Une discussion s'engage alors entre le commandant de bord et le copilote qui amène ce dernier à demander des informations complémentaires au contrôleur. Les bonnes conditions au nord de Marseille conduisent l'équipage à finalement valider le déroutement sur ce terrain. Un peu plus tard, lorsque le contrôle répète les conditions météorologiques, le commandant de bord réitère son désaccord par rapport à ce choix de déroutement. C'est la demande de précisions, de la part du copilote, sur l'état précis des conditions nuageuses qui amène finalement le commandant de bord à rallier l'avis du copilote en faveur du déroutement sur Marseille. Quelques minutes plus tard, le copilote aperçoit une piste et propose au commandant de bord de changer de terrain de déroutement pour celui-ci qui est plus près (il s'agit de la piste de la base aérienne militaire d'Istres). Le commandant de bord refuse en justifiant son point de vue du fait de la longueur de la piste qui semble trop courte. Le copilote demande alors au contrôle l'identification du terrain et la longueur de sa piste. La réponse précise du contrôle permet à l'équipage de valider le déroutement sur ce terrain et, enfin, de poser l'appareil. L'atterrissage d'urgence se terminera par une sortie de piste, l'appareil prendra feu, mais l'équipage en sortira indemne.

Cet exemple met en avant l'importance des communications au sein de l'équipage pour la gestion de situations d'urgence et, en particulier, pour discuter des décisions qui ne semblent pas les plus adaptées. Dans certaines circonstances, les comportements de persévération semblent donc pouvoir être récupérés. Les interventions du copilote sur le choix du déroutement et sa recherche d'informations pertinentes auprès du contrôle vis-à-vis de ce choix ont sans doute contribué à limiter les conséquences de cet accident. Dans ce cas, c'est la dimension collective du pilotage qui a permis à chaque fois un changement adéquat de la décision.

Objectifs de la thèse

L'implication de la persévération dans des accidents aériens révèle l'importance de cet objet d'étude pour la sécurité des systèmes à risques. En ergonomie, deux axes principaux de recherche visent à réduire les accidents. Ils portent sur 1) la connaissance du risque et 2) la réduction des risques (Amalberti, 2004). Le premier consiste à identifier les dangers et notamment ses mécanismes de production et le second consiste à développer des méthodes de prévention, de récupération et d'atténuation. Les deux objectifs principaux de cette thèse vont dans le sens de ces deux axes :

Le premier objectif vise à déterminer les mécanismes cognitifs inhérents à la persévération dans la conduite de systèmes dynamiques à risques. La persévération, illustrée ici par des faits récents, est en fait étudiée depuis plus d'un siècle. A l'origine décrite en tant que symptôme chez certains patients qui, par exemple, répétaient une même réponse à différentes questions (Gross, 1902, in Luchins & Luchins, 1959), la persévération a ensuite été étudiée lors de tâches de résolution de problèmes où le sujet persiste à appliquer une solution inefficace (Luchins & Luchins, 1959), puis dans le cadre de l'analyse des prises de décision en situation de travail où l'opérateur maintient un plan d'actions alors que la situation a changé (Wiegmann, Goh, & O'Hare, 2002). Chacun de ces différents champs disciplinaires a permis d'élaborer des modèles spécifiques de la persévération mettant en évidence des facteurs distincts. Cependant, aucune confrontation de ces modèles n'a été réalisée jusqu'ici. Or, ce travail paraît nécessaire pour comprendre l'ensemble des mécanismes inhérents à la survenue de comportements de persévération. De plus, la conduite de systèmes dynamiques à risques confronte les opérateurs à de nombreuses contraintes qui pèsent sur leur activité et qu'il est donc nécessaire de prendre en compte. Les modèles de gestion des risques, d'abord centrés sur l'analyse et la prévention des erreurs humaines, tendent désormais à une approche systémique visant à intégrer les spécificités des situations de travail (Amalberti, 2004). Ce sont, par exemple, la sécurité écologique (Amalberti, 2001) (*cf.* chapitre 2) ou la *Naturalistic Decision Making* (Zsombok & Klein, 1997) (*cf.* chapitre 3). L'élaboration d'un modèle de persévération, appliqué à l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques, implique alors de l'intégrer à l'un de ces cadres théoriques.

Le second objectif de cette thèse consiste à identifier des moyens pour prévenir ou récupérer ce comportement. Comme l'illustre le second exemple d'accident aérien, le rôle du collectif semble être important dans l'adaptation des décisions face aux changements de la situation. Les études de psychologie sociale sur les prises de décision en groupe et certains travaux en ergonomie montrent, en effet, un lien entre la nature des interactions entre les

membres du groupe et les performances de décision. Cependant, ce lien n'a pas été montré dans le cadre de la persévération en situation de travail. Afin de proposer des recommandations portant sur le rôle des différents membres d'une équipe confrontée à une situation devenue à risques, cette thèse s'attachera à mettre en évidence un lien entre la nature des échanges verbaux au sein des équipes et la survenue de comportements de persévération ou de flexibilité.

Plan de la thèse

Afin d'atteindre ces objectifs, une revue de littérature issue de différents champs disciplinaires est d'abord réalisée dans la partie théorique. Après une présentation des premiers travaux relatifs à la persévération (chapitre 1), trois approches principales des mécanismes de la persévération sont distinguées : l'approche « cognitive » explique la persévération par un déséquilibre entre deux modes de pensée « automatique » et « contrôlé » (chapitre 2), l'approche « ergonomique » décrit la persévération à travers les erreurs de décision (chapitre 3) et enfin l'approche « collective » centre l'étude de la persévération sur les interactions au sein des groupes (chapitre 4). A l'issue de cette revue, un modèle des mécanismes cognitifs de la persévération, appliqué à l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques, est proposé dans le chapitre 5.

Ensuite, une deuxième partie, consacrée aux études expérimentales, a pour but de tester les hypothèses élaborées à l'issue de la partie théorique à travers l'analyse de l'activité de pilotage militaire. Le chapitre 6 introduit cette partie par la présentation du terrain d'études et des choix méthodologiques. Cette méthode est composée d'une analyse de rapports d'accident et d'incident (chapitre 7), dont le but est de recueillir les facteurs de persévération ainsi que les éléments de récupération observés en situation naturelle, puis de deux simulations de vol : l'une utilisant un simulateur statique et partiel (chapitre 8) permettant d'identifier les processus de décision en jeu et l'autre utilisant un simulateur dynamique reproduisant fidèlement le cockpit (chapitre 9) qui permet d'analyser les interactions au sein du collectif.

Enfin, dans la troisième partie, la discussion générale (chapitre 10) vise à préciser les mécanismes cognitifs inhérents aux comportements de persévération mis en évidence dans la thèse et à proposer des recommandations visant la prévention et la récupération des comportements de persévération (chapitre 11). Pour conclure, des perspectives de recherche concernant la poursuite des travaux sur la persévération sont proposées dans le chapitre 12.

PARTIE THEORIQUE :

LES MECANISMES COGNITIFS DE LA PERSEVERATION

Introduction

L'étude des mécanismes de persévération remonte à la fin du XIX^{ème} siècle. D'abord évaluée par des tests impliquant différents niveaux d'activité (moteur, sensoriel, cognitif), la persévération est ensuite principalement étudiée en psychologie cognitive, à travers des tâches de résolution de problème, et en psychologie sociale, dans le cadre de l'étude des prises de décision en groupe. Les travaux portant sur la persévération en situation de travail émergent vers la fin des années 80. Cette revue de littérature révèle trois approches distinctes. La première considère la persévération comme le résultat d'un déséquilibre entre deux modes de pensée opposés, la seconde la décrit principalement au travers des processus de traitement des informations conduisant aux erreurs de décision et, enfin, la troisième explique la persévération par la nature des interactions, traduisant une recherche rapide de consensus, entre les membres du groupe.

1. Premiers travaux : interférence d'une activité antérieure sur l'activité concurrente

Dans leur revue de littérature sur l'étude de la rigidité du comportement, Luchins et Luchins (1959) proposent une revue historique des expérimentations relatives à la persévération. Ils rappellent que c'est Neisser, un psychiatre allemand, qui introduit pour la première fois ce terme en 1894 pour décrire des comportements observés auprès de patients. Il définit la persévération comme « une répétition ou une continuation persistante anormale d'une activité après que celle-ci ait déjà commencé ou qu'elle ait été récemment terminée » (Luchins & Luchins, 1959, notre traduction). Durant cette période, de nombreux tests de persévération sont conçus.

1.1. Evaluation de différentes formes de persévération

Les premiers tests conçus évaluaient différentes formes de persévération : sensorielle, verbale ou encore motrice. Par exemple, les tests de mémorisation conçus par Müller & Pilzecker entre 1892 et 1900 sont rapportés par Lechner, Squire & Byrne (1999). L'un d'entre eux consistait à mémoriser et à rappeler des paires de syllabes dépourvues de sens. La persévération était observée lorsque le sujet persistait à rappeler une paire similaire mais incorrecte. Un autre exemple de test consistait à écrire l'alphabet à l'endroit puis à l'envers, la persévération étant mesurée par le rapport entre le nombre de lettres écrites à l'endroit sur le nombre de lettres écrites à l'envers.

L'analyse de ces tests a permis à Gross (1902, in Luchins & Luchins, 1959) d'expliquer la persévération comme le résultat d'un contre-effet inconscient (désignée comme une fonction secondaire) de tout stimulus conscient (désigné comme fonction primaire). Chaque processus nerveux engendrerait un contenu mental conscient qui persisterait dans le temps par un contre-effet inconscient pouvant alors influencer l'activité suivante. Dans la lignée de ces travaux, Heymans et Grugmans (1913, in Luchins & Luchins, 1959) ont expliqué la persévération par l'effet de l'interférence des processus mentaux précédents sur les processus mentaux actuels.

Cependant, la variété des formes de persévération évaluée par ces tests a conduit les chercheurs issus du courant de l'Ecole Anglaise de Psychologie à s'interroger sur l'existence d'une nature unique ou de plusieurs natures de persévération.

1.2. La persévération relève-t-elle d'une nature unique ?

Dans le cadre de travaux portant sur l'identification de facteurs universels prédisant les capacités cognitives des individus, Spearman (1927) réalise une revue de littérature des études de l'Ecole Anglaise de Psychologie portant sur l'analyse factorielle des tests de persévération.

L'une des premières a été publiée en 1915 par Lankes (in Spearman, 1927). Une batterie de huit tests d'évaluation de la persévération était proposée à plusieurs groupes de sujets sains. En plus de ces tests, un questionnaire¹ ayant pour but d'obtenir un critère introspectif de persévération, était présenté aux sujets. Les résultats ont montré une corrélation positive entre les scores de chaque test et le score obtenu au questionnaire. Les inter-corrélations entre les tests étaient également positives, bien que ne dépassant pas 0,29. Ces résultats ont conduit Spearman à proposer l'hypothèse de l'existence d'une nature unique de persévération, pouvant se manifester sous différentes formes : le contre-effet d'une expérience sensorielle, la récurrence spontanée à la conscience d'une expérience passée ou encore la continuation inconsciente ou subconsciente des effets d'une expérience précédente. Pour cet auteur, la persévération et la fonction secondaire renvoient à une même notion qui correspondrait à la persistance des processus mentaux dans l'activité longtemps après que les conditions qui la sous-tendaient aient cessé. Il postule que, dans toute activité humaine, il existe une tendance à l'inertie.

Ainsi, en complément du facteur g qu'il a mis en évidence pour prédire les capacités mentales ou, plus généralement, l'intelligence, Spearman propose l'existence d'un facteur p , dit facteur de persévération ou d'inertie mentale, pour prédire la persévération. Il considère ces deux facteurs comme deux facettes d'un même composant : l'énergie mentale. Le facteur g représenterait la quantité d'énergie mentale de chaque individu et le facteur p représenterait le degré d'inertie de cette énergie, ces deux facteurs variant indépendamment l'un de l'autre. Le facteur p opèrerait comme une unité fonctionnelle imprégnant tous les processus liés au comportement.

Les travaux réalisés par l'Ecole Anglaise de Psychologie ont été l'objet de nombreux débats. Trois principales critiques ont été formulées à l'encontre de l'existence du facteur p , notamment en ce qui concerne la méthodologie employée. Tout d'abord, bien que les

¹ Exemples de question : « Est-ce qu'une musique vous revient à l'esprit encore et encore sans que vous le vouliez ? Combien de fois par semaine ? Combien de fois par jour ? ».

différentes analyses factorielles aient montré des inter-corrélations positives, plusieurs auteurs (Burri, 1935; Jasper, 1931; Kelley, 1928) ont montré que leur faible niveau pouvait être dû au hasard. La deuxième critique concerne la nature de ce que mesurent les tests utilisés. Pour Kelley (1928), dont l'objectif est de mettre en évidence l'indépendance de certaines capacités mentales, les tests utilisés peuvent aussi bien renvoyer au facteur g qu'à la rapidité d'exécution ou encore la dextérité manuelle. Enfin, une dernière critique a été émise quant à l'inter-corrélation positive entre plusieurs tests : elle pourrait rendre compte de plusieurs facteurs communs et pas forcément d'un seul (Burri, 1935).

Dans le sens de ces critiques, les travaux modernes de la neuropsychologie ont confirmé l'existence de plusieurs natures de persévération impliquant l'activation de zones cérébrales distinctes (Sandson & Albert, 1984, 1987) :

- la persévération « continue » correspond à la prolongation inappropriée d'un comportement. Elle implique des déficits moteurs et est reliée à des lésions des ganglions de la base.

- la persévération « récurrente » est une répétition non intentionnelle d'une réponse préalablement produite lorsque le patient est soumis à une séquence de stimuli. Elle implique des processus liés à la mémoire et est reliée à des lésions de l'hémisphère postérieur gauche.

- la persévération « d'engluement » correspond au maintien inapproprié d'une catégorie d'activité. Le patient ne peut « passer » d'une tâche à une autre. Elle est reliée à des lésions des lobes frontaux, siège des fonctions supérieures.

Les critiques des travaux de l'Ecole Anglaise de Psychologie ont conduit certains chercheurs à rejeter l'hypothèse selon laquelle toute activité cognitive a une tendance à la persévération. Aussi, pour se démarquer du sens donné à la persévération par Spearman, le concept de rigidité a été introduit.

1.3. De la persévération à la rigidité

A travers l'analyse des activités impliquées dans les tests qui mesurent le mieux le facteur p , Cattell (1935, in Luchins & Luchins, 1959) identifie une caractéristique commune aux comportements de persévération : ils surviennent lorsque la tâche demandée au sujet requiert un changement de procédure (*newly-established set*) alors que jusque-là le sujet appliquait une procédure « bien établie » (*old-established set*). Pour cet auteur, c'est donc l'habitude d'un type d'activité qui entraîne un comportement de persévération et non pas la

relation temporelle entre les deux activités interférentes. Une expérimentation est réalisée afin de vérifier cette hypothèse (Walker, Staines & Kenna, 1943, in Luchins & Luchins, 1959). Les résultats montrent que les tests de persévération incluant un pattern de comportements bien établi et une activité à laquelle la personne n'est pas habituée entraînent des résultats similaires quel que soit l'ordre de passation des deux activités. Le concept de rigidité est alors introduit pour décrire l'influence interférente d'une activité habituelle sur une activité nouvelle.

Avec cette opposition entre activité habituelle et activité nouvelle, apparaît une nouvelle approche de la persévération décrite à travers l'opposition entre deux modes de pensée caractéristiques de ces deux types d'activités.

2. Approche cognitive : déséquilibre entre deux modes de pensée

Nous avons regroupé dans l'approche cognitive de la persévération, les études réalisées dans le cadre de tâches de résolution de problèmes et/ou mettant en œuvre des capacités de raisonnement. Trois cadres théoriques principaux composent cette approche : la psychologie de la forme (ou *Gestalt*), à travers l'étude des phénomènes de fixation, la neuropsychologie, par l'analyse des fonctions exécutives, et les modèles de contrôle attentionnel. Ces trois cadres ont pour point commun de mettre en évidence deux modes de pensées opposés. Le déséquilibre entre ces deux modes serait à l'origine des comportements de persévération.

2.1. Psychologie de la forme : pensée créatrice et pensée reproductrice

Un des objets de recherche de la psychologie de la forme est de déterminer le rôle de l'organisation et des structures dans les comportements. L'objectif de ces travaux était de comprendre la dynamique du raisonnement à travers l'activité de résolution de problèmes (Wertheimer, 1945).

Plus spécifiquement, les Gestaltistes ont cherché à identifier les mécanismes qui permettent aux individus de comprendre comment résoudre des problèmes qui requièrent une solution créative (Mayer, 1995). Ces problèmes sont non-routiniers, c'est-à-dire que la personne n'a jamais résolu ce problème précédemment, et n'offrent pas de solution pré-établie, ce qui requiert l'utilisation d'une pensée créatrice (ou *productive thinking*) où la personne doit inventer une nouvelle façon de résoudre le problème. En opposition, la pensée reproductrice (ou *reproductive thinking*) caractérise la personne qui applique une solution déjà utilisée par le passé pour résoudre des problèmes identiques ou similaires. La rigidité du comportement résulterait de l'utilisation de la pensée reproductrice lors d'une situation nouvelle qui requiert une pensée créatrice.

2.1.1. Effet des expériences antérieures sur la rigidité du comportement

Les travaux de Luchins (1942, 1951a, 1951b) ont porté sur les facteurs à l'origine de la rigidité du comportement chez des individus sains et a mis en évidence le rôle des expériences antérieures. Pour cet auteur, les habitudes et les apprentissages antérieurs entraîneraient une « mécanisation de la pensée », autrement appelé effet d'*Einstellung*. Ce terme désigne une attitude prédisposant immédiatement l'individu à un type d'acte conscient ou moteur (Warren, 1934).

Pour évaluer l'effet de l'*Einstellung* sur la rigidité du comportement, Luchins a créé un test encore utilisé de nos jours : le test des trois jarres. Il consiste en une série de problèmes à résoudre : *The water-jug volume – measuring problems* (Luchins & Luchins, 1959). Le principe de cette série de problèmes est de manipuler hypothétiquement trois jarres de contenance différente afin d'obtenir une quantité de liquide définie. Onze problèmes sont présentés successivement (figure 1).

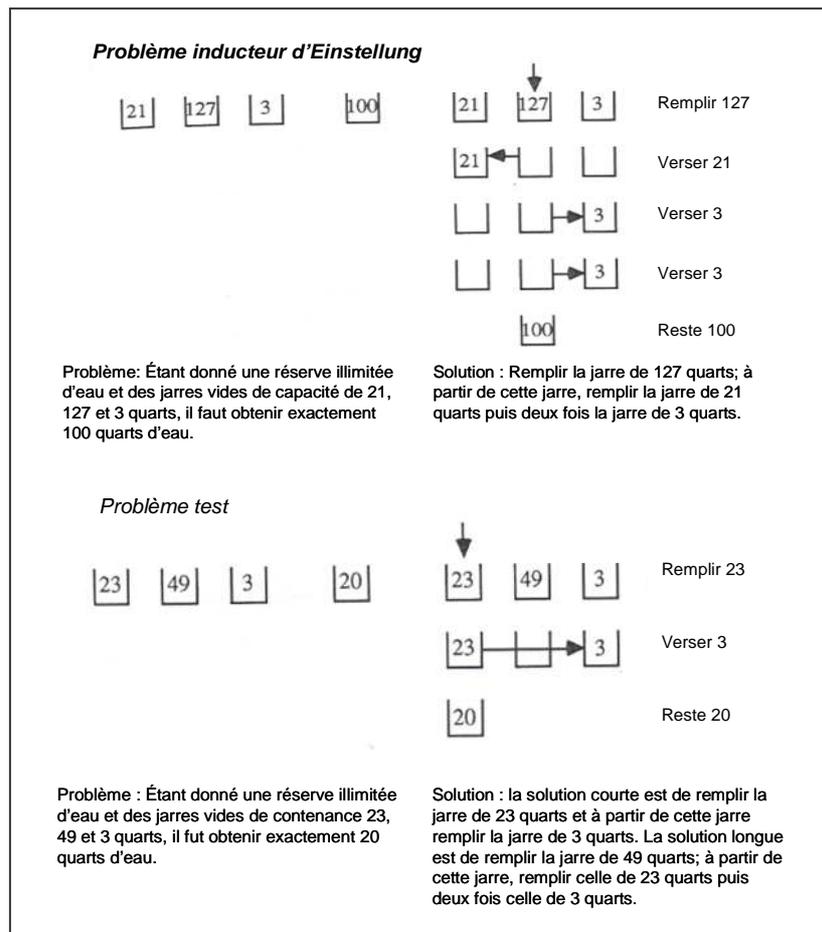


Figure 1. Exemples de problèmes et leurs solutions issus du test des 3 jarres (Mayer, 1995).

Les problèmes numérotés de 2 à 6 se résolvent tous par une même méthode requérant l'utilisation des trois jarres. La résolution de ces problèmes par la même méthode induit alors une mécanisation de la pensée : ce sont les problèmes inducteurs d'*Einstellung*. A partir du septième problème, une méthode plus simple, ne faisant appel qu'à deux jarres, peut également être appliquée. Deux solutions sont alors possibles, l'une étant plus complexe que l'autre. Seul le neuvième problème ne peut être résolu qu'avec une seule solution simple à deux jarres. La rigidité est mesurée par le nombre de problèmes tests (problèmes numérotés de 7 à 11) résolus avec la méthode complexe. Les résultats obtenus par Luchins et Luchins

(1959) ont montré que, sur 1039 sujets, 83 % d'entre eux utilisent la solution complexe requérant l'utilisation des trois jarres pour résoudre les problèmes tests et 64 % échouent au problème numéro 9. Dans le groupe contrôle, où les 970 sujets ont directement résolu les problèmes 7 à 11, moins de 1 % utilisent la solution complexe des trois jarres et seulement 5 % échouent au neuvième problème. La persistance à appliquer un mode de solution complexe alors que celui-ci est inefficace et qu'un mode simple permettrait la résolution du problème est interprétée par les auteurs comme une mécanisation de la pensée due à l'effet négatif de l'expérience de la résolution des premiers problèmes.

Les travaux de Luchins sur la mécanisation de la pensée mettent en avant le rôle négatif joué par les expériences antérieures. Cependant, ce rôle a par la suite été nuancé. En effet, au sein du même courant, il a été mis en évidence que la résolution de problème par analogie pouvait au contraire faciliter la découverte de solution (Wertheimer, 1945). Dans ce cas, l'analogie doit être conduite au niveau de l'identification de l'organisation structurelle du nouveau problème associée à celle d'une situation connue. C'est lorsque le sujet se focalise sur les traits de surface plutôt que sur les traits organisationnels que l'on peut observer une persistance à répéter une solution inefficace.

En 1960, Rokeach (in Schultz & Searlman, 2002) propose une définition qui étend la nature de rigidité à d'autres aspects que le seul aspect comportemental. Il la définit comme une résistance à changer ses croyances, ses attitudes et ses habitudes personnelles. Elle ne décrit alors plus seulement une persévération dans le comportement, mais implique également des composantes cognitives et d'attitude. A l'issue d'une revue de littérature sur la notion de rigidité en psychologie, Schultz et Searlman (*op. cit.*) proposent leur propre définition de rigidité comme « *the tendency to develop and persevere in the use of mental or behavioral sets* »² (Schultz & Searlman, 2002, p. 170). Ils définissent le *set* comme un pattern mental ou comportemental appris et formé à travers l'expérience de situations données. Les *sets* mentaux sont des attentes concernant des événements futurs (par exemple des attitudes, des croyances ou des schémas) tandis que les patterns comportementaux sont des réponses observables. La rigidité présente deux composantes principales : la formation d'un *set* et la persévération dans l'utilisation du *set*. Dans ce cadre, la persévération correspond à « la persistance dans l'utilisation du *set* malgré la pression pour en changer » (Schultz & Searlman, 2002, p. 170, notre traduction). La persévération se rapproche donc de la notion de rigidité comportementale, telle qu'étudiée avec le problème des jarres.

² Notre traduction : « Tendance à développer et persévérer dans l'utilisation de sets mentaux ou comportementaux ».

Les expériences de Luchins ont porté sur la rigidité du comportement mais elles ne permettent pas d'analyser les processus en œuvre lors de la mécanisation de la pensée. Au sein du même courant, Duncker (1945) décrit les phénomènes d'*insight* (*einsicht* en allemand) et de fixations pour expliquer la rigidité du comportement.

2.1.2. Représentation du problème et fixation

L'*insight*³ correspond à la découverte soudaine d'une solution adaptée à un problème nouveau. Selon Wertheimer (1945), il constitue l'une des composantes de la pensée productive. L'*insight* résulterait du processus de restructuration correspondant au changement de perception de la situation problématique (Dominowski & Dallob, 1995). L'hypothèse principale des Gestaltistes est que si la structure de la situation est comprise correctement, le comportement approprié devrait être produit. Pour Duncker (1945), ce changement de perception est rendu possible par des reformulations successives du problème, sous deux aspects : la reformulation des données et la reformulation des objectifs. Les mécanismes qui empêchent les personnes de reformuler le problème les conduisent à rester « fixées » sur une interprétation inappropriée du problème.

Un des phénomènes de fixation étudié par Duncker est la fixité fonctionnelle. Celle-ci survient lorsqu'une personne, qui doit résoudre un problème « pratique », pense à l'utilisation d'un objet uniquement par sa fonction la plus commune ou la plus habituelle alors que le problème requiert une nouvelle utilisation de cet objet. Pour étudier ce phénomène, Duncker (1945) crée un ensemble de problèmes dits de « préutilisation ». Mayer (1995) décrit l'un d'eux : le problème de la boîte (figure 2).

³ Traduit parfois en français par le terme d'« intuition », il peut également être rencontré sous des sens différents. Difficilement traduisible en français, le terme anglais est conservé.

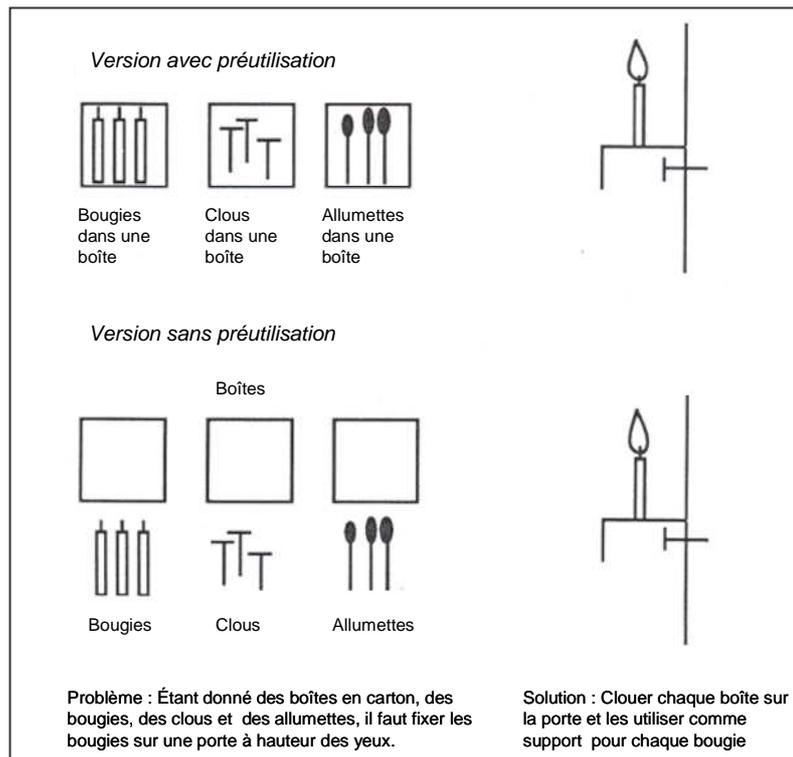


Figure 2. Illustration du problème de la boîte et de ses solutions (Mayer, 1995).

L'objectif de ce problème, tel qu'il est présenté aux sujets, est de fixer, sur une porte, trois bougies côte à côte à hauteur des yeux « pour des besoins d'expérimentation visuelle ». Les éléments proposés aux sujets sont trois petites boîtes en carton contenant chacune des petites bougies, des clous et des allumettes. La solution consiste à clouer chaque boîte sur la porte afin qu'elles servent de support pour une bougie. Dans la présentation des objets, les boîtes sont préutilisées en tant que contenant induisant ainsi une fixité fonctionnelle. Si les boîtes sont perçues comme des contenants, alors le sujet aura des difficultés à imaginer, pour ces mêmes boîtes, une nouvelle fonction : celle de support. Les résultats de Duncker ont montré que la plupart des sujets sont incapables de résoudre ce problème lorsque les boîtes contiennent les bougies, les clous et les allumettes, alors qu'ils y arrivent tous lorsque les boîtes sont présentées vides à côté des piles de bougies, de clous et d'allumettes.

Pour Clément (2009), Duncker montre à travers cette expérience que la difficulté de changer sa représentation du problème serait bien à l'origine des comportements de fixation. Cependant, les travaux issus de la Gestalt sont centrés sur la notion de totalité et ne permettent donc pas de préciser les mécanismes fonctionnels en cause. C'est l'objet du courant de la psychologie cognitive dont les travaux vont permettre d'identifier les types de traitement en œuvre (Cadet, 1998). Pour l'étude des comportements de persévération, ce sont

les travaux issus de la neuropsychologie qui vont permettre de décrire finement l'ensemble des processus cognitifs en jeu par l'étude des fonctions exécutives.

2.2. Neuropsychologie : fonctions exécutives et syndrome dysexécutif

Le courant de la Gestalt explique la rigidité du comportement d'individus sains par l'application d'une pensée reproductrice, associée aux situations familières, alors que la situation, problématique, requiert une pensée créatrice. De manière similaire, en neuropsychologie, les comportements de persévération observés chez des patients cérébro-lésés sont expliqués par des lésions des zones cérébrales frontales, sièges des fonctions exécutives. Ils sont un des symptômes du syndrome dysexécutif. Les fonctions exécutives regroupent « un ensemble de processus cognitifs dont le rôle principal est de faciliter l'adaptation du sujet aux situations nouvelles et/ou complexes, en particulier lorsque les habiletés cognitives sur-apprises ne sont plus suffisantes » (Collette, 2004, p. 25). Les nombreux travaux sur ce thème ont permis de préciser les processus cognitifs liés aux comportements de persévération.

2.2.1. Nature des fonctions exécutives

L'analyse systématique des troubles comportementaux liés à la présence de lésions frontales trouve son origine par la description du cas de Phineas Gage⁴. Durant la première moitié du XX^{ème} siècle, les nombreuses études de cas ont permis ainsi d'identifier l'aboulie, l'impulsivité, la désinhibition ou encore les stéréotypies, comme symptômes des lésions frontales (Godefroy, Roussel-Pierronne, Routier, & Dupuy-Sonntag, 2004).

A partir des années 60, et grâce au développement de la neuropsychologie expérimentale, la description de ces troubles, alors appelé syndrome frontal, a été enrichie d'un pan cognitif. Les observations de Luria (1966) ont notamment montré que les patients frontaux présentent des difficultés importantes dans des situations nouvelles où il faut élaborer et planifier de nouvelles stratégies, alors qu'ils ne présentent pas ces difficultés dans des situations très routinières. Ces patients sont incapables d'analyser et de confronter les différentes données du problème, n'élaborent pas d'hypothèses, ne confrontent pas leurs résultats avec le projet initial et enfin, ne corrigent pas leurs erreurs. A partir de ces travaux,

⁴ Phineas Gage (1823-1860). Ce contremaître états-unien a été gravement blessé par l'explosion prématurée d'une charge de mine. La déflagration a propulsé la barre à mine à travers son cerveau en provoquant de graves dommages au niveau des lobes frontaux. Les modifications émotionnelles et sociales de son comportement ont engendré, de son vivant et après son décès, de nombreuses études sur le syndrome frontal.

Lezak (1982) identifie quatre opérations qui sous-tendraient le contrôle cognitif et qu'il appelle collectivement fonctions exécutives :

- la formulation d'un but,
- la planification,
- l'exécution avec son contrôle en ligne et le séquençage des actions,
- la vérification que le but fixé a été atteint.

Dans un travail plus récent, Miyake, Friedman, Emerson, Witzki et Howerter (2000) ont tenté de déterminer dans quelle mesure différentes fonctions exécutives pouvaient être considérées comme unitaires (dans le sens où elles seraient le reflet du même mécanisme sous-jacent) ou non unitaires. A partir d'analyses factorielles basées sur les performances à plusieurs tâches, faisant appel à des fonctions exécutives distinctes, ces auteurs ont pu démontrer que trois fonctions exécutives étaient séparables bien qu'elles n'apparaissent pas complètement indépendantes :

1) la fonction de mise à jour, qui correspond à la modification du contenu de la mémoire de travail en fonction des nouvelles entrées ;

2) la flexibilité, qui représente la capacité de déplacer volontairement le foyer attentionnel d'une catégorie de stimuli à une autre, ou d'un processus cognitif à un autre ;

3) les processus d'inhibition dont le but est d'empêcher des informations non pertinentes de venir perturber la tâche en cours.

Les fonctions de flexibilité et d'inhibition ont souvent été présentées comme liées. Cependant, Ridderinkhof, Span et Van der Molen (2002) rappellent que ces deux fonctions ne se recouvrent pas complètement : « dans l'inhibition, le focus attentionnel reste fixé sur un type de stimuli et le système de contrôle doit prévenir l'interférence suscitée par la survenue d'informations non pertinentes ; la flexibilité réfère à la capacité à déplacer le focus attentionnel d'une classe de stimuli, de tâches ou de réponses à une autre, autrement dit de la capacité d'alterner entre des sets cognitifs différents » (p. 388). Plus précisément, l'inhibition pourrait être décrite comme un mécanisme de suppression de représentations ou de processus préalablement activés et de résistance à l'interférence causée par des stimulations extérieures non pertinentes (Bjorklund & Harnishfeger, 1995; Harnishfeger, 1995). Elle répondrait à trois rôles principaux en mémoire de travail : empêcher l'accès d'informations non pertinentes, empêcher la réalisation d'une réponse prédominante et empêcher l'accès à des informations devenues non pertinentes (Hasher, Zachs, & May, 1999).

Le lien entre un déficit des fonctions exécutives et l'observation de comportements de persévération a été mis en évidence grâce à un test de classement : le *Wisconsin Sorting Card Test* (WSCT) (Grant & Berg, 1948).

2.2.2. Implication des fonctions exécutives dans l'apparition de comportements de persévération

Le but original du test WSCT était d'évaluer le raisonnement abstrait [pour une revue de la genèse de ce test, voir Eling, Derckx & Maes (2008)]. Le sujet est placé devant quatre cartes-stimulus qui diffèrent en fonction de la couleur, la forme et le nombre de figures dessinées. Il reçoit un ensemble de cartes-réponses comprenant les mêmes dimensions que les cartes-stimuli, et doit placer chacune des cartes-réponses devant l'une ou l'autre des cartes stimuli. L'examineur indique seulement si la réponse est correcte ou incorrecte. A l'aide de ce seul feed-back, le sujet doit, par essai et erreur, élaborer une règle de classement (figure 3).

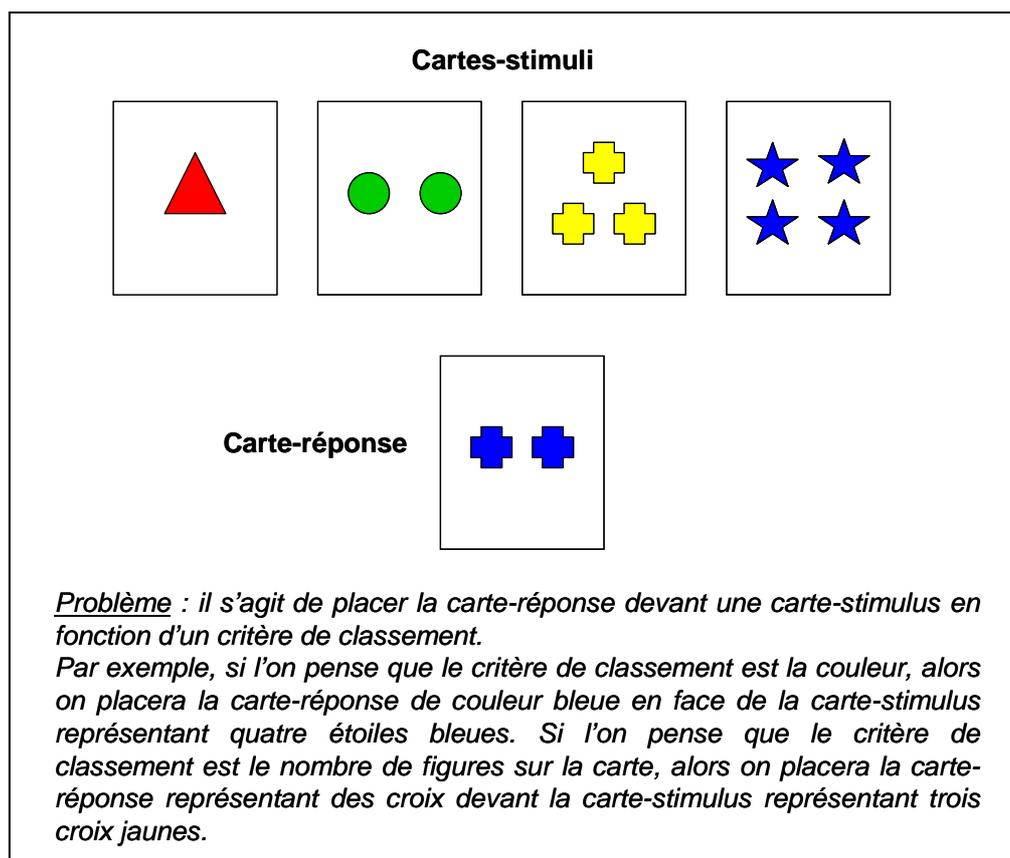


Figure 3. Illustration de la tâche de classement du Wisconsin Sorting Card Test.

La première règle choisie par le sujet est d'office considérée comme correcte. Après avoir suivi cette règle durant un certain nombre d'essais (10 ou 6 selon la version de l'épreuve), l'examineur modifie la règle en cours. Ainsi, sans avertissement préalable, la

réponse qui était correcte devient incorrecte, et le sujet doit s'adapter à cette modification de l'environnement. Le fait de répondre selon la règle précédemment correcte est considéré comme une erreur persévérative.

Le premier auteur à montrer un lien entre les lésions frontales et les comportements de persévération est Milner en 1963. L'objectif de son étude était de déterminer les processus cognitifs impliqués dans les lobes frontaux à travers l'utilisation du test de classement WSCT. Milner (1963) interprète la difficulté de passer d'une règle de classement à une autre comme un trouble de la flexibilité résultant d'un échec dans l'inhibition d'une réponse dominante. A la même époque, Luria (1966) met également en évidence le lien entre des difficultés d'inhibition et des comportements de persévération à travers différentes tâches. Par exemple, il observe que lorsque l'on demande à des patients frontaux de dessiner alternativement un cercle et une croix, ils peuvent reproduire le premier dessin de manière répétée, sans alternance entre les dessins. Pour cet auteur, la difficulté de l'inhibition d'une réponse réside particulièrement lorsque cette réponse fait partie de routines d'actions devenues automatiques.

Par la suite, de nombreux travaux ont confirmé le lien entre les comportements de persévération et des déficits du fonctionnement du cortex frontal [par exemple, Barcelo et Santom-Calleja (2000)]. De plus, l'utilisation de la neuroimagerie a permis de confirmer l'activation des structures préfrontales lors de performances réussies au WSCT (Berman et al., 1995). Cependant, ce test est aujourd'hui considéré comme multifactoriel (Miyake et al., 2000) : il n'impliquerait pas la seule fonction d'inhibition de réponses antérieurement correctes et devenues non pertinentes, mais aussi l'évaluation de la performance, l'intégration de *feed-backs*, la déduction de règles ou encore la flexibilité (Ridderinkhof et al., 2002). Aussi, cette tâche requiert d'autres circuits corticaux que les seules structures préfrontales, comme l'hippocampe, siège de la mémoire, et le cortex associatif postérieur, siège notamment des raisonnements abstraits et logiques ayant trait aux notions visuo-spatiales (Berman et al., 1995). Toutefois, les performances au WSCT restent principalement liées à l'activation du cortex préfrontal et inversement, ce qui conduit certains auteurs à confirmer que les comportements de persévération sont bien le reflet d'une activité préfrontale inefficace (Barcelo, Sanz, Molina, & Rubia, 1997).

Plus précisément, la persévération dans une règle de classement précédemment correcte après un changement soudain et non annoncé de la règle de classement, comme dans le WSCT, pourrait impliquer trois processus. Les sujets rencontreraient des difficultés dans (Ridderinkhof et al., 2002) :

- l'évaluation de la performance : les sujets ne se rendraient pas compte que leur réponse est inappropriée ;
- la capacité à élaborer des hypothèses possibles et déduire des règles appropriées ;
- la capacité de flexibilité.

Pour ces auteurs, c'est le déficit de l'évaluation de la performance qui constituerait le processus le plus important de la persévération. De manière similaire, les résultats d'une étude basée sur l'utilisation d'une tâche de détection (Duncan, Emslie, Williams, Johnson, & Freer, 1996) ont montré que les comportements de persévération peuvent être expliqués par un déficit de l'évaluation de la performance dû à la « négligence » d'un des buts de la tâche.

Ces résultats mettent en évidence la variété des processus cognitifs mis en œuvre pour s'adapter à une situation nouvelle. C'est le déficit de l'un ou de plusieurs de ces processus qui serait à l'origine des comportements de persévération. Or, alors que pour les patients cérébro-lésés, ces déficits sont expliqués par une cause physiologique, la question se pose de la ou des causes de ces déficits chez des sujets sains. Norman et Shallice [1980, cité dans Shallice & Burgess (1991)] sont les premiers à proposer un rapprochement entre les résultats des travaux de neuropsychologie sur les fonctions exécutives et les phénomènes empiriques relatifs au contrôle attentionnel, mis en évidence en psychologie expérimentale.

2.3. Modèles de contrôle attentionnel des actions : processus contrôlés et processus automatiques

La notion de contrôle attentionnel est issue de la distinction proposée par Schneider & Shiffrin (1977) entre traitement automatique et traitement contrôlé des informations. L'idée de base est que certaines activités peuvent être effectuées sans y prêter attention, c'est-à-dire de manière automatique, alors que les activités nécessitant la planification d'une action ou l'inhibition d'un comportement routinier ne peuvent être réalisées qu'avec un contrôle attentionnel volontaire. Le traitement automatique des informations nécessite peu de ressources attentionnelles et permet un traitement simultané de plusieurs informations tandis que le traitement contrôlé des informations est coûteux en termes de ressources attentionnelles et ne permet qu'un traitement séquentiel des informations. Cette distinction est importante pour la compréhension des mécanismes de contrôle de l'activité, dans la mesure où la majorité de ces modèles sont basés sur l'hypothèse de Kahneman (1973) selon laquelle les ressources attentionnelles existent en quantité limitée.

2.3.1. Modèle de Norman et Shallice : affectation des ressources attentionnelles

Le modèle proposé par Norman & Shallice (1980, cité dans Shallice & Burgess, 1991) repose sur trois notions importantes : les schémas d'actions, le gestionnaire de priorité et le Système Attentionnel Superviseur (SAS) (figure 4).

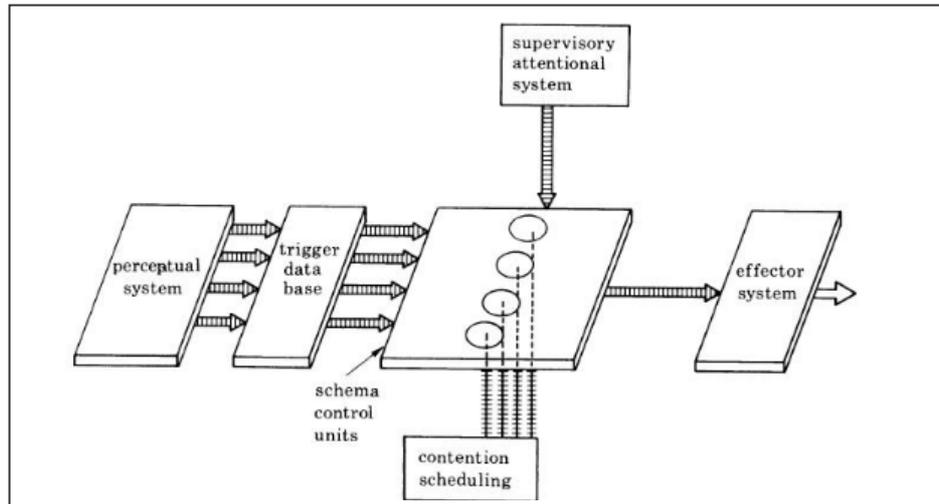


Figure 4. Modèle simplifié de Norman et Shallice (1980) (Shallice, 1982).

Schémas d'actions

Les schémas d'action désignent les structures de connaissances qui contrôlent des séquences d'actions ou de pensées sur-apprises.

Le modèle distingue deux modes d'*activation/contrôle* de ces schémas :

- le premier mode caractérise les situations familières où les tâches peuvent être réalisées par la sélection de schémas d'action routiniers activée par des processus connus.
- le second mode caractérise les situations nouvelles où les schémas routiniers ne sont pas suffisants pour atteindre le but et qui requièrent alors une planification de l'action.

Lors des situations familières, les schémas peuvent être activés directement par l'information perceptive ou par l'activation d'autres schémas eux-mêmes déclenchés par la perception de l'information. Chaque schéma possède un niveau d'activation propre qui est le résultat de l'équilibre entre l'excitation et l'inhibition dont il est l'objet. Ce niveau d'activation est régulé par un ensemble de facteurs tels que les aspects perceptifs du contexte, le niveau d'activation des autres schémas et le contrôle attentionnel qu'il reçoit. Un schéma particulier est déclenché dès que son niveau d'activation dépasse un seuil critique.

Gestionnaire de priorité

Il peut arriver que plusieurs schémas soient activés simultanément. Compte tenu de la limitation des ressources pour exécuter plusieurs schémas simultanément, le modèle postule qu'un seul schéma sera mis en œuvre à la fois. Il se peut aussi que deux activités entrent en conflit : il faudra alors donner une priorité à l'une d'entre elle. Ces situations de compétition entre schémas nécessitent l'intervention d'un mécanisme qui résout les conflits entre schémas et sélectionne le schéma le plus en adéquation avec les objectifs de la tâche : c'est le gestionnaire de priorité⁵. La gestion et la sélection des schémas les plus pertinents sont des processus rapides, peu mobilisateurs en ressources attentionnelles et concernent uniquement les situations familières.

Système Attentionnel Superviseur (SAS)

Les situations nouvelles sont caractérisées par l'absence de schéma d'action approprié ou lorsque la situation nécessite d'inhiber le schéma d'action routinier, c'est-à-dire où l'on doit découvrir de nouvelles stratégies et planifier l'activité. Le modèle postule que la confrontation à ces situations nouvelles nécessiterait l'intervention d'un contrôle attentionnel volontaire assuré par le SAS. Ce système n'intervient pas directement sur les sorties mais module le gestionnaire de conflits en ajoutant de l'activation ou de l'inhibition supplémentaire aux schémas. Cependant, alors que les processus automatisés permettent de traiter les informations et de prioriser les schémas d'actions avec un coût cognitif faible, l'intervention du SAS a un coût cognitif élevé. L'hypothèse, selon laquelle chaque individu a des ressources cognitives limitées, implique la nécessité d'une régulation consistant à déterminer des priorités et à affecter les ressources attentionnelles à une tâche considérée comme principale, au détriment de la tâche dite secondaire. Cette contrainte d'une limitation attentionnelle rendrait compte du caractère sélectif de l'attention. Deux difficultés émergent alors pour le sujet : le choix d'attribution du caractère prioritaire à l'une ou l'autre des tâches mises en concurrence et sa capacité à maintenir ce choix ou à intervertir ces priorités en cours de tâche.

Shallice et Burgess (1996) ont synthétisé le rôle du SAS comme suit :

- analyse de la situation,
- définition des buts,

⁵ Appelé en anglais « contention scheduling », on le trouve également en français sous le terme de « planification compétitive » ou « hiérarchisation des contraintes ».

- création de schémas temporaires,
- exécution de l'action avec un contrôle direct,
- vérification que les objectifs fixés ont été atteints.

Comme le SAS serait supporté par les structures préfrontales (Shallice, 1982), une nouvelle définition des fonctions exécutives a été proposée à partir de ces travaux : « les fonctions exécutives correspondent aux opérations nécessaires pour effectuer des tâches globalement non-routinières, c'est-à-dire des tâches nouvelles, ou nécessitant l'inhibition d'un schéma d'action prépondérant, ou complexes (nécessitant une déduction de règle, une résolution de problème, un séquençage de multiples opérations...) » (Azouvi et al., 2001, p. 384). De manière synthétique, les fonctions exécutives sont mises en œuvres lorsque la tâche requiert l'activation de processus contrôlés (Seron, Van der Linden, & Andrès, 1999).

Pour Shallice et Burgess (1991), les comportements de persévération liés aux déficits des lobes frontaux pourraient être expliqués par l'activité du gestionnaire de priorité sans l'intervention du SAS. Dans ce cas, c'est la forte présence d'indices activant certains schémas dans une situation associée à des réponses sur-apprises qui augmenterait la difficulté de changer de type de réponses, conduisant ainsi à des comportements de persévération. Cette hypothèse peut être reformulée comme étant la difficulté de planifier une nouvelle séquence d'actions lorsqu'une séquence d'actions, habituelle et connue, est associée à la situation rencontrée. Pour ces auteurs, la persévération relèverait d'un déficit des processus contrôlés conduisant à un défaut de planification d'actions. Globalement, la persévération serait due à un défaut de contrôle attentionnel.

2.3.2. Rôle de la métacognition

Le modèle de Norman et Shallice (*op.cit.*) décrit différents modes de contrôle attentionnel à partir des caractéristiques des situations rencontrées. Par la suite, d'autres auteurs se sont intéressés au contrôle de l'activité au travers des processus cognitifs qui caractérisent les experts et les novices. L'un des premiers est le modèle « SRK », proposé par Rasmussen (1986), qui distingue trois niveaux de traitement des informations qui varient en termes de coût cognitif :

- le niveau des automatismes, appelé *Skill-based*, représente les comportements déclenchés de façon automatique par association avec un stimulus détecté. Ils sont rapides et

peu coûteux cognitivement. C'est le niveau le plus couramment utilisé par les experts de la situation rencontrée.

- le niveau des règles, appelé *Rule-based*, représente des comportements de recherche de règles, déclenchés lorsque le comportement automatique n'a pas produit les effets escomptés mais que la situation reste familière.

- le niveau des connaissances, appelé *Knowledge-based*, représente des processus activés lorsque toutes les solutions préprogrammées ou les règles applicables ont échoué. Dans ce cas, l'opérateur doit, par exemple, interpréter la situation ou définir un nouveau but. C'est le niveau le plus lent et le plus coûteux cognitivement. Il caractérise les processus de contrôle de l'activité des novices.

Rasmussen décrit le contrôle cognitif de l'activité par l'activation de ces trois niveaux en fonction des caractéristiques de la situation rencontrée et de l'expérience qu'a l'opérateur de cette situation.

A la suite de ce modèle, d'autres auteurs se sont intéressés aux caractéristiques des experts. Ainsi, Amalberti (2001) développe un cadre théorique du contrôle cognitif de l'activité, centré sur le rôle de la métacognition : la sécurité écologique.

L'objet de ce cadre est de rendre compte des mécanismes qui permettent à un opérateur de maîtriser une situation dynamique et à risques. Cette théorie repose sur deux idées principales : 1) la maîtrise de la situation exige une double supervision, celle du processus externe et celle du processus mental (Amalberti, 2001b) et 2) le fonctionnement de cette double supervision repose sur un compromis cognitif (Amalberti, 2001).

Selon cette théorie, la seule représentation de l'environnement ne suffit pas à expliquer les processus aboutissant à une maîtrise de la situation. La représentation de la situation doit intégrer également le sujet lui-même : les ressources cognitives disponibles qu'il possède pour répondre aux exigences de la situation. Cette représentation intègre l'estimation, par l'opérateur, de ses capacités à atteindre l'objectif qu'il s'est fixé, c'est-à-dire l'estimation de ce qu'il sait faire et de ce qu'il peut faire. L'opérateur doit ainsi gérer deux types de risques : le risque externe qui provient de la situation rencontrée et le risque interne qui provient de ses propres capacités à gérer la situation. Ce modèle met ainsi en valeur le rôle de la métacognition (Valot, 1998, 2002). Or, si cette représentation de la situation, qui comprend l'évolution de l'environnement et des ressources cognitives, permet d'agir, elle comporte également des problèmes dont la résolution immédiate est souvent incompatible avec les exigences à court terme de contrôle de la situation (Hoc, Amalberti, & Plee, 2000).

Aussi, cette théorie repose sur une deuxième idée principale : le fonctionnement de cette double supervision repose sur un compromis cognitif. Pour réaliser le travail à un coût acceptable, compte tenu des ressources disponibles, l'opérateur accepte de prendre des risques. Cette prise de risque s'effectue par une réduction de la complexité, une conduite par anticipation et une économie des ressources faisant préférer un niveau de conduite automatique à un niveau de conduite plus réfléchi et plus logique (Amalberti, 2001). Le compromis cognitif correspond ainsi à « atteindre le but recherché, avec le moins de risques (externes et internes) immédiats et futurs (éviter l'épuisement), tout en sachant que toutes les solutions disponibles comportent des risques » (Amalberti, 2001, p. 184). Ainsi, une des idées principales induites par le compromis cognitif est que pour maîtriser une situation, l'opérateur vise une performance, non pas optimale, mais suffisante, pour un coût cognitif maîtrisé.

Plus récemment, les mécanismes inhérents à l'établissement du compromis cognitif ont été détaillés avec l'introduction du rôle du contrôle métacognitif comme superviseur des modes de contrôle cognitifs engagés (Hoc & Amalberti, 2007). Ce modèle décrit quatre modes de contrôle qui se distinguent par deux axes : le niveau d'abstraction des données qui caractérise des activités symboliques ou routinières et l'origine des données qui caractérise des activités réactives ou anticipatives. Ces quatre modes varient en termes de coût relatif aux ressources attentionnelles engagées :

- le contrôle symbolique externe est le plus coûteux, car il implique des processus d'interprétation des informations issues de l'environnement ;

- le contrôle symbolique interne est également coûteux, car il implique un processus d'interprétation à partir des représentations mentales, mais il permet d'économiser des ressources en évitant la recherche de données externes ;

- le contrôle subsymbolique externe est moins coûteux, car il est guidé par des signaux de l'environnement engendrant des réponses automatiques.

- le contrôle subsymbolique interne est le mode de contrôle le moins coûteux, car il est lié à une activité automatisée nécessitant peu de soutien externe. Il s'agit par exemple de l'exécution d'un service au tennis.

Dans ce modèle, le rôle du contrôle métacognitif est prépondérant puisqu'il intervient dans l'estimation, souvent anticipée, des coûts cognitifs requis pour atteindre une performance suffisante. Il intervient ainsi dans la gestion du coût cognitif par l'arbitrage entre les quatre modes de contrôle et la priorisation des buts. Celle-ci dépend de la perception des exigences de la situation et de la représentation des déviations que l'opérateur peut contrôler.

Son rôle est d'autant plus important que les tâches à réaliser en parallèle sont nombreuses. Des activités symboliques peuvent ainsi être temporairement inhibées en fonction de l'évaluation des coûts cognitifs et de l'arbitrage entre différentes priorités. Ainsi, le compromis cognitif est en permanence remis en question en fonction de l'évolution des exigences de la situation. Le contrôle cognitif doit alors être réparti entre des activités subsymboliques, peu coûteuses mais permettant un contrôle rapproché du processus, et des activités attentionnelles très coûteuses permettant d'alimenter la compréhension de l'évolution de la situation. Par exemple, des études sur l'activité de pilotage ont montré que face à des pannes, les pilotes préféreraient rechercher un plan d'actions permettant d'assurer la poursuite du vol, plutôt que de s'engager dans la recherche de la cause du problème qui augmenterait la charge de travail, rendant plus difficile la maîtrise globale de la situation.

Cependant, ce cadre théorique fournit peu d'explications sur les causes qui interviennent dans la perte de maîtrise de la situation. Amalberti (2001a) propose trois raisons de défaillance du compromis cognitif :

- l'ambition excessive de performance qui entraîne l'opérateur à augmenter le niveau de prise de risque. Cette ambition peut être due à un enjeu particulier de la situation, au désir de montrer une certaine image de soi ou peut être imposée de l'extérieur par un système socio-technique qui force à atteindre une performance plus élevée ;

- une estimation inadéquate de ses capacités. Le sujet croit maîtriser le niveau de risque qu'il accepte mais le niveau de risque réel est supérieur à celui prédit ;

- un manque particulier de ressources qui empêche le système cognitif d'atteindre les objectifs qu'il est habituellement capable d'atteindre (par exemple la fatigue ou le stress).

Ces trois raisons semblent toutefois relever d'un même processus : l'estimation inadéquate des ressources disponibles pour contrôler le risque. Accepter de prendre un risque élevé, revient, dans le cas d'une défaillance du compromis, à sous-estimer les ressources requises et donc à surestimer ses capacités à le contrôler. C'est le même processus qui intervient lorsque le sujet croit maîtriser un risque dont le niveau réel s'avère supérieur à celui attendu. De même, le manque particulier de ressources, comme en cas de fatigue, souligne une incapacité de la part du sujet à estimer que ses ressources disponibles ne sont pas les mêmes qu'habituellement.

Dans tous ces cas, l'estimation des ressources nécessaires pour contrôler le risque renvoie au jugement d'une performance satisfaisante. Perdre la maîtrise de la situation découlerait du jugement inadéquat d'une performance satisfaisante.

Dans le cadre des théories sur les processus duaux de la cognition relatifs à des tâches de raisonnement et centrés sur une dualité entre processus automatiques et contrôlés (Evans, 2008; Evans & Frankish, 2009), Thompson (2009) propose un modèle mettant également en évidence le rôle de la métacognition sur l'activation des processus contrôlés (figure 5).

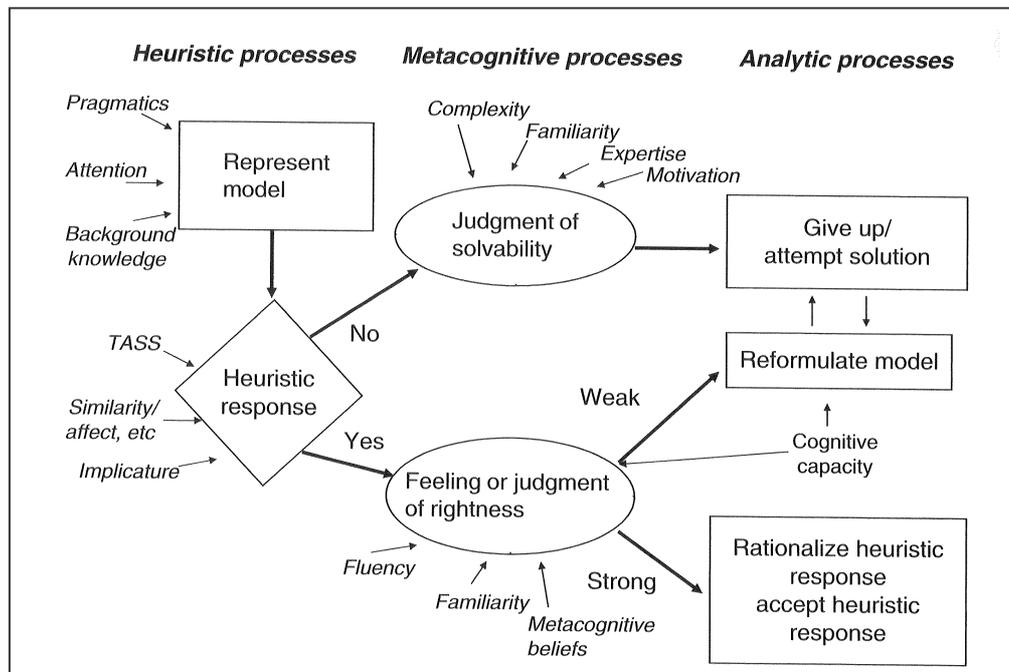


Figure 5. Modèle métacognitif du raisonnement (Thompson, 2009).

De manière similaire à Amalberti (2001), Thompson (*op.cit.*) propose que l'activation des processus contrôlés dépendrait du jugement ou du sentiment de satisfaction lié à la performance. Les sujets obtiendraient une représentation de la situation et exécuterait une réponse à partir de processus automatiques et c'est le jugement d'une performance insatisfaisante liée à sentiment d'insatisfaction, qui entraînerait l'activation de processus analytiques pour reformuler sa représentation de la situation et apporter une réponse adaptée.

La différence entre le jugement et le sentiment d'insatisfaction peut se rapporter à la distinction que fait Raufaste (2001) entre la détection d'incohérences dans la représentation consciente et dans la représentation inconsciente. Pour cet auteur, ce sont également deux facteurs qui favorisent la flexibilité et l'adaptation, par l'activation d'un mode de traitement contrôlé.

Bien que ces modèles relatifs au rôle de la métacognition n'aient pas été utilisés dans le cadre d'études portant sur la persévération, l'implication de ce facteur, dans la gestion des

deux types de processus de traitement des informations, conduit à penser qu'il pourrait également être impliqué dans les mécanismes de persévération.

2.3.3. Effet de l'engagement vers un but et réaction de stress

Dès les années 90, les études sur le contrôle attentionnel montrent qu'il nécessiterait un équilibre entre l'activation des processus automatiques et contrôlés. Ainsi, la flexibilité cognitive et la persévération seraient deux processus aux effets antagonistes mais tous deux utiles pour le contrôle attentionnel de l'activité (Camus, 1996). Le maintien cohérent d'une activité mentale orientée vers un but impliquerait la gestion de l'équilibre entre ces deux processus, c'est-à-dire entre une réorientation du focus attentionnel et une résistance à la distraction.

La flexibilité cognitive, qui répond aux diverses réorientations de la focalisation attentionnelle, est nécessaire pour répondre aux changements de la situation ou pour maintenir un niveau de concentration élevé. Elle peut cependant entraîner un effet négatif qui est celui de l'incapacité à maintenir durablement la cohérence d'un plan d'action.

La résistance à la distraction, ou persévération, présente également des effets positifs lorsque la distraction est perturbatrice et des effets négatifs en empêchant de tenir compte d'effets imprévus ou de données nouvelles.

Dans ce cadre, deux facteurs de persévération ont été étudiés : l'engagement envers un but et la réaction de stress.

Selon Richard (2005), la persévération résulterait d'une focalisation attentionnelle sur le but de l'action en cours. Il reprend la distinction proposée par Posner entre attention endogène et attention exogène. L'attention endogène constitue une orientation délibérée et intentionnelle de l'attention et a pour source les représentations mentales. Elle implique une inhibition relative à ce sur quoi l'attention n'est pas focalisée, c'est-à-dire une capacité de résistance aux stimulations d'origine externe qui apparaissent comme des distracteurs. Elle garantit la focalisation sur le but conscient et la continuité de l'action. L'attention exogène correspond à une forme automatique d'orientation attentionnelle déclenchée par une stimulation externe (comme l'apparition impromptue dans le champ visuel d'un stimulus inattendu). Cette « capture » de l'attention interrompt l'activité en cours. Elle présente un intérêt écologique dans la mesure où elle constitue une alerte susceptible de signaler des changements dans l'environnement qui peuvent être pertinents.

La focalisation attentionnelle est nécessaire pour poursuivre une tâche et résister aux distracteurs. Cependant, face aux indices de l'environnement signalant un danger, l'attention doit pouvoir être désinvestie du but poursuivi pour redevenir réceptive à l'environnement. La persévération serait le résultat de la résistance aux signaux d'alerte émis par l'environnement alors que la réceptivité à l'environnement relèverait des comportements flexibles et adaptatifs (Richard, 2003). Cette résistance résulterait d'une centration de l'individu sur le but final (Richard, 2005). Les sujets persévérants seraient dans l'incapacité de remplacer le but final par un but préalable de contournement de l'obstacle. L'hypothèse de Richard (2005) est que si l'on renforce la centration sur le but terminal, en augmentant la proximité du but par exemple, la difficulté de se désengager de ce but sera plus élevée. Il propose comme exemple la situation de l'animal mis dans un enclos fermé sur trois côtés avec un appât situé à l'extérieur de l'enclos. Celui-ci est disposé de telle sorte que l'animal doit d'abord lui tourner le dos, c'est-à-dire se décentrer et s'éloigner du but final, sortir de l'enclos, c'est-à-dire contourner l'obstacle qui représente le but préalable, et enfin se saisir de l'appât à l'extérieur de l'enclos qui constitue l'atteinte du but final. Si l'on rapproche l'appât de l'animal alors qu'il ne peut encore l'atteindre et qu'il est dans la cage, on augmente la centration par rapport au but et on diminue la capacité de l'animal à pouvoir mettre en place des buts intermédiaires lui permettant d'atteindre le but final. Cette proximité du but terminal serait un facteur de persévération. La centration sur le but réduirait le champ attentionnel et empêcherait de percevoir les informations qui signalent l'inadéquation de la procédure et du but poursuivi. La prise de conscience de cette inadéquation devrait permettre d'inférer des buts préalables. Plus récemment, Clément (2009) suggère que pour aider les persévérants à sortir de ce comportement, il faut développer des aides qui permettent de réorienter l'attention sur les propriétés pertinentes pour la solution.

Dans le cadre de l'activité de pilotage, les travaux de Dehais et collègues (Dehais, 2004; Dehais, Tessier, Christophe, & Reuzeau, 2010) montrent que la focalisation attentionnelle sur le but final, caractérisant les comportements de persévération, résulterait d'un conflit entre deux buts contradictoires. Ce serait le cas du pilote confronté à une situation où les buts de sécurité et de production (au sens économique) ne peuvent être atteints de manière conjointe. Par exemple, lors de l'approche d'un terrain d'atterrissage où le niveau de cisaillements de vents dépasse le seuil minimal, le pilote a le choix entre l'option 1) atterrir et respecter le but de production, mais dans ce cas, le niveau de sécurité du vol n'est pas maintenu et 2) se dérouter ou se mettre en attente, respectant ainsi le but de maintien du

niveau de sécurité, mais dans ce cas le but d'économique n'est plus assuré du fait du retard ou du changement de terrain de destination.

Dehais distingue deux mécanismes inhérents aux comportements de persévération : l'effet de l'engagement de l'opérateur sur un des buts et la réaction au stress engendré par le conflit.

Il se base sur la théorie de l'engagement proposée par Kiesler (1971) pour rendre compte des conséquences cognitives et comportementales des actes. Elle traduit la tendance pour un individu à « s'accrocher » au premier acte dans lequel il s'est engagé même lorsque celui-ci est, par la suite, remis en cause par les faits. Le caractère engageant d'un acte est d'autant plus marqué qu'il est public et répété. Cette théorie trouve son origine dans celle de la dissonance cognitive développée par Festinger (1957) et définie comme un état de tension désagréable due à la présence simultanée de deux cognitions (idées, opinions, comportements) psychologiquement incohérentes. Cette dissonance émerge lorsqu'une personne s'engage dans une activité qui ne lui plaît pas dans le but d'obtenir un gain désiré. Face à une dissonance, plusieurs stratégies peuvent être mises en place afin de réduire cette tension : acquérir des cognitions supplémentaires dans le sens de la consonance, dénier les informations incohérentes, augmenter l'importance des cognitions consonantes ou réduire l'importance des cognitions dissonantes (Festinger, 1957). La force de cette tension est d'autant plus forte que les cognitions dissonantes sont importantes pour la personne.

Dans le cadre des prises de décisions, tous les aspects négatifs de la solution choisie ainsi que les aspects positifs d'une solution alternative deviennent une cognition dissonante. Les stratégies de réduction de la dissonance pourront être de ne pas considérer les aspects négatifs de la solution choisie ni les aspects positifs d'une solution alternative mais aussi de trouver plus d'aspects positifs de la solution choisie et d'aspects négatifs de la solution alternative.

La théorie de l'engagement montre que la solution dans laquelle la personne est déjà engagée est privilégiée : les stratégies de réduction de dissonance sont appliquées à l'encontre des solutions alternatives. De plus, plus le coût de l'engagement est fort (durée, argent, effort physique ou psychologique), plus il est difficile de renoncer à l'objectif fixé (Beauvois & Joule, 1999). Dans l'activité de pilotage, ça peut être le cas d'un pilote qui, après un long vol, s'est engagé à atterrir en l'annonçant aux autres acteurs du vol et, face à la présence de cumulonimbus importants au-dessus de la piste, ne saura se désengager de ce but et minimisera le niveau de risque pris. Selon Dehais (2004), le comportement de persévération surviendrait lorsque l'opérateur est confronté à un conflit de buts et résulterait d'une

focalisation de l'opérateur sur le but dans lequel il s'est engagé, c'est-à-dire, dans le cas du pilotage, la poursuite du plan de vol.

Le second mécanisme, identifié par Dehais pour expliquer les comportements de persévération, est la réaction de stress. En effet, les travaux de recherche en neuropsychologie ont mis en évidence un lien entre déficit des fonctions exécutives et persévération. Les lésions préfrontales entraînent pour ces patients des difficultés à inhiber des réponses prédominantes, à planifier des actions et à prendre des décisions. Or, des résultats similaires ont été observés auprès de sujets sains, mais présentant des états d'anxiété (Egloff & Hock, 2001) ou de stress (Waldstein & Katzel, 2005). Pastor [1999, cité dans Dehais (2004)] propose alors l'hypothèse d'un « continuum cognitif » entre les sujets sains aux performances optimales et les patients cérébro-lésés. Les sujets stressés ou fatigués se situeraient entre ces deux extrêmes. Pour Dehais, le conflit rencontré par l'opérateur entraînerait un vécu de stress, de par l'augmentation du niveau de risque. Cette réaction de stress se traduit par une focalisation de l'attention sur le danger potentiel. Elle peut être utile à l'opérateur pour se centrer sur la gestion du danger. Elle peut aussi entraîner des effets négatifs sur les fonctions cognitives, comme la dégradation du contrôle attentionnel et la tendance à la persévération (Eustache & Faure, 2000).

Cependant, les résultats de Dehais ne permettent pas de vérifier ces hypothèses. D'une part, le niveau de stress n'est évalué que par des entretiens réalisés après la séance de simulation de vol et, d'autre part, les conflits de buts rencontrés par les pilotes peuvent, selon nous, être interprétés plutôt par une représentation incorrecte de la situation.

La question du rôle des états émotionnels sur la persévération reste posée, d'autant que dans le cadre d'études sur la résolution de problèmes, l'approche du *feeling-as-information* (Schwartz & Clore, 1996) a montré un lien différent entre la nature de l'état affectif et le niveau d'investissement attentionnel. En effet, à l'inverse des résultats de Dehais, cette approche montre que l'affect négatif ressenti par les sujets les orienterait vers un traitement contrôlé des informations alors que l'affect positif les orienterait vers un traitement automatique. L'état affectif jouerait un rôle d'informations sur la nature adaptée de la réponse du sujet. Le rôle de la dimension émotionnelle ne sera toutefois pas abordé dans cette thèse, car il semble important de déterminer, dans un premier temps, les mécanismes cognitifs de la persévération.

2.4. Synthèse

L'ensemble de ces travaux met en exergue une distinction entre deux modes de pensées. L'un serait lié à un traitement automatique des informations et nécessiterait peu de ressources cognitives : il permettrait l'adaptation à des situations familières. L'autre serait lié à un traitement contrôlé des informations, coûteux en ressources cognitives, puisqu'il permettrait la mise en œuvre de processus de haut niveau relatifs à la planification de l'action.

Selon cette approche, la persévération résulterait d'un défaut d'activation du mode de pensée lié à un traitement contrôlé des informations. L'attention jouerait un rôle prépondérant par la détection des informations indiquant que le but associé à l'action mise en place n'est pas atteignable et qu'il existe un décalage entre la situation attendue et la situation réelle. Cette détection activerait alors la mise en œuvre des fonctions exécutives, telles que la planification de l'action et l'évaluation de la performance, pour répondre aux changements de la situation. Dans ce cadre, la persévération pourrait aussi bien faciliter qu'entraver l'adaptation aux nouvelles situations. En effet, la persévération permet de maintenir une vigilance soutenue sur le problème ainsi qu'un plan d'action cohérent, mais elle peut également empêcher la prise en compte des informations indiquant que le but lié au plan d'actions choisi n'est pas atteignable. La difficulté dans la gestion de cet équilibre résiderait donc à pouvoir se montrer persévérant, en maintenant son attention sur le problème, tout en gardant la possibilité de réorienter son focus attentionnel sur les autres informations issues de l'environnement afin de détecter celles qui indiquent une inadéquation entre le plan d'actions actuel et le but poursuivi.

Cependant, l'approche cognitive ne suffit pas à expliquer l'ensemble des mécanismes de persévération. En effet, les opérateurs conduisant des systèmes dynamiques à risques doivent souvent prendre des décisions face à des situations complexes, parfois ambiguës, et sous de nombreuses contraintes tels que la pression temporelle, la charge de travail ou encore un niveau de risque élevé. Il est essentiel de prendre en compte ces caractéristiques qui peuvent influencer l'activité des opérateurs pour déterminer les mécanismes de persévération. C'est l'objet des travaux réalisés en ergonomie, notamment à travers les modèles de prise de décision en situation naturelle.

3. Approche ergonomique : analyse des erreurs de décision

La recherche en ergonomie renvoie à l'analyse de l'activité d'opérateurs en situation de travail dans le but d'apporter des solutions aux problèmes rencontrés (Curie, 1996). Elle permet ainsi d'intégrer l'influence des contraintes issues de l'environnement de travail.

A notre connaissance, la persévérance n'a été étudiée que dans deux domaines d'activités de conduite de systèmes dynamiques à risques : le domaine médical et le pilotage d'avion. Dans les deux cas, elle a principalement été abordée comme une erreur de décision sous deux appellations différentes : respectivement, l'erreur de fixation et l'erreur de continuation de plan. Ces travaux de recherche ont en commun de s'inscrire dans le cadre théorique de la *Naturalistic Decision Making* qui décrit les mécanismes de prise de décision en situation naturelle.

3.1. Cadre de la *Naturalistic Decision Making* (NDM)

L'objet de la NDM est de comprendre « comment des personnes expérimentées, travaillant seules ou en groupe dans des environnements dynamiques, incertains et souvent à risques, identifient et évaluent leur situation, prennent des décisions et exécutent des actions dont les conséquences ont un impact pour eux-mêmes et pour l'organisation dans laquelle ils opèrent » (Zsombok, 1997, p. 5, notre traduction). Ce courant a émergé en réaction au paradigme dominant jusque-là utilisé pour rendre compte des mécanismes de prises de décision. Ce paradigme, utilisé dans le cadre de tâches en laboratoire, échouait à prédire les prises de décision de personnes expérimentées dans leur environnement naturel (Ross, Shafer, & Klein, 2006). Dans ces modèles traditionnels, la prise de décision comprend l'élaboration d'un diagnostic puis la comparaison de plusieurs solutions possibles. En revanche, l'analyse des décisions prises par des experts en situation naturelle montre que ceux-ci ciblent de manière importante leur décision sur l'évaluation de la situation, en tenant compte notamment des feedback de leurs actions sur la situation, puis évaluent une option après l'autre par simulation mentale jusqu'à ce qu'une option leur paraisse satisfaisante (Ross et al., 2006). Un des modèles principaux issus de ce courant est le *Recognition-Primed Decision model* de Klein (1993) (figure 6).

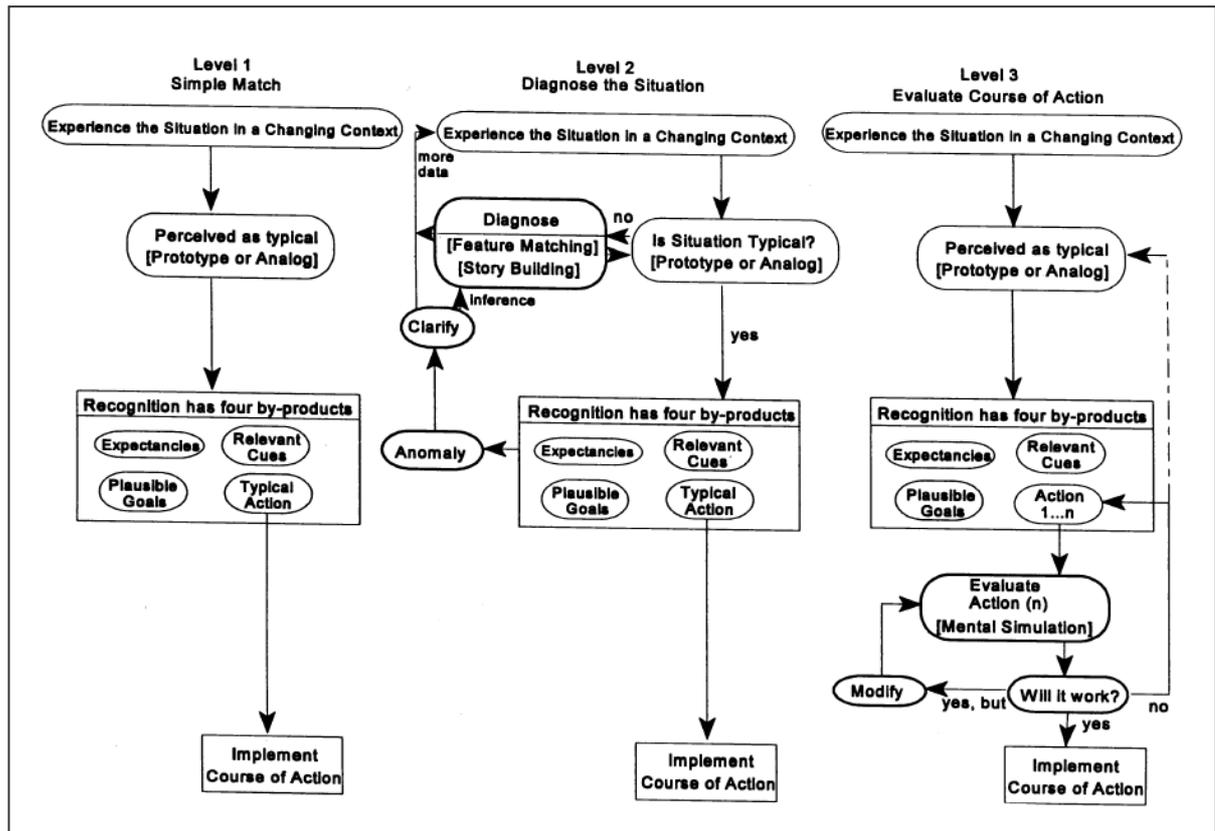


Figure 6. Modèle Recognition-Primed Decision (Klein, 1993).

Ce modèle distingue trois niveaux de décision en fonction du caractère routinier ou non routinier de la situation. Chacun de ces niveaux est déclenché par la détection d'un changement de situation. Le premier niveau décrit les situations familières où l'opérateur reconnaît la situation et connaît le plan d'actions associé à appliquer. Le deuxième niveau décrit les situations non routinières où peut être développé un processus d'élaboration de diagnostic, soit pour identifier une situation incertaine, soit pour comparer plusieurs explications possibles des événements. Une fois le diagnostic établi, le plan d'actions associé est appliqué. Enfin, le troisième niveau décrit les situations plus complexes où l'opérateur procède à une simulation mentale du plan d'actions afin d'anticiper d'éventuels problèmes et de déterminer si ceux-ci pourront être résolus ou si un autre plan d'actions est nécessaire. Dans ce cas, une nouvelle simulation mentale est réalisée pour évaluer par anticipation l'efficacité du nouveau plan d'actions. Ce processus est répété jusqu'à ce qu'un plan d'actions soit évalué par l'opérateur comme efficace. Il est alors appliqué. Nous pouvons remarquer que la distinction entre situations routinières et non routinières renvoie à la même distinction proposée dans l'approche cognitive entre les deux modes de pensées.

A partir de ce modèle, une définition des erreurs de décision a été proposée comme « des déviations à des processus de décision standard qui augmentent la probabilité de conséquences négatives » (Lipshitz, 1997, p. 152, notre traduction). Sur la base de cette définition, Orasanu, Martin et Davison (2001) ont identifié deux types d'erreurs de décision correspondant aux deux étapes principales du processus de prise de décision :

- l'évaluation incorrecte de la situation,
- le choix d'un plan d'actions inapproprié.

C'est dans ce cadre qu'ont été analysées, d'une part, les erreurs de fixation dans l'activité médicale et, d'autre part, les erreurs de continuation de plan dans l'activité de pilotage.

3.2. Erreur de fixation dans l'activité médicale

3.2.1. Définition

L'erreur de fixation est un terme utilisé pour rendre compte de certaines défaillances observées dans les prises de décisions médicales, notamment l'effet de tunnelisation. Le terme d'erreur de fixation est proposé par De Keyser et Woods (1990) pour décrire les mécanismes à l'origine des défaillances dans la mise à jour de l'évaluation de la situation et l'évaluation du plan d'actions alors que de nouvelles informations indiquent une divergence entre la situation réelle et la situation attendue par l'opérateur. Ces auteurs distinguent deux aspects principaux de l'erreur de fixation :

1. l'évaluation de la situation ou le plan d'actions sont devenus inappropriés par rapport à la situation occurrente,
2. le jugement ou l'action, inapproprié, persiste malgré les opportunités de révision.

L'erreur de fixation se distingue des autres types d'erreur par le caractère de persistance. On peut donc résumer leur définition de l'erreur de fixation comme étant la persistance d'une erreur. L'erreur de fixation serait, plus précisément, la persistance d'une erreur de décision liée à l'évaluation de la situation ou la persistance d'une erreur de décision liée au choix du plan d'actions. La définition de De Keyser et Woods (*op.cit.*) met également l'accent sur les opportunités de révision : il n'y a erreur de fixation que si l'opérateur a la possibilité de modifier son évaluation.

Dans l'activité d'anesthésie, l'erreur de fixation a été observée aussi bien chez des médecins novices que des praticiens expérimentés et, lors de certaines simulations, ces erreurs auraient pu entraîner des conséquences fatales sur de réels patients (Gaba, 1993).

A partir d'études de cas, De Keyser et Woods (*op.cit.*) distinguent trois types de comportements associés aux erreurs de fixation :

- Type 1 ou « tout sauf ça » : l'opérateur émet de nombreuses hypothèses mais jamais la bonne. L'opérateur passe d'une action à une autre sans succès ;

- Type 2 ou « ça et rien d'autre » : l'opérateur est bloqué sur une stratégie pour atteindre un but précis et refuse d'en changer. Il peut alors reproduire les mêmes séquences d'actions, même lorsque celles-ci s'avèrent inefficaces ;

- Type 3 ou « tout va bien » : l'opérateur est persuadé que sa stratégie est la bonne et ne tient pas compte des informations qui pourraient infirmer cette croyance.

Quelques remarques peuvent être émises sur cette typologie. Tout d'abord, le type 1 semble se distinguer des deux autres types. En effet, alors que dans les types 2 et 3, l'opérateur est fixé sur une évaluation inappropriée de la situation en dépit des opportunités de révision, le type 1 renvoie au contraire à la prise en compte des opportunités de révision mais sans trouver l'évaluation appropriée. Bien qu'il y ait effectivement, dans ce cas, une persistance dans l'erreur, telle que définie par les auteurs, il n'y a pas de persistance dans une évaluation particulière de la situation ou dans un plan d'actions. De plus, les opportunités de révision sont bien prises en compte. Selon notre interprétation, ce type de comportement ne reflèterait donc pas un comportement de persévération.

Ensuite, les auteurs proposent une distinction fine entre le type 2 et le type 3. La différence entre ces deux types de comportement, où l'opérateur reste fixé sur une stratégie, serait que dans le cas du type 2, l'opérateur est conscient du caractère inefficace de sa stratégie alors que dans le cas du type 3, il n'en a pas conscience. Il peut sembler évident que la persistance dans une stratégie inefficace et potentiellement à risques, peut résulter du défaut de prise de conscience par l'opérateur de ce caractère inadapté. En revanche, il est moins évident d'expliquer que le maintien de cette stratégie se poursuive alors que l'opérateur a conscience de son caractère inadapté. Les mécanismes psychologiques proposés par les auteurs, rapportés ci-après, ne nous semblent pas réellement expliquer cette différence.

3.2.2. Mécanismes à l'origine de l'erreur de fixation

De Keyser et Woods (*op.cit.*) distinguent cinq mécanismes psychologiques qui peuvent produire, seul, ou de manière combinée, des erreurs de fixation :

1) *La défaillance des processus attentionnels.* Ces défaillances sont expliquées par les auteurs par les ressources limitées des opérateurs. Parce qu'un opérateur n'a pas les ressources suffisantes pour traiter l'ensemble des informations issues d'un environnement complexe et dynamique, il dirige son attention sur un aspect particulier de la situation qui lui semble plus pertinente pour réaliser la tâche. L'erreur de fixation peut survenir si des informations pertinentes pour l'évaluation d'un changement de situation ne sont pas détectées. Pour de Keyser et Woods (1990), ce mécanisme peut intervenir dans les types 1 et 3 des erreurs de fixation.

2) *Les connaissances limitées de l'opérateur.* Le manque de connaissances de l'opérateur peut jouer un rôle sur la reconnaissance de la situation et la recherche des moyens pour y répondre. Le manque de connaissances peut intervenir à différents niveaux : soit le fonctionnement du système n'est pas compris, soit ce sont les interactions entre le système et l'environnement qui sont mal comprises, soit l'opérateur comprend le problème mais ne sait pas comment gérer cette situation. Les auteurs rappellent que le manque de connaissance n'entraîne pas systématiquement des erreurs de fixation, mais des facteurs tels que le stress, la fatigue et la charge de travail peuvent augmenter la probabilité d'occurrence de ces erreurs.

3) *Les connaissances « inertes ».* Ce mécanisme renvoie, pour les auteurs, à un défaut d'activation des connaissances pertinentes pour résoudre le problème. Dans ce cas, l'opérateur possède les connaissances pour s'adapter à la situation, mais celles-ci ne sont pas activées.

4) *Les difficultés de formulation du problème.* La difficulté de la formulation du problème tient également des ressources limitées et de la pression temporelle qui limitent la formulation d'hypothèses possibles. Pour ces auteurs, les conflits de buts, notamment entre production et sécurité, peuvent empêcher la formulation des hypothèses appropriées. Pour formuler correctement le problème, l'opérateur doit réviser sa priorisation des buts.

5) *Les stratégies d'évaluation de la situation.* La difficulté d'évaluer correctement la situation, lorsque celle-ci est dynamique et complexe, est que les problèmes rencontrés par les opérateurs peuvent résulter de la combinaison de nombreux facteurs. Etablir un diagnostic implique donc d'adopter et de comparer différents points de vue de la situation. La fixation pourrait alors résulter d'un défaut de prise en compte de certaines explications possibles. Les auteurs l'expliquent par l'effet du biais de confirmation : les opérateurs vont traiter les informations confirmant leur hypothèse et ne pas prendre en compte les informations qui impliqueraient l'existence d'une explication alternative. Selon de Keyser et Woods (*op.cit.*), ce mécanisme pourrait expliquer le type 2 de comportement de fixation.

Nous pouvons remarquer que quatre de ces cinq mécanismes de l'erreur de fixation renvoient à ceux identifiés par les travaux présentés dans l'approche cognitive. Tout d'abord, la défaillance des processus attentionnels décrits ici peut renvoyer au modèle de contrôle attentionnel décrit plus haut montrant que la focalisation attentionnelle sur un but empêche la détection d'informations pertinentes. Ensuite, les connaissances inertes, la difficulté de formulation du problème et les stratégies d'évaluation sont des processus cognitifs qui renvoient à un déficit de fonctions exécutives. Seules les connaissances limitées constituent un facteur d'erreur de fixation directement lié au contexte de la situation de travail.

Enfin, aucun de ces cinq mécanismes ne permet réellement d'expliquer pourquoi un opérateur persiste de manière consciente à appliquer une stratégie d'action dont les résultats sont inefficaces. En effet, les auteurs l'expliquent par l'effet d'une stratégie d'évaluation par laquelle l'opérateur ne tiendrait pas compte des informations qui contredisent son évaluation de la situation. On peut alors supposer que, dans ce cas, l'opérateur est persuadé que sa stratégie est la plus appropriée. Ce mécanisme pourrait alors plutôt expliquer l'erreur de type 3 où l'opérateur est persuadé que sa stratégie est la bonne. La distinction proposée entre les types d'erreur 2 et 3 semble donc très ténue puisque dans les deux cas, l'opérateur est persuadé que sa stratégie est la plus appropriée.

Plus récemment, l'erreur de fixation a été étudiée dans l'activité d'anesthésie au bloc opératoire sous l'angle des processus attentionnels (Hall, Rudolph, & Cao, 2006; Rudolph, 2003). Une première différence par rapport à l'étude de De Keyser et Woods (1990) est que l'erreur de fixation y est définie comme une erreur de diagnostic, sans intégrer l'évaluation du plan d'action. Hall *et al.* (*op.cit.*) définissent l'erreur de fixation comme un processus de fixation sur un diagnostic malgré la présence d'indices révélant qu'il est inapproprié. L'hypothèse de ces auteurs est que l'erreur de fixation résulterait de défaillances du contrôle attentionnel. Pour ces auteurs, les processus de prise de décision d'opérateurs agissant dans un système complexe peuvent être expliqués par la distribution de l'attention sur les différents niveaux du modèle de la hiérarchie d'abstraction. La hiérarchie d'abstraction est une modélisation de l'environnement de travail des systèmes sociotechniques complexes (Rasmussen, 1986). Elle permet de représenter la décomposition fonctionnelle du système sur cinq niveaux.

Le plus haut niveau représente les buts à atteindre et les niveaux plus bas représentent les moyens pour atteindre ces buts :

- *Le but fonctionnel.* Il décrit les buts et les objectifs généraux pour lesquels le système est conçu.

- *La fonction abstraite.* Elle décrit les lois sous-jacentes et les principes qui gouvernent les buts du système.

- *Les fonctions générales.* Elles expliquent les processus impliqués dans les lois et les principes au niveau de la fonction abstraite.

- *La fonction physique.* Elle révèle les composants physiques ou équipement associé aux processus identifiés au niveau de la fonction abstraite.

- *La forme physique.* Elle décrit l'état, la localisation et l'apparence physique des composants exposés au niveau de la fonction physique.

Se déplacer vers les niveaux bas du modèle répond à la question « comment » certains éléments du système sont mis en œuvre et se déplacer vers les niveaux hauts révèle « pourquoi » certains éléments existent. Les éléments des niveaux les plus bas du modèle indiquent et décrivent les composants physiques du système (par exemple l'équipement) et les éléments du niveau le plus élevé du modèle définissent les objectifs et les buts du système.

Dans le cadre de l'étude des erreurs de fixation, la gestion réussie d'une « crise » en anesthésie requiert autant de déplacements de l'attention sur les 5 niveaux du modèle de la hiérarchie d'abstraction que nécessaires pour comprendre les causes et la solution du problème. La fixation sur un diagnostic inapproprié est expliquée par des déplacements de l'attention uniquement entre le niveau le plus élevé et le niveau bas, c'est-à-dire entre le but à atteindre et les variables des composants, sans questionner les relations de cause à effet (Hall et al., 2006).

Dans ce cadre, la distribution attentionnelle ne concerne pas directement les informations indiquant un changement de situation (ici les médecins détectent bien le changement d'état du patient), mais plutôt la manière dont sont traitées ces informations. Pour les auteurs, l'erreur de fixation résulterait d'un défaut d'attention sur les processus pouvant expliquer les symptômes observés, ce qui entraînerait un défaut d'exploration de diagnostics alternatifs. Ce résultat peut être rapproché de deux mécanismes identifiés par de Keyser et Woods (*op. cit.*) : la difficulté de formulation du problème et les stratégies d'évaluation de la situation, qui tous deux entraînent une incapacité à formuler des hypothèses alternatives.

Bien que ces travaux récents permettent d'identifier plus précisément les processus liés aux difficultés d'élaboration du diagnostic, d'autres mécanismes pouvant être à l'origine de ces erreurs ne sont pas pris en compte, telles que les stratégies des opérateurs ou encore leur niveau de connaissances.

L'ensemble de ces travaux sur l'erreur de fixation permet d'établir un panorama des différents mécanismes de la persévération en situation de travail. Cependant, un aspect important de ce type d'activité n'est pas abordé dans ces travaux : la gestion des risques. En effet, les décisions prises dans ce type d'activité ont un impact sur le niveau de risque de la situation. Aussi, la gestion de ce risque est une composante de l'activité essentielle à intégrer pour comprendre ces mécanismes de décision. Cet aspect est abordé dans certains travaux sur l'erreur de continuation de plan dans l'activité de pilotage.

3.3. Erreur de continuation de plan (PCE) dans l'activité de pilotage

3.3.1. Définition

Dans la littérature psychologique liée à l'aéronautique, le terme d'erreur ou événement de continuation de plan (*plan continuation error* ou *plan continuation event* en anglais) a été introduit par Orasanu *et al.* (2001) dans le cadre de l'analyse des erreurs de décision dans l'activité de pilotage. Il désigne l'ensemble des erreurs de décision des équipages caractérisées par un défaut de révision du plan de vol malgré la présence d'indices indiquant qu'il est devenu risqué (Muthard & Wickens, 2002).

Afin de déterminer si les événements de continuation de plan pouvaient être liés à des erreurs humaines, une analyse de rapports d'incident a été effectuée (Burian, Orasanu, & Hitt, 2000). Les rapports d'incident ont été préférés aux rapports d'accident afin de limiter le biais de rétrospection qu'est la tendance à juger, *a posteriori*, qu'un événement était probable ou prévisible, alors même que ce n'était pas le cas avant qu'il ait eu lieu (Fischhoff, 2003). A partir de l'analyse de 276 rapports d'incident, trois experts devaient identifier les points de décision et décider si l'action entreprise, à chacun de ces points, relevait ou non d'un événement de continuation de plan. Les experts jugeaient ensuite si les actions entreprises correspondaient à l'un des actes risqués tels que définis par Reason (1993). Ceux-ci peuvent résulter d'une action non intentionnelle, ce sont les erreurs de type raté ou lapsus, ou d'une action intentionnelle, ce sont les erreurs de type faute ou les violations. La violation se distingue de l'erreur dans le sens où le résultat de l'action correspond au but désiré par l'opérateur. Les résultats ont montré que sur un total de 333 points de décision identifiés, 28

% relevaient d'un événement de continuation de plan. De plus, 95 % de ces événements de continuation de plan étaient associés à un acte risqué, erreur ou violation. Ce taux très important a permis de justifier l'utilisation du terme de *Plan Continuation Error* (PCE) à la place de *plan continuation event* (Burian et al., 2000). Plus précisément, seuls 11 % de ces PCE relevaient d'actions non-intentionnelles contre 89 % d'actions intentionnelles. 52 % des PCE correspondaient à des fautes, soit 71 % de l'ensemble des fautes identifiées et 45 % des PCE correspondaient à des violations, soit 82 % de l'ensemble des violations observées (tableau 1).

<i>Type d'événement</i>	<i>Catégorisation des actes risqués</i>			
	Ratés et lapsus	Fautes	Violations	Total
Continuation du plan (PCE)	10	45	32	87
Révision du plan	33	18	7	58
Total	43	63	39	145

Tableau 1. Répartition des événements de décision en fonction de leur nature et de la catégorisation des actes risqués de Reason (1993), d'après Burian et al. (2000).

Ces résultats montrent que les PCE relèvent plus fréquemment d'actions intentionnelles, ce qui correspond aux types de comportements décrits de De Keyser et Woods (1990) où le choix de l'action est voulu par l'opérateur, qu'il ait conscience ou non de l'inadéquation de son plan d'actions. En revanche, la définition de PCE en aéronautique inclue la notion de risque qui est absente de la définition de l'erreur de fixation.

3.3.2. Mécanismes à l'origine des PCE

La revue de littérature sur les PCE permet de distinguer trois mécanismes principaux :

- a) le défaut de détection du changement de la situation,
- b) le défaut de mise à jour de l'évaluation de la situation,
- c) la perception inadéquate du risque lié au plan d'action choisi.

Les deux premiers renvoient à l'erreur d'évaluation de la situation et le troisième renvoie à l'erreur d'évaluation du plan d'actions.

a) Défaut de détection du changement de la situation

Plusieurs études (Goh & Wiegmann, 2001a; Muthard & Wickens, 2002, 2003) ont montré que l'incapacité à réviser son plan d'action, alors qu'il est devenu à risques, résulte de la difficulté à détecter les changements dans l'environnement qui impliquent un risque pour le plan de vol. Ainsi, dans une tâche de surveillance de plan de vol incluant la surveillance des conditions météorologiques, du trafic aérien et des paramètres liés aux terrains, les pilotes qui détectent correctement que la situation a changé et est devenue à risques commettent 15 % de moins de PCE que les pilotes qui ne détectent pas ces changements (Muthard & Wickens, 2002).

Ces auteurs expliquent la performance de détection des changements par les caractéristiques physiques des changements ainsi que les croyances, les buts et les attentes des pilotes. En effet, d'une part les changements relatifs au trafic aérien, rapides, étaient plus fréquemment détectés que les changements relatifs aux conditions météorologiques, plus lents, et d'autre part les changements ayant un impact direct sur le plan de vol étaient plus rapidement détectés que les changements sans lien direct. En revanche, bien qu'ayant posé l'hypothèse d'un effet du biais de confirmation (les pilotes détecteraient moins fréquemment les changements qui réfutent leur croyance que leur plan de vol est sûr), leurs résultats ne permettent pas de la vérifier.

Pour ces auteurs, le PCE résulterait d'un défaut de détection de tous changements, qu'ils soient en accord ou non avec la croyance que le plan de vol choisi est sûr. Ces résultats rejoignent le mécanisme de défaillance des processus attentionnels rapporté par De Keyser et Woods (1990) qui l'expliquent par la limitation des ressources des opérateurs. Parce qu'un opérateur n'a pas les ressources suffisantes pour traiter l'ensemble des informations issues d'un environnement complexe et dynamique, il dirige son attention sur un aspect particulier de la situation qui lui semble plus pertinente pour réaliser la tâche. L'erreur de fixation ou l'erreur de continuation de plan pourrait alors survenir lorsque des informations pertinentes pour l'évaluation d'un changement de situation ne sont pas détectées.

Le facteur principal de la défaillance des processus attentionnels serait la charge de travail. Une étude portant sur la performance de détection des changements, lors d'une simulation de vol, a montré que la persistance à continuer à appliquer un plan de vol risqué était plus fréquemment observée dans des conditions de charge de travail élevée et d'automatisation imparfaite. Ces conditions étaient caractérisées par un faible taux de détection des changements (Muthard & Wickens, 2003).

Ces résultats montrent que le défaut de détection des changements de la situation, concourant à une menace pour la sécurité du vol, est un processus à l'origine des comportements de persévération. Cette défaillance des processus attentionnels serait influencée par une charge de travail élevée. Cependant, même si les auteurs observent une différence entre les taux de détection des pilotes ayant persisté dans l'application du plan de vol et ceux ayant choisi d'en changer, on peut noter qu'avec 45 % de changements détectés par les pilotes ayant persisté dans leur plan de vol, d'autres processus que la détection du changement de la situation peuvent jouer un rôle sur la commission de PCE. Plusieurs études sur les PCE montrent, en effet, qu'une fois le changement de la situation détecté, la mise à jour de l'évaluation de la situation a également un impact sur l'émergence de ce type de comportement.

b) Difficulté de mise à jour de l'évaluation de la situation

Une série de travaux a porté sur la persistance des pilotes à voler en régime de vol à vue (VFR) alors que les conditions météorologiques impliquent de voler aux instruments (IMC) (Goh & Wiegmann, 2001b; Wiegmann et al., 2002). Les résultats ont mis en évidence le lien entre une évaluation incorrecte de la situation et l'émergence de PCE. Pour ces auteurs, c'est l'interprétation incorrecte des changements de la situation ou du niveau de sévérité de ces changements qui entraîne ce comportement. Wiegmann *et al.* (2002) suggèrent que certains cas de vol VFR en conditions IMC peuvent ainsi être expliqués par une défaillance dans l'évaluation de la situation plutôt que par une volonté des pilotes de contourner les procédures.

Deux expériences ont permis de mettre en évidence ce résultat.

Tout d'abord, Goh et Wiegmann (2001b) ont montré, grâce à une simulation de vol, que l'évaluation incorrecte de la situation, mesurée par l'estimation de la visibilité, était le facteur le plus prédictif des PCE parmi des facteurs de motivation, de confiance et de volonté de prise de risque. L'hypothèse posée par ces auteurs était que chaque étape du processus de jugement, d'après le modèle de Jensen (1995), pouvait engendrer des PCE : l'évaluation de la situation, à travers la reconnaissance du problème et le diagnostic, et le choix du plan d'action, par l'évaluation du risque, les facteurs de motivation et l'estimation des coûts et des bénéfices. Ils ont ainsi proposé un cadre unique pouvant permettre de mettre en évidence l'ensemble des facteurs de PCE, mais leurs résultats n'ont montré d'effet que pour l'évaluation de la situation. Pour les auteurs, le manque de résultats significatifs résulterait des choix méthodologiques puisque l'évaluation des risques par les pilotes ainsi que les

facteurs de motivation ne concernent pas directement les événements auxquels ils sont confrontés dans le scénario de vol.

Ensuite, lors d'une autre simulation de vol, Wiegmann *et al.* (2002) ont montré que les pilotes ont tendance à voler plus fréquemment et plus longtemps en conditions dégradées lorsque le changement météorologique survient dès la fin du décollage que lorsqu'il survient plus tard durant le vol. Ces auteurs expliquent ce résultat par la confiance des pilotes envers l'information météorologique erronée, donnée juste avant le décollage, qui entraîne alors une évaluation de la situation incorrecte. Alors que l'information donnée indique que la couche nuageuse se trouve à une altitude élevée, en réalité, la couche nuageuse se trouve sur la trajectoire de l'avion : les pilotes surestiment l'altitude de la couche nuageuse par rapport à l'altitude réelle. Le fait que les pilotes décident d'entrer dans la couche nuageuse, qui représente une action risquée, est expliqué par les auteurs par un besoin de vérifier par soi-même la disparité entre les informations reçues et les conditions réellement rencontrées, permettant ainsi d'établir un diagnostic correct de la situation.

Ces travaux montrent que même lorsque l'information indiquant un changement de la situation est bien détectée, ici la pénétration dans une couche nuageuse, c'est l'interprétation de cette information qui serait incorrectement réalisée, ici par sur-estimation de la visibilité. Pour Wiegmann *et al.* (2002), le faible niveau d'expérience de vol pourrait expliquer l'évaluation incorrecte de la situation. Cependant, bien qu'ils observent une corrélation négative entre le niveau d'expérience et le temps et la distance parcourue en conditions dégradées, leurs résultats ne montrent pas d'effet du niveau d'expérience sur l'évaluation de la situation. L'explication donnée par les auteurs est que les deux niveaux d'expérience ne sont pas assez discriminants. Ils s'appuient pour cela sur les résultats d'une étude montrant un effet de l'expérience sur les PCE en comparant les 25^{ème} et 75^{ème} percentiles (Burian *et al.*, 2000). Or, cette étude n'a pas montré de lien entre expérience et évaluation de la situation, mais seulement entre expérience et PCE. Ces résultats suggèrent un effet de l'expérience sur d'autres processus que l'interprétation des informations issues de l'environnement.

Cette série de travaux met en évidence un lien entre une mise à jour incorrecte de l'évaluation de la situation et la survenue de PCE. Cependant, aucun facteur n'a été mis en évidence pour expliquer cette défaillance. De plus, nous pouvons remarquer que cette défaillance dans la mise à jour de l'évaluation de la situation relève, comme le défaut de détection du changement de la situation, d'une erreur d'évaluation de la situation. Aussi, le facteur de charge de travail mis en évidence dans le défaut de détection du changement de la

situation pourrait également avoir un impact sur la défaillance dans la mise à jour de l'évaluation de la situation.

Par ailleurs, d'autres études sur les PCE ont montré un effet du choix d'un plan d'actions inadapté alors que l'évaluation de la situation était correcte. Elles intègrent l'aspect de l'activité liée à la perception et à la gestion des risques.

c) Perception inadéquate du risque lié au plan d'actions choisi

Plusieurs auteurs ont montré que les PCE peuvent résulter, non pas d'un défaut de mise à jour de la situation, mais de la difficulté de percevoir que le plan d'actions choisi est inadapté. Pour ces auteurs, le choix du plan d'actions est lié à la perception du risque (O'Hare, 1990; O'Hare & Smitheran, 1995; Orasanu, Fisher, & Davison, 2002). Dans le cas des PCE, cette perception serait influencée par les pressions organisationnelles de nature économique, entraînant un conflit entre la recherche du but économique (accomplir son plan de vol à la destination et aux horaires prévus) et la recherche du but de maintien du niveau de sécurité. La pression économique pourrait induire les pilotes à penser qu'ils sont capables de gérer ce risque et donc à sous-estimer le risque.

L'effet de la perception du risque sur les PCE a été mis en évidence à partir de scénarios de vol présentés en format papier-crayon. L'un représentait un décollage avec des risques de cisaillements de vent et l'autre représentait un atterrissage avec des conditions météorologiques dégradées (Orasanu et al., 2002). Une pression économique était induite par un retard au décollage pour le premier scénario et par l'existence d'un couvre-feu de fermeture de la piste, la veille de Noël, pour le scénario d'atterrissage. L'analyse des protocoles de verbalisations a montré que tous les pilotes avaient bien évalué le danger et que leur décision variait seulement en fonction de leur perception du risque. Lors des deux scénarios, respectivement 64 et 44 % des pilotes ont préféré continuer le vol malgré la connaissance du danger, permettant ainsi de répondre au but économique. Les auteurs interprètent ce résultat par la différence d'évaluation du risque. Si le risque est jugé trop élevé, les pilotes changeront leur plan de vol, mais s'il n'est pas jugé très élevé, ils préféreront continuer le plan de vol. Cependant, les auteurs n'ont pas observé de lien entre les critères de décision relatifs au but économique et la décision de persévérer. Dans le scénario de décollage, le critère relatif au retard du décollage ne représentait que 4,2 % des critères verbalisés. En revanche, l'évaluation des conditions différait selon que les pilotes persévéraient dans le plan de vol ou qu'ils se déroutaient : les pilotes ayant choisi l'option la

plus risquée ont évalué les conditions de vol de manière plus positive que les pilotes ayant choisi l'option la moins risquée.

Ce résultat pourrait être expliqué par le format papier-crayon des scénarios. Dans ce cas, la pression économique aurait moins d'impact, car non réelle, alors que la recherche du maintien du niveau de sécurité correspondrait à une forme de désirabilité sociale.

Ce biais a été compensé dans une autre expérience en simulateur de vol, dans laquelle les participants recevaient un feed-back indiquant un montant d'argent gagné en fonction de la réussite des atterrissages (Causse, Dehais, Pastor, Péran, & Sabatini, 2010). Les résultats ont montré un effet significatif de l'incitation financière sur la prise de risque lors d'atterrissages incertains. Par ailleurs, grâce à la « méthode de décision critique », utilisée lors de 11 entretiens semi-structurés, Denihan (2007) a montré l'importance du but de réussite de la mission sur les décisions prises par des pilotes militaires. L'auteur rapporte que pour une même situation, l'appontage en fin de journée, les pilotes en entraînement préfèrent ne pas remplir leur mission afin d'apponter avant la tombée de la nuit pour garder des références visuelles, alors que les pilotes en combat préfèrent remplir leur mission et prendre le risque d'apponter sans référence visuelles.

Dans une autre simulation de vol illustrant la persévération à voler en conditions météorologiques dégradées, O'Hare et Smitheran (1995) ont essayé de montrer l'influence de la recherche du but économique sur le PCE par l'application de la théorie prospective, initialement proposée pour rendre compte des prises de risques financiers. Selon cette théorie, les personnes ne pensent pas aux conséquences de leurs décisions en termes de résultat final mais en termes de l'anticipation de gains ou de pertes par rapport à un point de référence [Kahneman et Tversky (1979), cités par O'Hare et Smitheran, 1995]. La réponse face au risque est différente selon qu'il implique la perception de gains ou la perception de pertes. Les personnes auront tendance à prendre des risques si elles considèrent l'éventualité de pertes alors qu'elles auront tendance à ne pas prendre de risque si elles considèrent des gains possibles. Les personnes préféreront renoncer à un gain possible plutôt que de subir des pertes potentielles. Appliquée au pilotage, l'hypothèse est que les pilotes auront tendance à poursuivre le vol malgré des conditions météorologiques dégradées s'ils prennent leur décision en fonction des pertes potentielles, comme le temps perdu par exemple. Au contraire, les pilotes auront tendance à préférer se dérouter s'ils prennent leur décision en fonction de gains potentiels comme assurer un niveau de sécurité satisfaisant. Cependant, aucun effet de la perception du risque en termes de gains ou de pertes n'a été observé sur les décisions des pilotes. Les auteurs expliquent ce résultat par un effet de la désirabilité sociale,

puisque une majorité d'entre eux (79 %) ont répondu prendre leur décision par anticipation de gains. Ils proposent que cette approche n'est peut-être pas suffisante pour rendre compte des décisions en situation naturelle. Les stratégies et les buts définis par les pilotes devraient également être pris en compte.

Ces résultats montrent que la perception du risque jouerait un rôle dans le choix du plan d'actions et pourrait entraîner des PCE malgré une évaluation correcte du danger. Cependant, bien que la gestion du risque puisse être liée aux conflits de buts entre production et sécurité, les expériences en simulation de vol ne permettent pas de vérifier cette hypothèse. Seuls les entretiens basés sur des événements réellement vécus en rendent compte.

3.4. Synthèse

L'ensemble de ces travaux révèle l'importance des processus de décision dans la survenue de persévération en situation de travail. Ce sont, d'une part, les difficultés liées à la mise à jour de l'évaluation de la situation, tels que le défaut de détection des informations indiquant un changement de la situation ou l'interprétation inadéquate de ces informations, qui peuvent en être à l'origine. Ces difficultés renvoient directement aux résultats des travaux en neuropsychologie, c'est-à-dire à un défaut de contrôle attentionnel et à un déficit des fonctions exécutives. D'autre part, un autre mécanisme de persévération est mis en évidence : la sous-évaluation des conséquences du plan d'action en termes de risque encouru, influencée par la pression sur le but économique alors en conflit avec le but de sécurité.

En intégrant les contraintes de l'environnement, l'approche ergonomique met ainsi en évidence les processus cognitifs mis en jeu en situation naturelle. Cependant, une des caractéristiques importantes de l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques est peu abordée dans les travaux sur la persévération : la dimension collective. En effet, la complexité des situations à gérer ainsi que les nombreuses contraintes existantes impliquent que la majorité de ces activités sont menées par des équipes d'opérateurs. Dès lors, les processus coopératifs ayant un impact sur les mécanismes de prise de décision, un modèle cognitif individuel ne peut plus être directement appliqué (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). Certains travaux de recherche sur les prises de décision collectives montrent que l'expression de divergences au sein des groupes est un mécanisme important à prendre en compte dans l'étude de la persévération. Le chapitre suivant propose une revue de ces travaux.

4. Approche collective : recherche de consensus au sein du groupe

Les processus inhérents aux prises de décision en groupe sont analysés depuis de nombreuses décennies dans le champ de la psychologie sociale et également en ergonomie. L'objet de ces études est d'identifier les mécanismes conduisant à des décisions de groupe inadaptées. Dans certains modèles, ces décisions renvoient directement à un comportement de persévération où la recherche d'un consensus rapide joue un rôle important. Le rôle préventif de l'expression de divergences est à chaque fois mis en évidence. Ce facteur est également abordé dans certains travaux d'ergonomie traitant de résolution de problème en situation de travail.

4.1. Biais de décision

Les travaux en psychologie sociale ont permis d'identifier de nombreux biais de décision. Certains relèvent de la décision de groupe et renvoient directement à la persévération. La revue de littérature ci-dessous présente les processus identifiés dans le *groupthink* puis dans le biais de préférence.

4.1.1. Modèle du Groupthink

Définition et processus impliqués

L'un des premiers courants d'études portant sur les défaillances relatives aux prises de décision en groupe a été initié par Janis (Janis, 1972). A partir d'études de cas concernant des décisions politiques prises par le gouvernement américain et considérées comme des « fiascos », l'auteur met en évidence le phénomène de « groupthink » (ou, en français, pensée de groupe), défini comme « un mode de pensée dans lequel sont engagées des personnes profondément impliquées dans un groupe cohésif et où les efforts des membres pour atteindre un consensus l'emportent sur leur motivation à évaluer de manière réaliste des actions alternatives » (Janis, 1972, p. 8, notre traduction). La définition du *groupthink* rappelle celle de la persévération, dans le sens où le groupe persiste dans une décision inefficace sans prendre en compte les alternatives possibles.

Le modèle proposé par Janis est constitué de cinq composantes : les conditions préalables au *groupthink* appelées antécédents, la recherche de consensus, les symptômes du *groupthink*, les défaillances dans les processus de décision et les issues inadaptées de la décision (figure 7).

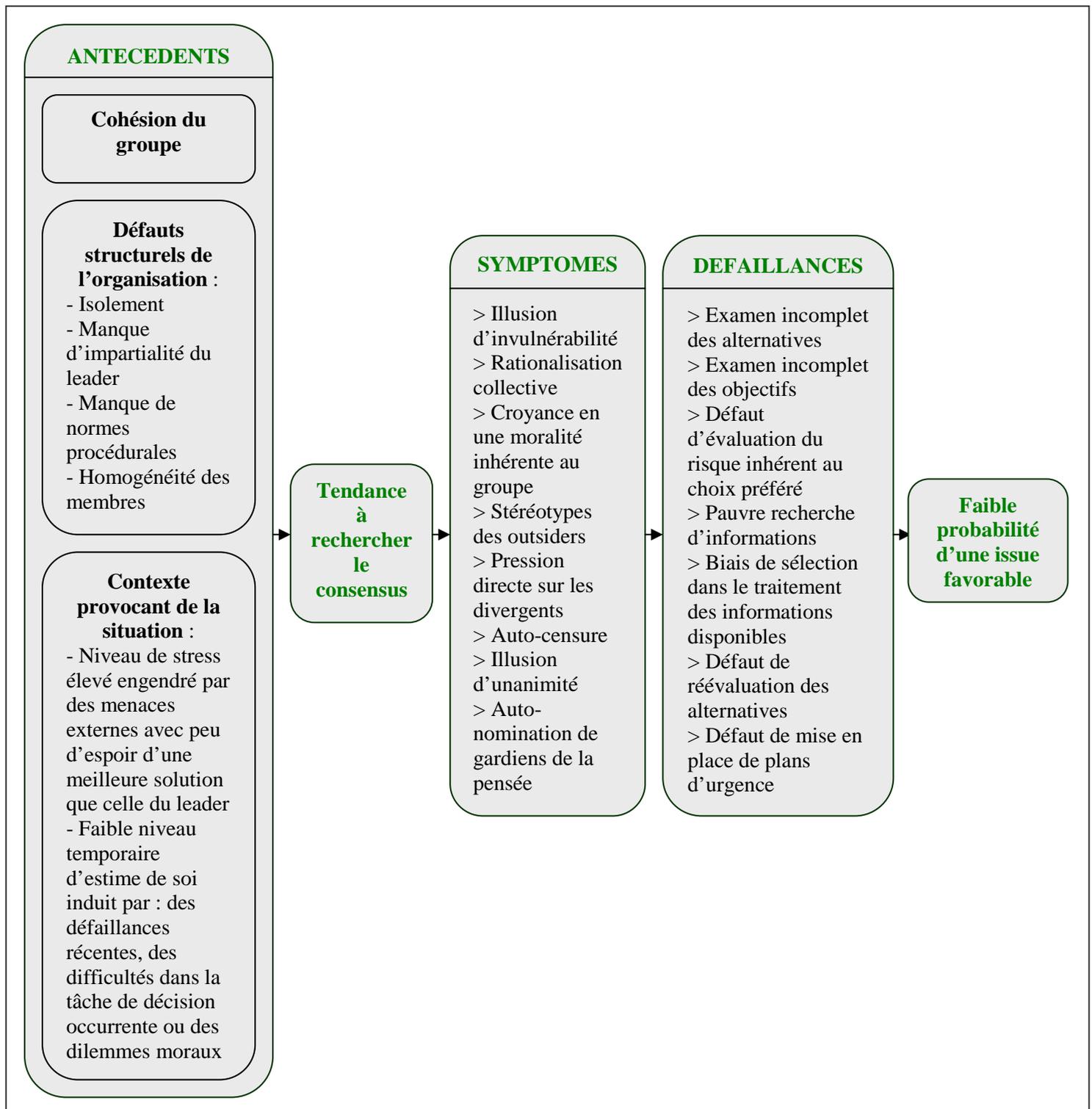


Figure 7. Modèle du Groupthink (Janis & Mann, 1977).

Les antécédents au *groupthink* sont regroupés en trois catégories (Janis, 1982; Janis & Mann, 1977). La plus importante en termes de prédiction du *groupthink* est le niveau modéré ou élevé de la cohésion du groupe. Les deux autres catégories sont les défauts structurels de l'organisation et le contexte provocant de la situation. Cette dernière met en avant le rôle du

stress, soit en tant que facteur externe (engendré par des menaces extérieures), soit en tant que facteur interne (engendré par une baisse d'estime de soi).

La tendance à rechercher un consensus conduirait les membres à approuver publiquement la position perçue du groupe même s'ils la désapprouvent intérieurement (Janis, 1972). Cette tendance se compose de deux processus (Henningsen, Henningsen, Eden, & Cruz, 2006) : la perception d'une préférence du groupe puis la mise en place d'actions dans le but de la soutenir.

Une fois que les conditions préalables au *groupthink* sont réunies et qu'elles conduisent les membres du groupe à orienter leurs interactions sur la recherche d'un consensus, des symptômes de *groupthink* peuvent être observés (Janis & Mann, 1977). Ils induisent les membres du groupe à préférer la position du groupe et à rejeter les informations divergentes.

Pour Janis (1982), le *groupthink* engendrerait des défaillances dans les processus de prise de décision conduisant à une décision inefficace. Elles sont principalement caractérisées par une faible prise en compte des alternatives possibles. Ainsi, les informations concernant les risques de la solution choisie et celles concernant les avantages des solutions rejetées sont ignorées. De plus, le haut niveau de confiance dans la solution choisie les empêche de concevoir un plan d'urgence (plan b) au cas où celle-ci se révélerait inefficace. Nous pouvons remarquer que ces défaillances sont proches de celles décrites dans le cadre de la dissonance cognitive.

Critiques envers le modèle du *groupthink*

A la suite de Janis, de nombreuses études ont porté sur le *groupthink* (voir pour une revue de littérature, Esser, 1998). Deux méthodes de recherche ont principalement été utilisées : les études de cas centrées sur une approche qualitative et les études expérimentales centrées sur une approche quantitative. Cependant, aucune de ces deux méthodes n'a permis de démontrer la validité du modèle dans son intégralité, entraînant ainsi de nombreux débats (Aldag & Fuller, 1993; Henningsen et al., 2006; Park, 2000).

Dans leur revue de littérature, Aldag & Fuller (1993) émettent de nombreuses critiques à l'égard de ce modèle. Les auteurs remarquent que les décisions politiques analysées dans les études de cas sont peu généralisables aux décisions de groupes réalisées dans d'autres contextes. De plus, les processus identifiés dans ces prises de décisions inappropriées ne sont pas comparés à ceux de décisions pertinentes. Quant aux travaux

expérimentaux, ils ont plutôt porté sur certaines parties du modèle et rarement sur l'ensemble des variables identifiées par Janis.

Ces dernières années, deux études importantes ont eu pour objectif de tester le modèle sur l'ensemble des variables identifiées par Janis (Chen, Tsai, & Shu, 2009; Park, 2000). Les résultats n'ont montré d'effet que pour certaines de ces variables. Par exemple, les résultats d'une étude empirique portant sur l'analyse de décisions financières prises par 15 directions d'entreprises (Chen et al., 2009) n'ont pas montré de lien significatif des antécédents, notamment le niveau de cohésion des équipes, ni avec les symptômes de *groupthink*, ni avec la qualité des décisions.

De plus, les résultats des études expérimentales portant sur une partie des variables du modèle sont contradictoires. Ainsi, Choi & Kim (1999) ont montré, par l'analyse des décisions de 30 équipes de travail ayant eu à gérer des événements critiques dans différentes entreprises, que certains symptômes de *groupthink* étaient positivement corrélés à la qualité de la décision tandis que d'autres étaient négativement corrélés. L'application d'une analyse factorielle sur le questionnaire de symptômes de *groupthink* a révélé l'existence de deux facteurs distincts. L'un renvoie à la recherche de consensus et va dans le sens des prédictions du modèle du *groupthink* : ce sont les items liés à la pression sur les divergents, la rationalisation collective et l'auto-censure. Le second facteur renvoie à l'identité du groupe et va à l'encontre des attentes du modèle : ce sont les items liés à la croyance en une moralité inhérente au groupe, l'illusion d'unanimité et l'illusion d'invulnérabilité. Ces résultats montrent ainsi que le *groupthink*, au travers du facteur « identité », peut avoir des effets positifs sur les performances de décision. Dans le même sens, Aldag & Fuller (1993) rappellent qu'un niveau élevé de cohésion au sein d'un groupe peut produire des effets positifs, tels qu'une baisse de tension et d'anxiété et de meilleures performances collectives. Le *groupthink* pourrait alors refléter différentes dynamiques de groupes.

Pour Aldag & Fuller (1993), comme aucun lien n'est réalisé avec d'autres modèles de résolution de problème en groupe, l'un des principaux défauts du modèle de *groupthink* est qu'il serait incomplet : il n'intègre pas certains facteurs pourtant mis en évidence dans d'autres travaux, comme la qualité des alternatives proposées ou le temps passé avant de converger vers une solution. Selon ces auteurs, les défaillances de décision identifiées par Janis renvoient directement aux processus de résolution de problème : l'identification du problème, la génération d'alternatives, l'évaluation et le choix parmi les alternatives et la mise en place de solution. Les auteurs remarquent que le processus de contrôle de la solution n'est pas pris en compte dans le modèle de Janis alors que son rôle dans la qualité des

décisions peut être important. De plus, ils relativisent le poids de l'expression de convergences sur le *groupthink*. Convergences et divergences au sein d'un groupe caractériseraient des étapes particulières de la résolution de problème. Ainsi, la génération d'alternatives entraînerait des divergences alors que l'évaluation et le choix parmi les alternatives seraient caractérisés par l'expression de convergences. Aussi, ce n'est pas la recherche de consensus en soi qui engendrerait des effets négatifs, mais le fait qu'elle survienne trop tôt dans le processus de résolution de problème. Dans le même sens, Janis (1989, in Henningsen et al., 2006) a également amoindri la dimension négative du *groupthink* en montrant qu'il pouvait également entraîner, avec une faible probabilité, de bonnes performances, notamment lorsque le leader défend une décision appropriée.

Bien que le modèle du *groupthink* n'ait pas été validé dans son intégralité, certains effets de groupe ont été confirmés, notamment l'effet du manque d'expressions de divergences lors de la phase de générations et la considération d'alternatives possibles.

Plus récemment, le rôle de la nature des interactions au sein des groupes a été étudié dans le cadre des travaux de recherche sur les décisions de groupe à partir du paradigme du « hidden profile », ou en français « profil caché ». Ce paradigme consiste à distribuer différentes informations pertinentes à chaque membre du groupe. Seul le partage de toutes ces informations permet de trouver la solution appropriée au problème posé. La solution est donc « cachée » aux membres du groupe tant qu'ils n'ont pas partagé toutes les informations. Dans ce cadre, la persévérance dans le choix d'une solution inappropriée est expliquée par le biais de préférence.

4.1.2. Biais de préférence

Définition et processus impliqués

Le biais de préférence est décrit comme la persistance dans le choix de la solution initialement préférée mais inappropriée, même lorsque toutes les informations pertinentes pour trouver la solution la plus adaptée ont été échangées au sein du groupe (Klocke, 2007).

Plusieurs défaillances dans les étapes du traitement des informations ont été mises en évidence pour expliquer le biais de préférence. Brownstein (2003) décrit un traitement biaisé avant la prise de décision (en anglais « biased predecision processing ») par deux processus apparaissant également dans les défaillances de décision du modèle de *groupthink* :

- la recherche sélective des informations favorisant l'alternative préférée,
- la réévaluation des alternatives en soutenant la préférée et/ou en discréditant les autres.

Plus récemment, Klocke (2007) a identifié trois processus spécifiques au biais de préférence :

- la négociation directe des préférences initiales des membres aboutissant à un consensus prématuré sans discussion autour d'autres alternatives.
- l'échange d'informations favorisant la préférence initiale.
- l'évaluation individuelle biaisée des informations.

Le premier processus se rapporte aux travaux sur le *common knowledge effect* qui caractérise l'influence des informations partagées par tous les membres du groupe sur la solution choisie (Gigone & Hastie, 1993, 1997). Les faibles performances dans le paradigme du profil caché sont ainsi expliquées par le défaut de prise en compte des informations détenues par un seul ou une minorité des membres du groupe, appelées informations non partagées. La solution choisie découlerait de la discussion des informations uniquement partagées par tous les membres sans discussion des informations non partagées.

Le deuxième décrit un échange particulier d'informations puisque cet échange concerne que celles relatives à la préférence initiale. Les informations allant dans le sens d'une solution alternative ne pas échangées.

Le troisième processus renvoie à une autre catégorisation des informations distinguant leur cohérence par rapport à l'alternative préférée. Greitemeyer & Schultz-Hardt (2003) se sont intéressés au processus individuel de l'évaluation de la pertinence des informations. Trois aspects de la pertinence des informations ont été auto-évalués par chaque membre des groupes : la crédibilité, l'importance et la valence. Les résultats de l'étude ont montré que les informations cohérentes avec la préférence initiale sont évaluées comme plus pertinentes et plus crédibles que les informations incohérentes. Les auteurs expliquent ce résultat par un principe « d'économie cognitive » et rejettent l'explication d'une distorsion intentionnelle des informations. La prise en compte d'une information incohérente serait plus coûteuse en ressources cognitives que la prise en compte d'une information cohérente car elle implique une recherche approfondie afin de déterminer l'exactitude de l'information ou de l'alternative concernée. Aussi, l'évaluation biaisée en faveur des informations cohérentes surviendrait afin d'économiser les ressources cognitives.

Effet de l'expression et de la discussion de divergences sur le biais de préférence

L'effet positif de l'expression de divergences, par rapport à l'expression de convergences, sur la qualité des décisions prises en groupe a été mis en évidence dans le cadre du paradigme du profil caché (Brodbeck, Kerschreiter, Mojzisch, Frey, & Schultz-Hardt, 2002). Cet effet est significatif même lorsque les divergences exprimées ne favorisent pas la solution adaptée à la situation (Schultz-Hardt, Brodbeck, Mojzisch, Kerschreiter, & Frey, 2006). Dans cette situation, deux mécanismes amenant au choix de la solution adaptée ont été identifiés :

- l'intensité de la discussion est plus élevée, c'est-à-dire que le nombre d'informations introduites dans la discussion et le nombre de répétitions de ces informations sont plus élevés que dans la condition sans divergences. Les informations soutenant l'alternative la plus adaptée sont donc échangées et permettent au groupe de la choisir.

- les échanges d'informations sont moins biaisés dans le sens où ces échanges concernent moins les informations partagées et cohérentes avec les préférences initiales que dans la condition sans divergences.

Il semble ainsi que l'expression de divergences entre les membres des groupes favorise leur ouverture aux informations nouvelles et incohérentes avec leurs préférences initiales, les amenant ainsi à discuter d'alternatives qui n'étaient pas évoquées initialement est qui sont plus adaptées (Schultz-Hardt et al., 2006).

En comparant 15 groupes dont les trois membres étaient orientés vers des préférences différentes et 15 groupes dont les trois membres étaient orientés vers une même solution, Klocke (2007) a montré que l'expression de divergences diminuait le biais de préférence quant à l'évaluation individuelle des informations. En revanche, l'expression de divergences favorisait le biais de préférence sur les informations échangées : chaque membre discutait des informations cohérentes avec son alternative préférée. Les résultats de l'étude ont toutefois montré que l'expression de divergences favorisait la qualité de la décision.

L'effet de l'expression de divergences sur le biais de préférence peut être expliqué dans le cadre des théories sur l'influence des minorités (Brodbeck et al., 2002). En effet, Nemeth (1986) montre que la confrontation à un point de vue majoritaire induit une réflexion centrée sur la solution proposée, c'est la pensée convergente, tandis que la confrontation à un point de vue minoritaire entraîne la prise en compte de multiples alternatives non considérées jusqu'alors, c'est la pensée divergente. Dans ce dernier cas, différents aspects de la situation sont considérés ce qui permet de détecter de nouvelles solutions et ainsi d'améliorer la qualité des décisions (Nemeth & Nemeth-Brown, 2003, in Klocke, 2007; Nemeth, 1986). La pensée

divergente permettrait alors un traitement plus systématique et moins biaisé des informations, c'est-à-dire le traitement d'un plus grand nombre d'informations incohérentes avec l'alternative préférée (Brodbeck et al., 2002; De Dreu & West, 2001; Klocke, 2007; Schultz-Hardt et al., 2006). L'expression de divergences par une minorité du groupe entraîne ainsi la considération de nouvelles alternatives, ce qui permet d'éviter le biais de préférence c'est-à-dire la persévération dans le choix d'une solution initialement proposée inadaptée.

L'ensemble des processus de décision en jeu lors du biais de préférence et lors des décisions efficaces induites par l'influence de l'expression de divergences est synthétisé par la figure 8.

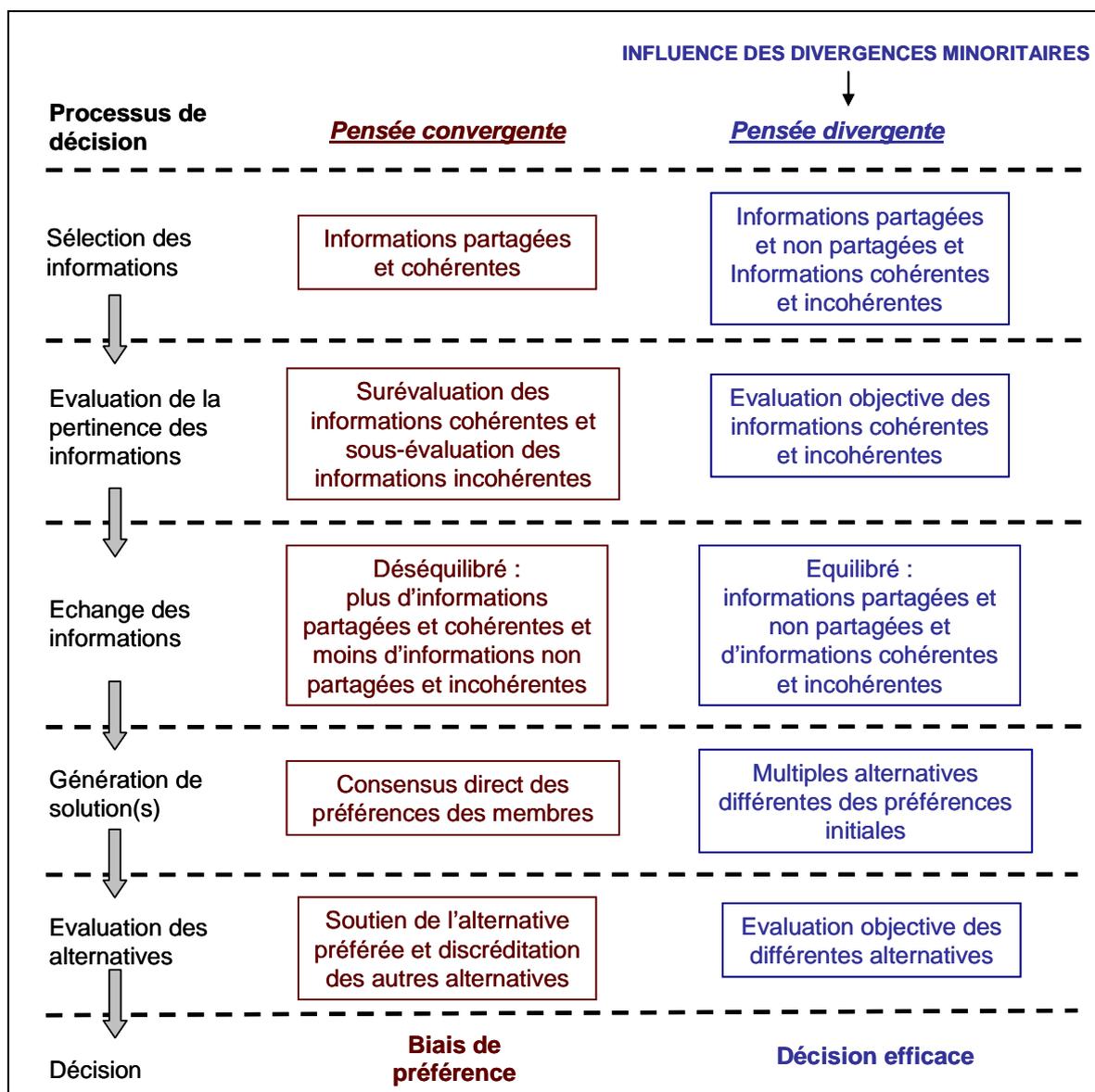


Figure 8. Synthèse des processus de décision collective en jeu lors du biais de préférence et lors des décisions efficaces induites par l'influence des divergences minoritaires.

Cette synthèse montre que chaque processus de décision, depuis le traitement des informations jusqu'au choix d'une solution, peut entraîner un biais de préférence lorsqu'ils sont guidés par une pensée convergente alors qu'ils peuvent aboutir à une décision lorsqu'ils sont guidés par une pensée divergente, induite par l'influence des divergences minoritaires.

Cependant, ces résultats ont été obtenus lors de tâches de décision réalisées en laboratoire sans enjeu particulier où, souvent, les membres des groupes ne se connaissent pas. Or, en situation de travail, les décisions à prendre présentent les caractéristiques opposées : elles sont souvent associées à de nombreux enjeux et les membres des groupes sont fréquemment familiers et disparates en termes de connaissances, de compétences et de niveau d'expérience. Peut-on alors identifier les mêmes mécanismes coopératifs en jeu notamment vis-à-vis du rôle de l'expression de divergences ?

4.2. Résolution collective de problèmes en situation de travail

L'étude de la dimension collective de la persévérance en situation de travail a peu été abordée. En revanche, de nombreuses études ont porté sur les mécanismes coopératifs dans la résolution de problème en situation naturelle. Dès les années 90, ces travaux ont mis en évidence le rôle de la représentation partagée du problème (Navarro, 1991; Orasanu, 1994; Orasanu & Connolly, 1993), notamment lorsque l'activité est organisée en coopération distribuée, c'est-à-dire que chaque membre de l'équipe poursuit des sous-buts spécifiques à sa tâche et possède des compétences particulières. Ainsi, l'obtention d'une représentation complète et correcte de la situation implique un partage d'informations entre les membres de l'équipe. Cette représentation partagée inclut une compréhension commune du problème, de l'objectif à atteindre et de la stratégie à mettre en place (Orasanu, 1994). Plus récemment, une étude a montré le rôle bénéfique de la confrontation d'avis au sein des équipes lors de prises de décision médicales (Mollo & Falzon, 2008).

Le rôle positif des interventions des coéquipiers a, par ailleurs, été montré sur la détection des erreurs. En effet, une analyse de 245 rapports d'incident aérien a révélé que 76 % des erreurs ont été détectés par un tiers (Sarter & Alexander, 2000). Lors d'une étude de cas médicaux, il a également été observé que l'intervention de tiers avait permis de détecter et de récupérer certaines erreurs médicales (Patterson, Woods, Cook, & Render, 2007).

Dans ce cadre, les travaux portant sur l'amélioration des performances dans la résolution collective de problèmes ont porté sur les facteurs permettant d'enrichir la représentation partagée du problème à travers l'identification de caractéristiques des communications. Certaines d'entre elles sont relatives à l'expression de divergences.

4.2.1. Rôle de l'argumentation dans l'activité de conception

Plusieurs études ont montré que l'expression d'arguments favorisait l'assimilation d'une nouvelle information transmise par un co-équipier ou la prise en compte d'un avis divergent au sein de l'équipe (Darses, 2006, 2009; Karsenty, 2000; Karsenty & Brézillon, 1995). Darses (2009) définit l'argument comme « une justification émise en fonction d'un contexte donné » (p. 52).

Selon Karsenty (2000), l'explication, et plus précisément, l'expression du besoin d'explication et sa satisfaction, contribuent à l'enrichissement d'une représentation partagée du problème. Le processus explicatif permettrait de supprimer le conflit induit par les propositions ou les jugements divergents des membres de l'équipe (Karsenty & Brézillon, 1995). L'explication permettrait ainsi de réviser la représentation de chaque membre et, par la construction d'un contexte de connaissances mutuellement acceptables, d'enrichir la représentation commune du problème.

L'analyse de dialogues lors de la résolution d'un problème de conception a permis de montrer que l'explication représentait un tiers des actes de langage (Karsenty, 2000). Dans cette étude, les explications étaient particulièrement requises lorsque des informations nouvelles et/ou contradictoires étaient exprimées par les co-équipiers, c'est-à-dire lorsque les nouvelles informations étaient incohérentes par rapport aux attentes. L'auteur montre que les explications de désaccord permettent de redéfinir le problème par l'introduction de nouvelles perspectives.

Plus récemment, Darses (2006) a proposé une catégorisation des arguments échangés dans ce même contexte de la résolution de problème en conception. A partir de l'analyse de dialogues menés au sein d'une équipe de concepteurs et caractérisés par de nombreux débats, l'auteur propose quatre catégories d'arguments :

- le critère, qui renvoie à la mention d'un paramètre utilisé pour évaluer qualitativement ou quantitativement un aspect du problème traité ;
- la description de procédures ou de modes opératoires ;
- la description du dispositif actuel, qui vise à redéfinir le contexte ;
- la simulation mentale d'une solution possible qui permet de donner plus de poids à la solution proposée.

Les résultats de son analyse montrent que les catégories d'arguments utilisés sont différentes en fonction de la phase de la résolution de problème. Lors de l'analyse du problème, les arguments employés relèvent en majorité de la description des procédures et

des modes opératoires, tandis que la phase de recherche de solution est caractérisée par autant de critères que les autres types d'arguments. L'auteur interprète ces résultats par le besoin de construire un référentiel commun lors de l'identification du problème tandis que la recherche de solution est caractérisée par l'expression de points de vue opposés argumentés afin d'obtenir une meilleure solution.

Dans le cadre de l'analyse d'activités de conduite de systèmes dynamiques à risques, peu d'études ont porté sur l'argumentation. En revanche, certains travaux ont mis en évidence l'effet positif de la verbalisation des pensées sur la qualité de la résolution collective de problème.

4.2.2. Rôle de la verbalisation des pensées dans l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques

L'analyse des communications dans l'activité de conduite de systèmes dynamique à risques a fait l'objet de nombreux travaux depuis les années 80. Face à un problème à résoudre, les communications échangées entre les opérateurs répondent à trois fonctions principales (Orasanu, 1994) :

- le partage d'informations,
- l'initiation d'actions,
- le reflet des pensées.

Le partage des informations est une fonction très importante des communications puisqu'elle permet à l'ensemble de l'équipe de construire une représentation de la situation complète, chaque opérateur pouvant fournir des informations spécifiques à la tâche qu'il assure.

L'initiation d'actions est également une fonction importante dont le but est la gestion du problème ainsi que la mise en place d'une solution. Elle peut aussi être utilisée pour répartir les tâches et donc à gérer la charge de travail.

Enfin, le reflet des pensées participe essentiellement à la construction d'un modèle partagé du problème. Pour Orasanu (1994), il est lié aux processus métacognitifs et inclut :

- l'interprétation des informations,
- la proposition de buts globaux ou intermédiaires,
- la suggestion de plan d'action pour atteindre ces buts,
- l'évaluation des conditions,
- l'anticipation des événements,
- l'apport d'explications ou de justifications.

Cette définition montre que l'expression de divergences, accompagnées ou non d'arguments, peut se référer à la fonction de reflet des pensées. Or, parmi les trois fonctions décrites ci-dessus, peu d'études ont porté sur cette dernière au profit de nombreuses analyses portant sur les échanges d'informations.

Lien entre partage d'informations et performance

La première étude importante portant sur l'analyse d'une activité collective de conduite de système dynamique à risques a été initiée par Ruffel-Smith (1979) dans le cadre d'un projet dont le but était de déterminer l'impact de la charge de travail sur la performance des équipages en simulateur de vol. Les résultats de cette étude ont permis de mettre en évidence que la qualité des interactions entre les membres d'équipages avait plus d'impact sur la performance que les compétences techniques individuelles des pilotes. Par la suite, les échanges verbaux enregistrés au cours de ces séances ont été réanalysés par d'autres auteurs afin de déterminer les caractéristiques des communications en jeu (Foushee & Manos, 81, in Mjøs, 2001). L'un des principaux résultats était que le nombre d'informations échangées était négativement corrélé avec le nombre d'erreurs commises.

Plus récemment, une autre étude sur simulateur de vol a permis de montrer que les équipages les plus performants sont ceux qui cherchent à clarifier la situation en posant des questions et qui verbalisent plus fréquemment les actions en train d'être réalisées (Sexton & Helmreich, 2003).

Dans le domaine médical, des résultats similaires ont été observés. Plusieurs études réalisées lors d'observations en salle d'opérations ont montré le lien entre la qualité des transferts d'informations et la sécurité du patient et/ou l'efficacité au bloc opératoire (Christian et al., 2006; Halverson et al., sous presse; Lingard et al., 2004). La majorité des défaillances de communication observées sont la non-transmission d'une information pertinente, la transmission d'une information non pertinente et la transmission trop tardive d'une information pertinente.

Lien entre initiation d'actions et performance

Les études portant sur la direction d'actions sont moins nombreuses. Deux études ont montré, lors de simulations de vol, que diriger des actions en vue de résoudre un problème peut s'avérer difficile, voire peu efficace, selon la forme employée (Fisher & Orasanu, 1999, 2000). En effet, diriger une action peut prendre plusieurs formes, comme un ordre, une allusion ou encore une demande de permission. Fisher et Orasanu (*op.cit.*) ont montré que les

formes de communication employées diffèrent en fonction du statut dans le cockpit et du niveau de risque de la situation. Ainsi, les copilotes utilisent majoritairement les allusions et les formulations d'obligation tandis que les commandants de bord utilisent majoritairement des ordres. Cependant, la forme de communication jugée la plus efficace par 59 commandants de bord et 57 copilotes pour faire changer le plan d'actions risqué du pilote en fonction, est la formulation d'une obligation.

L'analyse des directions d'actions n'a cependant pas été effectuée dans le cadre d'une analyse de l'activité.

Lien entre reflet des pensées et performance

Plus récemment, certaines analyses d'activité collective ont porté sur des catégorisations de communication plus variées, dans lesquelles apparaissent les trois fonctions principales des communications décrites par Orasanu (1993). Ainsi, Mjøs (2001) propose de classer les verbalisations selon qu'elles se rapportent à la tâche ou aux relations entre les membres de l'équipe. Dans cette dernière catégorie apparaissent l'expression d'accord et de désaccord. Les résultats de son étude en simulateur de vol, auprès de 26 pilotes, montrent une corrélation négative entre le nombre de verbalisations liées à la tâche et le nombre d'erreurs commises, tandis qu'une corrélation positive est observée entre le nombre de verbalisations liées aux relations entre les membres de l'équipage, notamment le nombre de désaccords exprimés, et le nombre d'erreurs commises. Ce résultat peut être interprété par le fait que c'est parce que des erreurs sont commises que des désaccords sont exprimés. Aucun indicateur n'est fourni dans cette étude pour évaluer la performance globale, ce qui empêche de vérifier si l'expression de désaccord permet de récupérer ces erreurs. En revanche, l'auteur n'a observé que peu de critiques de la part des copilotes lorsque des commandants de bord, pourtant très expérimentés, ont commencé à résoudre les problèmes techniques sans examiner la situation dans son ensemble ni décider des priorités.

Les résultats de cette étude semblent indiquer que lorsque des erreurs caractérisées sont commises, des désaccords sont exprimés au sein du cockpit, mais, en revanche, lorsqu'il ne s'agit pas d'erreurs proprement dites, les désaccords sont peu souvent exprimés.

De manière similaire, une analyse de communications échangées au sein de 12 équipes, lors d'une simulation de mission de sauvetage en antarctique, montre une faible part d'expression de désaccords, que ce soit au sein des équipes performantes (environ 5.5 % de l'ensemble des messages exprimés) qu'au sein des équipes moins performantes (environ 7.5 %) (Fisher, McDonnell, & Orasanu, 2007).

En revanche, une étude portant sur l'observation de l'activité d'anesthésie, avec un simulateur-patient, a permis de montrer que les explications associées à la transmission d'un problème entraînaient de meilleures performances (Hofinger & Buerschaper, 2009). L'une des catégories de communication portait sur la coordination de l'équipe et l'établissement d'un modèle mental partagé et reflétait les trois fonctions principales des communications identifiées par Orasanu (1994) :

- le transfert d'informations, le transfert de faits indiquant l'existence d'un problème et l'explication de sa propre activité peuvent renvoyer au transfert d'informations,
- l'expression à voix haute de ses pensées et le transfert d'un problème accompagné d'une explication ou d'un modèle peuvent se rapporter au reflet des pensées,
- la prise de contact volontaire avec le chirurgien peut refléter l'initiation d'actions,
- enfin, la répétition d'un message précédemment exprimé et la confirmation de la compréhension d'un message renvoient à la bonne compréhension des messages.

Les résultats de l'observation de 34 internes en anesthésie, répondant à trois scénarios différents, révèlent que les messages relatifs à la coordination de l'équipe et de l'établissement d'un modèle mental partagé représentent 47 % de l'ensemble des messages exprimés. Aucune corrélation n'est observée entre l'ensemble des messages exprimés relatifs à cette catégorie et la performance relative à la qualité de la gestion médicale. En revanche, le nombre de messages transmettant l'explication d'un problème est positivement corrélé avec cette performance ($r=.25$; $p<.05$). L'apport d'explication, comme dans le cadre de la résolution de problèmes en conception, semble jouer un rôle positif sur la qualité de la décision collective.

4.3. Synthèse

L'analyse des interactions entre les membres d'un groupe révèle l'importance des processus coopératifs dans la qualité de la décision prise. En effet, partager des informations pertinentes avec ses co-équipiers ou exprimer un point de vue divergent face au point de vue de la majorité semble favoriser une pensée divergente qui augmente alors la probabilité de choisir une solution adaptée à la situation. Au contraire, persister dans le choix d'une solution initialement préférée, malgré la connaissance d'informations incohérentes avec ce choix, est expliqué par la recherche rapide d'un consensus au sein du groupe entraînant des biais dans les processus de traitement des informations et notamment l'évaluation biaisée des informations et des alternatives possibles. En situation de travail, quelques résultats ont été obtenus dans ce sens : l'expression d'avis divergents argumentés améliore la qualité des

décisions. Dans le cadre de la conduite de systèmes dynamiques à risques, seul l'apport d'explication traduisant un point de vue sur la nature du problème rencontré a été montré comme corrélé à la performance de l'équipe.

L'expression de divergences semble constituer un élément important des processus de décision en groupe et pourrait jouer un rôle dans les mécanismes de persévération. Cependant, il a été mis en évidence dans le cadre de tâche en laboratoire ne présentant pas d'enjeu particulier et où, dans la majorité des cas, les membres des groupes ne se connaissent pas et présentent des profils de compétences et d'expérience proches. Au contraire, dans les activités professionnelles, les coéquipiers sont souvent familiers, ont des compétences spécifiques et des niveaux d'expérience variés. Or, bien qu'observée dans le cadre de résolution collective de problèmes, l'expression de divergences n'a pas été étudiée directement en lien avec des comportements de persévération. Il nous semble donc essentiel d'intégrer cette dimension dans un modèle des mécanismes de persévération en situation de conduite de système dynamique à risques.

5. Bilan de la revue de littérature

5.1. Définir la persévération dans l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques

La revue de littérature révèle que la persévération est un comportement qui a été étudié dans divers champs disciplinaires sous différentes appellations : inflexibilité cognitive, erreur de continuation de plan, erreur de fixation, biais de préférence ou encore *groupthink*. Chacun de ces termes renvoie à un contexte spécifique et à un modèle particulier des processus inhérents à ce comportement. Le terme de persévération nous semble le plus approprié car il décrit un comportement général de continuation d'un type d'activité alors que la situation requiert un changement. Pour définir la persévération dans l'activité de conduite de système dynamique à risques, nous proposons d'intégrer deux notions : celle de persistance, introduite dans la définition d'erreur de fixation, et celle de risque, mise en avant dans la définition d'erreur de continuation de plan. Tout d'abord, la notion de persistance permet d'intégrer l'aspect dynamique de ce comportement. En effet, la persévération est un comportement qui peut durer dans le temps, et ce, malgré la survenue de différents changements de la situation. L'aspect dynamique permet également de mettre en avant la possibilité d'une récupération de ce comportement. Ensuite, la notion de risque est inhérente à l'activité de conduite de systèmes dynamique puisque toute décision prise par les opérateurs relève en partie d'une évaluation et d'une gestion des risques encourus. La notion de risque ne peut alors pas être écartée de la définition de persévération. Nous proposons de définir la persévération en situation dynamique à risques comme la **persistance dans l'application d'un plan d'actions malgré la présence d'indices signalant une augmentation du niveau de risque de la situation et impliquant que le plan d'action en cours est devenu inadapté.**

5.2. Choix d'un cadre théorique

Chacune des trois approches présentées dans les chapitres précédents décrivent des mécanismes cognitifs particuliers de la persévération :

- l'approche cognitive explique la persévération comme le résultat d'un déséquilibre entre deux modes de pensée, automatique et contrôlé. Elle surviendrait lorsque, face à une situation nouvelle, l'opérateur traiterait les informations de manière automatique, conduisant à une incapacité de réaliser que le plan d'actions en cours est inadapté. A l'inverse, un

comportement flexible résulterait de l'activation de processus attentionnels contrôlés permettant de réévaluer la situation.

- l'approche ergonomique décrit les erreurs de décision liées à l'absence de révision du plan d'action face au changement de la situation par deux types de défaillances : l'évaluation incorrecte de la situation, soit par la non détection des changements, soit par leur interprétation incorrecte, et la sous-évaluation du niveau de risques associé au plan d'action en cours.

- l'approche collective montre que c'est la recherche d'un consensus rapide entre les membres du groupe qui les conduirait à prendre des décisions inadaptées en dépit de la présence d'informations incohérentes par rapport à la solution choisie.

Ces trois approches ne sont pas opposées et nous semblent, au contraire, complémentaires, car elles sont basées à des niveaux différents de processus cognitifs. L'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques étant caractérisée par des situations souvent complexes et ambiguës, face auxquelles des équipes d'opérateurs doivent prendre des décisions rapides, il nous semble essentiel que l'apport de chacune de ces trois approches soit intégrée dans un même modèle de persévération.

Proposer un tel modèle suppose, au préalable, de choisir un cadre théorique qui puisse rendre compte de ces différents mécanismes. Deux principaux cadres théoriques sont fréquemment utilisés pour rendre des processus cognitifs impliqués dans l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques : la *Naturalistic Decision Making* (NDM) (cf. chapitre 3) et la sécurité écologique (cf. chapitre 5).

La NDM a servi de cadre pour décrire des comportements de persévération observés dans l'activité de pilotage. Les processus de décision y sont décrits à travers la représentation qu'a l'opérateur de la situation. En effet, comme les situations dynamiques évoluent en partie hors du contrôle de l'opérateur, celui-ci doit mettre à jour, en permanence, sa représentation de la situation afin d'adapter ses choix d'actions aux différents changements.

Le modèle de *Recognition-Primed Decision*, issu de ce cadre théorique, distingue différents processus de décision en fonction du caractère routinier ou inattendu de la situation, ce qui s'approche de la distinction entre les deux modes de pensées, automatique et contrôlés, présentés dans l'approche cognitive. Lorsque la situation est routinière, un plan d'action associé à la situation reconnue est appliqué de manière « automatique » et

lorsqu'elle n'est pas routinière, l'opérateur doit réaliser un diagnostic et simuler mentalement le plan d'actions pour choisir le plus adapté. Ces processus caractérisent bien les fonctions exécutives de mise à jour et de planification de l'action. Cependant, la persévération y est décrite comme une erreur au niveau de l'un de ces processus (évaluation de la situation et simulation du plan d'action) et non pas comme un mode pensée automatique appliqué à une situation non routinière. De plus, les aspects métacognitifs des prises de décision, mis en évidence à travers l'analyse des communications reflétant les pensées des opérateurs (Orasanu, 1994), ne sont pas mis en avant dans ce cadre théorique. Ce cadre ne semble donc pas approprié pour intégrer les mécanismes identifiés par les trois approches.

La sécurité écologique n'a, jusqu'à présent, pas été utilisée dans le cadre de l'étude des comportements de persévération. Selon cette théorie, les défaillances du système ne seraient pas dues à la production d'erreurs, mais relèveraient de la nature du compromis cognitif installé (Amalberti, 2001a). L'erreur humaine est abordée ici, non pas comme une défaillance qu'il faut éviter, mais au contraire, comme un moyen de gérer les risques. L'erreur permettrait d'alerter l'opérateur d'un décalage entre la situation attendue et la situation réelle. Si le décalage dans la compréhension de la situation n'empêche pas d'atteindre une performance jugée satisfaisante, l'opérateur aura tendance à ne pas la récupérer et à ne pas développer une compréhension plus complète de la situation (Plat & Amalberti, 2000). Si l'erreur signale à l'opérateur qu'il risque de ne plus maîtriser la situation, il pourra alors réajuster le niveau de ressources qu'il doit engager. L'activité cognitive principale de l'opérateur est donc centrée sur l'auto-estimation de la compréhension suffisante de la situation et non pas sur la récupération des erreurs (Amalberti, 2004).

Cette approche de l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques présente de nombreux intérêts pour proposer un modèle intégratif des comportements de persévération :

- elle repose sur la distinction entre processus attentionnels automatiques et contrôlés, mise en évidence dans l'approche cognitive, à travers la description des modes de contrôle ;

- elle intègre aussi bien la représentation de l'environnement et ses risques que la représentation de ses propres capacités à gérer ces risques. Elle peut ainsi rendre compte des deux types d'erreurs de décision identifiés comme source de persévération dans l'approche ergonomique ;

- enfin, elle met en avant le rôle de la métacognition et a été récemment validée pour rendre compte des processus collectifs au sein d'équipes d'opérateurs (Marc & Rogalski,

2009). Les interactions de nature métacognitive entre les membres d'équipe mises en avant dans l'approche collective peuvent donc tout à fait être décrites dans ce cadre.

5.3. Proposition d'un modèle intégratif

Le choix du cadre théorique de la sécurité écologique nous permet de proposer un modèle cognitif de la persévération, lors de la conduite de systèmes dynamiques à risques, intégrant les trois approches mises en évidence dans la revue de littérature.

La figure 9 présente une synthèse de ces mécanismes cognitifs.

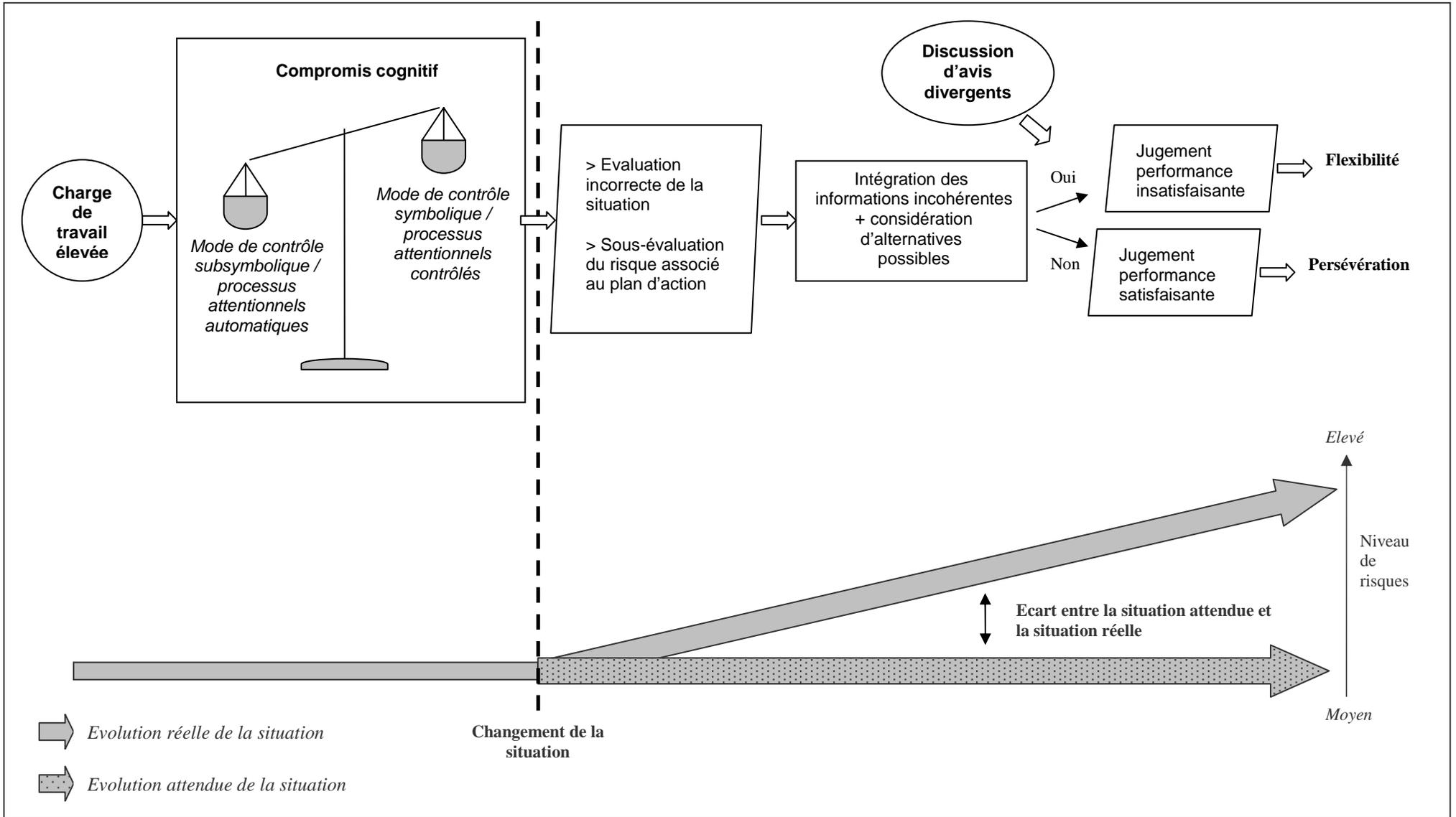


Figure 9. Représentation des mécanismes cognitifs de persévération dans l'activité de conduite de système dynamique à risques.

Dans ce modèle, les contraintes de l'environnement jouent un rôle essentiel : lorsque la charge de travail est élevée, l'opérateur aurait tendance à établir un compromis cognitif basé sur l'utilisation d'un mode de contrôle subsymbolique requérant des processus attentionnels automatiques, au détriment d'un mode de contrôle symbolique requérant des processus attentionnels contrôlés, dans un but de préservation de ressources. La nature de ce compromis conduirait l'opérateur à construire une représentation incomplète de la situation aboutissant à une évaluation incorrecte de la situation et/ou à une sous-évaluation du niveau de risques associé au plan d'actions.

Lorsqu'un changement de la situation entraîne une augmentation du niveau de risques, les informations indiquant l'écart entre la situation attendue et la situation réelle devraient permettre à l'opérateur de réajuster son compromis vers l'emploi d'un mode de contrôle symbolique permettant de réévaluer la situation et les risques liés au plan d'action.

La persévération surviendrait lorsque l'opérateur juge sa performance comme satisfaisante vis-à-vis de sa maîtrise de la situation, ce qui le conduirait à ne pas prendre en compte les informations incohérentes par rapport à la situation réelle et à ne pas considérer pas des alternatives possibles.

Au contraire, si l'opérateur juge sa performance insatisfaisante, l'ajustement de son compromis cognitif, vers l'emploi d'un mode de contrôle symbolique, le conduirait à réévaluer la situation en prenant en compte les informations incohérentes et à envisager des alternatives possibles. La mise à jour de l'évaluation de la situation devrait alors entraîner un changement de plan d'actions adapté à la situation. Ce comportement sera dit flexible.

De plus, l'approche collective permet d'envisager le rôle positif de l'expression d'avis divergents entre les membres de l'équipe d'opérateurs sur la flexibilité et la récupération de comportements de persévérations. La discussion des divergences favoriserait la prise en compte des informations incohérentes et des alternatives possibles, ce qui pourrait entraîner un ajustement du compromis cognitif. Nous pouvons supposer que, bien que la discussion d'avis divergents conduise à une augmentation du coût cognitif, l'apport d'explications par un coéquipier permettrait au contraire d'alléger la charge cognitive du responsable de la décision en facilitant le traitement symbolique des informations.

La mise à l'épreuve de ce modèle nécessite de vérifier trois hypothèses générales :

- 1^{ère} hypothèse : effet de la charge de travail. Une charge de travail élevée devrait engendrer plus fréquemment des comportements de persévération qu'une faible charge de travail.
- 2^{ème} hypothèse : rôle du compromis cognitif. Les comportements de persévération devraient être plus fréquemment caractérisés par des critères de décisions basés sur un mode de pensée automatique que sur un mode de pensée contrôlé.
- 3^{ème} hypothèse : effet de l'expression d'avis divergents. Les communications verbales échangées entre les membres d'équipes persévérants devraient être caractérisées par une fréquence plus élevée d'expressions d'avis divergents que celles des équipes flexibles.

La partie expérimentale de cette thèse va servir à mettre à l'épreuve ces hypothèses à travers une série d'études réalisée dans le cadre de l'activité de pilotage militaire. Chacune des hypothèses générales sera déclinée en plusieurs hypothèses opérationnelles basées sur des indicateurs de comportement particuliers. Deux approches méthodologiques sont mises en œuvre : 1) une analyse des traces de l'activité réalisée à partir de rapports d'enquête d'accident et d'incident et 2) la conduite d'expérimentations écologiques basées sur l'utilisation de simulateurs de vol.

PARTIE EXPERIMENTALE :

ETUDE DES COMPORTEMENTS DE PERSEVERATION

DANS L'ACTIVITE DE PILOTAGE MILITAIRE

6. Spécificités de l'activité de pilotage militaire et méthodes d'études choisies

L'activité de pilotage, tant dans l'aviation commerciale que générale, a été l'objet de nombreuses études sur la persévération. En revanche, il semble qu'aucune n'a concerné l'aviation militaire. Or, l'activité de pilotage est encore plus complexe pour les pilotes militaires que pour les pilotes civils. En effet, alors que dans l'aviation commerciale et générale, la tâche principale de l'équipage concerne le pilotage de l'avion et la recherche d'un niveau de sécurité satisfaisant, dans l'aviation militaire, cette tâche peut devenir secondaire au profit de celle liée à la conduite d'une mission de combat (Prince & Salas, 1993). L'environnement des missions militaires implique également des prises de risques plus élevées (Sicard, Taillemite, Jouve, & Blin, 2003) du fait de l'existence de dangers parfois incertains et de la dépendance entre la réussite de sa propre mission et celle de ses coéquipiers (Denihan, 2007). Aussi, le choix des méthodes d'analyse de l'activité nécessite d'abord d'appréhender les spécificités de l'activité de pilotage militaire en termes de mission, de composition des équipages, de formation et d'accidentologie.

6.1. Spécificités de l'aéronautique militaire

6.1.1. *Quels avions pour quelles missions ?*

La défense française répond aujourd'hui d'une stratégie globale d'adaptation, face aux changements engendrés par la mondialisation, définie par le Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale (2008). Ce document définit cinq fonctions stratégiques : la connaissance et l'anticipation, la prévention, la dissuasion, la protection et l'intervention. Pour remplir ces missions, l'armée française est dotée de nombreux équipements dont 1133 avions répartis entre l'armée de l'air, la marine nationale et l'armée de terre. Ils sont regroupés en six catégories d'avions :

- les avions de chasse : ils remplissent des missions de défense aérienne, d'assaut et de reconnaissance. Ce sont les Rafale, les Mirage F1 et 2000 et les Super-Etendard modernisés ;

- les avions de transport : ils sont utilisés pour le transport stratégique, le transport tactique, les liaisons et le soutien. Ce sont, par exemple, le C160 Transall, le TBM 700 ou encore l'Airbus 330 ;

- les avions à mission spécifique : cette catégorie regroupe les missions de ravitaillement en vol réalisées par le C135, les missions de détection et de contrôle de l'espace aérien réalisées par le E3F SDCA et le E2C Hawkeye (missions de type *Airbone Warning And*

Control System, AWACS), les missions de patrouille et de surveillance maritime réalisées par l'Atlantique 2 et les Falcon 200 et 50 ;

- les avions école destinés à la formation des élèves pilotes, comme par exemple l'Alphajet ou le Xingu ;

- les hélicoptères : ils remplissent des missions de défense aérienne, de combat, de soutien ou de recherche et sauvetage au combat ou en mer. Ce sont, par exemple, la Gazelle SA 341 utilisée par l'armée de terre ou le Lynx WG13 utilisé par le marine nationale ;

- les UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle), communément appelés drones de combat, sont utilisés pour des missions de reconnaissance et de surveillance, comme par exemple, le drone moyenne altitude longue endurance Harfang. Le pilotage de drone est une activité spécifique qui ne sera pas abordée dans la suite du document.

Les missions spécifiques à chacune de ces catégories entraînent une composition et une activité particulière pour les équipages.

6.1.2. Rôle des membres d'équipage

Les avions de chasse sont soit monoplaces, soit biplaces. Aussi, les équipages sont composés d'un pilote seul ou d'un pilote associé à un navigateur-officier système d'armes. Dans ce dernier cas, le navigateur est en charge de la navigation et de la gestion du système d'arme. La dimension collective est pratiquement toujours présente, puisque la majorité des vols se déroule en patrouille, généralement par deux ou quatre avions. De plus, la responsabilité de la gestion de la patrouille est partagée par deux acteurs : un leader et un responsable de patrouille.

La composition des équipages d'avions de transport diffère selon l'aéronef et la mission : elle varie d'un à quatre membres d'équipage. Le pilote peut être seul dans le cockpit, comme par exemple dans certains cas pour le TBM 700. Dans certains avions, comme les Airbus, l'équipage est constitué de deux pilotes, l'un étant en charge de la conduite de l'avion et du suivi de navigation (il est nommé pilote en fonction ou PF) et l'autre étant en charge de la gestion des communications radio et du traitement des pannes (il est nommé pilote non en fonction ou PNF). Enfin, pour certains avions peu automatisés et/ou répondant à des missions tactiques ou spécifiques, l'équipage de conduite est constitué de trois ou quatre membres : deux pilotes, un mécanicien-navigant (MN) en charge de la conduite mécanique de l'appareil et un navigateur (NAV), en charge du suivi de la navigation.

Pour le pilotage d'hélicoptère, l'équipage peut être constitué de 1 à 3 membres : un PF, un PNF et un MN.

Il faut ensuite noter quelques particularités pour le pilotage des avions à missions spécifiques et pour celui des avions école qui entraînent une complexité supplémentaire pour la tâche de pilotage. Dans le cas des missions spécifiques, l'activité de l'équipage de conduite dépend de l'activité d'autres équipages. Ainsi, dans les AWACS, la mission principale est gérée par un équipage de mission. Pour les C135 ravitailleurs, l'activité de pilotage dépend de celle des aéronefs qui doivent être ravitaillés. Dans le cas des avions école, la tâche liée à l'instruction d'un élève se rajoute à celle de pilotage. Ainsi, l'instructeur doit à la fois gérer la tâche de commandant de bord et celle des exercices d'instruction.

Dans tous les cas, les décisions liées à la conduite de l'aéronef sont prises sous la responsabilité d'un commandant de bord. Seuls les pilotes ou les navigateurs peuvent remplir cette fonction : c'est le plus qualifié ou le plus âgé dans le grade le plus élevé lorsque les qualifications sont égales.

6.1.3. Formation des pilotes

La formation initiale dure en moyenne deux ans et demi et est sanctionnée par l'obtention du brevet de pilote en fonction de la spécialité chasse, transport ou hélicoptère. Par la suite, les pilotes obtiennent plusieurs qualifications leur permettant d'augmenter leur niveau de responsabilité : pilote opérationnel, sous-chef de patrouille, chef de patrouille ou commandant de bord et moniteur. Les compétences techniques acquises sont ensuite annuellement évaluées lors du test de maintien de compétences.

Parallèlement, les compétences non-techniques font l'objet d'un enseignement dit facteur humain. Dès leur formation initiale, les élèves pilotes de l'armée de l'air reçoivent un enseignement théorique au facteur humain d'environ 30 heures. Par la suite, au cours de leur carrière, ils suivent un enseignement continu au facteur humain : c'est la formation *Crew Resource Management* (CRM) rendue obligatoire dans l'armée de l'air depuis 1994. L'institut de recherche biomédicale des armées est en charge de la conception de ces cours qui sont adaptés à chaque type d'aéronef et de mission. Cette formation continue débute dès la première année passée en unité avec un CRM dit initial. Elle a ensuite lieu tous les deux ans avec soit un CRM théorique dit « rafraîchissement », soit avec une séance en simulateur appelée MOST (*Mission Oriented Situated Training*) dont l'objectif est de placer les

équipages face à une situation inattendue puis de discuter en groupe de la gestion des événements grâce à la visualisation du film de la séance.

6.1.4. Caractéristiques des accidents aériens militaires

Depuis 2003, un organisme indépendant est en charge de la conduite des enquêtes techniques relatives aux accidents et incidents aériens graves survenus aux aéronefs d'état (aéronefs militaires, des douanes et de la sécurité civile) : le Bureau Enquêtes Accidents Défense - air (BEAD-air). Dans son bilan d'activité 2009 (Bureau enquêtes accidents défense - air, 2010), le BEAD-air compare les 131 événements ayant fait l'objet d'un rapport final d'enquête entre 2003 et 2009 en fonction de plusieurs caractéristiques dont la phase de vol et le but de la mission.

Phases de vol

Chaque vol peut se découper en plusieurs phases selon les tâches à effectuer. Le BEAD-air en distingue 9 : le roulage avant décollage, l'arrêt au décollage, le décollage, la montée, la phase dite « cœur de mission », l'approche, l'atterrissage, la remise de gaz et enfin le roulage après atterrissage.

L'étude des événements entre 2003 et 2009 montre que 76 % d'entre eux sont survenus lors de trois phases : le décollage, le « cœur de la mission » et l'atterrissage. Des résultats équivalents sont obtenus à partir de la base de données des événements survenus dans l'aviation civile (aviation commerciale et générale) (Bureau d'Enquêtes et d'Analyses, 2011) : 75 % des rapports clôturés par le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) depuis 2007 concernent des événements survenus lors de la phase de décollage, de la phase dite « en route » correspondant à la phase de croisière et de la phase d'atterrissage.

Cependant, la répartition entre ces trois phases diffère : plus de la moitié des événements (51 %) surviennent lors de la phase « cœur de mission » pour l'aviation d'état (figure 10) alors que pour l'aviation civile la phase « en route » ne représente que 22 % des événements.

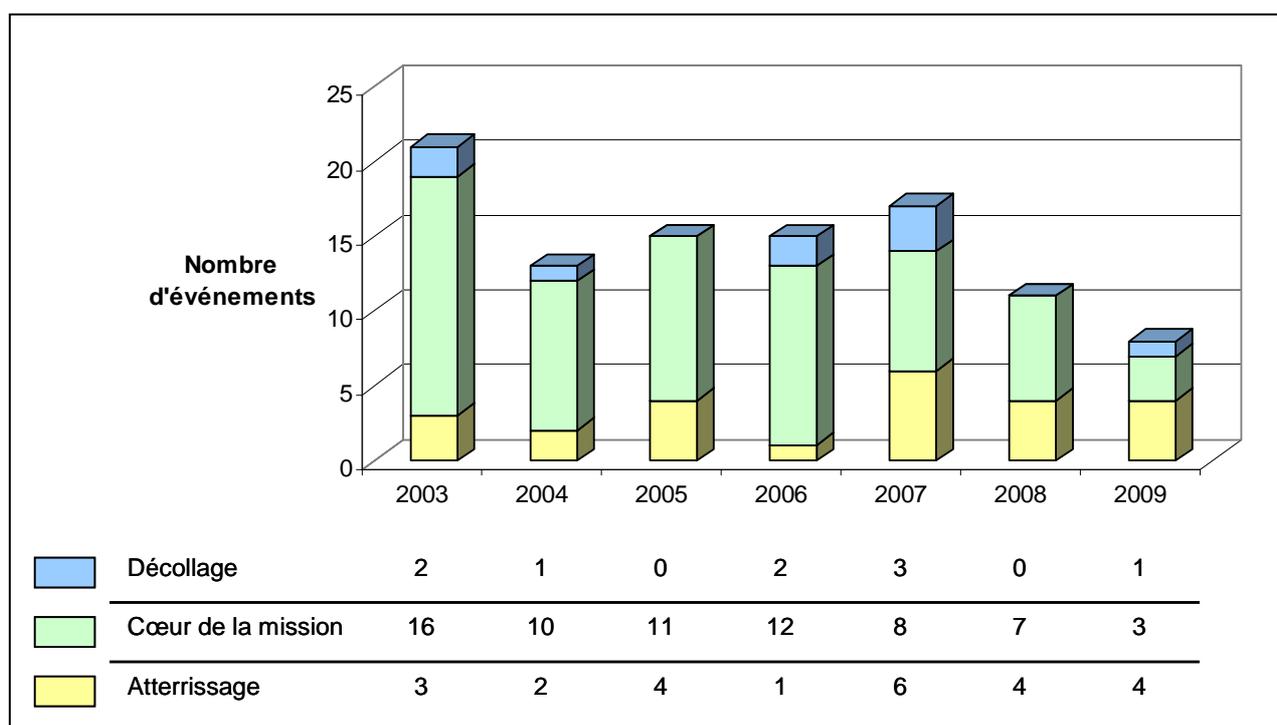


Figure 10. Evolution du nombre d'événements survenus aux aéronefs d'état entre 2003 et 2009 en fonction de la phase de vol (Bureau Enquêtes Accidents Défense-air, 2010).

La part d'événements survenus en phase de croisière est même encore plus faible lorsque l'on considère l'aviation commerciale mondiale : entre 1996 et 2005, elle représente 6 % des accidents aériens (Boeing, 2006).

Cette différence de répartition souligne la particularité du pilotage militaire caractérisé par une double tâche de pilotage et de conduite de mission. Celle-ci comporte un niveau de risques élevé pouvant alors entraîner une plus grande probabilité d'incidents ou d'accidents aériens. De manière similaire, une analyse de 16077 rapports d'accident montre que les accidents aériens militaires sont plus fréquemment associés à des erreurs de décision que les accidents aériens civils, résultat expliqué par les auteurs par le caractère tactique des décisions que doivent prendre les équipages militaires en plus des décisions liées au pilotage (Shappell & Wiegmann, 2004).

But de la mission

Les missions réalisées par les équipages militaires peuvent être caractérisées en fonction du but (Bureau enquêtes accidents défense - air, 2010, p. 34) :

- le vol d'instruction, définie comme « vol ou partie de vol au cours duquel une personne reçoit une formation en vue d'acquérir de nouvelles compétences ou de les renouveler dans le cadre d'un module de reprise. Ce vol est effectué sous le contrôle et la responsabilité d'un instructeur habilité » ;

- le vol d'entraînement, défini comme « vol au cours duquel sont prévues des manœuvres en vue de maintenir des compétences acquises (prorogation de celles-ci) et de développer une aptitude à gérer une situation imprévue. Tous les personnels détiennent les qualifications requises par la fonction occupée au sein de l'équipage ou de la formation dans le cadre de la mission projetée. Celle-ci est conduite et maintenue dans un cadre défini et contrôlé » ;

- le vol opérationnel, défini comme « vol effectué dans le cadre normal des opérations, sans acte d'instruction ni de maintien des compétences. Vol effectué au sein d'un dispositif destiné à évaluer les capacités opérationnelles d'un ensemble. Chaque membre d'équipage au sein du dispositif détient les qualifications nécessaires à la réalisation de la mission ».

Sur l'ensemble des événements survenus entre 2003 et 2009, la répartition en fonction du but de la mission est proche : 39 % des événements sont survenus lors de vols opérationnels, 34 % lors de vols d'entraînement et 27 % lors de vols d'instruction. Cependant, l'évolution par année montre que les événements survenus lors des vols d'instruction sont en baisse (figure 11).

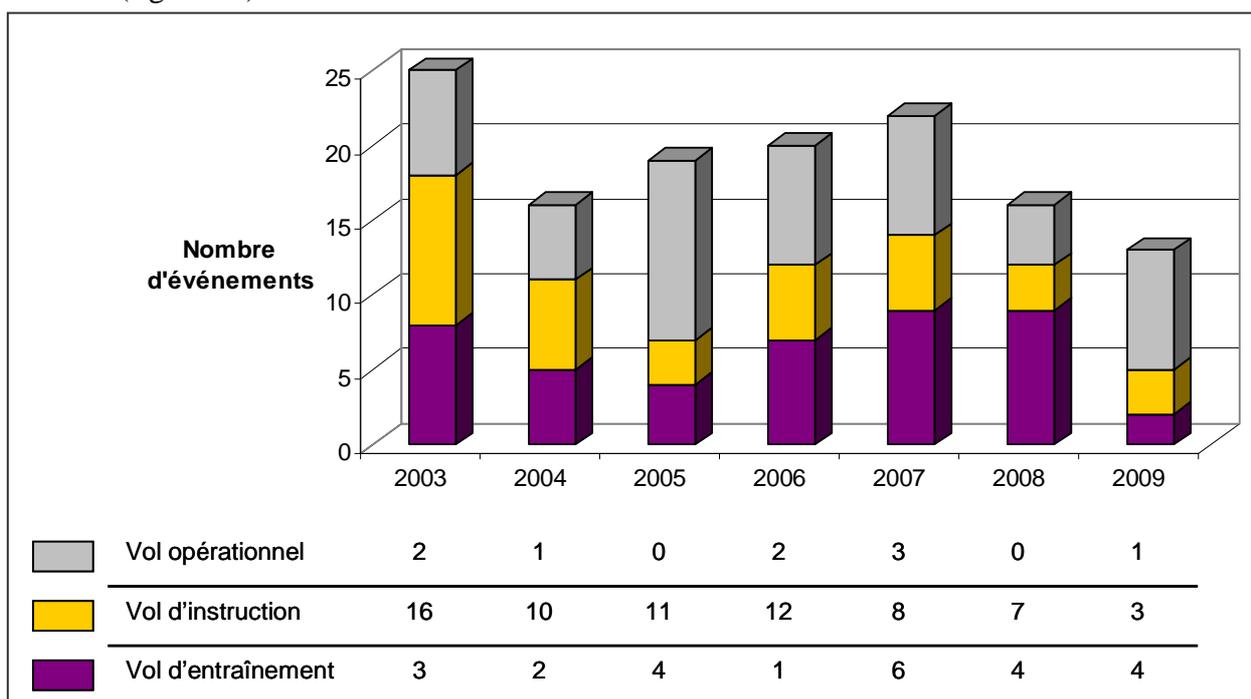


Figure 11. Evolution du nombre d'événements survenus aux aéronefs d'état entre 2003 et 2009 en fonction du but de la mission (Bureau Enquêtes Accidents Défense-air, 2010).

Ainsi, bien que ces trois types de mission entraînent des tâches spécifiques, supplémentaires à celle de pilotage, il ne semble pas qu'ils soient liés à des occurrences particulières d'accidents ou d'incidents.

6.2. Choix des méthodes d'analyse de l'activité

A l'issue de la partie théorique, trois hypothèses générales ont été énoncées concernant les mécanismes cognitifs conduisant à des comportements de persévération et le rôle du collectif dans cette émergence.

Pour tester ces hypothèses, il convient d'adopter une démarche méthodologique qui permette d'aborder les situations de travail de manière la plus écologique possible. Idéalement, l'analyse de l'activité devrait être réalisée à partir d'observations de l'activité réelle. Cependant, l'étude de comportements de persévération nécessite de pouvoir observer des situations de vol où surviennent des événements imprévus. Or, ceux-ci sont relativement rares et l'activité des équipages repose alors essentiellement sur l'application de procédures. Aussi, les études en aéronautique traitant des prises de décision et de gestion de risques reposent majoritairement sur deux types d'approches que l'on retrouve également dans le cadre d'études portant sur d'autres systèmes dynamiques à risques, comme la gestion de centrales nucléaires (Fukuda & Sträter, 2004) : l'analyse d'événements à travers des rapports d'enquête (Orasanu et al., 2001) et des études expérimentales par l'utilisation de simulateurs (Mosier, Sethi, McCauley, Khoo, & Orasanu, 2007; Wiggins & Bollwerk, 2006). Chacune de ces approches comporte des avantages et des inconvénients :

- l'analyse d'événements permet d'accéder à l'activité réelle et est donc la plus écologique. Cependant, elle présente plusieurs inconvénients. D'une part, les différents aspects de la situation réelle ne sont pas toujours tous restitués, comme, par exemple, les communications échangées entre les opérateurs. D'autre part, l'accès à ces traces de l'activité est indirect car médié par l'interprétation des enquêteurs ;

- l'expérimentation à l'aide de simulateurs est une approche moins écologique mais qui permet d'accéder à des données n'ayant pas pu être fournies par l'analyse d'événements, notamment les verbalisations des opérateurs. Différents simulateurs peuvent être utilisés, se distinguant sur au moins deux critères principaux relatifs aux traits des environnements dynamiques de référence. Le premier critère se rapporte à la reproduction du caractère dynamique de la situation (Leplat, 1997b). Lorsque celui-ci est reproduit, on parle de simulations dynamiques : l'état du système présenté à un moment dépend aussi des réponses du sujet aux moments antérieurs. S'il n'est pas reproduit, on parle de simulations statiques. Dans ce cas, la présentation de l'état du système ne dépend pas des réponses du sujet. L'utilisation des simulations statiques réduit fortement les contraintes qui pèsent normalement sur les opérateurs et notamment les contraintes temporelles. Cependant, son avantage

principal est qu'elle permet de confronter tous les participants aux mêmes conditions, légitimant ainsi leur comparaison (Van Daele, 1997). Le deuxième critère principal des simulations est leur niveau de fidélité physique par rapport à la situation de référence (Eyrolle, Mariné, & Mailles, 1996). La simulation est dite à forte fidélité, ou pleine échelle, lorsque toutes les interactions entre l'opérateur et la tâche peuvent être réalisées. Dans le cas contraire, la simulation est dite partielle. L'avantage principal de ce type de simulation est que le comportement est plus facile à observer et à interpréter, puisque l'observation de l'activité est centrée sur les caractéristiques de la situation de référence qui sont jugées critiques.

Nous avons choisi d'adopter ces deux approches complémentaires.

Une analyse de rapports d'accident et d'incident est d'abord réalisée et présentée dans le chapitre 7. Le but est de recueillir l'ensemble des facteurs de persévération et des éléments de récupération pouvant être observés dans les traces de l'activité réelle de pilotage militaire. La volonté d'obtenir une vue globale des caractéristiques des comportements de persévération en vol nous a conduits à n'exclure aucun type de situation de vol. En effet, la plupart des études sur l'activité de pilotage ne porte que sur une situation de persévération particulière, comme la persévération à poursuivre le plan de vol en conditions météorologiques dégradées dans l'aviation commerciale (Muthard & Wickens, 2003) ou la persévération à effectuer un vol à vue alors que les conditions exigent un vol aux instruments dans l'aviation générale (Goh & Wiegmann, 2001b). Au contraire, cette analyse de rapports d'enquête porte sur toutes les situations de vol qui ont conduit à une perte de maîtrise afin d'être le plus d'exhaustif possible sur l'observation de comportements de persévération.

Deux expérimentations sont ensuite conduites sur simulateur de vol, afin de tester les hypothèses sur les mécanismes cognitifs de la persévération. Elles seront conduites auprès de pilotes d'avions de transport pour des raisons logistiques. La première (chapitre 8) est réalisée avec un simulateur statique et partiel qui offre la possibilité d'accéder directement aux processus de traitement des informations. La verbalisation des participants concernant leurs prises de décision, réalisée après la simulation, permet d'identifier les compromis cognitifs réalisés. La seconde (chapitre 9) est réalisée avec un simulateur dynamique pleine échelle permettant de reproduire le plus fidèlement possible les situations de vol. L'enregistrement des communications échangées entre les membres d'équipage permet de déterminer le rôle des interactions sur les mécanismes de persévération. Le choix des situations de vol simulées est pris en fonction des données recueillies dans l'analyse des rapports d'enquête.

7. Etude préalable des facteurs de persévération et éléments de récupération dans les accidents aériens survenus aux aéronefs d'état

Cette partie empirique vise à identifier les facteurs de persévération et les éléments favorisant leur récupération qui ont été mis en évidence lors d'accidents et d'incidents aériens. L'intérêt principal de l'analyse de rapports d'enquête est qu'elle permet d'obtenir ce recueil à partir de situations réelles. Afin d'observer des situations variées, les rapports d'enquête analysés dans cette étude concernent tout type d'aéronef d'état et tout type de mission.

7.1. Analyse des rapports d'enquête

7.1.1. Source et sélection des rapports d'enquête

L'analyse des rapports d'enquête est effectuée à partir de ceux publiés par le Bureau Enquêtes Accidents Défense - air (BEAD-air) qui portent sur des événements survenus aux aéronefs d'état. Aussi, en sus des aéronefs militaires, ceux appartenant à la sécurité civile ou au service des douanes sont également concernés. La plupart de ces rapports d'enquête sont rendus publiques et consultables sur le site internet du ministère de la Défense⁶. Au 28 février 2010, 62 rapports ont ainsi été mis en ligne. L'étude est réalisée à partir de cette base de données.

L'objet de cette analyse étant la reconstitution des décisions prises par les équipages lors de la gestion d'évènements survenus en vol, les rapports ne comportant pas de description de cette gestion sont exclus. C'est le cas, par exemple, des rapports ne traitant que des aspects techniques à l'origine de l'évènement. De même, les rapports traitant d'un évènement non survenu en vol, comme par exemple les accidents liés à la maintenance de l'appareil au sol, ne sont pas analysés.

Par ailleurs, les rapports d'enquête peuvent être soumis au biais de rétrospection (Fischhoff, 2003). Il s'agit de la tendance à juger comme plus probable l'issue d'un évènement lorsque celle-ci est déjà connue que lorsqu'elle n'est pas connue. Ce biais peut ainsi influencer l'analyse des évènements par les enquêteurs. Aussi, afin de réduire l'effet possible de ce biais, une sélection des rapports est réalisée. Elle repose sur deux critères permettant de ne retenir que les rapports décrivant les évènements le plus objectivement possible :

⁶ Les rapports publics d'enquêtes techniques publiés par le BEAD-air sont consultables à l'adresse suivante : http://www.defense.gouv.fr/defense/le_ministere/organisation_et_missions/organisation/organismes_relevant_du_ministre/bead_air/activites_d_enquetes/activites_d_enquetes

- 1) le rapport doit être basé sur le témoignage d'au moins un des membres d'équipage survivant et/ou,
- 2) le rapport doit être basé sur la retranscription complète des communications échangées dans le cockpit.

A partir de ces critères, 29 rapports d'enquête ont été sélectionnés. L'analyse de la gestion des événements au travers des rapports rédigés par les enquêteurs est une technique qui a été très peu utilisée dans le cadre de l'étude des comportements de persévération. Aussi, une grille d'analyse est conçue spécialement pour cette étude.

7.1.2. Conception de la grille d'analyse

Dans leur analyse de rapports d'incident aérien, Burian, Orasanu & Hitt (2000) ont proposé d'identifier les différents points de décision relevés dans la partie descriptive des événements. L'action entreprise par l'équipage lors de chacun de ces points est ensuite catégorisée en tant que continuation ou changement du plan d'actions. Cette méthode permet ainsi de mettre en évidence l'enchaînement des prises de décisions. Cet aspect permet d'enrichir la compréhension de la dynamique des mécanismes de persévération. Toutefois, l'analyse de ces auteurs n'a porté que sur les facteurs contextuels du vol. Les facteurs identifiés par les enquêteurs, en lien direct avec les décisions prises par les opérateurs, seraient également intéressants à prendre en compte. Bien qu'ils ne soient pas aussi objectifs que les éléments recueillis dans le contexte du vol, les facteurs identifiés par le travail d'enquête, basés sur un ensemble de témoignages et de documents, permettent d'éclairer avec pertinence les mécanismes éventuels qui ont contribué aux décisions des équipages. La limite à prendre en compte est qu'ils peuvent être soumis au biais de subjectivité.

Par ailleurs, De Keyser & Woods (1990) ont proposé une grille d'analyse permettant d'identifier les mécanismes cognitifs à l'origine des erreurs de fixation à partir d'études de cas dans le domaine médical. Leur grille se compose de quatre parties :

- 1) la description du contexte initial ;
- 2) la nature de l'erreur commise ;
- 3) la description des opportunités de révision selon trois critères :
 - o leur nature,
 - o le traitement de ces indices par les opérateurs : non détection, détection et interprétation incorrecte, ou détection et interprétation correcte,
 - o la forme de la persistance ;
- 4) les éléments de la récupération finale éventuelle.

Cette grille a l'intérêt de mettre en évidence les processus de traitement des informations pouvant être à l'origine des comportements de persévération. De plus, l'identification des opportunités de révision permet de préciser le contexte dans lequel la persévération est apparue. Cependant, la description de la récupération des comportements de persévération n'apparaît qu'à la fin de la gestion de l'événement. Il semble, au contraire, que les opportunités de révision peuvent favoriser les récupérations. Ainsi, ces opportunités peuvent être soit suivies d'un comportement de persévération, soit suivies d'un comportement de flexibilité. Par ailleurs, à travers cette grille, l'origine des erreurs de fixation serait une erreur commise par l'opérateur. Or, la revue de littérature sur la persévération montre que, plus généralement, tout événement induisant une augmentation du niveau de risque de la situation, et qui requiert un changement de plan d'actions, peut engendrer des comportements de persévération. Ces deux éléments sont pris en compte dans la grille conçue pour cette étude.

Celle-ci, basée sur les deux grilles décrites ci-dessus, comporte trois parties principales (figure 12) :

- la description du vol : le contexte, le résumé de la première partie du vol et son issue ;
- l'identification des points de décision comprenant :
 - o la description des opportunités de révision,
 - o la nature du traitement des informations cibles : non détection, détection et interprétation incorrecte ou détection et interprétation correcte,
 - o la nature de la décision prise par l'équipage, illustrant une persévération ou une flexibilité ;
- l'identification des facteurs associés à chaque point de décision.

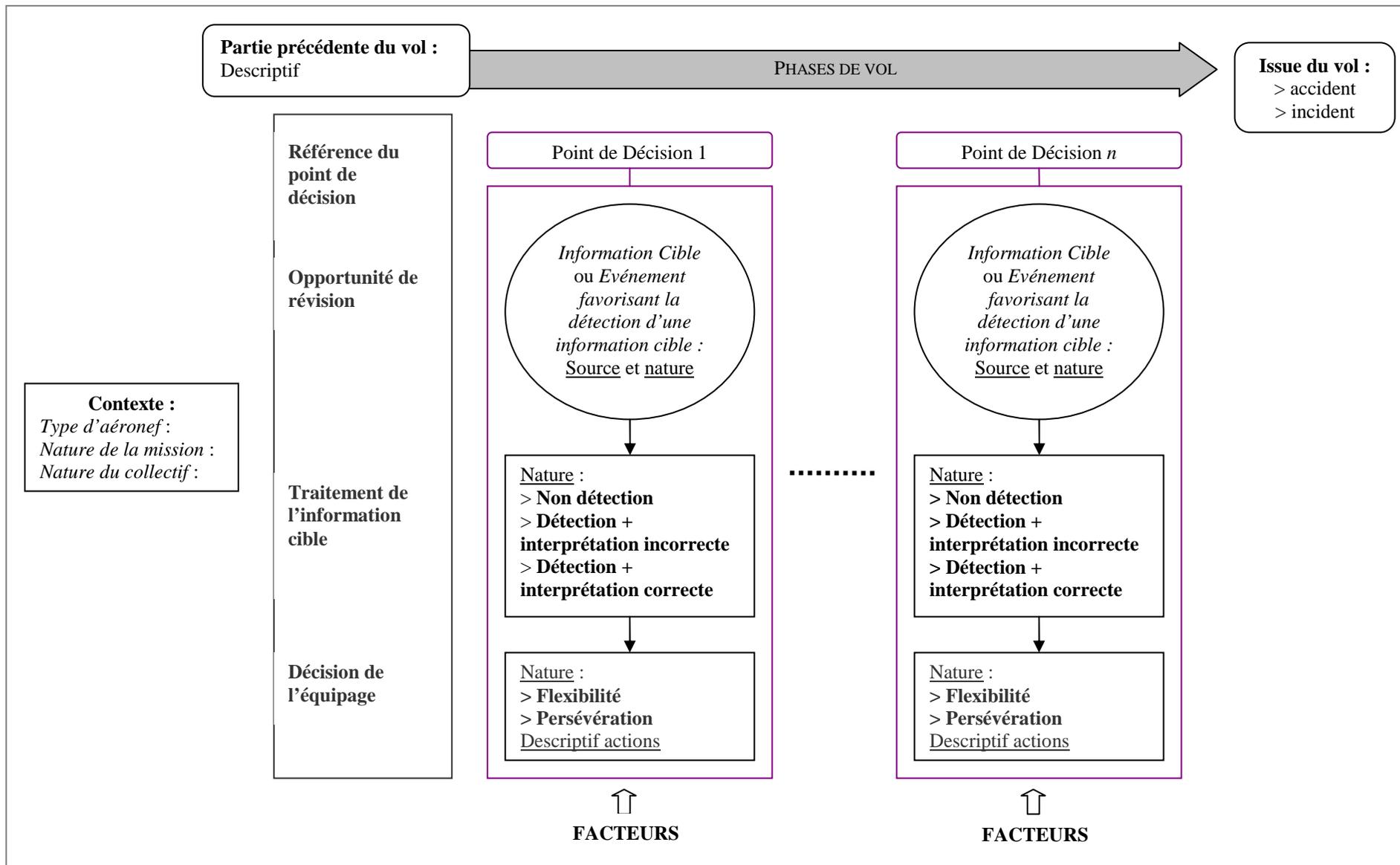


Figure 12. Grille d'analyse de l'activité reconstituée à partir des rapports d'accident et d'incident. Pour chaque rapport, les caractéristiques du contexte de vol sont relevées et la partie du vol précédant l'analyse de la gestion des événements est résumée. L'analyse comprend l'identification des points de décision et les facteurs qui leur sont associés. Chaque point de décision est caractérisé par une opportunité de révision, la nature du traitement de l'information cible et la nature flexible ou persévérative de la décision prise par l'équipage.

Chaque observable est présenté dans les paragraphes suivants.

7.1.2.1. Caractéristiques et contexte du vol

Tout d'abord, un descriptif de la partie du vol précédant la gestion des événements à risques est apporté. Ensuite, afin de replacer l'analyse des prises de décision dans leur contexte, trois facteurs sont recueillis :

- Le type d'aéronef. Il s'agit ici de distinguer les différents types d'aéronefs utilisés par l'état : les avions de chasse, les avions de transport, les avions à mission spécifique, les avions école et les hélicoptères. En effet, chacun de ces aéronefs a des spécificités en termes de mission et de pilotage (*cf.* chapitre 6) qui pourraient influencer les processus de décision des équipages.

- Le but de la mission. Les trois types de mission identifiés par le BEAD-air sont distingués (*cf.* chapitre 6) : les vols opérationnels, les vols d'entraînement et les vols d'instruction. Les deux premiers se différencient par la nature et le niveau des pressions exercées sur l'équipage. Quant aux vols d'instruction, ils se caractérisent par le double rôle des membres d'équipage, à la fois commandant de bord et copilote et à la fois instructeur et élève.

- La composition du collectif. L'ensemble des acteurs du vol ayant participé à la gestion des événements est recensé. Deux niveaux sont distingués : la dimension collective de l'équipage (pilote seul ou équipage) et l'intervention ou non d'opérateurs extérieurs au cockpit (par exemple, l'équipage d'autres aéronefs dans le cas des patrouilles ou encore le contrôleur aérien).

Enfin, la gravité de l'issue du vol, accident ou incident, est recueillie afin d'en vérifier les liens avec les comportements de persévération ou de flexibilité.

7.1.2.2. Phases de vol

La reconstitution des enchaînements de décisions permet de replacer celles-ci dans le contexte de la phase de vol où elles ont été prises. Les phases de vol sont regroupées selon les trois catégories identifiées par le BEAD-air (*cf.* chapitre 6.1.3.) :

- le décollage regroupe les différentes phases depuis le roulage jusqu'à la fin de la montée,

- la cœur de mission comprend la période de vol depuis la stabilisation de l'altitude jusqu'au début de l'approche,

- l'atterrissage regroupe les différentes phases de vol depuis l'approche jusqu'au roulage final.

7.1.2.3. Critères d'identification des points de décision

La gestion des événements est analysée à partir de l'identification des points de décision. Cette identification n'apparaît pas clairement dans les rapports d'enquête. En effet, les rapports édités par le BEAD-air sont rédigés autour d'un plan commun divisé en 4 parties :

- 1) les *renseignements de base*, où sont rapportés les faits connus liés à l'évènement,
- 2) l'*analyse*, où sont posées et testées les différentes hypothèses pouvant expliquer la survenue de l'évènement,
- 3) la *conclusion*, où sont établies les causes possibles de l'évènement,
- 4) les *recommandations de sécurité*, à l'attention de l'organisation, dont l'application doit permettre d'éviter la survenue d'un évènement similaire.

La description de la gestion des événements par l'équipage peut être décrite dans différentes parties du rapport avec un degré de détail varié. Une première description simple apparaît dans le paragraphe « déroulement du vol » de la partie *Renseignements de base*. Cette description est parfois reprise et complétée dans le paragraphe « gestion du vol par l'équipage » de la partie *Analyse*. Les points de décision sont donc identifiés après la lecture du rapport dans sa totalité.

Le premier point de décision correspond au premier changement, ou au premier « non-changement » anormal de la situation, impliquant une augmentation du niveau de risques et qui devrait entraîner l'élaboration d'un nouveau plan d'actions. Ce changement doit être indiqué par au moins une information cible. Par exemple, dans le rapport codé R19, un équipage d'hélicoptère vole à vue et se retrouve soudainement face à une couche nuageuse. Cette information, issue de l'environnement, indique à l'équipage un changement de situation lié au contexte météorologique et devrait inciter l'équipage à prendre une décision de changement de plan d'actions : elle est donc identifiée comme une information-cible. Dans le rapport codé R5, le pilote actionne le levier de sortie du train d'atterrissage mais celui-ci ne sort pas. Ce non-changement anormal de la situation implique une prise de décision de la part du pilote. La non-sortie du train d'atterrissage est donc considérée comme une information cible. Ne sont pas prises en compte comme informations cibles, les informations auxquelles l'équipage ne peut pas avoir accès, puisque dans ce cas, ces informations ne peuvent pas déclencher de décision de la part de l'équipage. Par exemple, dans le rapport codé R22, un court-circuit se produit dès la mise en route des moteurs et provoque un incendie dans la

soute. Ces deux événements ne sont pas perceptibles par le pilote. C'est une alarme dans le cockpit, perceptible par le pilote, qui constitue la première information cible.

Les points de décision suivants sont déterminés par la survenue d'une opportunité de révision. Cette opportunité peut correspondre, soit à l'apparition d'une information cible, soit à un événement qui favorise la perception de cette information cible. Par exemple, dans le rapport codé R2, le premier point de décision est caractérisé par l'allumage d'un voyant indiquant que le frein est enclenché anormalement. Plus tard, le pilote effectue les vérifications du tableau de bord qui doivent être réalisées avant le décollage. Ce contrôle constitue une opportunité pour le pilote de détecter le voyant et de changer son plan d'actions. Il définit alors un nouveau point de décision.

7.1.2.4. Traitement des informations cibles et nature des décisions

Pour chaque point de décision, la nature du traitement des informations cibles ainsi que la nature de la décision prise par l'équipage sont recueillies.

Comme dans la grille de De Keyser et Woods (1990), trois types de traitement des informations cibles sont distingués :

- non détection,
- détection suivie d'une interprétation incorrecte,
- détection suivie d'une interprétation correcte.

Les décisions prises par l'équipage sont ensuite classées selon qu'elles traduisent un changement ou une continuité du plan d'actions initial. S'il y a changement de plan d'actions, la décision est catégorisée comme « flexible », quel que soit le caractère adapté ou non de la réponse donnée. S'il y a continuité du plan d'actions, la décision est classée comme « persévérative ».

Lorsqu'une décision flexible succède à une décision persévérative, elle est identifiée comme un comportement de récupération de persévération.

L'annexe 1 présente un exemple d'analyse de rapport d'accident.

7.1.2.5. Identification des facteurs de persévération

La partie *Analyse* des rapports d'enquête présente tous les facteurs ayant pu avoir un impact sur les décisions des équipages. Ils résultent directement du travail d'enquête et sont ensuite repris dans la partie *Conclusion*. Afin de relier ces facteurs aux décisions prises par les équipages, chacun de ces facteurs est recueilli et associé au(x) point(s) de décision correspondant(s). Ce travail est effectué par consensus entre deux experts. Les décisions ne

sont pas toutes expliquées par un facteur. En revanche, chaque facteur est relié à au moins une décision, pouvant être de nature flexible ou de nature persévérative.

7.2. Résultats de l'analyse des rapports d'enquête

Trente gestions d'événements sont analysées à partir des vingt-neuf rapports d'enquête (les résumés de ces rapports sont présentés dans l'annexe 2). Le rapport R16 décrit une collision en vol entre deux aéronefs militaires. Aussi, la gestion des événements réalisée par chacun des pilotes à bord des deux appareils est analysée séparément : deux analyses du rapport R16 sont donc réalisées.

L'analyse des 30 gestions d'événements met en évidence 200 points de décision. En moyenne, 6 points de décisions sont identifiés par rapport. Un seul rapport ne contient qu'un point de décision et le rapport présentant le nombre le plus élevé de points de décision en contient 22.

Sur les 200 points de décision identifiés, 76 (38 %) sont suivis d'une réponse de persévération. La majorité des rapports révèle une succession d'alternances entre des comportements flexibles et des comportements de persévération. Neuf rapports ne révèlent que des décisions flexibles et un seul rapport ne présente que des décisions de persévération. Les enchaînements de décisions sont présentés dans l'annexe 3.

7.2.1. Contexte du vol

Les rapports analysés sont variés de par le type d'aéronef concerné, le but de la mission, la composition du collectif et l'issue du vol. Trois rapports concernent des avions école. Cependant, ces vols ne sont pas relatifs à une instruction d'élève pilote mais à des missions classiques de transport ou de performance. Aussi, ces vols sont classés dans la catégorie transport ou chasse. De même, quatre rapports concernent des avions à mission spécifique. Cependant, ces quatre vols ne consistent pas en la tenue de mission spécifique mais en des vols d'instruction de pilotage. Ils sont donc classés en catégorie de transport.

Finalement, quatorze rapports sont classés en catégorie d'avion de chasse, douze en avion de transport et quatre en hélicoptères. Les buts des missions correspondent dans treize rapports à des vols opérationnels, dans onze rapports à des vols d'entraînement et dans six rapports à des vols d'instruction. Au niveau de la composition du collectif, un seul rapport concerne un pilote seul sans intervention extérieure, neuf rapports concernent un pilote seul assisté par un ou plusieurs opérateurs extérieurs, seize rapports concernent des équipages de plusieurs membres sans intervention extérieure et quatre rapports concernent des équipages

avec intervention extérieure. Enfin, 21 rapports concernent des accidents et 9 des incidents graves.

Ces caractéristiques variées ne présentent cependant pas de lien significatif avec la nature des décisions prises. Les décisions de persévération représentent 36 % des décisions prises par des équipages de chasse, 39 % des décisions prises par des équipages de transport et 41 % des décisions prises par des équipages d'hélicoptères ($\chi^2 = 0,25$; $p = ns$; V de Cramer = .03). Concernant la composition du collectif, après exclusion du rapport concernant un pilote seul, les équipages sans intervention extérieure prennent à 40 % des décisions de persévération, les équipages avec intervention extérieure prennent à 41 % des décisions de persévération et les pilotes seuls assistés par d'autres opérateurs prennent à 36 % des décisions de persévération ($\chi^2 = 0,41$; $p = ns$; V de Cramer = .05). Enfin, les résultats ne montrent pas non plus de différence significative entre le nombre de décisions flexibles ou persévératives et la gravité de l'issue du vol ($\chi^2 = 1,32$; $p = ns$; $\Phi = .08$) : 32 % des décisions persévératives sont liées aux incidents contre 41 % aux accidents.

Seule une différence marginalement significative est observée entre la nature des décisions et le but de la mission ($\chi^2 = 4,88$; $p = .09$; V de Cramer = .16) : les décisions de persévération représentent 25 % des décisions prises lors des vols d'instruction contre 36 % lors des vols opérationnels et 46 % lors des vols d'entraînement.

7.2.2. Nature des décisions et phases de vol

La répartition des natures des décisions en fonction de la phase de vol où elles ont été prises est présentée dans le tableau 2.

<i>Nature des décisions</i>	<i>Phase de vol</i>		
	Décollage	Cœur de mission	Atterrissage
Flexible (n=124)	58 %	67 %	54 %
Persévérative (n=76)	42 %	33 %	46 %
Total (n =200)	100 %	100 %	100 %

Tableau 2. Répartition en pourcentage de la nature des décisions prises en fonction de la phase de vol.

Les résultats montrent un lien significativement marginal entre la phase de vol et la nature des décisions : le regroupement des phases de décollage et d'atterrissage révèle

qu'elles sont caractérisées par 44 % de décisions de persévération contre 32 % lors de la phase de « cœur de mission » [$\chi^2 = 2.9$; $p = .08$; $\Phi = .12$].

7.2.3. Traitement des informations cibles

La répartition de la nature du traitement des informations cibles diffère significativement en fonction de la nature des décisions prises par l'équipage [$\chi^2 = 111.8$; $p < .0001$; V de Cramer = .75] (tableau 3).

Nature des décisions	Nature du traitement des informations cibles			Total
	Non détection	Détection suivie d'une interprétation incorrecte	Détection suivie d'une interprétation correcte	
Flexible (n=124)	0 %	3 %	97 %	100 %
Persévérative (n=76)	20 %	26 %	54 %	100 %
Total (n =200)	7,5 %	12 %	80,5 %	100 %

Tableau 3. Répartition en pourcentage de la nature du traitement des informations cibles en fonction de la nature des décisions.

Les résultats montrent que 97 % des décisions flexibles sont précédées de la détection et de l'interprétation correcte des informations cibles et seules quatre décisions flexibles ont suivi l'interprétation incorrecte de l'information cible. Il s'agit de situations où l'opérateur a détecté un changement de situation et entrepris un nouveau plan d'actions pour y faire face mais sans avoir compris la nature réelle du changement.

En ce qui concerne les comportements de persévération, les résultats montrent que, pour plus de la moitié des décisions, l'information cible est détectée et interprétée correctement. Par exemple, dans le rapport R14, le contrôleur aérien transmet à l'équipage les paramètres du vent qui atteignent les seuils limites ainsi que l'arrivée d'un cumulonimbus au-dessus de la piste. Le commandant de bord, qui accuse réception de ces informations, décide quand même d'atterrir. Dans 26 % des décisions de persévération, l'information cible est détectée mais interprétée de manière incorrecte et dans 20 % des décisions de persévération, l'information cible n'est pas détectée.

7.2.4. Facteurs de persévération et de flexibilité

Les rapports d'enquête permettent d'établir l'impact de certains facteurs sur les actions entreprises par les opérateurs. Parmi les 76 comportements de persévération observés dans

cette analyse, 67 sont expliqués par un ou plusieurs facteurs. Au total, 20 facteurs sont relevés pour expliquer les comportements de persévération : neuf facteurs de nature individuelle, huit de nature collective et trois de nature organisationnelle. Les facteurs individuels et collectifs sont les plus fréquemment cités. Ils représentent respectivement 47 % et 38 % de l'ensemble des facteurs cités tandis que les facteurs organisationnels ne représentent que 15 %.

Le pourcentage de comportements de persévération expliqués pour chaque facteur est présenté dans la figure 13 ci-dessous.

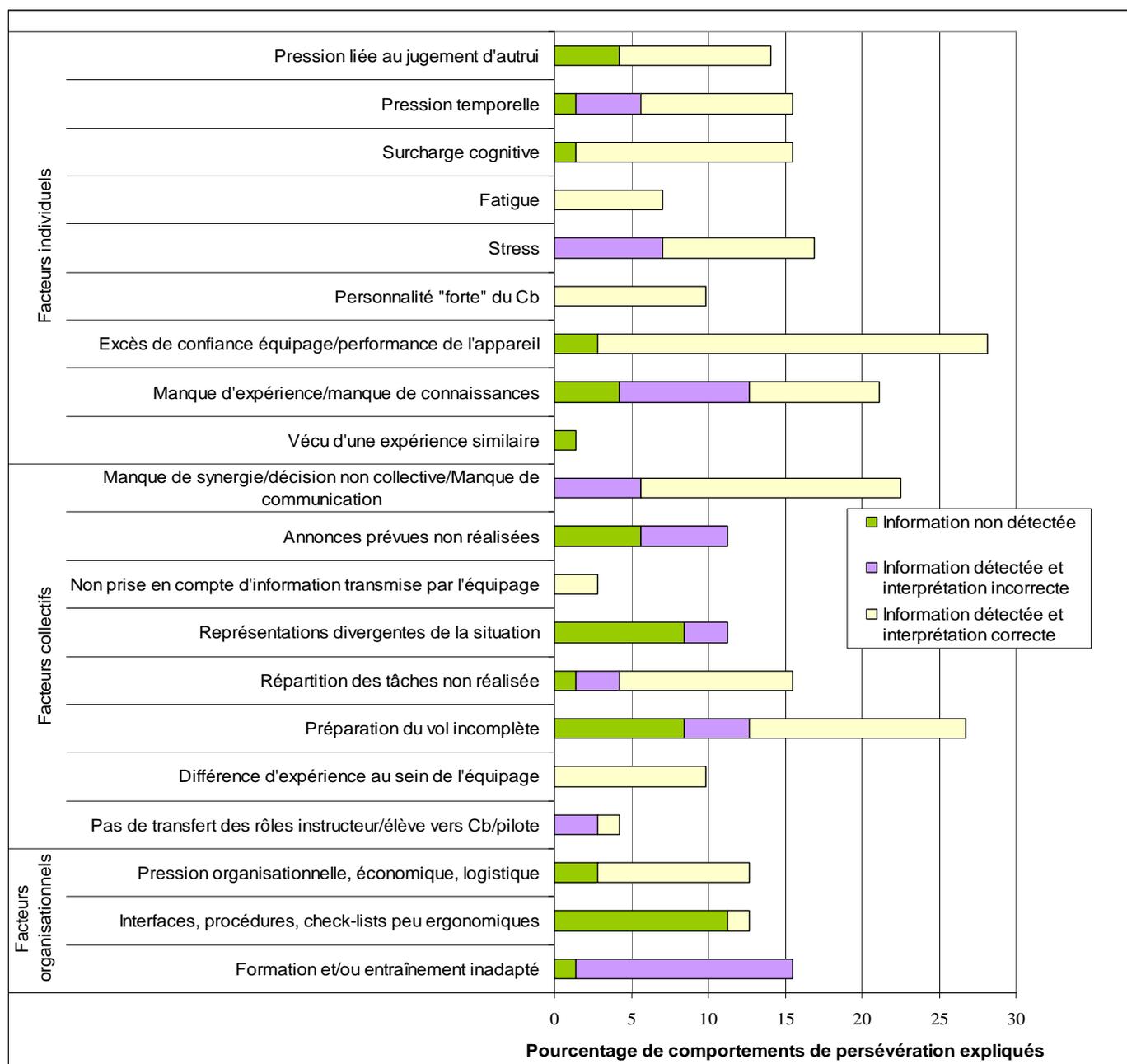


Figure 13. Pourcentage des comportements de persévération expliqués pour chaque facteur identifié.

Quatre facteurs identifiés par les enquêteurs expliquent plus de 20 % des comportements de persévération. Deux sont de nature individuelle : l'excès de confiance envers les compétences de l'équipage ou les performances de l'aéronef (28 %) et le manque d'expérience (21 %). Les deux autres sont de nature collective : la préparation incomplète du vol (27 %) et le manque de synergie au sein du collectif (23 %). Le facteur organisationnel qui explique la plus grande part de comportements de persévération est l'inadaptation de la formation et/ou de l'entraînement (15 %).

Ces résultats révèlent également une répartition différente des facteurs en fonction de la nature du traitement des informations cibles :

- lorsque les comportements de persévération suivent le défaut de détection de l'information cible, les trois facteurs les plus fréquemment relevés sont : un défaut d'ergonomie des procédures ou des interfaces (20 %), une préparation incomplète du vol (15 %) et des représentations de la situation divergentes au sein de l'équipage (15 %).

- lorsque les comportements de persévération suivent la détection et l'interprétation incorrecte de l'information cible, les trois facteurs les plus fréquemment relevés sont : l'inadaptation de la formation et/ou de l'entraînement (24 %), le manque d'expérience (15 %) et un niveau de stress élevé (12 %).

- enfin, lorsque les comportements de persévération suivent la détection et l'interprétation correcte de l'information cible, les trois facteurs les plus fréquemment cités sont : l'excès de confiance envers les compétences de l'équipage ou les performances de l'aéronef (16 %), le manque de synergie (10 %) et la surcharge cognitive ainsi que la préparation incomplète du vol (9 %).

Bien que les rapports soient plus précis sur l'explication des décisions liées à des prises de risque, certaines décisions flexibles sont décrites par les enquêteurs. Au total, 17 décisions flexibles ont été commentées. Les facteurs de flexibilité les plus souvent cités sont liés au travail d'équipe. Il s'agit des coopérations réussies qui expliquent 7 décisions flexibles, une bonne répartition des tâches qui explique 6 décisions flexibles et une bonne préparation du vol qui est citée pour 3 décisions. Enfin, une bonne gestion du stress intervient pour 1 décision flexible.

7.2.5. *Eléments de récupération*

Sur les 76 comportements de persévération observés, 22 sont récupérés (29 %), c'est-à-dire que les opérateurs se sont rendu compte que leur plan d'actions était inadapté et en ont

mis en place un nouveau. Près de la moitié de ces récupérations a été réalisée individuellement (45 %) et l'autre moitié a été réalisée collectivement (55 %).

Les récupérations individuelles ont lieu, dans 9 cas sur 10, grâce à la détection d'informations cibles issues de l'aéronef : la **perte de contrôle de l'aéronef**, le **déclenchement de nouvelles alarmes**, ou à la suite d'une **vérification du tableau de bord**. Dans une seule situation, la récupération a été réalisée par la **perception d'une information cible issue de l'environnement** (dans le rapport R16, c'est la vue des habitations qui rappelle au pilote qu'il a atteint l'altitude minimale pour s'éjecter).

Les récupérations collectives sont principalement caractérisées par des propositions d'actions émises par un acteur du vol :

- dans 5 cas sur 12, il s'agit d'un **ordre direct d'actions** (par exemple, dans le rapport R2, le navigateur donne l'ordre au pilote d'interrompre le décollage),
- dans 5 autres cas, il s'agit du **rappel ou de la lecture d'une procédure** par un tiers (par exemple, dans le rapport R18, c'est le pilote d'un autre avion de la patrouille qui rappelle les conditions d'éjection alors que cette solution n'avait pas été évoquée jusqu'alors).

Seules deux situations de récupération collective ont été caractérisées par la **communication d'une information cible par un tiers**. C'est le cas par exemple, dans le rapport R17, où le pilote d'un autre avion de la patrouille prévient le pilote concerné par l'événement de l'ampleur des dégâts matériels.

Les répartitions des dimensions individuelles et collectives des récupérations de comportements de persévération en fonction de la nature du traitement des informations cibles sont présentées dans le tableau 4.

<i>Traitement des informations cibles</i>	<i>Dimension collective des récupérations</i>		Total
	Individuelle	Collective	
Non détection	4	1	5
Détection suivie d'une interprétation incorrecte	4	2	6
Détection suivie d'une interprétation correcte	2	9	11
Total	10	12	22

Tableau 4. Répartition des natures de récupération des comportements de persévération en fonction de la nature du traitement des informations cibles.

Le regroupement des deux natures de traitement des informations cibles correspondant à une évaluation incorrecte de la situation (« non détection » et « détection suivie d'une interprétation incorrecte ») permet d'obtenir un tableau de contingence à quatre cases, dont les effectifs théoriques sont compatibles avec un test de chi². Celui-ci révèle des répartitions significativement différentes selon que les récupérations de persévération soient individuelles ou collectives [$\chi^2 = 6.6$; $p < .05$; $\Phi = .55$] : 80 % des persévérations suivant une détection et une interprétation correcte des informations cibles sont récupérées collectivement contre 37 % des persévérations suivant un défaut de détection ou une interprétation incorrecte des informations cibles.

7.3. Discussion

L'analyse des 30 gestions d'événements a conduit à l'identification de 200 points de décisions dont 38 % ont été suivis par un comportement de persévération. Cette proportion est supérieure à celle observée par Burian, Orasanu & Hitt (2000) où 26 % des points de décision étaient suivis d'une erreur de continuation de plan (PCE), c'est-à-dire où l'équipage avait poursuivi un plan d'actions inadapté. Cette différence peut s'expliquer par la nature des rapports analysés. En effet, l'étude citée n'était basée que sur des rapports d'incident alors qu'ici des rapports d'accident ont également été inclus. Or, bien que la différence soit non significative, les comportements de persévération ont été observés plus fréquemment dans les rapports d'accident que les rapports d'incident, avec respectivement 41 % et 32 % des décisions.

La reconstitution des enchaînements de décision montre que la gestion d'événements à risques n'est pas caractérisée par un unique comportement de persévération ou de flexibilité, mais, au contraire, est le plus souvent constituée d'une alternance de décisions de persévération et de décisions de flexibilité. Ainsi, des comportements persévérants peuvent être récupérés puis apparaître de nouveau. Ce résultat montre que l'étude des comportements de persévération doit être réalisée en tenant compte du caractère dynamique de la situation.

Par ailleurs, l'identification des processus de traitement des informations cibles révèle que les décisions de persévération découlent de trois processus différents, associées à des facteurs et des éléments de récupération spécifiques.

Tout d'abord, plus de la moitié des décisions de persévération sont précédées d'une détection et d'une interprétation correcte de l'information cible. Ce résultat montre que, dans ce cas, la nature des changements de la situation est bien comprise par les opérateurs : le risque externe, relatif aux dangers rencontrés, serait correctement évalué. L'origine de ces

comportements de persévération pourrait alors relever de l'évaluation du risque interne, c'est-à-dire de l'évaluation des ressources disponibles pour gérer l'événement menaçant. Le recueil des facteurs explicatifs montre, en effet, que l'excès de confiance envers les compétences de l'équipage ou envers les performances de l'appareil est le facteur le plus fréquemment identifié dans ce type de persévération. Il s'agit bien dans ce cas d'une surévaluation des ressources disponibles. Ainsi, ces résultats mettent en évidence l'importance du rôle de l'évaluation du risque interne dans les comportements de persévération. Par ailleurs, l'importance du travail collaboratif apparaît nettement dans les comportements de persévération découlant de la détection et de l'interprétation correcte des informations cibles. En effet, le manque de synergie ressort comme le deuxième facteur explicatif de la survenue de ce comportement et 9 récupérations de ce type de persévération sur 11, soit 80 %, ont été réalisées collectivement. Le rôle des ressources du collectif dans la récupération des persévérations pourrait être d'autant plus élevé que les troisième et quatrième facteurs explicatifs sont liés à une surcharge cognitive du pilote. Celle-ci intervient à un niveau individuel ou à un niveau collectif lié à une préparation incomplète du vol. La surcharge cognitive empêcherait les opérateurs d'évaluer correctement, non pas les événements extérieurs, mais les ressources disponibles pour les gérer.

Par ailleurs, les résultats montrent que 26 % des décisions de persévération sont liées à l'interprétation incorrecte des informations cibles. Cette forme de persévération se rapproche des erreurs de continuation de plan (PCE) identifiées comme étant liées à une difficulté de mise à jour de l'évaluation de la situation (Burian et al., 2000; Goh & Wiegmann, 2001b; Wiegmann et al., 2002). Ces études ont montré un lien entre le manque d'expérience du pilote et la survenue d'erreurs de continuation de plan, mais sans mettre en évidence de lien entre ce facteur et l'interprétation incorrecte de la situation. Dans l'analyse de rapports d'enquête réalisée ici, le manque d'expérience apparaît comme deuxième facteur d'explication des décisions de persévération liées à une interprétation incorrecte des informations cibles. Ce résultat conforte ceux obtenus par ces auteurs. De plus, le premier facteur identifié ici correspond à l'inadaptation de la formation ou de l'entraînement. Ce facteur présente un point commun avec le manque d'expérience qui est un défaut de connaissances directement liées à la situation rencontrée. L'effet du stress apparaît également comme troisième facteur d'explication. Ce résultat se rapproche de celui de Dehais (2004) qui explique la persévération par une réaction de stress empêchant la mise en œuvre des fonctions exécutives, processus cognitifs qui recouvrent l'interprétation du problème et la planification des actions. Dans ces cas de persévération liée à une interprétation incorrecte de la situation, la dimension collective

semble jouer un rôle moins important puisque les éléments de récupération concernent, en majorité, la détection par le pilote seul d'une nouvelle information cible.

Enfin, 20 % des décisions de persévération sont caractérisées par un défaut de détection des informations cibles. Dans ce cas, les équipages ont persévéré car ils n'ont pas identifié que la situation avait changé. Le recueil des facteurs d'explication révèle que ce sont des défauts d'ergonomie des procédures ou de l'interface qui y contribuent le plus. Ce résultat est conforté par les éléments de récupération qui relèvent tous de la détection d'une nouvelle information cible. Il est également intéressant de noter que les deux autres facteurs les plus fréquemment cités appartiennent à la dimension collective : la préparation incomplète du vol et la divergence de représentations de la situation au sein de l'équipage. Le manque d'anticipation de l'évolution possible de la situation, en partie réalisée lors de la préparation du vol, joue donc un rôle dans ce type de persévération mais également des difficultés de communication lors de la gestion des événements. Par ailleurs, bien que l'effet de la charge de travail ait été montré dans une étude sur simulateur (Muthard & Wickens, 2002), l'analyse de rapports d'accident réalisée ici ne révèle pas d'impact de ce facteur sur la détection des informations cibles.

Ces résultats mettent en évidence l'importance du rôle des ressources du collectif dans ces prises de décision, d'autant plus que les décisions flexibles sont majoritairement expliquées par un travail d'équipe réussi, que ce soit en termes de prise de décision collective ou de répartition des tâches. Le rôle de l'anticipation émerge également à travers la préparation du vol. Lorsque celle-ci est incomplète, elle contribue aux décisions de persévération, et lorsqu'elle est bien effectuée, elle est citée comme facteur de flexibilité.

Conclusion

L'analyse des 30 gestions d'événements issus des rapports d'enquête relatifs à des accidents aériens survenus à des aéronefs d'état permet de préciser les hypothèses générales élaborées à l'issue de la partie théorique.

Tout d'abord, l'effet de la charge de travail sur les comportements de persévération ressort, en partie, dans les résultats de cette analyse des traces de l'activité. Ce facteur est identifié par les enquêteurs comme l'un des plus déterminants des décisions de persévération où l'information cible a été détectée et interprétée correctement. En revanche, il n'apparaît pas dans les cas de persévération où la situation est incorrectement évaluée. La question de l'impact de la charge de travail sur les comportements de persévération reste donc à vérifier. De plus, le relevé des phases de vol montre que les décisions de persévération surviennent

plus fréquemment lors des phases de décollage et d'atterrissage, qui sont caractérisés par une charge de travail élevée. Aussi, la phase de vol pourrait constituer un facteur pertinent pour vérifier l'effet de la charge de travail sur les comportements de persévération. De même, le manque d'anticipation de l'évolution possible de la situation, illustrée dans les rapports d'enquête par une préparation incomplète du vol, a été observé comme le deuxième facteur de persévération. Ce facteur peut également contribuer à l'augmentation de la charge de travail face à un changement inattendu de la situation. Aussi, ces deux facteurs, phase de vol et anticipabilité des changements de situation, seront retenus pour la première étude expérimentale traitant de l'effet de la charge de travail.

La deuxième hypothèse générale est relative à l'implication du compromis cognitif dans l'émergence de comportements de persévération. Dans cette analyse des rapports d'enquête, plus de la moitié des décisions de persévération surviennent alors que les informations cibles indiquant un changement de la situation ont été détectées et interprétées correctement, impliquant un diagnostic correct de la situation. Ce résultat pourrait aller dans le sens d'une défaillance dans l'ajustement du compromis cognitif entre l'évaluation du risque externe et celle du risque interne (*cf.* chapitre 2.3.2.) : ces décisions de persévération découleraient d'une difficulté pour les opérateurs d'évaluer les ressources nécessaires pour gérer le danger auquel ils sont confrontés. Cette difficulté serait liée à un mode de pensée automatique, basé sur l'application de solutions connues. Afin de vérifier cette hypothèse, il est nécessaire d'identifier les processus de traitement des informations cibles et d'obtenir la verbalisation des opérateurs concernant leurs critères de décisions. Ce sera l'objet de la première étude expérimentale.

Enfin, le rôle du collectif émerge fortement dans l'analyse des rapports d'enquête. Le manque de synergie au sein du collectif est le troisième facteur de persévération identifié dans les rapports. De plus, son rôle positif y est mis en valeur : d'une part, la majorité des décisions de persévération précédées d'une détection et d'une interprétation correcte de l'information cible sont récupérées grâce à l'intervention d'un autre acteur du vol et d'autre part, il constitue le facteur principal des décisions de flexibilité. La précision du rôle du collectif, notamment en lien avec l'établissement du compromis cognitif, doit être apportée par l'analyse des interactions verbales au sein des équipes. Ce sera l'objectif de la deuxième étude expérimentale.

8. Première étude expérimentale : effet de la charge de travail et implication des processus de décision

Introduction

Comme nous l'avons vu dans la revue de littérature, la charge de travail peut être à l'origine de défaillances des processus attentionnels. En ce sens, la première hypothèse générale postulée est qu'elle peut jouer un rôle sur la survenue de comportements de persévération lors de la conduite de systèmes dynamiques à risques où de nombreuses informations provenant de sources variées doivent être traitées simultanément. Cependant, cet effet n'a été montré que dans une seule étude expérimentale : la persistance de pilotes à poursuivre le plan de vol était plus fréquemment observée dans la condition de charge de travail élevée associée à un niveau d'automatisation faible (Muthard & Wickens, 2003). Pour les auteurs de cette étude, l'effet de la charge de travail sur les comportements de persévération était, en partie, médié par un défaut de détection des informations. La part importante des comportements de persévération qui suivaient une détection correcte des informations n'était pas expliquée. Aussi, la question de la nature des processus cognitifs médiant l'effet de la charge de travail sur les décisions de nature persévérative reste ouverte.

L'étude de l'ensemble des processus de décision en jeu dans les situations de conduite de systèmes dynamiques est assez délicate. Dans le cadre des travaux sur la persévération de pilotes, observée par les *Plan Continuation Error* (PCE), chacun de ces processus, telles la détection des changements de la situation, l'évaluation de la situation ou encore la perception du risque, a été étudié isolément (*cf.* chapitre 3.3.2.). Seule une étude de Goh et Wiegmann (2001b) avait pour objectif de montrer l'implication de chaque étape du processus de jugement dans la survenue de PCE. Mais peu de résultats significatifs ont été observés du fait de plusieurs biais dans la méthode employée. En particulier, la perception et l'évaluation des risques était basée sur la passation de questionnaires ne concernant pas directement les événements rencontrés lors de la simulation de vol. Il est donc nécessaire d'élaborer un protocole où l'ensemble des processus de décision pouvant être impliqués lors de la gestion des changements de la situation soient évalués directement en lien avec la simulation proprement dite.

L'implication du compromis cognitif dans la survenue des comportements de persévération, postulée dans la deuxième hypothèse générale, nous conduit à analyser les processus de décision à différents niveaux : le traitement des informations cibles indiquant un décalage entre la situation attendue et la situation réelle, la justesse de compréhension de la

situation et enfin la nature du mode de pensée activé lors de la prise de décision qui caractérise le compromis effectué.

L'objectif de cette expérience vise, d'une part, à vérifier l'effet de la charge de travail sur la persévération et d'autre part, à identifier les mécanismes internes liés aux processus de décision qui modulerait la relation entre charge de travail et persévération. La figure 14 montre une représentation schématique des trois séries d'hypothèses émises à partir de cet objectif.

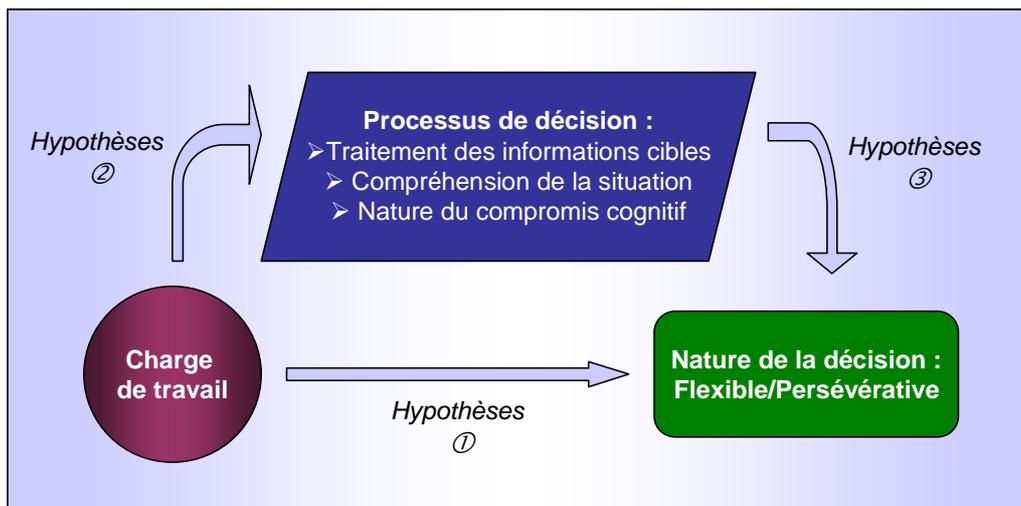


Figure 14. Représentation schématique des trois séries d'hypothèses concernant les liens entre la charge de travail, les processus de décision et la nature flexible ou persévérative des décisions prises lors de la gestion d'un événement inattendu à risques.

1^{ère} hypothèse : Effet de la charge de travail sur la nature des décisions prises

- H1) Les décisions de nature persévérative seront plus fréquemment observées lorsque le niveau de la charge de travail est élevé que lorsqu'il est faible.

2^{ème} série d'hypothèses : Effets de la charge de travail sur les processus de décision

- H2a) Le traitement des informations cibles indiquant un décalage entre situation attendue et situation réelle sera moins important lorsque la charge de travail est élevée que lorsqu'elle est faible.
- H2b) La situation sera plus fréquemment comprise de manière incorrecte lorsque la charge de travail est élevée que lorsqu'elle est faible.

- H2c) Le compromis cognitif réalisé pour gérer la situation sera plus fréquemment orienté vers un mode de pensée automatique que contrôlé lorsque la charge de travail est élevée.

3^{ème} série d'hypothèses : Liens entre les processus et la nature des décisions prises

- H3a) Le traitement des informations cibles indiquant un décalage entre situation attendue et situation réelle sera moins important lors des prises de décisions de nature persévérative que lors des prises de décisions de nature flexible.
- H3b) Les décisions de nature persévérative seront plus fréquemment liées à une compréhension incorrecte de la situation que les décisions de nature flexible.
- H3c) Les décisions de nature persévérative seront plus fréquemment liées à un compromis cognitif orienté vers un mode de pensée automatique que contrôlé.

Afin de vérifier ces hypothèses, une analyse des processus de décision de pilotes confrontés à des événements inattendus, été réalisée lors de simulations de vol.

8.1. Méthode

8.1.1. Simulation de vol

Le choix du type de simulation utilisé pour cette étude s'est porté sur une simulation statique et partielle. Le caractère statique permet de confronter tous les participants aux mêmes conditions et le caractère partiel permet de centrer l'analyse sur le traitement des informations concernant un événement en particulier (*cf.* chapitre 6.2.). Afin de minimiser l'effet de l'absence de contrainte temporelle propre à la simulation statique, une contrainte a été introduite à travers la consigne : les participants devaient répondre le plus rapidement possible et leur temps de réponse était chronométré.

Enfin, le choix du cockpit à reproduire a été dirigé en fonction des unités de l'armée de l'air dont les situations de travail pouvaient être aisément simulées. C'est le cas de l'Escadron de Transport, d'Entraînement et de Calibration (EETEC), de la base aérienne 107 de Villacoublay, où certains équipages volent sur l'A319⁷, aéronef conçu par Airbus qui fournit également des logiciels de simulation.

⁷ Au moment où l'expérience a été menée, l'EETEC disposait de deux avions A319. Depuis fin 2010, ces deux avions ont été remplacés par un A330.

8.1.2. Participants

Les participants requis pour cette expérience étaient les pilotes d'A319 de l'ETEC. Cet escadron a pour mission principale le transport des autorités gouvernementales et des grands commandements des armées. Il peut également être amené à transporter des journalistes dans le cadre de missions gouvernementales lors de l'organisation de conférences de presse. Les vols menés par ces équipages sont donc des vols de liaison présentant certaines particularités par rapport à ceux de l'aviation civile :

- L'une des contraintes caractérisant ces missions est leur caractère imprévu. Le lieu de destination ainsi que les horaires peuvent être modifiés jusqu'à la veille, ce qui laisse peu de temps à l'équipage pour préparer le vol.

- Les destinations, à travers le monde, sont très variées et pas forcément connues par les équipages, ce qui augmente la difficulté de préparation des vols. De plus, les équipements des terrains à destination peuvent être assez disparates, ajoutant ainsi des tâches logistiques aux équipages lors de la préparation du vol.

- Enfin, le statut des passagers laisse supposer qu'il pourrait exister une forme de pression sur l'équipage quant à la réussite de la mission, c'est-à-dire pour atterrir à la destination prévue aux horaires prévus.

Des contraintes de disponibilité des personnels nous ont cependant conduits à élargir le panel des pilotes. Ainsi, des pilotes ne volant pas sur A319 ont été inclus dans l'échantillon. Au total, 5 participants étaient des pilotes d'A319, 16 étaient des pilotes de Falcon 50 appartenant également à l'ETEC et 9 autres pilotes appartenaient à différents escadrons de l'Armée de l'Air. Ces derniers volaient sur Casa, C135, C160 et TBM700 (voir l'annexe 4 pour la présentation de l'ensemble des caractéristiques des participants). Une phase de familiarisation au cockpit de l'A319 a donc été programmée pour les pilotes ne connaissant pas cet aéronef. Réalisée en collaboration avec un pilote d'A319, elle consistait en la présentation des différents instruments du tableau de bord et des informations accessibles. Les instruments non utilisés dans la simulation étaient décrits de manière plus superficielle.

La participation à cette expérience était basée sur le volontariat et l'anonymat des participants a été assuré.

8.1.3. Conception des scénarii

Six scénarii de vol ont été conçus en collaboration avec un pilote d'A319 qui est également formateur de cours de *Crew Resource Management*. Le but de cette formation est de sensibiliser les pilotes à tous les aspects non techniques du vol (prises de décision,

communications au sein de l'équipage, gestion de la fatigue, etc.). Cet expert est donc au fait des problèmes susceptibles d'être rencontrés par les pilotes en vol.

Afin d'observer des comportements de persévération, les scénarii ont été conçus autour de la survenue d'un évènement menaçant la sécurité du vol. Ces évènements ainsi que les informations indiquant le changement de la situation, appelées « informations cibles », ont été choisis afin qu'aucune solution ne puisse être fournie par une check-list. La réponse ne dépendait que du seul jugement du commandant de bord. Enfin, afin de rendre les scénarii les plus réalistes possibles, tous les évènements proposés ont été sélectionnés car ils ont été impliqués dans des incidents ou des accidents aériens.

Le choix des informations cibles provenant du tableau de bord a été réalisé à partir des six principaux instruments de bord du cockpit de l'A319 (figure 15).

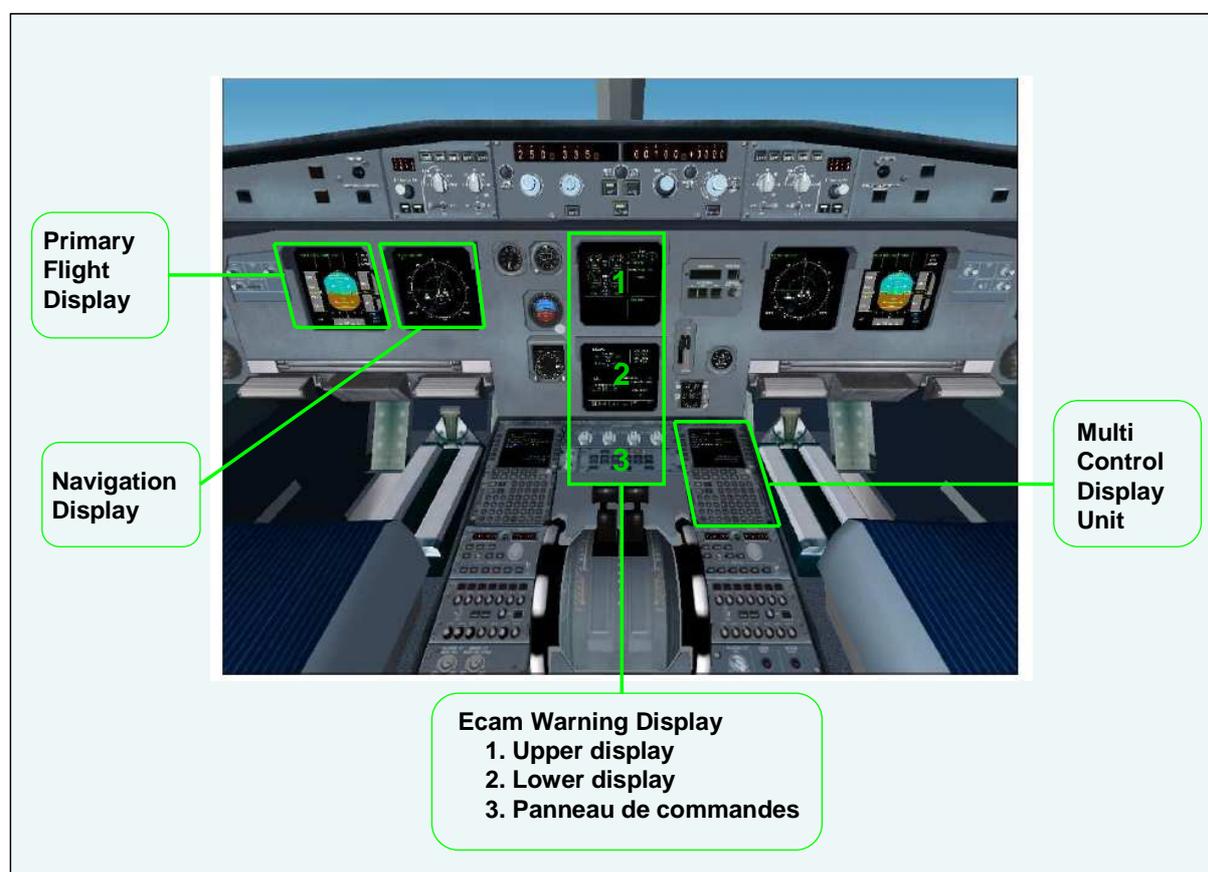


Figure 15. Illustration des six principaux instruments de bord du cockpit de l'A319.

Ces six instruments étaient accessibles aux participants :

- le *Primary Flight Display* (PFD). Il présente les principaux paramètres de vol tels que la vitesse, l'altitude ou le cap.

- le *Navigation Display* (ND). Il donne les principales informations concernant la navigation, comme par exemple, la direction et la vitesse du vent, l'identification du trafic

aérien, l'image radar météorologique ou l'identification du prochain point tournant (intersections de routes aériennes identifiées sur la trajectoire de vol).

- l'*Upper Display* (UD) de l'*Ecam Warning Display* (EWD). Il indique les principales informations concernant l'état de l'appareil telles que les paramètres des deux moteurs, les indicateurs de consommation de carburant ou encore la position des becs et des volets. Lorsqu'une alarme se déclenche, elle apparaît sur cet écran.

- Le *Lower Display* (LD) de l'EWD. Il présente les informations utiles aux phases de vol, comme par exemple les informations concernant les moteurs lors de la phase croisière (niveau d'huile moteur, quantité de carburant consommé, niveau de vibration).

- le Panneau de commande. Il permet aux pilotes de rechercher des informations particulières, comme par exemple les informations concernant le système de pressurisation ou encore la répartition du carburant dans les trois réservoirs. Cet instrument est particulièrement important pour la gestion de problèmes techniques mais il est également utilisé lors des vérifications régulières.

- le *Multi Control Display Unit* (MCDU). Il présente les informations nécessaires aux phases de vol, hors état de l'appareil, par exemple lors de la phase de croisière : les coordonnées géographiques des points tournant ainsi que l'horaire de passage prévu.

Pour chaque évènement, trois informations cibles étaient accessibles aux pilotes. Elles provenaient soit d'un instrument du tableau de bord, soit du copilote, soit d'un acteur du vol extérieur à l'équipage (contrôleur aérien ou steward). Cette variété de sources permettait d'être plus proche des situations réelles, où, souvent, les changements de situation sont associés à diverses sources d'informations. Les six évènements ainsi que leurs informations cibles sont présentées dans le tableau 5 ci-après.

Scénario	Evènement	Informations cibles		
		Source « Tableau de bord »	Source « Copilote »	Source « Intervenant extérieur »
ScA	Collision entre l'aéronef et un volatile	<i>Upper Display</i> : Puissance moteur gauche varie	« A entendu un « poc » et a cru voir passer des oiseaux à la rotation »	<i>Contrôleur</i> : annonce qu'un héron mort a été retrouvé sur la piste
ScB	Dépressurisation de l'appareil due à l'ouverture non prévue d'une valve de sécurité	<i>Page « Press »</i> : Altitude cabine monte rapidement	« Ne se sent pas très bien et gros coup de fatigue »	<i>Steward</i> : entend un sifflement important au fond de l'avion
ScC	Présence d'un cumulonimbus au-dessus de la piste d'atterrissage	<i>Navigation Display</i> : Image radar météo - masse active sur la piste	« A vu un éclair et la piste a l'air détrempée »	<i>Contrôleur</i> : annonce fort vent de travers
ScD	Surchauffe électrique	<i>Upper Display</i> : Alarme « duct overheat »	« Sent une forte odeur de brûlé »	<i>Steward</i> : sent une forte odeur de brûlé
ScE	Fuite de carburant	<i>Page « fuel »</i> : Jaugeur et totaliseur incohérents	« Problème avec le calcul carburant : ne trouve pas le bon niveau sur le jaugeur »	<i>Steward</i> : voit des traces de carburant sur l'aile droite
ScF	Cisaillements de vent sur la trajectoire d'atterrissage	<i>Primary Flight Display</i> : Flèche vitesse de l'avion varie	« A du mal à tenir le plan. Pense à des rafales »	<i>Contrôleur</i> : rapporte un cisaillement de vent à 1000 pieds

Tableau 5. Nature des évènements et des informations cibles pour chacun des 6 scénarii.

8.1.4. Interface graphique

Les simulations de vol ont été conçues et programmées sur ordinateur portable, spécifiquement pour cette expérience.

Les images représentant le cockpit sont issues du logiciel de simulation *Microsoft Flight Simulator 2004* utilisé avec le complément spécifique au cockpit de l'A320 : « *A320 Pilot in Command* ». Chaque scénario présente un point précis durant un vol. Aussi, afin de reconstituer fidèlement les paramètres de vol apparaissant sur les instruments de bord, chacun de ces vols a été réalisé de manière dynamique avec le logiciel de simulation jusqu'au point illustré dans le scénario. Des captures d'écran ont alors été effectuées afin d'obtenir les images des instruments de bord utiles à l'expérience.

La programmation de l'expérimentation a été réalisée grâce au logiciel *Formula Graphics Multimedia System 980301*. Ce logiciel permet de créer des animations interactives

et offre la possibilité d'enregistrer les temps entre chacune des interactions (changement de séquence et actions du participant sur l'image).

La simulation se déroule en deux étapes :

- 1) Présentation de la situation de vol
- 2) Simulation de vol

8.1.4.1. Présentation de la situation de vol

Dans un premier temps, des informations concernant la situation de vol sont présentées aux participants. Elles illustrent le plan de vol prévu et le point actuel du vol (tableau 6).

Objet	Nature
Plan de vol prévu	Trajet : terrains de départ et d'arrivée
	Objet de la mission
	Horaire d'arrivée
Point de vol actuel	Horaire
	Position de l'appareil
	Niveau de carburant
	Terrain de déroutement pour les phases d'approche
	Conditions météorologiques
	Action en cours

Tableau 6. Objet et nature des informations fournies aux participants dans la présentation de la situation de vol.

La figure 16 est un exemple de la situation de vol telle que présentée aux participants pour le scénario D. L'ensemble des situations de vol est présenté dans l'annexe 5.

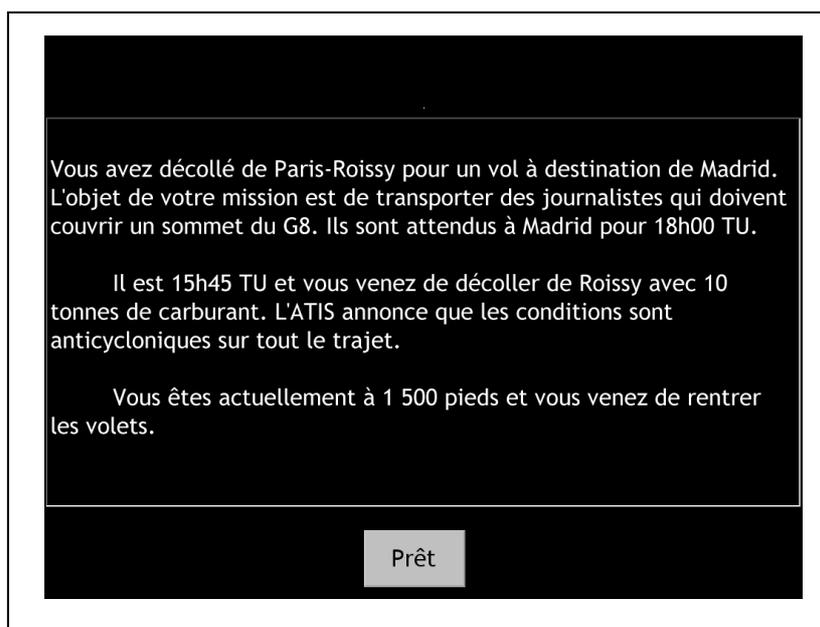


Figure 16 Exemple d'interface présentant la situation de vol. Il s'agit ici du scénario D.

8.1.4.2. Simulation de vol

Dans un second temps, les participants ont accès à la simulation de vol. Celle-ci est constituée d'une image représentant le tableau de bord du cockpit de l'A319 et d'une zone représentant les sources de messages verbaux provenant de différents acteurs du vol (figure 17).



Figure 17. Interface de la simulation de vol représentant le tableau de bord de l'A319. La zone de droite représente les sources de messages verbaux provenant d'acteurs du vol. Les zones encadrées en vert sont celles accessibles aux participants.

Afin de déterminer la nature des informations consultées par les participants, ceux-ci devaient cliquer sur l'instrument de bord pour accéder à son contenu. Une fenêtre s'ouvrait alors, représentant l'écran de cet instrument. De même, lorsque le pilote cliquait sur une source de messages verbaux (copilote, contrôleur aérien ou steward) dans la zone de droite, une fenêtre affichant le message s'ouvrait. Une seule fenêtre pouvait être ouverte à la fois. Pour accéder à d'autres informations, le participant devait donc d'abord fermer la fenêtre consultée.

8.1.5. Variables analysées

8.1.5.1. Variables indépendantes

Afin de vérifier l'effet de la charge de travail sur les comportements de persévération, deux variables liées aux scénarii de vol ont été manipulées : la phase de vol et l'anticipabilité de l'événement menaçant la sécurité du vol.

La phase de vol permet de varier la charge de travail liée aux exigences de la situation. En effet, grâce à des indicateurs physiologiques (rythme cardiaque, activité électrodermale et activité électrique cérébrale), il a été montré que les phases de décollage et d'atterrissage correspondent à une augmentation significative du niveau d'exigence cognitive, indiquant ainsi une augmentation de la charge de travail (Wilson, 2002). Plus récemment, la comparaison de deux vols similaires, l'un réel et l'autre simulé, a permis de montrer l'effet de la phase de vol sur la charge de travail mentale dans les deux situations (Dahlstrom & Nahlinder, 2009). Bien que le niveau de charge de travail ait été mesuré physiologiquement et évalué subjectivement à un niveau plus bas lors de la simulation, les résultats ont tout de même montré que les phases de décollage, d'approche et d'atterrissage entraînent une augmentation des exigences cognitives par rapport notamment à la phase de croisière. Bien que dans cette expérience, la simulation soit statique et partielle, les exigences de la tâche relatives au nombre de paramètres à surveiller se différencient entre, d'une part, les phases de décollage et d'atterrissage et, d'autre part, la phase de croisière. C'est sur cette base que nous différencions des niveaux de charge de travail.

Cependant, les spécificités de chacune des tâches à réaliser lors des phases de décollage et d'approche nous ont conduits à garder cette distinction. En effet, des facteurs non imputables à la charge de travail pourraient influencer la performance. Ainsi, les situations de vol choisies pour cette simulation correspondaient soit à une phase de décollage, soit à une phase de croisière, soit à une phase d'approche.

L'anticipabilité de l'événement permet de varier la charge de travail liée la quantité d'informations à traiter. En effet, la prévision de l'évolution du processus permet à l'opérateur de sélectionner les informations utiles et d'entamer une planification des choix d'actions à venir (Van Daele & Carpinelli, 1996).

L'anticipabilité de l'événement était manipulée par la présentation initiale de la situation de vol. Dans la condition « événement anticipable », une information liée à l'évolution possible de la situation était présentée, tandis que dans la condition « événement imprévu », seules les informations indiquant l'état de la situation actuelle étaient présentées. Par exemple, dans le scénario d'atterrissage C « cumulonimbus », la présentation de la situation de vol se termine par la position de l'appareil suivie de l'information qu'un cumulonimbus est aperçu près du terrain d'atterrissage. Dans le scénario d'atterrissage F « cisaillements de vent », la présentation de la situation de vol se termine uniquement avec la position de l'appareil.

Chacune des six situations de vol a été conçue de telle sorte que l'événement menaçant la sécurité du vol corresponde soit à la condition « anticipable », soit à la condition « imprévu » et survienne lors de l'une des trois phases de vol. Les facteurs d'anticipabilité et de phase de vol sont donc croisés. Le tableau 7 présente la répartition des six scénarii en fonction de ces deux facteurs.

	<i>Phase de vol</i>		
<i>Anticipabilité de l'événement</i>	Décollage	Croisière	Approche
Anticipable	ScA	ScB	ScC
Inattendu	ScD	ScE	ScF

Tableau 7. Répartition des six scénarii en fonction de la phase de vol et de l'anticipabilité de l'événement menaçant la sécurité du vol. Le degré de gris représente le niveau de charge de travail.

Afin de vérifier les deux premières séries d'hypothèses relatives à l'effet de la charge de travail, nous nous intéresserons aux effets de :

- la phase de vol, où les phases de décollage et d'atterrissage représentent une charge de travail élevée et la phase de croisière représente une charge de travail faible,
- l'anticipabilité, où la confrontation à des événements imprévus sera considérée comme présentant une charge de travail élevée et la confrontation à des événements anticipables comme présentant une charge de travail faible,

- l'interaction entre ces deux facteurs, où les scénarii confrontant les participants à des événements inattendus lors des phases de décollage et d'atterrissage présentent une charge de travail élevée et où le scénario confrontant les participants à un événement anticipable lors de la phase de croisière présente une charge de travail faible.

Chaque participant réalise les six simulations, présentées dans un ordre aléatoire, et passe donc toutes les conditions. Le plan expérimental est le suivant : $S_{30} * Ph_3 * Ant_2$

8.1.5.2. Variables dépendantes

Les variables dépendantes concernaient la performance et les processus cognitifs liés à la prise de décision.

Performance

La performance était évaluée en fonction de la nature de la décision, persévérative ou flexible.

Une première méthode, basée sur des choix d'actions proposés aux participants, a été élaborée pour catégoriser la nature de la décision. Cependant, le manque de fiabilité observé nous a conduits à élaborer une seconde méthode.

Dans un premier temps, la nature de la décision était catégorisée par le choix entre trois plans d'actions, présentés dans un ordre aléatoire, proposés sur l'image de la simulation de vol.

- Le comportement de flexibilité était illustré par un changement de plan de vol et l'estimation d'un risque élevé. Par exemple, pour le scénario C : « Je renonce à l'approche car j'estime que la sécurité est engagée pour me poser ici donc je me déroute sur Berlin-Schönefeld ».

- Un comportement de persévération basé sur un diagnostic incorrect de l'événement était illustré par la poursuite du plan de vol et l'estimation d'un risque faible. Par exemple, pour le scénario C : « Je poursuis l'approche car j'estime que la sécurité n'est pas engagée et que je peux me poser sans problème ».

- Un comportement de persévération basé sur un diagnostic correct de l'événement était illustré par la poursuite du plan de vol reposant sur la prise en compte du risque élevé de la situation. Par exemple, pour le scénario C : « J'interromps l'approche car j'estime que la sécurité est engagée pour me poser donc je me mets en circuit d'attente pour la recommencer ».

Or, l'analyse des explicitations des décisions, réalisée avec l'aide de pilotes, a révélé que certaines décisions catégorisées comme persévération pouvaient en fait relever de flexibilité. Il s'agissait notamment des décisions de persévération basées sur un diagnostic correct de la situation. En effet, certaines décisions de poursuite du plan de vol étaient associées à des propositions d'aménagements permettant de maintenir le niveau de sécurité. Par exemple, certains pilotes ont choisi de se mettre en circuit d'attente en précisant qu'ils attendaient d'atteindre le seuil de niveau de pétrole minimum pour ensuite engager un déroutement.

Aussi, l'évaluation de la performance au travers des explicitations données par les pilotes à l'issue de la simulation a été privilégiée. Elle a été catégorisée par deux experts :

- Lorsque la décision prise consistait à poursuivre le plan de vol initial, elle était catégorisée comme un comportement de persévération.
- Lorsque la décision consistait à changer le plan de vol initial, que ce soit en termes de changement de destination ou en la proposition d'aménagement du plan de vol incluant la prise de compte du maintien du niveau de sécurité, elle était catégorisée en tant que comportement de flexibilité.

Afin de compléter la réponse donnée par les participants, une auto-évaluation de leur niveau de confiance dans la décision était proposée, à la suite du choix du plan d'actions, grâce à une échelle de Likert en 5 points.

Processus cognitifs de décision

Les processus de décision ont été déterminés à partir de l'importance du traitement des informations cibles, de la justesse de compréhension de la situation et la nature des critères de décision.

a) Importance du traitement des informations cibles

Trois indicateurs ont été utilisés pour déterminer l'importance du traitement des informations cibles :

- Le *nombre d'informations cibles consultées*, indiqué par le logiciel de programmation ;
- Le *temps de consultation des informations cibles*, indiqué par le logiciel de programmation : cet indice a été utilisé dans une autre étude (Noizet & Amalberti, 2000) pour signifier l'importance de l'investissement attentionnel lors du traitement des informations.

Plus le temps de consultation d'une information est élevé, plus les processus attentionnels sont impliqués.

- Le nombre d'informations cibles prises en compte dans la décision, indiqué dans la partie rédigée d'explicitation des décisions. Lorsqu'une information cible est utilisée par l'opérateur pour justifier sa décision, le traitement de cette information sera considéré comme étant contrôlé et conscient.

b) Justesse de compréhension de la situation

Elle a été évaluée au moyen de deux indicateurs :

- la *justesse du diagnostic* était évaluée par deux experts à partir de l'explicitation des décisions. Elle était catégorisée en deux classes : correct ou incorrect.

- le *niveau de risque de la situation* était auto-évalué par une échelle de Likert en 5 points. Elle était proposée aux participants à la suite des six simulations de vol afin d'éviter d'orienter leur décision pour les situations suivantes. La conception des scénarii, en collaboration avec deux pilotes experts, a été réalisée dans le sens d'une confrontation à des événements présentant un risque élevé pour le vol.

c) Nature du compromis cognitif

La nature du compromis cognitif réalisé par les pilotes est déterminée à partir de la nature des critères de décision qu'ils fournissent lors de la phase d'explicitation des décisions, à l'issue des simulations. Ces critères sont catégorisés *a posteriori*. Ils peuvent concerner, par exemple, le besoin de comprendre la situation traduisant un mode de pensée contrôlé ou l'application de procédures traduisant un mode de pensée automatique.

8.1.6. Procédure

Dans un premier temps, les participants devaient remplir un questionnaire biographique afin de renseigner leur âge, leur qualification et des indicateurs d'expérience de vol. Ensuite, pour les pilotes ne connaissant pas l'A319, le descriptif des instruments de bord leur était présenté avec le logiciel *Power Point* et grâce aux captures d'écran du logiciel *Flight Simulator*. Une fiche indiquant les principales caractéristiques de l'aéronef utiles aux prises de décision, comme la masse autorisée à l'atterrissage ou les taux de consommation de carburant, leur était distribuée. L'interface de l'expérimentation était ensuite présentée, suivi d'une séance de familiarisation avec un scénario dédié. Une fois que les pilotes se sentaient à l'aise avec l'interface, la session expérimentale pouvait débuter.

Celle-ci consistait en trois phases :

- 1) *Présentation de la situation de vol*. La consigne donnée consistait à se représenter mentalement, le mieux possible, la situation. Les participants étaient autorisés à prendre des notes s'ils le souhaitaient. Ils pouvaient cliquer sur la case « prêt », une fois qu'ils estimaient avoir obtenu une bonne représentation de la situation. C'est à ce moment que le chronomètre était déclenché.

- 2) *Simulation de vol*. Les participants pouvaient consulter autant d'informations qu'ils le jugeaient nécessaire, tout en essayant de répondre aussi rapidement que s'ils étaient en vol réel. Après avoir choisi un des trois plans d'actions, ils pouvaient cliquer sur « valider » lorsqu'ils étaient sûr de leur réponse. A partir de ce moment, le chronomètre était arrêté. Ils devaient alors indiquer leur niveau de confiance dans la réponse choisie. Enfin, en cliquant sur la case « suivant », ils déclenchaient l'affichage de la page d'explicitation de leur décision.

- 3) *Explicitation de la décision*. Sur cette page, les participants devaient expliciter leur décision en précisant les éléments qui ont influencé leur décision et les buts qu'ils souhaitaient atteindre. Ils pouvaient rédiger autant d'explications qu'ils le souhaitaient.

8.2. Résultats

Trente pilotes (29 hommes, 1 femme) appartenant à cinq escadrons de l'Armée de l'Air française ont participé à cette expérience. Leur niveau d'expérience de vol variait de 800 à 7 000 heures de vol (sur tous types d'aéronef) avec une expérience moyenne de vol de 3 288 heures ($\pm 1 400$ heures). L'âge moyen était de 33 ans (± 4) avec une distribution variant de 24 à 43 ans.

8.2.1. Résultats descriptifs : performance et critères de décision

Sur les 180 réponses obtenues aux 6 scénarii par les 30 pilotes, 55 (31 %) relevaient de persévération. Aucun participant n'a persévéré lors des 6 simulations de vol et seuls 4 participants sur les 30 ont répondu de manière flexible à chaque fois.

Le niveau de confiance dans la décision est évalué par les participants sur une échelle de 1 à 5. Les résultats montrent qu'ils ont tous été confiants dans leur décision, puisque cette évaluation varie de 3 à 5. La médiane permet de répartir les niveaux de confiance entre ceux qui sont tout à fait confiants dans leur décision (évalué par la note de 5) et ceux qui ne sont pas tout à fait confiants (évalué par les notes 3 et 4). Le test du χ^2 révèle une différence de répartition significative entre les flexibles et les persévérants [$\chi^2(1) = 20,99$; $p < .0001$; $\Phi =$

.34] : 54 % des flexibles sont tout à fait confiants dans leur décision contre seulement 11 % des persévérants.

Concernant les critères de décision, 212 ont été verbalisés au total pour justifier 121 décisions, soit 67 % des décisions. Plus précisément, 100 critères ont été exprimés pour 70 décisions flexibles et 112 critères ont été exprimés pour 51 décisions de persévération. Un codage *a posteriori* a permis de regrouper ces critères en quatre catégories principales présentées dans le tableau 8 ci-dessous :

Evaluation de la maîtrise du risque	Besoin de compréhension de la situation	Application de la procédure	Volonté de réussir la mission
Exemple : « <i>Si la météo empire, on pourra toujours effectuer une remise de gaz</i> » → estimation d'un risque contrôlable. Exemple : « <i>Tant qu'il y a des cisaillements de vent, on n'atterrit pas</i> » → estimation d'un risque non contrôlable.	Exemple : « <i>Il faut vérifier s'il y a bien des dégâts moteur</i> ».	Exemple : « <i>Traiter la panne avec la check-list</i> ».	Exemple : « <i>On ne fera pas perdre trop de temps au ministre</i> ».

Tableau 8. Illustration des quatre catégories de critères de décision.

La catégorie « évaluation de la maîtrise du risque » reflète directement l'expression d'un compromis cognitif réalisé par les opérateurs : les décisions sont justifiées par l'évaluation de ses capacités à maîtriser la situation. La catégorie « besoin de compréhension de la situation » renvoie à un mode de pensée contrôlé puisqu'il s'agit d'une activité d'interprétation des informations. La catégorie « application de la procédure » renvoie à un mode de pensée automatique où une routine est appliquée. Elle est d'ailleurs rencontrée, dans plus de la moitié des décisions, lors du déclenchement de l'alarme de surchauffe électrique qui est associée à une check-list. Enfin, la catégorie « volonté de réussir la mission » exprime le poids de la pression organisationnelle sur la décision prise.

8.2.2. Effet de la charge de travail

8.2.2.1. Performance

Afin de vérifier la première hypothèse relative au lien entre la charge de travail et la performance, un test de χ^2 est réalisé sur l'ensemble des 180 décisions réparties en fonction de leur nature persévérative ou flexible et en fonction des conditions de chacun des deux facteurs de charge de travail manipulés : la phase de vol et l'anticipabilité.

La répartition des performances varie en fonction de la phase de vol [$\chi^2 (2) = 7.75$; $p < .05$; V de Cramer = .21], mais pas en fonction de l'anticipabilité de l'événement [$\chi^2 (2) = 2.12$; $p = ns$; Phi = .11]. Les comportements de persévération sont observés plus fréquemment lors des phases de vol à forte charge de travail, avec 45 % en phase de décollage et 35 % en phase d'approche, que lors des phases à faible charge de travail avec 20 % des comportements de persévération observés en phase de croisière. Les comportements flexibles sont observés plus fréquemment lors de la phase de croisière, avec 39 % des comportements flexibles, que lors des phases de décollage et d'approche, avec respectivement 28 % et 33 %.

Plus précisément, on observe que **la différence de répartition de performance en fonction de la phase de vol est observée lorsque les événements sont imprévus** [$\chi^2 (2) = 9.99$; $p < .05$; V de Cramer = .33] et **pas lorsque les événements sont anticipables** [$\chi^2 (2) = 1,52$; $p = ns$; Phi = .13] (tableau 9).

<i>Phases de vol avec événements anticipables</i> ($p = ns$)	<i>Performance</i>		<i>Phases de vol avec événements imprévus</i> ($p < .05$)	<i>Performance</i>	
	Flexibilité (n=67)	Persévération (n=23)		Flexibilité (n=58)	Persévération (n=32)
Décollage (n=30)	28 %	45 %	Décollage (n=30)	26 %	47 %
Croisière (n=30)	39 %	20 %	Croisière (n=30)	45 %	12,5 %
Approche (n=30)	33 %	35 %	Approche (n=30)	29 %	40,5 %

Tableau 9. Répartition des performances en fonction de la phase de vol lorsque les événements sont anticipables et lorsque les événements sont imprévus.

L'hypothèse H1) est vérifiée.

Les décisions de nature persévérative sont plus fréquemment observées lors des phases de décollage et d'approche, caractéristiques d'une charge de travail élevée, que lors de la phase de croisière, caractéristique d'une charge de travail faible. Elles sont également plus fréquemment observées lorsque les événements surviennent de manière inattendue, lors des phases de décollage et d'approche que lors de la phase de croisière.

8.2.2.2. Processus de décision

Traitement des informations cibles

Afin de vérifier l'hypothèse H2a qui postule un effet négatif de la charge de travail sur l'importance de traitement des informations cibles, des analyses de variance à mesures répétées appariées à chaque sujet est réalisée : elles déterminent l'effet du facteur phase de vol croisé avec le facteur anticipabilité sur le nombre d'informations cibles consultées, le temps de consultation de ces informations cibles et sur le nombre d'informations prises en compte dans la décision.

a) Nombre d'informations cibles consultées

Les résultats ne montrent pas d'effet significatif de la phase de vol [$F(2,58) = 0,15$; $p=.85$], ni de l'anticipabilité [$F(1,29) = 0,78$; $p=.38$] et ni de leur interaction [$F(2,58) = 1,90$; $p=.16$].

Le nombre de consultations de l'information cible provenant du système ne diffère pas non plus significativement en fonction de la phase de vol, de l'anticipabilité et de leur interaction.

En revanche, on observe un effet significatif de l'anticipabilité de l'événement sur le nombre d'informations consultées provenant du copilote [$F(1,29) = 4,22$; $p<.05$]. Lorsque l'événement est imprévu, les pilotes consultent plus souvent l'information fournie par le copilote ($m = 1,32 \pm .07$) que lorsqu'il est anticipable ($m = 1,15 \pm .07$). Le nombre d'informations consultées issues de cette source ne varie pas significativement en fonction de la phase de vol ni de l'interaction entre anticipabilité et phase de vol.

Concernant le nombre d'informations cibles provenant d'un acteur extérieur, il diffère significativement en fonction de la phase de vol [$F(2,58) = 4,48$; $p<.05$]. Ce nombre est plus élevé lors de la phase d'approche que lors de la phase de décollage [$p(F)<.05$] et de la phase

de croisière [$p(F) < .05$]. Ce résultat peut être expliqué par l'importance des informations provenant du contrôleur aérien lors de la phase d'approche. Aucun effet significatif de l'anticipabilité ni de l'interaction entre phase de vol et anticipabilité n'est observé.

b) Temps de consultation des informations cibles

Un effet de la phase de vol est observé sur le temps de consultation des informations cibles [$F(2,58) = 4,11$; $p < .05$]. Le temps de consultation des informations cibles est plus important lors de la phase de croisière que lors de la phase de décollage [$p(F) < .05$] et que lors de la phase d'approche [$p(F) < .05$]. En moyenne, lors de la phase de croisière, les pilotes consultent les informations cibles durant près de 4 secondes contre près de 3 secondes lors des phases de décollage et d'approche. Aucun effet significatif de l'anticipabilité n'est observé [$F(1,29) = 0,06$; $p = .81$]. Cependant, les résultats montrent un effet de l'interaction entre phase de vol et anticipabilité [$F(2,58) = 5,09$; $p < .05$]. En appliquant le test de LSD de Fisher pour comparaisons post-hoc, les résultats montrent que lors de la phase de décollage, le temps de consultation des informations cibles ne diffère pas significativement selon que l'événement soit anticipable ou imprévu. En phase de croisière, le temps de consultation des informations cibles est plus élevé lorsque l'événement est imprévu que lorsqu'il est anticipable [$p(F) < .05$]. A l'inverse, en phase d'approche, le temps de consultation des informations cibles est plus faible lorsque l'événement est imprévu que anticipable [$p(F) < .05$].

L'analyse en fonction des sources d'informations montre un effet de la phase de vol sur le temps de consultation de l'information cible issue du système [$F(2,58) = 7,21$; $p < .05$]. Les pilotes consultent plus longtemps les informations cibles issues du système en phase de croisière que lors de la phase de décollage [$p(F) < .05$] et que lors de la phase d'approche [$p(F) < .001$]. On n'observe pas d'effet significatif de l'anticipabilité, mais on observe un effet significatif de l'interaction entre phase de vol et anticipabilité [$F(2,58) = 3,22$; $p < .05$]. Lorsque l'événement est imprévu, les pilotes consultent l'information cible moins longtemps en phase d'approche que lors de la phase de croisière [$p(F) < .001$] et que lors de la phase de décollage [$p(F) < .05$], alors que lorsque l'événement est anticipable, le temps de consultation de l'information issue du système ne varie pas significativement en fonction de la phase de vol.

Le temps de consultation de l'information cible provenant du copilote ne diffère pas significativement en fonction de la phase de vol ni de l'anticipabilité. En revanche, on observe un effet de l'interaction entre ces deux facteurs [$F(2,58) = 20,86$; $p < .001$]. Alors qu'en phase de décollage les pilotes consultent moins longtemps cette information lorsque l'événement est

imprévu que lorsqu'il est anticipable [$p(F) < .001$], ils la consultent plus longtemps lorsque l'événement est imprévu en phase de croisière [$p(F) < .001$] et d'approche [$p(F) < .05$].

Enfin, le temps de consultation de l'information cible issue d'un acteur extérieur diffère significativement en fonction de la phase de vol [$F(2,58) = 37,17$; $p < .001$], de l'anticipabilité [$F(1,29) = 14,34$; $p < .001$] et de l'interaction entre ces deux facteurs [$F(2,58) = 11,88$; $p < .001$]. Le temps de consultation est plus important lors de la phase d'approche que lors de la phase de croisière [$p(F) < .001$] et lors de la phase de décollage [$p(F) < .001$]. On retrouve l'effet possible du besoin de consulter les informations du contrôleur aérien lors de la phase d'approche. L'effet de l'anticipabilité est observé dans le sens d'un temps de consultation moins important lorsque l'événement est imprévu que lorsqu'il est anticipable. Pour l'effet de l'interaction entre phase de vol et anticipabilité, les résultats montrent que lors des phases de décollage et de croisière il n'y a pas de différence significative dans le temps de consultation de l'information issue d'une source extérieure selon que l'événement soit anticipable ou imprévu. En revanche, en phase d'approche, le temps de consultation est plus court lorsque l'événement est imprévu que lorsqu'il est anticipable ($p < .0001$).

c) Prise en compte des informations cibles dans la décision finale

Le nombre d'informations cibles utilisées pour prendre les décisions varie en fonction de la phase de vol [$F(2,58) = 6,92$; $p < .05$] (figure 18).

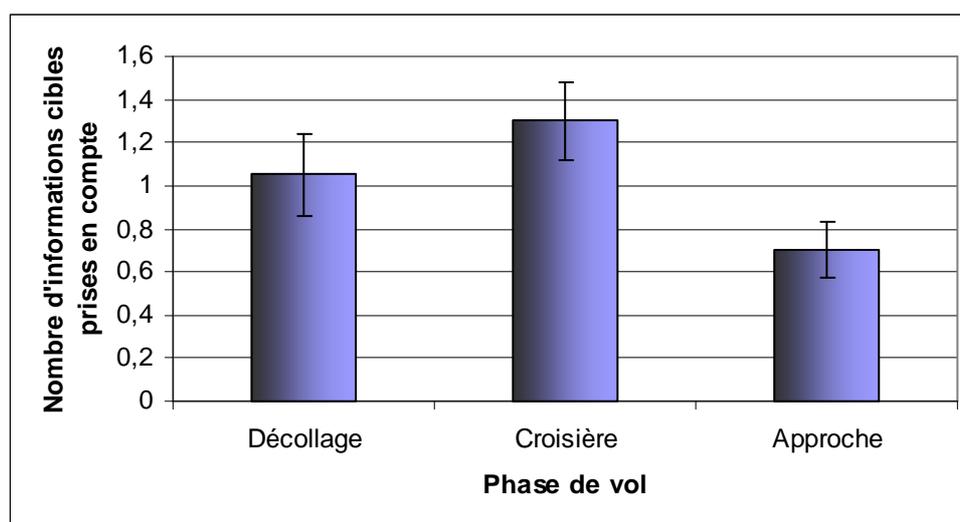


Figure 18. Nombre moyen d'informations cibles prises en compte dans les prises de décision en fonction de la phase de vol.

Les pilotes citent moins d'informations cibles pour justifier leur décision, en phase d'approche qu'en phase de croisière [$p(F) < .001$] et qu'en phase de décollage [$p(F) < .05$]. Le test pour comparaison planifiée, entre les phases de vol associées à une charge de travail élevée (décollage et approche) et la phase de vol associée à une charge de travail faible (croisière), montre une différence significative sur le nombre d'informations cibles prises en compte dans les décisions [$F(1,28) = 9,08$; $p < .05$] : en moyenne, au moins une information cible est citée pour justifier les décisions prises lors de la phase de croisière, caractérisant une phase à charge de travail faible, contre moins d'une lors des phases de vol associées à une charge de travail élevée.

L'analyse ne révèle pas d'effet de l'anticipabilité de l'événement ni de l'interaction entre phase de vol et anticipabilité.

L'hypothèse H2a) est en partie vérifiée.

Le temps de consultation des informations cibles et leur prise en compte dans la décision finale, indicateurs de l'importance de leur traitement, sont moindres lors des phases de vol liées à une charge de travail élevée que lors des phases de vol liées à une charge de travail faible. Cependant, aucune différence n'est observée pour la charge de travail liée à l'anticipabilité des événements. Aucun effet de la charge de travail n'est observé sur le nombre de consultation des informations cibles, troisième indicateur de l'importance de leur traitement.

Compréhension de la situation

Afin de vérifier l'hypothèse H2b postulant un effet négatif de la charge de travail sur la justesse de compréhension de la situation, un test de χ^2 est réalisé sur la répartition des 180 décisions en fonction de la phase de vol puis de l'anticipabilité et de la justesse du diagnostic. Ensuite, une analyse de variance à mesures répétées appariée à chaque sujet est réalisée à partir de ces deux facteurs sur le niveau de risque auto-évalué.

La justesse du diagnostic varie en fonction de la phase de vol [$\chi^2(2) = 8.94$; $p < .05$; V de cramer = .22]. Le pourcentage de diagnostics incorrects est plus élevé lors des phases de décollage et d'approche, avec respectivement 22 % et 15 % de l'ensemble des diagnostics, que lors de la phase de croisière, avec 3 % seulement des diagnostics. L'analyse des données ne révèle pas de lien entre l'anticipabilité de l'événement et la justesse du diagnostic : la répartition est exactement la même.

Concernant l'évaluation du niveau de risque de la situation, les résultats ne montrent pas d'effet de la phase de vol [$F(2,56) = 0,30$; $p = ns$], ni de l'anticipabilité de l'événement [$F(1,28) = 2,60$; $p = ns$]. En revanche, les résultats montrent un effet de l'interaction entre ces deux facteurs [$F(2,56) = 5,43$; $p < .05$] : lors des phases de décollage et d'approche, les participants évaluent le risque à un niveau plus élevé lorsque les événements sont imprévus que lorsqu'ils sont anticipables, alors qu'ils évaluent les événements imprévus à un niveau moins élevé que les événements anticipables lors de la phase de croisière.

L'hypothèse H2b) est en partie vérifiée.

Le pourcentage de diagnostics incorrects est plus élevé lorsque la charge de travail liée aux phases de vol est élevée que lorsqu'elle est faible. Cependant, ce lien n'est pas observé pour la charge de travail liée à l'anticipabilité des événements.

Aucun effet de la charge de travail n'est observé sur l'évaluation du niveau de risque de la situation. Seul un effet d'interaction montre que le risque lié à des événements imprévus est évalué de manière plus élevée en phases de décollage et d'approche que lors de la phase de croisière.

Nature du compromis cognitif

Le lien entre la charge de travail et la nature du compromis cognitif, postulé dans l'hypothèse H2c, est vérifié à partir d'un test de χ^2 réalisé à partir de la répartition des 212 critères de décision verbalisés en fonction de la phase de vol que la décision concernait, puis en fonction de l'anticipabilité de l'événement.

La répartition du nombre de critères en fonction de sa catégorie et de la phase de vol (tableau 10) montre qu'ils ont été exprimés plus fréquemment lors des phases de décollage et d'approche, avec respectivement 36 % et 40 % de l'ensemble des critères exprimés. Parmi les quatre catégories de critères de décision, c'est celle relative à l'évaluation de la maîtrise du risque, traduisant la réalisation d'un compromis cognitif (l'opérateur prend sa décision en fonction des risques qu'il estime pouvoir maîtriser), qui est le plus souvent utilisée : avec 139 critères cités, elle représente 65 % de l'ensemble des critères.

Catégories des critères de décisions	Phases de vol			Total
	Décollage	Croisière	Approche	
Evaluation de la maîtrise du risque	31	37	71	139
Compréhension de la situation	30	6	1	37
Application de procédure	16	4	7	27
Réussite de la mission	0	3	6	9
Total	77	50	85	212

Tableau 10. Répartition du nombre de critères de décision cités en fonction de sa catégorie et de la phase de vol.

Le nombre d'effectifs théoriques est insuffisant pour un réaliser un test de χ^2 sur l'ensemble du tableau. Aussi, des regroupements sont effectués afin de vérifier si des différences de répartition sont observées pour chaque catégorie : chacune d'entre elles est confrontée aux trois autres regroupées ensemble.

Le critère de décision relatif à l'évaluation de la maîtrise du risque varie en fonction de la phase de vol [$\chi^2 (2) = 35.56$; $p < .0001$; V de cramer = .41] : il représente 83 % et 74 % des critères utilisés respectivement en phase d'approche et en phase de croisière contre 40 % des critères utilisés en phase de décollage.

Le critère de décision relatif à la compréhension de la situation, illustrant un mode de pensée contrôlé, représente 17 % de l'ensemble des critères cités. Son utilisation varie en fonction de la phase de vol [$\chi^2 (2) = 41.39$; $p < .0001$; V de cramer = .44] : 81 % de cette catégorie de critères sont utilisés en phase de décollage contre 16 % en phase de croisière et seulement 1 % en phase d'approche.

Le critère de décision relatif à l'application de procédure, illustrant un mode de pensée automatique, représente 13 % de l'ensemble des critères cités. Son utilisation varie en fonction de la phase de vol [$\chi^2 (2) = 7.04$; $p < .05$; V de cramer = .18] : 59 % de cette catégorie de critères sont utilisés en phase de décollage et 26 % en phase d'approche contre 15 % en phase de croisière.

Enfin, le critère de décision relatif à la réussite de la mission, traduisant le poids de la pression organisationnelle, présente un effectif trop faible pour réaliser un test de χ^2 . Toutefois, les données montrent que ce critère n'est jamais cité en phase de décollage, contre 3 fois en phase de croisière et 6 fois en phase d'approche.

Le tableau 11 présente la répartition du nombre de ces critères en fonction de l'anticipabilité de l'événement.

Catégories des critères de décision	Anticipabilité de l'événement		Total
	Anticipable	Imprévu	
Evaluation de la maîtrise des risques	77	62	139
Compréhension de la situation	14	23	37
Application de procédure	5	22	27
Réussite de la mission	8	1	9
Total	104	108	212

Tableau 11. Répartition du nombre de critères de décision cités en fonction de sa catégorie et de l'anticipabilité de l'événement.

A nouveau, le nombre d'effectifs théorique est insuffisant pour un réaliser un test de χ^2 sur l'ensemble du tableau. Des regroupements sont donc effectués afin de vérifier si des différences de répartition sont observées pour chaque catégorie : chacune d'entre elles est confrontée aux trois autres regroupées ensemble.

Le critère de décision relatif à l'évaluation de la maîtrise du risque varie en fonction l'anticipabilité de l'événement [$\chi^2 (1) = 6.49$; $p < .05$; $\Phi = .17$] : il représente 74 % des critères cités lorsque l'événement était anticipable contre 57 % des critères cités lorsque l'événement était imprévu.

L'analyse ne montre pas de différence significative entre le nombre de critères relatif à la compréhension de la situation cités lorsque l'événement était anticipable et lorsque l'événement était imprévu [$\chi^2 (1) = 2.26$; $p = ns$; $\Phi = .10$] : ce critère représente respectivement 13 % et 21 % des critères cités lorsque l'événement était anticipable et lorsque l'événement était imprévu.

Le critère de décision relatif à l'application de procédure varie en fonction l'anticipabilité de l'événement [$\chi^2 (1) = 11.55$; $p < .001$; $\Phi = .23$] : il représente 5 % des critères cités lorsque l'événement était anticipable contre 20 % des critères cités lorsque l'événement était imprévu.

Enfin, le critère de décision relatif à la réussite de la mission est trop faible pour réaliser un test statistique. Toutefois, les données montrent que ce critère a été cité 8 fois sur 9 lorsque l'événement était anticipable, tandis qu'il n'a été cité qu'une fois lorsque l'événement était imprévu.

L'hypothèse H2c) est vérifiée.

Les critères de décision basés sur l'application de procédure, traduisant un mode de pensée automatique, sont plus fréquemment cités lors des phases de décollage et d'approche que lors de la phase de croisière. Ils sont également plus fréquemment cités lorsque l'événement menaçant la sécurité du vol est imprévu que lorsqu'il est anticipable.

8.2.3. Liens entre processus de décision et performance

Afin de vérifier l'existence de liens entre les variables mesurées, des tests de χ^2 sont réalisés sur la répartition de la nature des 180 réponses en fonction des différentes variables indiquant les processus de décision.

8.2.3.1. Traitement des informations cibles

Afin de vérifier l'hypothèse H3a relative aux liens entre l'importance du traitement des informations cibles et la nature des décisions, des tests de χ^2 sont réalisés à partir des trois indicateurs de l'importance du traitement : le nombre de consultation des informations cibles, le temps de consultation de ces informations et le nombre d'informations cibles prises en compte dans la décision.

Nombre de consultation des informations cibles

La variable *nombre de consultations* des informations cibles est une variable numérique. Aussi, pour réaliser un test de χ^2 , cette variable est transformée en variable nominale, divisée à partir de la médiane en deux modalités : niveau élevé et niveau bas. Le niveau bas regroupe 85 items variant de 1 à 4 informations consultées et le niveau élevé regroupe 95 items variant de 5 à 9 informations consultées. Les résultats ne montrent pas de différence de répartition des performances [$\chi^2 (1) = .11$; $p = .74$; $\Phi = .02$] : 46 % des décisions flexibles et 50 % des décisions persévératives sont liées à un nombre faible de consultation des informations cibles.

La répartition des performances ne diffère pas non plus significativement selon la source de ces informations cibles, que ce soit les informations provenant du système

$[\chi^2 (1) = 1,02 ; p = .31 ; \Phi = .07]$, du copilote $[\chi^2 (1) = 0,03 ; p = .85 ; \Phi = .01]$, ou d'un acteur extérieur $[\chi^2 (1) = 0,05 ; p = .82 ; \Phi = .02]$.

Temps de consultation des informations cibles

La variable *temps de consultation* est également transformée en variable nominale à deux modalités, niveau bas et niveau élevé, déterminées à partir de la médiane. Le niveau bas regroupe les temps de consultation inférieurs à 25,98 s et le niveau élevé regroupe les temps supérieurs à 25,98 s. Les résultats ne montrent pas de différence significative des répartitions des performances en fonction du temps de consultation $[\chi^2 (1) = .65 ; p = .42 ; \Phi = .06]$. On n'observe pas non plus de différence significative selon que l'information cible provienne du système $[\chi^2 (1) = .03 ; p = .87 ; \Phi = .01]$ ou du copilote $[\chi^2 (1) = 1,12 ; p = .14 ; \Phi = .11]$. En revanche, le temps de consultation des informations provenant d'une source extérieure est plus faible lorsque les décisions sont de nature persévérative que lorsqu'elles sont de nature flexible $[\chi^2 (1) = 4,25 ; p < .05 ; \Phi = .16]$: les temps de consultation faibles représentent 62 % des décisions persévératives contre 45 % des décisions flexibles.

Nombre d'informations cibles prises en compte dans la décision finale

Cette variable présente deux modalités : au moins une information cible est prise en compte pour justifier la décision des pilotes ou aucune information cible n'est prise en compte pour justifier la décision des pilotes. Les résultats montrent que le nombre d'informations cibles prises en compte lors des décisions persévératives est plus faible que lors des décisions flexibles $[\chi^2 (1) = 11,93 ; p < .001 ; \Phi = .26]$: 34 % des décisions persévératives sont basées sur au moins une information cible contre 62 % des décisions flexibles. Ce résultat est obtenu pour chaque type de source : 24 % des décisions persévératives sont basées sur l'information cible issue du système contre 42 % des décisions flexibles $[\chi^2 (1) = 5,34 ; p < .05 ; \Phi = .17]$, 14 % des décisions persévératives sont basées sur l'information cible issue du copilote contre 37 % des décisions flexibles $[\chi^2 (1) = 9,01 ; p < .05 ; \Phi = .22]$ et 13 % des décisions persévératives sont basées sur l'information cible issue d'un intervenant extérieur contre 40 % des décisions flexibles $[\chi^2 (1) = 13,13 ; p < .001 ; \Phi = .27]$.

L'hypothèse H3a) est en partie vérifiée.

La fréquence et le temps de consultation des informations cibles ne diffèrent pas significativement selon que la décision soit de nature flexible ou persévérative. En revanche, la proportion de décisions flexibles basées sur au moins une information cible est supérieure à celle des décisions persévératives.

8.2.3.2. Compréhension de la situation

Pour vérifier l'hypothèse H3b selon laquelle les décisions de nature persévérative seront plus fréquemment liées à une compréhension incorrecte de la situation, deux tests de χ^2 sont réalisés à partir des deux indicateurs de compréhension de la situation : la justesse du diagnostic et l'évaluation du niveau de risque.

Les résultats montrent que la justesse du diagnostic de la situation varie en fonction de la performance [$\chi^2 (1) = 25,78$; $p < .0001$; $\Phi = .38$] : 33 % des décisions persévératives sont liées à une compréhension incorrecte de la situation contre seulement 5 % des décisions flexibles.

La variable *niveau de risque de la situation*, auto-évaluée par les participants sur une échelle de 1 à 5, est transformée en variable nominale. La médiane permet de répartir l'estimation du niveau de risque de la situation entre le niveau de risque très élevé (évalué par la note 5) et les niveaux de risques moins élevés (évalués par les notes de 1 à 4). Le test du χ^2 révèle une différence significative de répartition de ces deux groupes de niveau de risque estimé et les deux groupes de performance [$\chi^2 (1) = 3.64$; $p = .05$; $\Phi = .14$] : 64 % des décisions flexibles sont liées à une estimation d'un niveau de risque très élevé contre 49 % des décisions de nature persévérative.

L'hypothèse H3b) est vérifiée.

La proportion de décisions persévératives basées sur un diagnostic de la situation incorrect est supérieure à celle des décisions flexibles. Le niveau de risque auto-évalué est également inférieur lors des décisions persévératives que lors des décisions flexibles.

8.2.3.3. Nature du compromis cognitif

Comme plusieurs critères peuvent être exprimés pour une même décision, deux types d'analyses sont effectués pour évaluer le lien entre la nature des critères de décision, illustrant

la nature du compromis cognitif, et la performance : une analyse basée sur la répartition des 121 décisions associées à au moins un critère de décision et une analyse basée sur la répartition des 212 critères de décision.

Le nombre de décisions flexibles associées à au moins un critère de décision diffère significativement du nombre de décisions de persévération associées à au moins un critère de décision [$\chi^2 (1) = 23,38$; $p < .0001$; $\Phi = .36$] : 93 % des persévérants ont exprimé au moins un critère de décision contre 56 % des flexibles. Les répartitions de ces décisions en fonction des critères exprimés diffèrent significativement pour deux critères : le besoin de compréhension de la situation et l'application de procédure (tableau 12).

	Flexibilité (n=70)	Persévération (n=51)	Significativité
Evaluation de la maîtrise des risques	78 %	82 %	ns
Besoin de compréhension de la situation	20 %	37 %	$p < .05$
Application de la procédure	4 %	45 %	$p < .0001$
Volonté de réussir la mission	7 %	8 %	<i>effectifs insuffisants</i>

Tableau 12. Pourcentage des décisions flexibles et persévératives où une catégorie de critère de décision a été exprimée au moins une fois. La colonne « significativité » indique le degré de significativité de la différence de répartition en fonction de la performance, obtenu avec un test de χ^2 .

Les résultats montrent que les décisions de persévération sont plus fréquemment justifiées par un besoin d'obtenir une meilleure compréhension de la situation que les décisions flexibles [$\chi^2 (1) = 4.43$; $p < .05$; $\Phi = .19$]. Elles représentent respectivement 37 % et 20 % de l'ensemble des décisions par performance. **La différence entre le nombre décisions de persévération et le nombre de décisions flexibles justifiées au moins une fois par l'application d'une procédure est également significative** [$\chi^2 (1) = 29.13$; $p < .0001$; $\Phi = .49$] : **ce sont 45 % des décisions de persévération et seulement 4 % des décisions flexibles**. En revanche, les résultats ne montrent pas de différence significative entre le nombre de décision de persévération et le nombre de décisions flexibles associés à au moins un critère lié à l'évaluation de la maîtrise des risques [$\chi^2 (1) = .26$; $p = ns$; $\Phi = .05$]. Elles représentent 82 % des décisions de persévération et 78 % des décisions flexibles. Enfin, seuls neuf participants ont justifié leur réponse en fonction de la réussite de la mission pour prendre

leur décision, cinq flexibles et quatre persévérants. Ces effectifs ne sont pas suffisants pour réaliser un test de χ^2 .

L'analyse des données basée sur la répartition des critères de décision exprimés montre une différence significative en fonction de la performance [$\chi^2(3) = 16.7$; $p < .001$; V de Cramer = .28]. La figure 19 présente les diagrammes de répartition des quatre catégories de critères exprimés pour chacun des deux types de performance.

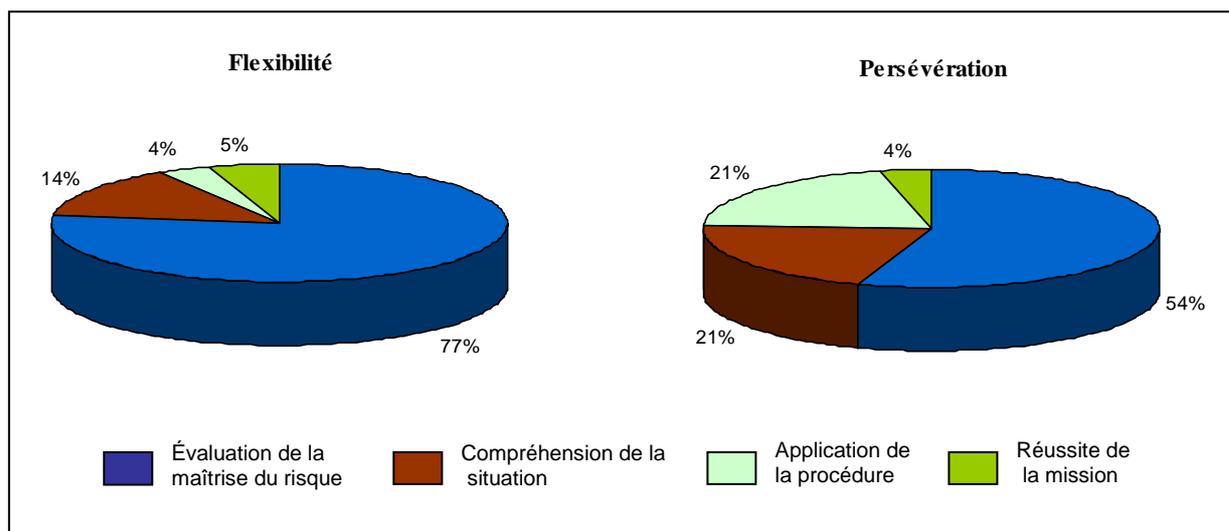


Figure 19. Répartition des quatre catégories de critères de décision exprimés pour chacun des deux types de performance.

Les résultats montrent que les différences significatives de répartition de critères entre les décisions flexibles et les décisions de persévération se situent sur les critères relatifs à l'évaluation de la maîtrise du risque et l'application de procédure. Les critères de décision relatifs à l'évaluation de la maîtrise du risque sont plus fréquemment cités pour justifier les décisions flexibles que les décisions de persévération [$\chi^2(1) = 10.96$; $p < .001$; $\phi = .23$]. A l'inverse, **le nombre de critères relatifs à l'application de procédure est cité plus fréquemment lors des décisions de persévération que lors des décisions de flexibilité** [$\chi^2(1) = 13$; $p < .001$; $\phi = .25$]. En revanche, les résultats ne montrent pas de différence significative entre le nombre de critères relatifs au besoin de compréhension de la situation [$\chi^2(1) = 1.57$; $p = ns$; $\phi = .09$] et le nombre de critères relatifs à la réussite de la mission [$\chi^2_{\text{corrigé}}(1) = .03$; $p_{\text{corrigé}} = ns$] exprimés dans les décisions flexibles et les décisions de persévération.

L'hypothèse H3c) est vérifiée.

Une plus grande proportion de décisions persévératives est justifiée par l'application de procédures, traduisant un mode de pensée automatique, que les décisions flexibles. Les critères de décision relatifs à l'application de procédure sont également cités plus fréquemment lors des décisions persévératives que lors des décisions flexibles.

8.3. Discussion

8.3.1. Effet de la charge de travail sur la nature des décisions prises

Cette expérience montre que, conformément à la première hypothèse, les comportements de persévération apparaissent plus fréquemment lorsque la charge de travail est élevée. Les phases de vol, caractérisées par un niveau d'exigences élevé, entraînent plus fréquemment des comportements de persévération que les phases de vol liées à une charge de travail faible. Ce résultat est plus marqué lorsque l'événement à gérer est imprévu, c'est-à-dire lorsque la gestion de l'événement en lui-même requiert un niveau élevé de ressources cognitives. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Muthard et Wickens (2003) où la poursuite du vol en conditions météorologiques dégradées était plus fréquemment observée lorsque la charge de travail était élevée que lorsqu'elle était basse, dans la condition où l'interface ne mettait pas en valeur de manière automatique les changements de situation. Dans cette étude, la charge de travail était manipulée différemment puisqu'elle consistait à varier la vitesse du processus et à proposer une double-tâche. Cependant, les résultats sont proches puisque ces auteurs observent 43,7 % de *Plan Continuation Error* lors de charge de travail élevée contre 18,7 % en charge de travail faible, tandis que dans l'expérience réalisée ici, les comportements de persévération observés lorsque l'événement est imprévu représentent 47 % des réponses en phase de décollage et 40,5 % en phase d'approche, contre 12,5 % en phase de croisière.

L'étude montre également un lien négatif entre la persévération et la confiance de l'opérateur dans sa décision. Ce résultat va dans le sens de l'établissement d'un compromis cognitif réalisé par l'opérateur. Un niveau moins élevé de confiance dans sa décision pourrait indiquer que l'opérateur est conscient qu'il a basé sa décision sur une évaluation incomplète de la situation, tant au niveau du risque externe qu'interne.

8.3.2. Liens entre charge de travail, traitement des informations cibles et nature de la décision

L'analyse des processus de décision montre que le niveau d'exigences de la situation se traduit, chez les persévérants, par une moindre prise en compte des informations pertinentes indiquant que l'événement peut avoir un impact sur la sécurité du vol. Bien qu'elles ne soient pas distinguées par le nombre et le temps de consultation des informations cibles, les décisions de nature persévérative sont moins fréquemment basées sur ces informations que les décisions de nature flexible. Ainsi, alors que la charge de travail a un effet sur le temps de consultation et sur le nombre d'informations cibles utilisées pour prendre les décisions, c'est uniquement ce dernier critère qui distingue les décisions flexibles des décisions persévératives. Ce résultat montre que pour aider les pilotes à mieux intégrer les informations pertinentes, notamment lorsque la charge de travail est élevée, l'augmentation du nombre ou du temps de consultation de cette information n'est pas suffisante. Il faudrait plutôt leur permettre d'augmenter les ressources disponibles pour interpréter ces informations.

8.3.3. Liens entre charge de travail, compréhension de la situation et nature de la décision

Les résultats ont permis de confirmer les liens entre la charge de travail, la justesse du diagnostic et le comportement de persévération : d'une part, les diagnostics incorrects sont plus fréquemment observés lors des décisions de persévération que lors des décisions flexibles et d'autre part, les diagnostics incorrects sont plus fréquemment observés lors des phases de vol liées à une charge de travail élevée que liées à une charge de travail faible. De même, le risque de la situation est évalué à un niveau moins élevé par les pilotes persévérants que les pilotes flexibles et il est également évalué à un niveau moins élevé pour les événements anticipables lors des phases de vol liées à une charge de travail élevée que liées à une charge de travail faible. Ces résultats concordent avec ceux obtenus lors de simulations de vol où il a été montré que les PCE était plus fréquemment liés à une évaluation incorrecte de la situation que les comportements ayant conduit à changé de plan de vol (Goh & Wiegmann, 2001b; Muthard & Wickens, 2003). Concernant l'effet de la charge de travail sur la justesse du diagnostic, une expérience utilisant une simulation de vol, similaire à celle utilisée ici, a montré également un effet négatif de la pression temporelle (manipulée entre autre par la phase de vol) sur cette variable (Mosier et al., 2007).

8.3.4. Liens entre charge de travail, nature du compromis cognitif et nature de la décision

Enfin, l'analyse des critères de décision verbalisés par les pilotes montre que d'une part, les persévérants justifient plus fréquemment leur décision que les flexibles et que d'autre part, ces critères sont plus fréquemment exprimés lors des phases de vol liées à une charge de travail élevée que lors de celles liées à une charge de travail faible. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que ce sont les conditions dans lesquelles les pilotes ont le moins confiance dans leur décision. Ainsi, ils ressentiraient plus le besoin de la justifier.

Par ailleurs, l'analyse montre que 77 % des décisions qui ont été justifiées par au moins un critère de décision, l'ont été par un critère relatif à l'évaluation de la maîtrise du risque. Ce résultat confirme que c'est bien l'établissement d'un compromis cognitif sur l'estimation de la maîtrise de la situation, telle qu'elle est comprise, qui est prépondérante aux décisions relatives à la gestion d'événements imprévus impactant la sécurité du vol. D'ailleurs, il n'y a pas de différence selon que la décision finale relève d'un comportement de persévération ou de flexibilité. Un résultat similaire est également obtenu par Orasanu, Fisher & Davison (2002) dans une analyse des verbalisations réalisées lors de deux simulations de vol en format papier/crayon. En effet, l'analyse des objectifs verbalisés par les pilotes a révélé qu'ils concernaient tous la sécurité du vol aussi bien lors d'un scénario reproduisant une phase de décollage et que lors d'un scénario reproduisant la phase d'approche où ils représentaient 95 % de l'ensemble des objectifs verbalisés. La seule différence observée par les auteurs concernait l'évaluation du danger, réalisée plus fréquemment de manière positive par les persévérants que les flexibles. De même, dans une autre expérience, les résultats d'un questionnaire proposé avant une simulation de vol ont montré que les pilotes persévérants avaient estimé moins probable le risque d'accident lié à l'événement rencontré en vol que les pilotes flexibles (Goh & Wiegmann, 2001b).

Nos résultats ont également montré que le nombre de critères relatifs à l'évaluation de la maîtrise du risque est plus élevé lors des décisions flexibles que lors des décisions de persévération. Ce résultat peut être expliqué par un réajustement du compromis cognitif réalisé par les pilotes flexibles. L'intégration de l'information indiquant que l'événement rencontré pourrait avoir un impact sur la sécurité du vol inciterait les flexibles à réévaluer leur maîtrise du risque de la situation et donc à fournir plus de critères de décision relatifs à cette maîtrise.

En revanche, les critères relatifs à la compréhension de la situation sont plus fréquemment cités dans les décisions des pilotes persévérants que dans celles des pilotes

flexibles. Ce résultat va à l'encontre de l'hypothèse selon laquelle les flexibles reposeraient plus souvent leur décision sur un mode de pensée contrôlé, relatif à l'interprétation du danger, que les persévérants. Ce résultat est intéressant car il révèle une autre nature du compromis cognitif réalisé par les persévérants : la persévération serait expliquée par le besoin d'une recherche de compréhension de la situation qui implique l'engagement de ressources supplémentaires. Le risque de perdre la maîtrise de la situation serait accepté parce que le diagnostic de la situation est incorrect et que le risque de la situation est sous-estimé. En revanche, les flexibles qui ont établi un diagnostic correct n'auraient pas besoin de justifier leur décision sur ce critère de compréhension de la situation. Ce constat expliquerait que les flexibles justifient majoritairement leur décision sur le jugement de la maîtrise du risque.

Enfin, l'expérience montre que les persévérants adoptent plus fréquemment un mode de pensée automatique, s'appuyant sur l'activation de routines, puisque 45 % de leur décision sont basées sur l'application d'une procédure contre seulement 4 % des décisions flexibles. Le nombre de critères employés varie également dans ce sens, puisque 85 % des critères relatifs à l'application d'une procédure sont exprimés dans les décisions de persévération. La différence entre flexibles et persévérants est particulièrement marquée dans le scénario « cisaillements de vent » où seuls ces derniers ont justifié leur décision par ce critère : c'est l'absence d'alarme qui justifiait leur décision de poursuivre l'approche.

Ces résultats ne sont pas en contradiction avec ceux concernant les critères relatifs à la compréhension de la situation. En effet, une part importante des décisions des persévérants, notamment pour le scénario « surchauffe électrique », relevait d'une recherche de compréhension du problème par l'application de la check-list associée.

Enfin, nos résultats concernant les critères de décision ne révèlent qu'une très faible part de la volonté de réussite de la mission. La faible importance de ce critère est également observée dans l'étude de Orasanu *et al.* (2002) où il ne représentait que 4,2 % des objectifs verbalisés par les pilotes. Deux explications peuvent être apportées : 1) il peut être difficile pour les opérateurs de verbaliser ce critère qui entre souvent en conflit avec l'objectif du maintien d'un niveau de sécurité acceptable et 2) il peut s'agir d'un biais de la simulation où la pression de réussite de la mission n'agirait que faiblement puisqu'il ne s'agit pas d'une réelle mission pour le participant.

Finalement, cette expérience a permis de vérifier la majorité de nos hypothèses. De plus, nos simulations de vol semblent bien conçues puisque la part de persévération, de 31 %, est proche de celle observée dans les traces de l'activité réelle qui est de 38 %. En revanche,

dans les études reposant sur des simulations de vol, les résultats sont très variés : dans une simulation de dégradation des conditions météorologiques en vol, la persévération représentait 69 % des décisions (Goh & Wiegmann, 2001b), dans une simulation de cisaillements de vent au décollage elle représentait 64 % des décisions et dans une simulation de cumulonimbus en phase d'approche, elle représentait 34 % des décisions (Orasanu et al., 2002). Cette variété de résultats peut être interprétée par la nature des sources de danger et les phases de vol qui sont différentes dans chacune de ces expériences et qui impliquent une évaluation différente de la maîtrise du risque.

8.4. Limites de l'étude

Deux limites importantes sont à souligner. Tout d'abord, la variable « anticipabilité des événements » ne semble pas correctement opérationnalisée. Les résultats ont montré le plus souvent un effet de la charge de travail à travers la variable « phase de vol » et pas par la variable « anticipabilité ». Ce résultat peut être expliqué par le fait que l'anticipabilité de l'événement n'est, dans nos simulations, qu'un indicateur indirect de la charge de travail. En effet, il n'est pas sûr que l'information concernant un événement probable, présentée préalablement à la simulation de vol, soit réellement traitée. De plus, cette simulation étant statique, le délai entre la présentation de cette information et la simulation de l'événement peut être très court, empêchant une réelle activité d'anticipation.

La seconde limite est que le caractère statique des simulations ne permet pas d'observer la persistance ou la récupération du comportement de persévération face aux différentes informations. Les verbalisations des pilotes nous ont permis de qualifier les comportements de flexibles lorsque les plans d'actions portaient sur une poursuite du vol mais en modifiant certains aspects du plan de vol afin de réduire le niveau de risque. Cependant, une simulation dynamique aurait permis de vérifier si ces plans d'actions auraient réellement été maintenus.

Conclusion

Les résultats de cette expérience permettent de confirmer le lien entre la nature du compromis cognitif basée sur une évaluation incorrecte de la situation orienté et vers un mode de pensée automatique et les comportements de persévération. La réduction des ressources disponibles lorsque la charge de travail est élevée n'empêche pas les opérateurs de consulter les informations pertinentes indiquant un décalage entre la situation attendue et la situation réelle, mais elle empêche l'interprétation et donc l'intégration de ces informations dans les

prises de décision. Aussi, les persévérants justifient leur décision par une estimation de maîtrise de la situation et par un besoin de comprendre la situation, l'un et l'autre reposant le plus souvent sur le recours à une procédure.

Afin de compenser les limites de l'utilisation d'une simulation statique et d'identifier l'aspect collectif des comportements de persévération, une expérience est réalisée avec des équipages en simulation dynamique pleine échelle.

9. Deuxième étude expérimentale : caractéristiques des communications verbales des équipages flexibles et persévérants

Introduction

La revue de littérature concernant les mécanismes collectifs des comportements de persévération nous a permis d'émettre l'hypothèse générale que ceux-ci sont liés à une faible part d'expression de divergences résultant d'une recherche rapide de consensus entre les membres du groupe. Les études portant sur des tâches de décisions de groupe en laboratoire ont montré que cette recherche de consensus se traduisait, pour les groupes persévérants par rapport aux groupes flexibles, par :

- une plus faible part d'échanges d'informations,
- une plus faible part de propositions de solutions alternatives et
- une plus faible part d'expression de pensées et notamment de désaccords.

A notre connaissance, aucune étude n'a porté sur l'implication de cette dimension collective dans la survenue de comportements de persévération lors d'activités de conduites de systèmes dynamiques à risques. Or, l'analyse de rapports d'accident aérien (*cf.* chapitre 7) montre qu'elle pourrait jouer un rôle particulièrement important sur les comportements de persévération.

L'objectif principal de cette expérience vise à déterminer les caractéristiques des interactions verbales qui différencient les équipages flexibles des équipages persévérants, à travers l'analyse des communications verbales échangées, lors de la gestion d'événements inattendus à risques.

Nous postulons que les caractéristiques mises en évidence en tâche de laboratoire pourraient être observées, de manière similaire, lors de la conduite de systèmes dynamiques à risques. Aussi, nous nous attendons à ce que les interactions verbales au sein des équipes flexibles soient caractérisées par des discussions riches, au niveau de chaque membre du groupe, se traduisant par l'expression de divergences. A l'inverse, nous nous attendons à ce que les interactions verbales des équipes persévérantes soient caractérisées par une recherche de consensus, orientée vers l'avis du responsable du groupe, illustrée par l'expression de convergences. Dans le cadre de l'activité de pilotage, l'expression d'*acknowledgments* illustre tout à fait la recherche de convergences, puisqu'ils regroupent l'ensemble des messages dont

le but est d'accuser réception d'un message, de valider un message ou encore de donner son accord. Ces caractéristiques devraient être illustrées par la fréquence des messages verbaux échangés par chaque membre du groupe et par leur nature. Une première série d'hypothèses est émise quant à ces caractéristiques :

H1) *Lien entre la fréquence des messages verbaux et la performance* : la fréquence des messages verbaux émis par les équipages flexibles sera plus élevée que celle des messages émis par les équipages flexibles et notamment pour les membres de statut hiérarchique inférieur.

H2) *Lien entre la proportion des informations échangées, leur nature et la performance* :

H2a) La part d'informations échangées sera plus élevée pour les équipages flexibles que pour les équipages persévérants, et notamment pour les membres de statut hiérarchique inférieur.

H2b) Les équipages flexibles échangeront plus d'informations concernant la nature du problème rencontré que les équipages persévérants.

H3) *Lien entre la proportion de propositions de solutions et la performance* : la fréquence de proposition de solutions sera plus élevée pour les équipages flexibles que pour les équipages persévérants, et notamment pour les membres de statut hiérarchique inférieur.

H4) *Lien entre la proportion des pensées exprimées, leur nature et la performance* :

H4a) La part d'expression de pensées sera plus élevée pour les équipages flexibles que pour les équipages persévérants, et notamment pour les membres de statut hiérarchique inférieur.

H4b) Les équipages flexibles exprimeront plus de pensées relatives à la nature du problème rencontré.

H4c) Les équipages flexibles exprimeront plus de désaccords que les équipages persévérants.

H5) *Lien entre la proportion d'acknowledgment et la performance* : les équipages persévérants exprimeront plus d'*acknowledgments* que les équipages flexibles.

Plus récemment, les études portant sur l'impact de l'expression d'arguments, pour justifier les points de vue des différents membres d'une équipe de travail, ont montré que cette caractéristique des échanges verbaux améliorerait la performance. De plus, l'expression d'arguments se rapporte à l'activation d'un mode de pensée de contrôlée caractérisé par un processus d'interprétation de la situation. Comme nous postulons que le mode de pensée contrôlé permet de récupérer la persévération, nous émettons la série d'hypothèses suivante :

H6) *Lien entre la proportion des arguments, leur nature et la performance :*

H6a) Les équipages persévérants exprimeront moins d'arguments pour justifier leur point de vue que les équipages flexibles.

Concernant la nature de ces arguments exprimés, nous nous attendons à ce qu'ils traduisent un mode de pensée automatique pour les équipages persévérants et un mode de pensée contrôlée pour les équipages flexibles :

H6b) La nature des arguments exprimés par les équipages persévérants seront plus fréquemment de l'ordre de l'application de procédures que les équipages flexibles.

H6c) La nature des arguments exprimés par les équipages flexibles seront plus fréquemment liés à la compréhension du problème rencontré.

Afin de vérifier l'ensemble de ces hypothèses, une simulation de vol pleine échelle est conçue afin de recueillir les interactions verbales entre les membres d'équipages ainsi que leurs performances lors de la gestion d'un événement inattendu entraînant une augmentation du niveau de risques.

9.1. Méthode

9.1.1. Simulation de vol

Afin d'observer l'activité collective des équipages qui soit le plus proche de l'activité réelle, la simulation de vol doit être dynamique et pleine échelle. Le caractère dynamique traduit le fait que l'état du système dépend en partie des réponses données par les opérateurs. Le caractère de pleine échelle traduit un niveau de fidélité élevé où toutes les interactions entre l'opérateur et le système peuvent être réalisées. Ces deux caractéristiques permettent d'obtenir une simulation très proche d'une situation de vol réel.

L'armée de l'air française dispose de quelques simulateurs de vol de ce type utilisable par des équipages collectifs : un simulateur de C-135 qui est l'avion ravitailleur de l'armée de l'air et un simulateur de C160, également appelé *Transall*, l'avion de transport tactique de l'armée de l'air. Pour des raisons de disponibilité des personnels navigants, c'est le simulateur de C160 qui a été utilisé pour cette étude. Ce simulateur de vol, conçu par *Thomson Training*, se situe sur la base aérienne 105 d'Evreux (des illustrations du simulateur sont fournies dans l'annexe 6).

9.1.2. Participants

Les personnels navigants participant à cette étude appartiennent à deux escadrons de la base aérienne 105 d'Evreux : l'escadron Anjou et l'escadron Béarn, tous deux spécialisés dans le transport tactique.

Trente personnels navigants ont été requis afin de constituer dix équipages de trois membres : le commandant de bord (CB) était pilote non en fonction, le copilote était le pilote en fonction et le mécanicien-navigant (MN).

La participation à cette expérience était basée sur la base du volontariat. Cependant, la disponibilité des pilotes étant restreinte, cette participation comptait également pour la validation de la session de simulation inclus dans la formation au *Crew Resource Management* (CRM). En effet, en complément de cours théoriques, des sessions en simulateur permettent aux équipages de mettre en pratique les concepts abordés lors des cours. Ces sessions sont appelées *Mission Oriented Simulator Training* (MOST) dans l'aéronautique militaire, équivalent des *Line Oriented Flight Training* dans l'aviation commerciale.

L'anonymat des participants a été assuré.

9.1.3. Scénario de vol

Le scénario de vol choisi pour cette étude est utilisé dans le cadre des MOST. L'avantage d'utiliser ces scénarii est qu'ils ont déjà été validés et testés auprès de nombreux équipages. L'inconvénient est qu'ils ne sont pas conçus pour confronter les équipages à des situations pouvant entraîner des comportements de persévération. Au contraire, l'objectif pédagogique étant de favoriser les interactions entre les membres d'équipage et de ne pas « juger » leurs performances, les situations rencontrées fournissent plusieurs choix d'actions possibles offrant à la fois des avantages et des inconvénients. Parmi les trois scénarii de vol conçus pour ces sessions, c'est celui qui se prêtait le mieux à l'observation de comportements de persévération qui a été choisi : le scénario « Alpes ».

Ce scénario consiste en un vol depuis Nancy à destination d'Ancona en Italie, en survolant les Alpes. Les équipages sont confrontés à quatre événements :

- la panne d'un cycleur. C'est une panne technique signalée par une alarme lumineuse associée à une check-list indiquant une action technique simple ;

- la panne de la *Command Instrument Rating* (CIR) 16 nautiques avant l'arrivée à un point critique interdisant tout demi-tour ultérieur. Cet instrument électronique permet l'accès aux moyens de navigation automatiques (indicateurs des positions de l'appareil et des différentes balises) et permet également l'accès aux communications radio (liaison avec les contrôleurs aériens et accès aux mises à jour des conditions météorologiques). L'équipage est alors confronté à 2 pannes simultanées : celle des communications radios et celle des moyens de navigation. Chacune de ces deux pannes est associée seule à une check-list spécifique mais aucune check-list n'est associée à la panne réelle de la CIR. Le diagnostic de la panne de la CIR est donc difficile à réaliser, puisque l'équipage doit comprendre, sans l'aide de check-list, que la simultanéité de ces deux pannes ne peut être due qu'à une perte de la CIR. Une fois la nature de la panne identifiée, une seule action permet de récupérer la panne : éteindre et rallumer la CIR, appelé également « *reset CIR* ». Cette action permet de récupérer les moyens de navigation. Par contre, la perte des communications radio persiste jusqu'à la fin du vol.

- l'approche du point critique. Ce point est calculé lors des survols de relief. Le passage de ce point implique qu'il devient interdit d'effectuer un demi-tour. Confronté à des pannes, l'équipage doit alors décider s'il poursuit le vol en Italie ou réaliser un demi-tour vers la France.

- la surchauffe du moteur gauche. Cette panne survient quelques minutes après le passage du PC. Cette panne implique le déroutement vers le terrain adapté le plus proche. Cependant, la panne des communications radio empêche l'équipage de connaître les conditions météorologiques actuelles. Si l'équipage est proche de Turin, ce choix peut donner lieu à discussion, puisque les prévisions météorologiques fournies dans le dossier de vol indiquent des conditions dégradées sur cet aéroport. Le terrain pourrait donc ne pas être adapté pour un atterrissage d'urgence.

Parmi ces événements, deux peuvent donner lieu à des comportements de persévération : la gestion de la panne de la CIR et l'approche du point critique.

Lors de la survenue de la panne de la CIR, les stratégies de recherche de résolution de la panne peuvent traduire des comportements de persévération lorsque les équipages réitèrent l'application de solutions inefficaces. A l'opposé, les essais de solutions variées peuvent s'apparenter à des comportements flexibles.

9.1.4. Performance

La performance a été cotée pour les deux points de décision présentés ci-dessus.

- > 1^{er} point de décision : perte des communications radio et des moyens de navigation.
 - si l'équipage réitère l'application d'une ou plusieurs solutions inefficaces, sa performance de stratégie de résolution de problème est cotée comme « persévération » ;
 - si l'équipage essaye des solutions variées, sa performance est cotée comme « flexibilité ».
- > 2^{ème} point de décision : approche du point critique.
 - la décision de poursuivre le vol est cotée comme « persévération » ;
 - la décision de se dérouter vers la France est cotée comme « flexibilité ».

9.1.5. Analyse des communications

L'analyse des communications verbales est effectuée *a posteriori* à partir des retranscriptions des verbalisations enregistrées sur cassettes vidéo.

La perte des communications radio permet de délimiter le début du premier point de décision. L'annonce de l'approche du point critique délimite la fin du premier point de décision et le début du deuxième.

Chaque message verbal émis par un locuteur est décomposé en unités sémantiques, comme le propose Plat et Rogalski (2000), définies comme un segment de message d'un locuteur où les composants de la communication sont constants. Deux composants sont définis dans notre grille d'analyse.

Le premier est basé sur les trois fonctions de communications identifiées par Orasanu (1994) (i.e. le partage d'informations, l'initiation d'actions et le reflet des pensées), auxquelles ont été ajoutés l'argumentation et l'*acknowledgment*. L'argumentation correspond ici à la justification d'une pensée. Il nous a semblé pertinent de la différencier de l'expression de la pensée, car un point de vue argumenté peut avoir plus d'impact qu'un point de vue exprimé mais non justifié. L'*acknowledgment* nous a paru également intéressant à ajouter car le but est bien distinct des quatre fonctions précédentes : il s'agit de diminuer l'ambiguïté des messages verbaux par la répétition d'un message précédemment exprimé ou encore la confirmation de la compréhension d'un message. Enfin, la catégorie « autre » regroupe les unités sémantiques ne remplissant pas les fonctions précédentes. Il s'agit pour la plupart de messages à fonction phatique, telle que « alors » ou « bon », mais aussi des messages interrompus ne permettant d'identifier sa fonction.

Le deuxième composant est l'objet du message. Ces objets ont été définis après l'étude de plusieurs protocoles verbaux issus de simulations de vol d'équipages militaires de transport. Pour le partage des informations, l'objet peut concerner le problème rencontré, l'action ou la solution proposée et il peut également concerner la gestion du vol. L'objet des actions concerne directement la nature de l'action proposée. Les pensées peuvent correspondre à un point de vue sur la nature du problème, sur une action ou une solution proposée ou encore peut exprimer un désaccord. Enfin, les arguments peuvent porter sur la justification d'une assertion émise par le locuteur ou la justification d'un désaccord par rapport à l'assertion d'un autre opérateur.

La grille d'analyse des unités sémantiques est présentée dans le tableau 13.

Fonction	Objet	Exemple
Partage d'informations	Nature du problème	« On a une panne radio »
	Action proposée	« Ici, y a pas de déportée »
	Gestion du vol	« Pour l'équipage, prochain point critique dans une minute »
Initiation d'actions	Nature de l'action	« T'essayes de passer la page radio com derrière s'il te plaît »
Reflet des pensées	Nature du problème	« Ce qui m'inquiète un peu, c'est la panne radio en fait »
	Action proposée	« (on va faire un reset cir), ça te va ? »
	Désaccord	« non, c'est pas ça »
Argumentation	Assertion du locuteur	« (on va quand même leur faire le message) au cas où on est juste en panne de réception »
	Désaccord	« (attends), on va d'abord traiter la radio MN »
Acknowledgment	-	(MN : « non, y a pas de déportée »). CB : « Ah, y a pas de déportée »
Autre		« Alors »

Tableau 13. Grille d'analyse des unités sémantiques.

En plus de ces deux composants, la nature des arguments exprimés a été codée à partir de la catégorisation proposée par Darses (2006). Cet auteur identifie quatre catégories : le critère, qui renvoie à un paramètre particulier, la description de procédures ou de modes opératoires, la description du dispositif actuel qui permet de redéfinir le contexte et enfin la simulation mentale d'une solution possible. Cette catégorisation a été conçue à partir de la résolution de problèmes en conception. Dans l'activité de pilotage, il nous semble difficile de distinguer le critère de la procédure. En effet, les paramètres particuliers qui peuvent servir de référents aux opérateurs sont, dans l'activité de pilotage, issus des procédures. En effet, la majorité des décisions prises par les pilotes relèvent des procédures, ce qui n'est peut-être pas

le cas dans l'activité de conception. Aussi, les arguments relevant d'un critère particulier et ceux relevant d'une procédure ont été regroupés en une même catégorie. Trois natures d'arguments ont donc été codées dans notre analyse des communications (tableau 14) : le rappel d'une procédure ou d'un mode opératoire, le rappel du contexte et la simulation mentale.

Nature d'argument	Exemple
Rappel d'une procédure ou d'un mode opératoire	« (Attends on va), on va gérer la panne pour l'instant »
Rappel du contexte	« (j'ai quand même fait le message en blind pour) peut-être qu'ils nous entendent eux »
Simulation mentale	« (Vas-y) de toutes façons, ça peut pas être pire quoi »

Tableau 14. Catégorisation des natures d'arguments avec exemples.

L'identification de l'interlocuteur n'est pas prise en compte dans cette étude car tous les membres de l'équipage entendent chaque message émis grâce aux casques utilisés dans le cockpit. Aussi, même si un message est adressé nommément à un opérateur en particulier, les autres opérateurs l'entendent et peuvent traiter l'information, voire y répondre.

La catégorisation des messages verbaux est réalisée par consensus entre deux experts.

9.1.6. Procédure

La passation se déroule en 3 phases :

1) **La préparation collective du vol.** Chaque équipage reçoit un dossier de vol semblable à ceux de vol réel, leur informant de la nature de la mission à réaliser et indiquant des données concernant le vol ainsi que les données météorologiques des terrains se trouvant à proximité du trajet. Les équipages disposent de deux heures pour étudier le dossier de vol.

2) **La simulation de vol** d'une durée totale approximative d'1 heure 30. Une caméra vidéo filme l'équipage de dos afin de préserver l'anonymat. C'est par cet enregistrement que sont retranscrites par la suite toutes les verbalisations. Un moniteur de simulateur est présent dans l'habitacle. Il programme le plan de vol et déclenche les différents événements ponctuant le scénario. Il joue également le rôle du contrôleur aérien. L'expérimentateur est présent afin d'observer les actions effectuées par les membres de l'équipage et de comprendre plus finement les aspects techniques de la progression du vol grâce aux observations expertes du moniteur. La figure 21 représente la disposition des différents acteurs dans l'habitacle du simulateur.

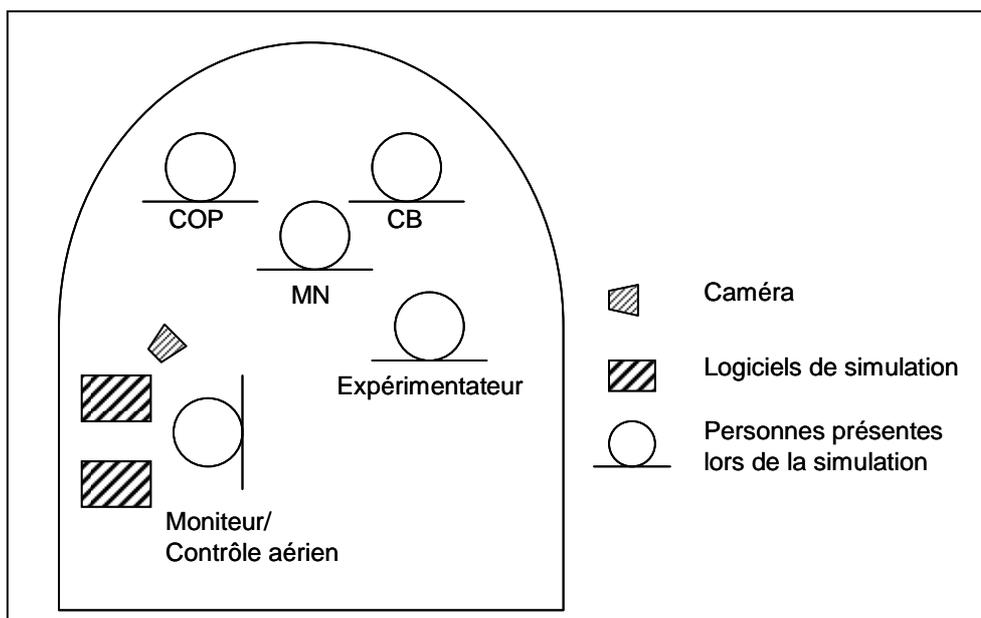


Figure 21. Représentation du dispositif d'observation lors de la simulation de vol.

3) La réalisation d'un **entretien individuel** par l'expérimentateur avec chaque membre d'équipage afin de verbaliser le vécu de la séance et d'explicitier les difficultés rencontrées. Cet entretien dure entre 30 minutes et 1 heure.

La totalité de la procédure expérimentale dure environ 5h 30 pour chaque équipage.

9.2. Résultats

Dix équipages de trois membres (29 hommes et 1 femme) ont participé à cette étude. Ces personnels navigants sont âgés de 24 à 36 ans ($M = 29,6$ ans $\pm 3,5$) et leur niveau d'expérience varie de 450 à 3900 heures de vol ($M = 1761$ h ± 1034) (Annexe 7).

Les 10 équipages confrontés au premier point de décision ont exprimé 526 messages verbaux, avec en moyenne 53 messages (± 28) exprimés par équipage.

Parmi ces équipages, cinq ont trouvé la solution pour résoudre la panne de la CIR avant l'annonce du point critique : les équipages E1, E2, E4, E7 et E8. L'approche du point critique ne posait donc pas de problème particulier pour ces équipages, puisque la procédure en cas de panne seule des communications radio est de poursuivre le vol conformément au plan de vol. Aussi, la comparaison entre équipages flexibles et persévérants à l'approche du point critique n'a été réalisée qu'avec les cinq autres équipages ayant à gérer à la fois la panne des communications radio et la panne des moyens de navigation : les équipages E3, E5, E6, E9 et E10. Lors de ce deuxième point de décision, 214 messages ont été exprimés depuis

l'annonce de l'approche du point critique jusqu'à la décision de poursuite du vol ou de déroutement. En moyenne, 43 messages verbaux (± 23) ont été exprimés par équipage.

9.2.1. Description des performances

Lors du premier point de décision, les équipages sont confrontés à deux pannes simultanées (les communications radio et les moyens de navigation) dues à la défaillance d'un troisième instrument (la CIR). L'annexe 10 présente la liste des solutions proposées par les 10 équipages.

Six équipages sur dix ont proposé des solutions variées, proposant de nouvelles solutions à chaque échec d'une solution précédente : ces équipages ont été qualifiés de flexibles. Ce sont les équipages E1, E2, E3, E5, E8 et E10.

Quatre équipages ont répété à une ou plusieurs reprises une même solution inefficace : ils ont été qualifiés de persévérants. L'équipage E4 reprend ainsi deux fois la check-list « panne radio com » en répétant les mêmes items qui ont précédemment été désignés comme ne correspondant pas à la situation rencontrée. L'équipage E6 essaye à deux reprises d'utiliser la radio du copilote qui ne fonctionne plus et propose deux fois d'utiliser la radio déportée qui ne fonctionne plus. Nous pouvons également remarquer que la solution « reset CIR » est proposée une fois par le CB sans être appliquée, puis une seconde fois par le copilote suivi d'un désaccord de la part du CB. L'équipage E7 se montre également persévérant dans ses stratégies de recherche de solution puisqu'il propose à trois reprises d'utiliser les radios du copilote et du CB alors que celles-ci ne fonctionnent plus et la check-list « panne radio com » est appliquée deux fois. Enfin, l'équipage E9 se révèle persévérant par l'utilisation à deux reprises des radios du copilote et du CB.

L'analyse montre que la persévération dans les stratégies de recherche de solution n'est pas directement liée à l'échec dans la résolution de la panne, puisque 2 équipages sur les 4 ont trouvé la solution du « reset CIR » au moment de l'approche du point critique. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que la persévération est désignée ici par la réitération d'une ou plusieurs solutions inefficaces, ce qui n'empêche pas les équipages de proposer également de nouvelles solutions.

Sur l'ensemble des 10 équipages, l'analyse montre que les CB proposent des solutions plus fréquemment que les copilotes et les MN par rapport à une distribution égale entre les trois locuteurs ($p < .001$) : plus de la moitié des solutions sont proposées par les CB (54 %) contre 24 % et 21 % proposées respectivement par les copilotes et les MN. Cette répartition

ne diffère pas significativement en fonction de la performance des équipages [$\chi^2(2) = 0,37$; $p = ns$; V de Cramer = .06].

Lors du deuxième point de décision, les 5 équipages toujours confrontés aux pannes doivent également prendre une décision quant à la poursuite ou non du vol, décision liée à l'approche du point critique qui interdit tout demi-tour ultérieur. Parmi ces 5 équipages, 2 décident de se dérouter, se montrant ainsi flexibles, et 3 de poursuivre le vol, révélant un comportement de persévération.

Parmi les 5 autres équipages ayant déjà résolu la panne grâce à l'application du « reset CIR », 4 décident de poursuivre le vol, conformément à la procédure en cas de panne des communications radio. Seul un équipage décide de faire demi-tour, justifiant sa décision par la facilité logistique d'une réparation de l'appareil en France plutôt qu'à l'étranger.

Les performances des équipages réalisées aux deux points de décision sont synthétisées dans la figure 22.

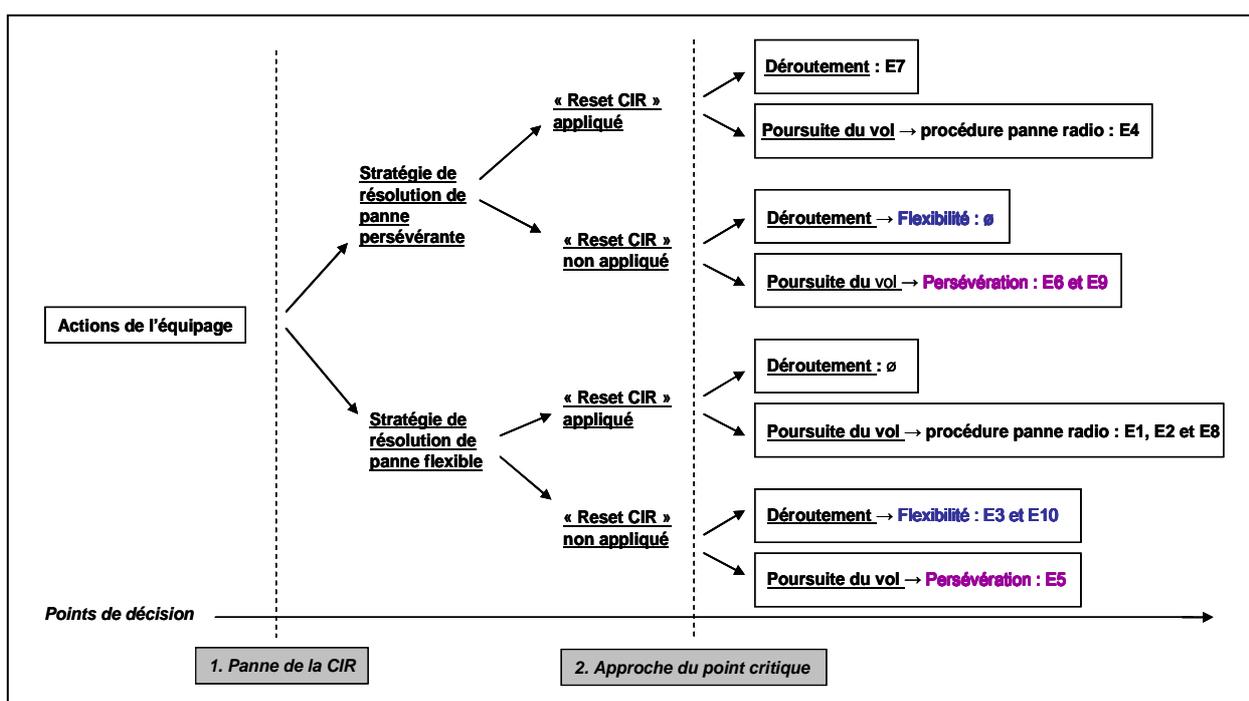


Figure 22. Synthèse des performances réalisées par les équipages aux deux points de décision.

L'analyse des interactions verbales en fonction de la performance est présentée dans les paragraphes suivants. Ces variables étant toutes des variables dépendantes, nous n'avons pas réalisé d'analyses de variance mais avons opté pour la réalisation de tests de χ^2 .

9.2.2. Fréquence des messages verbaux

Afin de vérifier la première hypothèse qui postule que les équipages persévérants, et notamment les membres de statut hiérarchique inférieur, expriment moins de messages verbaux que les équipages flexibles, un test de χ^2 est réalisé sur la répartition du nombre de messages verbaux exprimés en fonction de la performance et du statut des locuteurs. Afin de comparer les nombres sur une même durée, le nombre de messages des équipages persévérants est rapporté au temps de décision des équipages flexibles qui était plus court (le temps de décision total des équipages persévérants était de 939s et le temps de décision total des équipages flexibles était de 732s). Ainsi, les nombres de messages exprimés par les membres des équipages flexibles sont ceux réellement observés tandis que ceux exprimés par les membres des équipages persévérants ont été modifiés pour les rapporter à 732s au lieu de 939s. Le tableau 15 présente les données obtenues lors du premier point de décision.

	<i>Statut des locuteurs</i>			
<i>Performance</i>	CB	COP	MN	Total
Equipages persévérants	116	59	71	246 (54 %)
Equipages flexibles	105	38	67	210 (46 %)
Total	221 (49 %)	97 (21 %)	138 (30 %)	456 (100 %)

Tableau 15. Répartition du nombre de messages verbaux, rapporté à une même durée, en fonction de la performance des équipages et du statut des locuteurs lors du 1^{er} point de décision.

L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative [$\chi^2(2) = 2,38$; $p = ns$; V de Cramer = .07]. Le nombre de messages est presque également réparti entre les équipages flexibles (54 %) et les persévérants (46 %). Le regroupement des équipages persévérants et flexibles montre toutefois une répartition significativement différente en fonction du statut du locuteur par rapport à une répartition théorique égale [$p(\chi^2) < .0001$] : la moitié des messages est en effet exprimé par les CB contre 30 % pour les MN et 21 % pour les COP.

L'analyse du second point de décision concerne cinq équipages. A nouveau, le nombre de messages exprimés par les opérateurs des équipages persévérants a été rapporté au même temps de décision que celui des équipages flexibles (le temps de décision total des équipages persévérants était de 500s contre 132s pour les équipages flexibles). Le tableau 16 présente ces données.

	<i>Statut des locuteurs</i>			
<i>Performance</i>	CB	COP	MN	Total
Équipages persévérants	18	9	12	39 (37 %)
Équipages flexibles	40	17	10	67 (63 %)
Total	58 (55 %)	26 (24 %)	22 (21 %)	106 (100 %)

Tableau 16. Répartition du nombre de messages verbaux, rapporté à une même durée, en fonction de la performance des équipages et du statut des locuteurs lors du 2^d point de décision.

Bien que l'on observe une petite taille d'effet, l'analyse statistique ne révèle pas de différence significative [$\chi^2(2) = 3,86$; $p = ns$; V de Cramer = .19]. On peut remarquer qu'environ deux tiers des messages verbaux sont exprimés par les équipages flexibles contre un tiers seulement par les équipages persévérants. En revanche, la répartition en fonction du statut des locuteurs est semblable à celle observée lors du 1^{er} point de décision avec plus de la moitié des messages verbaux exprimés par les CB. L'effet du statut du locuteur, par rapport à une répartition théorique égale, est à nouveau observé [$p(\chi^2) < .0001$].

L'hypothèse H1 n'est pas vérifiée.

Aucune différence significative n'est observée entre le nombre de messages verbaux exprimés par les équipages flexibles et ceux exprimés par les équipages persévérants. Seul un effet du statut du locuteur est observé, où les CB expriment plus de messages verbaux que les autres membres d'équipages, et ce, quelle que soit la performance de l'équipage.

9.2.3. Proportion des catégories de nature des messages verbaux

L'ensemble des messages verbaux exprimés par les membres d'équipage a été catégorisé en fonction de leur nature. La figure 23 présente la répartition, en pourcentage, du nombre de messages verbaux en fonction de cette catégorisation et en fonction de la performance des équipages, pour chacun des deux points de décision.

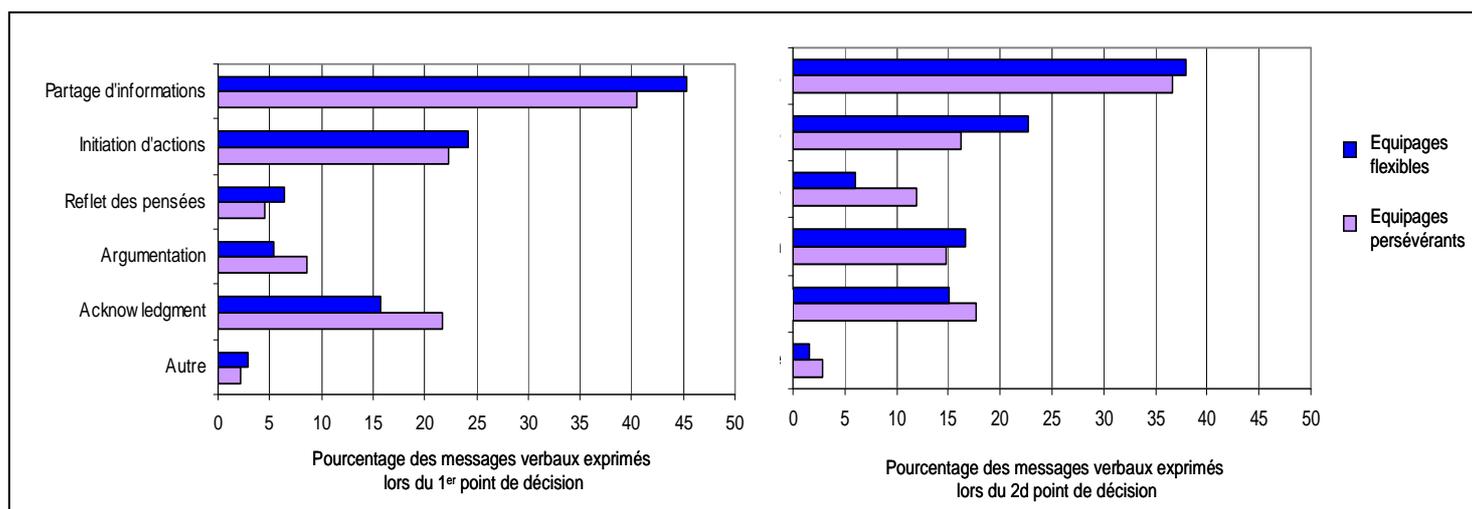


Figure 23. Répartition des messages verbaux en fonction de leur nature et de la performance des équipages au 1^{er} et au 2^d point de décision.

Afin de vérifier si la répartition globale des natures de messages verbaux diffère en fonction de la performance des équipages, un test de χ^2 est réalisé pour chaque point de décision. Pour le 2^d point de décision, la catégorie « autre » a été exclue de l'analyse en raison d'effectifs insuffisants. Les résultats ne montrent pas de différence significative, ni pour le 1^{er} point de décision [$\chi^2(5) = 5,93$; $p = ns$; V de Cramer = .11], ni pour le 2^d point de décision [$\chi^2(4) = 3,5$; $p = ns$; V de Cramer = .13].

De manière similaire, la répartition globale des natures de messages verbaux exprimés par les CB ne diffère pas significativement en fonction de la performance du groupe [$\chi^2(5) = 6,51$; $p_{\text{corrigé}} = ns$; V de Cramer = .16]. Le faible nombre de messages verbaux exprimés par les COP et les MN n'a pas permis de vérifier statistiquement la différence de répartition globale des natures des messages.

La proportion de chaque catégorie de nature a ensuite été comparée à celle des quatre autres regroupées ensemble, par un test de χ^2 , pour vérifier s'il existe un lien entre la nature des messages exprimés et la performance des équipages.

9.2.3.1. Partage d'informations

Le tableau 17 présente les données obtenues par le test de χ^2 , en comparant la proportion des messages relatifs à un partage d'informations en fonction de la performance des équipages et selon 4 niveaux d'analyse du locuteur : par équipage, par CB, par COP et par

MN. Pour l'analyse du 2^d point de décision, les nombres de messages exprimés par les COP et les MN ont été regroupés du fait d'effectifs insuffisants.

Niveau d'analyse des locuteurs	Analyse du 1 ^{er} point de décision						Analyse du 2 ^d point de décision					
	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)
Equipage	45	41	1.13	1	ns	.05	38	37	0.31	1	ns	.01
CB	35	33	0.11	1	ns	.02	31	32	0.03	1	ns	.02
COP	33	48	2.16	1	ns	.14	50	42	0.44	1	ns	.07
MN	68	48	5.71	1	<.05	.19						

Tableau 17. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre le pourcentage d'informations partagées selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages.

Les résultats ne révèlent pas de différence significative entre la proportion des messages relatifs au partage des informations des équipages flexibles, qui atteint 45 % et 38 % lors des deux points de décision, et celle des équipages persévérants qui est de 41 % et 37 %. Cependant, l'analyse réalisée par locuteur montre une différence significative pour les MN lors du 1^{er} point de décision : le partage d'informations caractérise 68 % de l'ensemble des messages exprimés par les MN flexibles contre 48 % par les MN persévérants. Aucun autre différence significative n'est observée pour les autres membres de l'équipage.

L'hypothèse H2a est en partie vérifiée.

La proportion des messages relatifs au partage d'informations, exprimés par les MN lors du 1^{er} point de décision, est plus élevée au sein des équipages flexibles qu'au sein des équipages persévérants. Aucune différence n'est observée au niveau de l'équipage ni au niveau des autres membres du groupe.

Afin de vérifier l'hypothèse H2b relative à la différence de nature des informations partagées par les équipages flexibles et persévérants, deux tests de χ^2 sont réalisés pour chacune des deux points de décision.

Lors du premier point de décision, 220 informations ont été partagées au sein des 10 équipages : 93 par les équipages flexibles et 127 par équipages persévérants. La nature de ces informations ne diffère pas significativement en fonction de la performance des équipages : la

confrontation à une panne technique en phase de croisière amène les équipages flexibles et persévérants à échanger des informations concernant aussi bien la nature du problème rencontré (elles représentent respectivement 51 % et 44 % de l'ensemble des informations) que les actions proposées (elles représentent respectivement 46 % et 56 %). Seuls les équipages flexibles échangent des informations concernant la gestion du vol, mais le nombre de messages (correspondant à 3 %) est trop faible pour généraliser cette différence.

Lors du second point de décision, 77 informations ont été partagées : 25 par les équipages flexibles et 52 par les équipages persévérants. La nature de ces informations diffère significativement en fonction de la performance de l'équipage [$\chi^2(2) = 8,97$; $p < .05$; V de Cramer = .34] (figure 24).

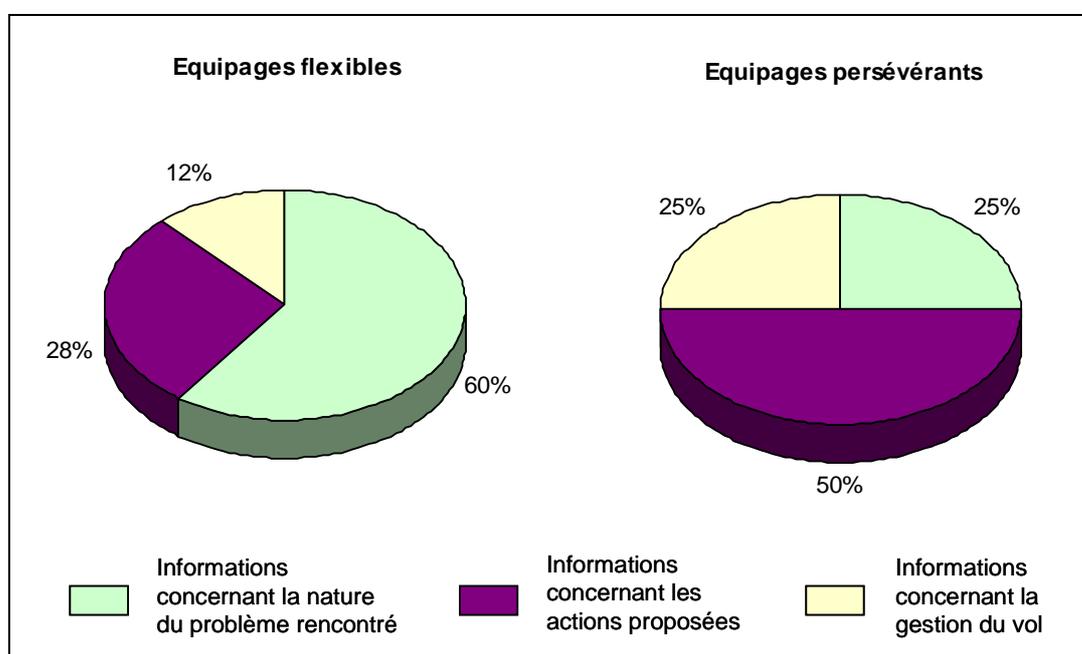


Figure 24. Répartition en pourcentage de la nature des informations partagées par les équipages flexibles et persévérants lors du 2^d point de décision.

Les résultats montrent que les équipages flexibles, qui ont décidé de se dérouter, ont partagé majoritairement des informations concernant la nature du problème rencontré, alors que les équipages persévérants, qui ont décidé de poursuivre le vol malgré les risques, ont majoritairement partagé des informations concernant les actions et solutions proposées. L'analyse révèle une différence significative quant à la part d'informations concernant la nature du problème rencontré [$\chi^2(1) = 8,94$; $p < .05$; $\Phi = .34$]. La différence de la part d'informations concernant les actions proposées est marginale [$\chi^2(1) = 3,34$; $p = .07$; $\Phi = .21$]. Enfin, la différence concernant la part d'informations sur la gestion du vol n'est pas significative [$\chi^2(1) = 1,73$; $p = ns$; $\Phi = .15$].

L'hypothèse H2b est en partie vérifiée

Les équipages flexibles échangent plus d'informations concernant la nature du problème rencontré que les équipages persévérants. Ce résultat n'a été observé que lors du 2^d point de décision.

9.2.3.2. Initiation d'actions

Le tableau 20 présente les résultats obtenus aux tests de χ^2 réalisés à différents niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) pour vérifier le lien entre la part d'initiations d'actions proposées et la performance des équipages.

Niveau d'analyse des locuteurs	Analyse du 1 ^{er} point de décision						Analyse du 2 ^d point de décision					
	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)
Equipage	24	21	0.22	1	ns	.02	23	16	1.29	1	ns	.08
CB	30	27	0.30	1	ns	.03	31	21	1.55	1	ns	.12
COP	36	25	1.58	1	ns	.12	11	14	0.00 ^a	1	ns	-
MN	9	14	0.74	1	ns	.07						

Tableau 18. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre la part d'initiations d'actions exprimées selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages.

^a : les valeurs du χ^2 sont obtenues après une correction de Yates du fait d'un faible effectif.

Les résultats ne montrent aucune différence significative de la part d'initiation d'actions selon la performance des équipages.

L'hypothèse H3 n'est pas vérifiée

La part de proposition d'actions ne diffère pas significativement en fonction de la performance des équipages. Aucune différence n'est observée ni au niveau des équipages, ni au niveau de chaque membre.

9.2.3.3. Reflet des pensées

Afin de vérifier un lien entre la part de messages reflétant des pensées et la performance des équipages, des tests de sont réalisés à 3 niveaux de locuteur : équipage, CB

et MN. La part de pensées exprimées par les COP était insuffisante pour réaliser un test statistique. Le tableau 21 présente l'ensemble des résultats obtenus.

Niveau d'analyse des locuteurs	Analyse du 1 ^{er} point de décision						Analyse du 2 ^d point de décision					
	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)
Equipage	6	4	0.93	1	ns	.04	6	12	1.73	1	ns	.09
CB	8	4	1.66	1	ns	.08	8	9	0.00 ^a	1	ns	
COP	-	-	-	-	-	-	4	15	1.34 ^a	1	ns	-
MN	6	8	0.02 ^a	1	ns	-						

Tableau 19. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre la part de reflets des pensées exprimés selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages.

^a : les valeurs du χ^2 sont obtenues après une correction de Yates du fait d'un faible effectif. Le signe «-» signale que l'analyse n'a pas pu être réalisée en raison d'un effectif insuffisant.

Les résultats montrent que la part de pensées exprimées au sein des équipages est faible puisque seuls 27 messages reflétant une pensée ont été exprimés par les 10 équipages lors du 1^{er} point de décision, soit 5 % de l'ensemble des messages verbaux. De manière similaire, lors du 2^d point de décision, 21 pensées ont été exprimées par les 5 équipages, ce qui représente 10 % de l'ensemble des messages exprimés. Pour les deux points de décision, l'analyse ne révèle aucune différence significative en fonction de la performance des équipages, que ce soit pour les messages exprimés par l'ensemble des équipages ou pour chacun des membres.

L'hypothèse H4a n'est pas vérifiée

La part de messages exprimant une pensée ne diffère pas significativement en fonction de la performance des équipages. Aucune différence n'est observée ni au niveau des équipages, ni au niveau de chaque membre.

Afin de vérifier les hypothèses H4b et H4c, relatives au lien entre la nature des pensées exprimées et la performance des équipages, deux tests de χ^2 sont réalisés pour chacune des deux points de décision.

La figure 25 présente les parts de pensées exprimées par les équipages flexibles et persévérants lors du 1^{er} point de décision.

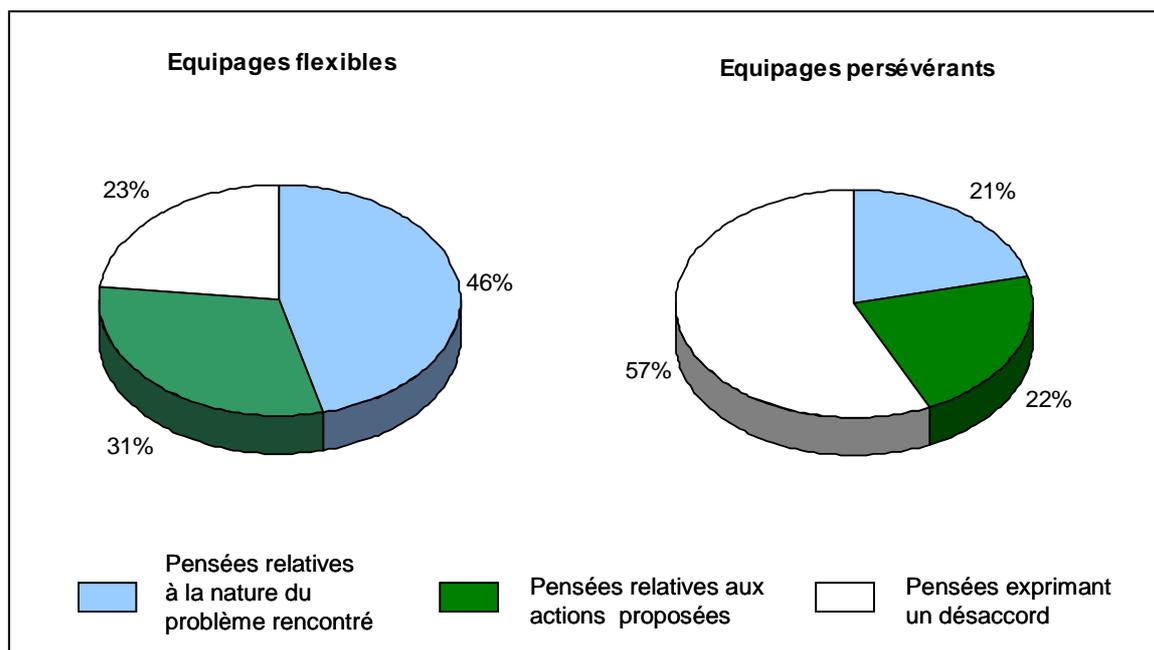


Figure 25. Répartition en pourcentage de la nature des pensées exprimées par les équipages flexibles et persévérants lors du 1^{er} point de décision.

Les résultats révèlent une différence marginale, mais dont la taille d'effet est relativement importante, entre les équipages flexibles et persévérants : les pensées exprimant un désaccord représentent la majorité des pensées exprimées par les équipages persévérants (57 %) alors qu'elles ne représentent que 23 % des pensées exprimées par les équipages flexibles [$\chi^2(1) = 3,24$; $p = .07$; $\Phi = .35$]. Les équipages flexibles expriment majoritairement des pensées relatives à la nature du problème rencontré (46 %) alors qu'elles ne représentent que 21 % des pensées exprimées par les équipages persévérants [$\chi^2_{\text{corrigé}}(1) = 0,94$; $p_{\text{corrigé}} = \text{ns}$]. Enfin, l'expression de pensées relatives aux actions proposées représente 31 % des messages des équipages flexibles et 21 % des messages des équipages persévérants [$\chi^2_{\text{corrigé}}(1) = 0,02$; $p_{\text{corrigé}} = \text{ns}$].

Le nombre de pensées exprimées lors du 2^d point de décision est insuffisant pour réaliser les analyses statistiques. Les observations montrent que 17 pensées sur les 21 ont été exprimées par les équipages persévérants contre seulement 4 par les équipages flexibles.

Les hypothèses H4b et H4c ne sont pas vérifiées

Bien que les équipages flexibles expriment plus de pensées relatives à la nature du problème que les équipages persévérants, cette différence n'est pas significative.

En revanche, les résultats montrent une différence significative par rapport à la part de désaccords exprimés, mais dans le sens contraire de celui attendu : les équipages persévérants expriment plus de désaccords que les équipages flexibles.

9.2.3.5. Acknowledgment

Les *acknowledgments* regroupent les messages exprimant la validation ou la bonne compréhension d'un message précédent. Ils peuvent traduire la recherche de consensus au sein du groupe. Afin de vérifier l'hypothèse H5 selon laquelle les équipages persévérants exprimeront plus d'*acknowledgments* que les équipages flexibles, deux tests de χ^2 sont réalisés, aux deux points de décision, à 4 niveau d'analyse des locuteurs : équipage, CB, COP et MN. Le tableau 20 présente l'ensemble des résultats obtenus.

Niveau d'analyse des locuteurs	Analyse du 1 ^{er} point de décision						Analyse du 2 ^d point de décision					
	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)
Equipage	16	22	2.80	1	ns	.07	15	18	0.19	1	ns	.03
CB	14	22	2.87	1	.09	.11	3	23	7.88	1	<.05	.27
COP	25	19	0.45	1	ns	.06	35	14	5.41	1	<.05	.23
MN	14	23	2.01	1	ns	.11						

Tableau 20. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre la part d'*acknowledgments* exprimés selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages.

Au niveau des messages exprimés par l'ensemble des équipages, aucune différence significative n'est observée. En revanche, des différences sont observées au niveau des messages exprimés par les CB lors des deux points de décision. Une différence marginalement significative est observée lors du 1^{er} point de décision où la part d'*acknowledgments* représente 14 % des messages exprimés par les CB des équipages flexibles contre 22 % de ceux des équipages persévérants [$\chi^2(1) = 2,87$; $p = .09$; $\Phi = .11$]. Lors du 2^d point de décision, la différence est significative : les CB des équipages persévérants expriment plus d'*acknowledgments*, avec 23 % des messages, que les CB des équipages flexibles, avec 3 % des messages. Pour les membres de statut hiérarchique

inférieur, une différence significative est observée lors du 2^d point de décision : les COP et MN des équipages flexibles expriment plus d'*acknowledgments*, avec 35 % des messages, que ceux des équipages persévérants, avec 14 % des messages.

L'hypothèse H5 est en partie vérifiée

La part d'*acknowledgments* ne diffère pas significativement en fonction de la performance, lorsque l'analyse est effectuée sur l'ensemble des équipages, mais elle diffère lorsque l'analyse est effectuée au niveau des messages exprimés par les CB : les CB des équipages persévérants expriment plus d'*acknowledgments* que les CB des équipages flexibles. En revanche, une différence significative est observée dans le sens inverse pour les COP et MN.

9.2.3.6. Argumentation

Afin de vérifier le lien entre la part d'arguments exprimés par les membres d'équipages et leur performance des tests de χ^2 ont été réalisés. Cependant, seuls 5 arguments ont été exprimés par les COP lors du 1^{er} point de décision et 6 lors du 2^d point de décision. Les analyses n'ont donc pu être effectuées à leur niveau. Le tableau 21 présente les résultats obtenus.

Niveau d'analyse des locuteurs	Analyse du 1 ^{er} point de décision						Analyse du 2 ^d point de décision					
	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)	Flex.	Pers.	χ^2	dl	p	Taille d'effet (Phi)
Equipage	5	9	1.86	1	ns	.06	17	15	0.12	1	ns	.02
CB	8	12	0.88	1	ns	.06	28	15	2.49	1	ns	.15
COP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MN	3	7	0.46 ^a	1	ns	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 21. Résultats des tests de χ^2 effectués pour vérifier le lien entre la part d'arguments exprimés selon 4 niveaux d'analyse des locuteurs (équipage, CB, COP et MN) et la performance des équipages.

^a : les valeurs du χ^2 sont obtenues après une correction de Yates du fait d'un faible effectif. Le signe «-» signale que l'analyse n'a pas pu être réalisée en raison d'un effectif insuffisant.

Les résultats ne montrent aucune différence significative quant à la part d'arguments exprimés entre les équipages flexibles et persévérants. Seule une différence de petite taille (Phi = .15), mais non significative, est observée entre les CB : les CB des équipages flexibles

expriment plus d'arguments que ceux des équipages persévérants, avec respectivement 28 % et 15 % de l'ensemble des messages verbaux.

L'hypothèse H6a n'est pas vérifiée

Une différence de petite taille d'effet ($\phi=.15$) est observée au niveau des CB, mais n'est pas significative : lors du 2^d point de décision, les CB des équipages flexibles expriment plus d'arguments que les CB des équipages persévérants. Aucune différence n'est observée lors du 1^{er} point de décision.

Les arguments exprimés ont été catégorisés selon trois natures : le rappel à la procédure ou au mode opératoire, le rappel du contexte de la situation et la simulation mentale. Le faible nombre d'arguments exprimés lors de chaque point de décision nous a conduits à les regrouper. Au total, 22 arguments ont été exprimés par les équipages flexibles et 48 par les équipages persévérants. La répartition par nature d'arguments en fonction de la performance des équipages est présentée dans la figure 26.

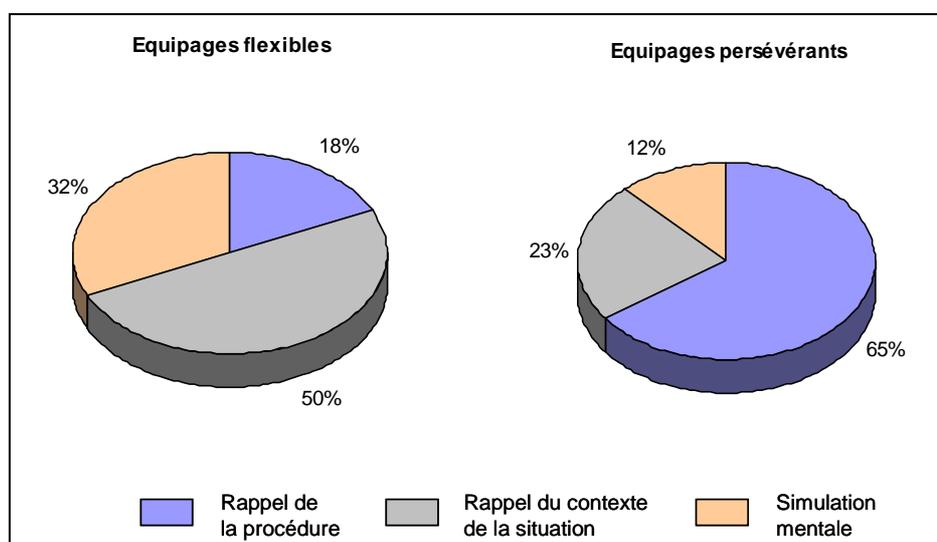


Figure 26. Répartition en pourcentage de la nature des arguments exprimés par les équipages flexibles et persévérants lors des deux points de décision.

La répartition des natures d'arguments exprimés par les équipages flexibles et persévérants diffère significativement. Les équipages persévérants argumentent plus fréquemment leurs points de vue par le rappel de la procédure que les équipages flexibles [$\chi^2(1) = 12,99$; $p < .001$; $\Phi = .43$]. Cette forme est utilisée pour 65 % des arguments exprimés par les équipages persévérants contre 18 % des arguments exprimés par les

équipages flexibles. Les équipages flexibles ont recours plus fréquemment au rappel du contexte pour justifier leur point de vue que les équipages persévérants [$\chi^2(1) = 5,13$; $p < .05$; $\Phi = .27$] avec respectivement 50 % des arguments et 23 % des arguments. Enfin, l'utilisation de la simulation mentale ne diffère pas significativement en fonction de la performance [$\chi^2_{\text{corrigé}}(1) = 2,55$; $p_{\text{corrigé}} = .11$] : elle représente 32 % des arguments exprimés par les équipages flexibles et 12 % des équipages persévérants.

Les hypothèses H6b et H6c sont vérifiées

La nature des arguments diffère en fonction de la performance des équipages : les équipages flexibles sont caractérisés par l'utilisation d'arguments basés sur le rappel du contexte de la situation liés à la compréhension du problème rencontré tandis que les équipages persévérants sont caractérisés par l'utilisation d'arguments basés sur le recours aux procédures.

9.3. Discussion

L'objectif de cette expérience était de déterminer les caractéristiques des communications verbales des équipages flexibles et persévérants à partir d'une simulation de vol pleine échelle. Les communications de 10 équipages ont été analysées lors de deux points de décision. Les résultats ont montré quelques différences entre équipages flexibles et persévérants mais plusieurs hypothèses n'ont pas pu être vérifiées.

Tout d'abord, la part d'expression de pensées est faible et ne semble pas différer selon la performance de l'équipage : elle représente 6 % de l'ensemble des messages exprimés par les équipages flexibles et elle varie de 4 % à 12 % pour les équipages persévérants. L'absence d'une différence significative peut être expliquée par le faible pourcentage observé. Cependant, l'objet de ces points de vue diffère en fonction de la performance : 57 % des pensées exprimées par les équipages persévérants expriment un désaccord contre seulement 23 % des pensées exprimées par les équipages flexibles. Bien que cette différence soit marginale ($p = .07$), la taille d'effet de 0.35 est importante. Ce résultat va à l'encontre de l'hypothèse selon laquelle les équipages flexibles seraient caractérisés par une plus forte propension à l'expression de pensées, et en particulier de désaccords, que les équipages persévérants. Un résultat similaire a cependant été observé lors d'une autre simulation de vol (Mjøs, 2001), où le nombre de désaccords exprimés était corrélé avec le nombre d'erreurs commises. L'auteur expliquait ce résultat par le fait que les désaccords résultaient directement de la prise de position vis-à-vis de la faible performance. Dans une autre étude, aucune différence n'était observée en fonction de la performance des équipes du fait du faible nombre

de désaccords exprimés (Fisher et al., 2007). Les résultats obtenus ici montre que dans l'activité de pilotage, d'une part, des désaccords peuvent être plus souvent exprimés lorsque l'équipage persévère, ce qui va à l'encontre de l'hypothèse d'une recherche rapide de consensus à l'origine de la persévération, et que d'autre part, exprimer des divergences ne semblent pas améliorer la performance finale.

De même, la part d'argumentation exprimée ne diffère pas significativement en fonction de la performance : elle varie de 5 % à 17 % entre les deux points de décision pour les équipages flexibles et de 7 % à 15 % pour les équipages persévérants. Une différence non significative mais présentant une petite taille d'effet ($\Phi = .15$) est toutefois observée lors du deuxième point de décision, entre la part d'argumentation des CB appartenant aux équipages flexibles et celle des CB appartenant aux équipages persévérants, avec respectivement 28 % et 15 % de l'ensemble des messages verbaux exprimés. Ce résultat va dans le sens de notre hypothèse. Justifier son point de vue semble permettre aux CB de prendre des décisions plus flexibles. De plus, les résultats montrent que la nature des arguments exprimés diffère en fonction de la performance. Les équipages flexibles justifient plus souvent leurs points de vue par le rappel du contexte tandis que les équipages persévérants justifient plus souvent leurs points de vue par le rappel de la procédure et des modes opératoires. Les différences de nature des informations échangées semblent aller dans le même sens puisque les équipages flexibles partagent plus d'informations concernant la nature du problème rencontré sur les équipages persévérants, tandis que ceux-ci partagent plus d'informations concernant les solutions proposées que les équipages flexibles. Ces résultats éclairent les processus de décision liés à la flexibilité et à la persévération. Les équipages qui décident de se dérouter interagissent plus souvent autour de la nature du problème rencontré tandis que les équipages qui décident de poursuivre le vol semblent plus concentrés sur l'application des procédures et la recherche de solutions.

Nos résultats montrent également un lien positif entre le nombre d'informations partagées et les décisions flexibles, ce qui va dans le sens du bénéfice du partage d'informations sur la construction d'une représentation partagée de la situation (Karsenty, 2000; Lingard et al., 2004; Sexton & Helmreich, 2003; Silberstein & Dietrich, 2003). Ce résultat n'a été observé que lors du premier point de décision et concernant uniquement le nombre d'informations partagées par les MN. Ce résultat peut s'expliquer par la nature technique du problème rencontré, qui requérait donc les connaissances spécifiques du MN.

Dans le même sens, nos résultats montrent que, lors du deuxième point de décision, les copilotes et MN des équipages flexibles expriment plus d'*acknowledgments* que ceux des

équipages persévérants. Les *acknowledgments*, par leur fonction de diminution de l'ambiguïté des messages verbaux, participent également à la construction d'une représentation partagée.

Finalement, cette expérience a permis de mettre en évidence certaines caractéristiques qui différencient les communications verbales des équipages flexibles des équipages persévérants. Les CB des équipages flexibles semblent argumenter leurs points de vue plus souvent que les CB des équipages persévérants et, de manière globale, les arguments utilisés par les équipages flexibles se rapportent plus souvent au rappel du contexte alors que ceux des équipages persévérants se rapportent plus souvent au rappel des procédures. Dans le même sens, les équipages flexibles partagent plus d'informations concernant la nature du problème que les persévérants tandis que ceux-ci partagent plus d'informations concernant les solutions proposées. Ces résultats mettent en évidence que les interactions des équipages flexibles concernent plus la nature du problème rencontré tandis que les interactions des équipages persévérants concernent plus les procédures et les actions possibles.

Cependant, à l'encontre de nos hypothèses, les équipages persévérants expriment plus de désaccords que les équipages flexibles, ce qui montre que dans l'activité de pilotage, des désaccords peuvent être exprimés lorsque les décisions prises engendrent des risques, mais que ces désaccords ne semblent pas avoir d'impact sur la performance finale.

Cette expérience présente toutefois certaines limites. D'abord, le faible effectif d'équipages n'a pas permis de réaliser toutes les comparaisons prévues. De plus, tous les points de décision du scénario de vol n'ont pas pu être utilisés puisqu'ils ne permettaient pas d'observer des comportements de persévération. Cet inconvénient a empêché d'analyser un enchaînement plus conséquent des décisions prises par les équipages. Aussi, la récupération de décisions de persévération n'a pas pu être observée lors de cette expérience.

Conclusion

Cette expérience montre que les décisions de persévération se différencient des décisions flexibles au niveau de la nature des messages verbaux échangés. La justification des points de vue et les interactions autour du problème rencontré semblent jouer un rôle important au sein des équipages flexibles. Les équipages persévérants sont, pour leur part, caractérisés par des interactions autour des procédures et des solutions possibles. De plus, alors que l'expression de divergences a été montrée comme un facteur empêchant le biais de préférence, elle ne semble pas avoir d'impact sur la flexibilité dans l'activité de pilotage, puisqu'elle a été observée plus fréquemment lors des décisions de persévération.

**DISCUSSION GENERALE,
IMPLICATIONS PRATIQUES ET CONCLUSION**

10. Discussion générale

L'objectif principal de cette thèse a été d'identifier les mécanismes cognitifs à l'origine des comportements de persévération dans une activité de conduite de systèmes dynamiques à risques. Ces travaux se sont articulés en deux parties : une partie théorique visant à réaliser une revue de la littérature concernant l'étude des comportements de persévération dans divers champs disciplinaires et une partie expérimentale réalisée autour de l'activité de pilotage militaire.

Le choix du cadre théorique de la sécurité écologique (Amalberti, 2001) nous a permis d'émettre l'hypothèse de la nécessité d'une approche intégrative pour identifier les mécanismes à l'origine des comportements de persévération dans l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques. La persévération dans l'application d'un plan d'actions inadapté et à risques résulterait d'un « mode de pensée automatique » pouvant apparaître à trois niveaux du processus de prise de décision. Tout d'abord au niveau perceptif, la persévération proviendrait d'une focalisation attentionnelle empêchant la détection ou la prise en compte des informations indiquant un changement de la situation. Ensuite, au niveau du traitement des informations, la persévération découlerait d'un traitement automatique entraînant un diagnostic incorrect de la situation. Enfin, au niveau de l'établissement du compromis cognitif, la persévération résulterait d'une difficulté de l'opérateur à estimer les ressources nécessaires pour répondre aux exigences de la situation. L'activation d'un « mode de pensée contrôlé », nécessaire à l'adaptation à une nouvelle situation, serait rendue possible par la discussion d'avis divergents au sein du groupe. Ce type d'interactions faciliterait l'intégration des informations incohérentes et ainsi favoriserait la flexibilité et la récupération des comportements de persévération.

Afin de vérifier ces hypothèses, trois études ont été réalisées dans le domaine de l'aéronautique militaire : une analyse des traces de l'activité au travers de l'analyse de rapports d'accident aérien militaire, une analyse des processus de décision réalisée grâce à une simulation de vol statique et une analyse des interactions au sein des équipages grâce à une simulation de vol pleine échelle.

Les résultats obtenus seront discutés par rapport au modèle intégratif proposé et des recommandations ergonomiques seront émises à l'issue. Enfin, les perspectives concernant la poursuite de ces travaux de recherche seront proposées.

10.1. Implications du déséquilibre entre mode de pensée automatique et mode de pensée contrôlé dans les comportements de persévération

Les résultats de nos expériences ont permis de confirmer un lien entre les comportements de persévération et un mode de pensée « automatique », tel que mis en évidence dans les travaux issus de l'approche cognitive. Cependant, alors que cette approche décrit un déséquilibre entre deux grands modes de pensées, nous montrons qu'il est important de distinguer les différents processus cognitifs en jeu dans ce déséquilibre, lors de l'analyse de conduite de systèmes dynamiques à risques. Ainsi, nos travaux montrent que, conformément à nos hypothèses, les comportements de persévération découlent d'un mode de pensée automatique pouvant s'appliquer aux trois étapes du processus de décision.

L'analyse de rapports d'accident a révélé, en effet, que les décisions liées à un comportement de persévération découlent de trois mécanismes distincts : 1) l'opérateur ne détecte pas ou ne tient pas compte des informations cibles signalant que la situation a changé, 2) l'opérateur détecte que la situation a changé mais n'interprète pas correctement les informations cibles et 3) l'opérateur persévère dans son plan d'actions malgré une représentation correcte de la situation. Ces observations ont été confirmées par l'expérience 1 dont les résultats révèlent des différences significatives entre persévération et flexibilité dans le sens de persévérations caractérisées par un nombre faible d'informations cibles prises en compte dans les décisions, d'un nombre plus élevé de diagnostics incorrects et de l'utilisation plus importante du critère de décision lié au recours à la procédure.

Ces résultats confirment l'existence des trois mécanismes mis en évidence dans le cadre des études sur les erreurs de continuation de plan (PCE). Cependant, les travaux sur les PCE ont analysé ces mécanismes isolément les uns par rapport aux autres, sans proposer de vision globale des mécanismes en jeu. Or, l'analyse de rapports d'accident réalisée ici, qui repose sur la nature du traitement des informations cibles, a montré que ces trois mécanismes peuvent survenir de manière conjointe dans les traces de l'activité réelle. A notre connaissance, seuls Goh et Wiegmann (2001b) ont tenté de montrer l'implication des processus cognitifs en jeu dans les différentes étapes de décision, à travers le modèle de jugement de Jensen (1995). Cependant, l'expérience réalisée avec une simulation de vol, n'a pas permis de mettre en évidence de liens significatifs entre les PCE et chacune de ces étapes. Les choix méthodologiques pourraient expliquer ces résultats : il est sûrement plus difficile de mettre en évidence différents mécanismes de persévération avec un seul scénario de vol et, de

plus, certains questionnaires présentés aux participants ne renvoyaient pas directement à la session de simulation suivie par les pilotes.

De Keyser et Woods (1990) ont également proposé une approche globale pour expliquer les erreurs de fixation. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 3.2.1., la distinction entre trois types d'erreurs de fixation nous semble inappropriée. D'une part, le premier type d'erreur de fixation ne renvoie pas, selon nous, à un comportement de persévération puisque dans ce cas, l'opérateur met en place un nouveau plan d'actions dès qu'il se trouve face à un échec du plan d'action occurrent. Il s'agirait donc plutôt d'un comportement flexible, même si le plan d'action mis en place n'est pas adapté. Les auteurs distinguent ensuite deux types d'erreurs de fixation : le type 2 où l'opérateur persévère alors qu'il sait que sa stratégie est inefficace et le type 3 où il est persuadé que sa stratégie est efficace. Cependant, le mécanisme proposé à l'origine du type 2 renvoie au biais de confirmation qui caractérise plutôt des situations où les individus sont persuadés que leur action est correcte. Selon nous, dans tous les cas, l'opérateur persévérant est persuadé que son plan d'actions est efficace.

Par ailleurs, les mécanismes d'erreurs de fixation identifiés par de Keyser et Woods (*op.cit.*) semblent correspondre à des facteurs liés directement aux processus de décision, qui vont donc dans le sens des trois mécanismes proposés ici. Ainsi, la défaillance des processus attentionnels renvoie explicitement à la difficulté de détecter les changements de la situation. Les connaissances limitées de l'opérateur, les connaissances inertes ainsi que les stratégies d'évaluation de la situation sont des facteurs entravant l'élaboration d'un diagnostic correct de la situation. Enfin, les difficultés de formulation du problème décrites en rapport avec la difficulté de prioriser les buts entre sécurité et production, semble renvoyer à une défaillance du compromis cognitif, notamment lors du choix du plan d'actions approprié.

La mise en évidence de l'implication du mode de pensée automatique à trois niveaux de décision, impliquant trois processus cognitifs distincts, n'est pas contradictoire avec l'approche cognitive d'une distinction entre deux modes de pensée. En effet, tout d'abord, la distinction entre un mode de pensée productif et reproductif décrite par les théoriciens de la Gestalt repose sur la capacité de reformulation des données du problème et de reformulation des objectifs (Duncker, 1945), ce qui renvoie aux étapes de décision d'élaboration du diagnostic et de mise en place d'une solution.

Dans les travaux de neuropsychologie, la distinction de la flexibilité et de la persévération est réalisée par la mise en œuvre des fonctions exécutives qui regroupent, justement, différents processus cognitifs d'adaptation. Ceux mis en évidence dans la réussite

au test du WSCT (test d'évaluation de la persévération) sont : la déduction de règles, l'inhibition de réponses antérieurement correctes et devenues non pertinentes, l'évaluation de la performance, l'intégration de *feed-backs* et la flexibilité (Ridderinkhof et al., 2002). Le premier peut jouer un rôle dans l'interprétation des informations cibles. Dans la tâche de classement, il s'agit de déduire une nouvelle règle par rapport au changement de règle perçu. Dans une activité dynamique, cette déduction de règles devrait intervenir pour interpréter les informations cibles indiquant un changement de la situation, c'est-à-dire pour établir le diagnostic du problème rencontré. Le deuxième renvoie directement au mécanisme de recherche de solution qui exige l'inhibition de réponses antérieures devenues non pertinentes. La flexibilité, quant à elle, nous semble se refléter à tous les niveaux de la décision. En effet, elle est définie (Ridderinkhoff et al., 2002) comme une capacité à déplacer le focus attentionnel soit d'une classe de stimuli vers une autre, soit d'une classe de tâche à une autre ou soit d'une classe de réponse à une autre. Elle peut donc jouer un rôle sur la détection des changements, sur la capacité de diagnostic et lors de la recherche de solution. Enfin, comme les comportements de persévération peuvent durer dans le temps, leur récupération nécessite de pouvoir identifier que son plan d'actions est devenu inadapté, ce qui implique d'évaluer sa performance en intégrant les *feed-backs*.

De même, le Système Attentionnel Superviseur (SAS), décrit dans le modèle de contrôle attentionnel des actions de Norman et Shallice (1980, cité dans Shallice & Burgess, 1991) dont l'activation permet un traitement contrôlé des informations, tient plusieurs rôles (Shallice & Burgess, 1996) : l'analyse de la situation, la définition des buts, la création de schéma temporaire, l'exécution de l'action avec un contrôle direct et la vérification que les objectifs fixés ont été atteints. Ces différents processus se retrouvent également lors des différentes étapes de la prise de décision. L'analyse de la situation renvoie à la détection des changements et à leur interprétation et la définition des buts ainsi que la création de schéma temporaire renvoient à la mise en place d'une solution. Enfin, le contrôle de l'action mise en place et sa vérification par rapport aux objectifs fixés renvoient à la capacité de récupération de la persévération.

Enfin, un des intérêts de l'analyse des rapports d'accident est qu'elle a permis de mettre en évidence les proportions avec lesquelles surviennent ces trois mécanismes : dans plus de la moitié des décisions liées à un comportement de persévération, le mécanisme en jeu était celui d'une difficulté à estimer les ressources nécessaires pour gérer une situation correctement identifiée. Dans 26 % des cas, il s'agissait d'une interprétation incorrecte des

informations cibles et dans 20 % des cas, il s'agissait d'un défaut de détection du changement de la situation. Cette distinction est d'autant plus importante à prendre en compte que chacun de ces mécanismes découle de facteurs distincts. Ceux-ci, identifiés lors du travail d'enquête, ont révélé en fait la faiblesse de certaines barrières de défense mises en place par l'organisation. La mise en évidence de ces facteurs montre l'importance de ces barrières de défense dans la survenue de comportements de persévération. L'ergonomie des interfaces, dont le but est d'aider le pilote à obtenir rapidement une représentation correcte de la situation joue un rôle important, puisque ses défauts ont été le facteur le plus fréquemment identifié pour expliquer les défauts de détection du changement de la situation. Il s'agissait, en particulier, de la non perception d'alarmes visuelles. La préparation incomplète du vol est apparue comme le deuxième facteur, notamment pour les cas où des situations difficiles prévues par le plan de vol n'avaient pas été étudiées. Ce résultat confirme, si besoin en était, de l'importance d'une préparation complète du vol dans le sens où elle permet l'anticipation de plans d'actions adaptées, ce qui se révèle utile lorsque les décisions doivent être prises rapidement. Ensuite, le manque d'expérience et l'inadaptation des formations étaient les facteurs les plus fréquemment cités pour expliquer l'interprétation incorrecte des informations cibles. Ces facteurs révèlent le poids important de l'entraînement et de la qualité des formations mis en place par l'organisation. Enfin, la persévération survenant malgré une représentation de la situation correcte a été majoritairement expliquée par des facteurs liés aux compétences non techniques : l'excès de confiance envers l'équipage ou les performances de son appareil et le manque de synergie au sein du groupe. Ce résultat révèle l'importance des formations au *Crew Resource Management* (CRM) et met en évidence la nécessité d'une mise à jour de ces cours, notamment autour de ces deux thèmes.

Cependant, bien que nos travaux aient montré l'intérêt d'une distinction en fonction des étapes du processus de décision, les comportements de persévération résultent d'un même mécanisme : un déséquilibre entre deux modes de pensée où la persévération est liée à un mode de pensée automatique. Aussi, tous les comportements de persévération devraient dépendre de facteurs communs. La première étude expérimentale a permis de mettre en évidence l'impact du facteur de charge de travail sur les comportements de persévération.

10.2. Impact de la charge de travail sur la persévération

La première étude expérimentale a révélé une fréquence plus élevée de comportements de persévération lors des phases de vol liées à une charge de travail élevée, c'est-à-dire lors du décollage et de l'atterrissage. De plus, les résultats ont montré que lorsque la charge de travail est élevée :

- le nombre d'informations cibles prises en compte dans la décision est plus faible,
- le nombre de diagnostics incorrects est plus élevé,
- le nombre de critères de décision basés sur le recours aux procédures est plus élevé.

Des liens significatifs entre la persévération et ces trois variables ont également été observés. Ces résultats confirment que la charge de travail est bien un facteur commun à tous les comportements de persévération, quel que soit l'étape du processus de décision dans laquelle ils surviennent.

Ces résultats confortent ainsi l'hypothèse, issue du cadre théorique de la sécurité écologique, selon laquelle une charge de travail élevée conduit l'opérateur à devoir traiter un grand nombre d'informations de manière automatique et réduire la part d'informations pouvant être traitée de manière contrôlée. Cette situation est donc plus à même d'entraîner la survenue de comportements de persévération.

L'évaluation de la charge de travail au travers de la phase de vol nous a permis de nous positionner par rapport à l'hypothèse selon laquelle la persévération est due à une focalisation attentionnelle sur le but final (Richard, 2005). Cette hypothèse suggère que l'opérateur persévère parce qu'il est focalisé sur son but, et qu'ainsi, il ne traite pas les informations qui signalent une inadéquation du plan d'actions avec le but poursuivi. Selon Richard (*op.cit.*), cet effet serait d'autant plus marqué que le but à atteindre est proche. Dans l'activité de pilotage, cette hypothèse devrait s'illustrer par un effet de la phase de vol, dans le sens d'un plus grand nombre de comportements de persévération observés lors de la phase d'approche que lors de la phase de croisière et que lors de la phase de décollage. Or, nos résultats ont montré, au contraire, que les comportements de persévération sont observés plus fréquemment lors des phases de décollage et d'approche que lors de la phase de croisière, allant ainsi dans le sens, non pas d'un effet de la proximité du but mais bien dans le sens d'une charge de travail élevée. Il nous semble que dans une activité de conduite de systèmes dynamiques à risques, l'enjeu, en termes de risques, est tellement important que les comportements de persévération ne peuvent être simplement expliqués par la proximité du

but. En revanche, il est possible que l'existence d'une pression pour atteindre le but, telle qu'une pression organisationnelle ou économique, joue un rôle. C'est ce que suggère le rapport du BEA « Objectif : destination » (BEA, 1997) qui rapporte un certain nombre d'accidents lié à ce phénomène dans l'aviation générale. Cependant, il semble que dans ce cas il n'y ait pas forcément de focalisation attentionnelle, mais, comme le proposent Orasanu *et al.* (2002), ce phénomène peut entraîner un biais dans l'évaluation des ressources nécessaires pour répondre aux exigences de la situation. Dans ce cas, l'opérateur décide volontairement d'engager une action risquée. Cet effet a été montré lors d'une simulation de vol où une incitation financière augmentait le niveau de prise de risque lors d'atterrissages incertains (Causse *et al.*, 2010).

L'identification d'un facteur commun aux comportements de persévération est importante pour pouvoir anticiper les situations qui peuvent poser plus de difficultés aux opérateurs. Ce facteur de charge de travail permet également de déterminer des moyens d'aide que l'on peut proposer aux opérateurs. Ces travaux de thèse ont permis de s'orienter vers les formations relatives à la gestion collective des situations imprévues.

10.3. Rôle de l'argumentation exprimée au sein du groupe

L'hypothèse d'un déséquilibre entre un mode pensée « automatique » et un mode de pensée « contrôlé » pose la question de l'identification des éléments permettant une rééquilibration, c'est-à-dire permettant l'activation du mode de pensée contrôlé. Dans différents contextes, il ressort que cette activation serait liée à l'estimation, par l'opérateur, du caractère inapproprié de sa réponse. C'est le sentiment de justesse [en anglais « feeling of rightness » (Thompson, 09)], c'est la capacité d'évaluation de sa performance, identifiée en neuropsychologie (Ridderinkhof *et al.*, 2002), ou encore l'évaluation d'une performance satisfaisante mise en évidence dans le cadre théorique de la sécurité écologique (Amalberti, 2001).

A mesure que la situation évolue et que l'opérateur persévère dans un plan d'action inadapté et à risques, l'écart entre la situation attendue et la situation réelle s'amplifie. Réaliser que sa performance est inappropriée revient donc, pour l'opérateur, à identifier cet écart. La deuxième étude expérimentale a révélé que l'argumentation exprimée au sein du groupe peut jouer ce rôle. En effet, elle représentait près d'un tiers des messages verbaux exprimés par les commandants de bord des équipages flexibles contre 15 % pour les commandants de bord des équipages persévérants. Ce résultat montre que le rôle de l'argumentation est particulièrement important pour le responsable des décisions. C'est

l'expression de la justification de ses points de vue qui lui permettrait de prendre des décisions adaptées. De plus, nos résultats ont montré que cette justification doit porter sur l'explicitation du contexte de la situation, puisque cette nature d'argument caractérise les équipages flexibles tandis que l'argumentation des équipages persévérants porte sur le rappel des procédures. Expliciter son point de vue par rapport à sa représentation de la situation conduirait le preneur de décision à ajuster son compromis cognitif, en réévaluant les ressources nécessaires pour répondre aux exigences de la situation.

Par rapport au rôle des autres membres du groupe, la deuxième étude expérimentale a révélé le rôle prépondérant du transfert des informations. En revanche, l'expression de pensées et d'arguments a été très faiblement observée. Ce résultat ne nous a donc pas permis de nous positionner sur la question de l'influence de l'argumentation exprimée par les membres du groupe sur la décision prise par le responsable de la décision. Cependant, comme la justification de son propre point de vue joue un rôle sur la qualité de la décision du commandant de bord, nous pouvons supposer que l'intervention d'un autre membre du groupe l'incitant à exprimer cette argumentation devrait jouer un rôle de récupération de persévération.

Le rôle positif de l'argumentation observée dans cette expérience va ainsi dans le sens des résultats obtenus dans le cadre d'études en situation de travail (Karsenty, 2000 ; Darses, 2006). En revanche, les résultats concernant l'expression de désaccords au sein de l'équipage vont à l'encontre de ceux obtenus dans le cadre du *Groupthink* et du biais de préférence. Nos résultats ont montré que les équipages persévérants sont caractérisés par une plus grande part de désaccords exprimés que les équipages flexibles. Les équipages persévérants ne sont donc pas caractérisés, dans notre expérience, par la recherche prématurée d'un consensus. Au contraire, même si le nombre de pensées exprimées est faible, les membres d'équipages expriment plus de désaccords lorsque la décision n'est pas adaptée. Ce résultat montre que, dans cette activité complexe, l'expression d'avis divergents ne suffit pas à faire réaliser que le plan d'actions choisi n'est pas approprié, mais qu'il faut également verbaliser la justification de ses points de vue.

La proposition d'une aide aux opérateurs par la réorientation attentionnelle vers les informations cibles signalant un écart entre la situation attendue et la situation réelle (Clément, 2009 ; Dehais, 2004) semble pour nous insuffisante. En effet, nos résultats ont montré que la persévération peut survenir alors que les informations cibles ont été correctement interprétées. Dans ce cas, il s'agit d'une décision volontaire de prise de risques caractérisée par une estimation incorrecte des ressources nécessaires pour répondre aux

exigences de la situation. Aussi, la réorientation sur les informations cibles peut ne pas suffire. L'importance des interactions verbales dans cette situation a d'ailleurs été mise en évidence dans l'analyse de rapports d'accident où l'intervention d'un tiers a permis de récupérer 80 % de ce type de persévération. En revanche, la détection ou la transmission par un tiers d'une nouvelle information cible contribue à la récupération de la persévération résultant d'une représentation incorrecte de la situation.

L'ensemble de ces résultats a permis de mettre en relief les mécanismes généraux de la persévération dans l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques.

10.4 Comprendre la persévération dans le cadre d'une sécurité écologique

Les travaux issus de cette thèse ont conforté l'hypothèse selon laquelle les comportements de persévération peuvent être appréhendés à travers le cadre de théorie de la sécurité écologique. La persévération ne peut pas être étudiée sans tenir compte du faisceau de facteurs qui interagissent au moment où la situation change et qui rendent le plan d'actions mis en place risqué et inadapté. Nos résultats ont en effet montré que la persévération survient plus fréquemment lorsque la charge de travail est élevée et que certaines barrières de défense mises en place par l'organisation présentent des faiblesses. La charge de travail, qui peut être très importante dans les situations complexes et dynamiques, conduit l'opérateur à devoir gérer certaines parties de la situation de manière automatique dans le but de préserver des ressources pour maintenir une maîtrise de la situation. Certaines informations issues de l'environnement de travail ne seront pas détectées ou traitées, le diagnostic des problèmes rencontrés sera réalisé de manière partielle ou encore l'estimation des ressources nécessaires pour répondre aux exigences de la situation ne sera pas réalisée de manière complète. Cependant, comme le montre le cadre théorique de la sécurité écologique (Amalberti, 2001), ces « défaillances » n'entraînent pas systématiquement des conséquences négatives quant à la maîtrise de la situation. Au contraire, les erreurs, tout comme certains comportements de persévération, peuvent être utiles à l'opérateur. Ainsi, l'avantage principal du mode de pensée automatique est qu'il permet à l'opérateur de dégager des ressources pour gérer d'autres parties de la situation. Or, nous avons vu, par exemple, que certains comportements de persévération étaient justifiés par une intention d'observer l'évolution de la situation. Dans ce cas, l'opérateur préfère attendre que le diagnostic soit plus saillant plutôt que d'engager des ressources pour élaborer un diagnostic qui pourrait lui faire perdre la maîtrise de la situation. Dans ce sens, l'analyse des rapports d'accident a également montré que les comportements de

persévération apparaissent en alternance avec des comportements de récupération de cette persévération. Parfois, cette récupération survient trop tardivement pour empêcher l'accident, et parfois, elle est observée lors d'incidents suggérant alors qu'un accident a peut-être été évité. La persévération n'est donc pas à éviter à tout prix, mais il faut plutôt s'attacher à favoriser sa récupération.

Le point central de l'étude de la persévération est, selon nous, la question du jugement par l'opérateur de la maîtrise de la situation, c'est-à-dire sa métaconnaissance. Il nous semble, en effet, que l'opérateur persévérant est persuadé que sa stratégie est adaptée et qu'il maîtrise la situation. Le danger survient lorsque l'opérateur ne se rend pas compte qu'il perd cette maîtrise de la situation. Comment faire prendre conscience alors à l'opérateur qu'il perd cette maîtrise ? A cette question, le cadre théorique de la sécurité écologique ne répond pas. Ces travaux de thèse permettent de proposer une piste de recherche concernant les interactions verbales et notamment l'explicitation des points de vue. Lorsque l'opérateur, responsable des décisions, explicite verbalement les actions qu'il propose en se référant au contexte de la situation, ses décisions sont plus flexibles. A travers le cadre de la sécurité écologique, ce résultat peut être expliqué comme un moyen pour l'opérateur de redéfinir sa représentation de la situation et notamment l'écart qu'il perçoit entre la situation attendue et la situation réelle. Nos résultats n'ont pas pu mettre en lumière l'impact de l'argumentation des autres membres du groupe du fait d'un trop faible nombre d'arguments exprimés, mais on peut émettre l'hypothèse que l'explicitation des autres points de vue contribuerait également à la redéfinition de la représentation de la situation et à modifier le jugement métacognitif du responsable des décisions. De plus, on peut supposer que l'expression d'arguments de la part des membres du groupe soulagerait la charge cognitive du responsable des décisions.

Cette vision globale des mécanismes de la persévération nous permet de proposer quelques pistes de recommandations de nature ergonomique.

11. Implications pratiques

L'un des objectifs de cette thèse était de répondre à une demande de l'Armée de l'air française concernant l'actualisation du contenu des cours *CRM* conçus à l'attention des personnels navigants et des pistes d'amélioration des grilles d'analyse des causes d'accidents aériens liées au facteur humain. Ces deux axes de recommandations sont présentés ci-dessous. D'autres recommandations relatives au renforcement de certaines barrières de défense sont également proposées.

11.1. Récupérer de la persévération par l'explicitation des points de vue

Comme l'a montré l'analyse de rapports d'accident, la survenue d'un événement imprévu induit un enchaînement de prises de décision où apparaissent de nombreuses opportunités de révision du plan d'actions. De plus, l'alternance entre comportements de persévération et récupérations montre qu'il est tout à fait possible de récupérer ce comportement. Le rôle du collectif est important dans la mesure où les co-équipiers peuvent transmettre une information cible qui n'a pas été détectée par le pilote ou proposer un plan d'actions qu'ils jugent pertinent. Ces deux types d'aide ont déjà été observés dans l'activité de pilotage militaire. Cependant, il nous semble que ce rôle devrait être renforcé par l'explicitation des points de vue. L'argumentation des copilotes et des mécaniciens-navigants a été très peu observée dans notre simulation pleine échelle. Même si cette faible proportion peut être expliquée par une volonté de ne pas augmenter la charge cognitive du commandant de bord, il nous semble que dans une situation où l'équipage perçoit une perte de la maîtrise de la situation, l'expression accompagnée d'une explicitation d'un point de vue divergent, pourrait, au contraire, soulager le commandant de bord d'une réflexion qu'il ne peut engager lui-même du fait d'une charge de travail élevée. Cependant, cette piste doit d'abord être vérifiée expérimentalement avant de la proposer lors de l'enseignement *CRM*. Dans ce sens, une étude récente a montré l'effet bénéfique d'une formation à la pensée critique sur les prises de décision en simulation de combat (Helsdingen et al., 2010).

La mise à jour de l'enseignement *CRM* au profit des personnels navigants d'aviation de chasse est actuellement en cours de conception. Elle prévoit une partie concernant la persévération dans le module « prise de décision ». Les travaux de cette thèse permettent de proposer la description du modèle théorique de la sécurité écologique ainsi qu'une description des étapes du processus de décision dans lesquelles intervient la persévération. Une discussion sur le rôle des différents acteurs du vol peut y être proposée avec un questionnaire sur l'expression et l'explicitation de points de vue divergents.

11.2. Identifier les enchaînements de décision dans l'analyse d'accidents

Actuellement, la formation des enquêteurs du BEAD-air contient peu de modules relatifs à l'analyse des causes humaines dans les accidents. Aussi, une convention a été passée entre le BEAD-air et l'IRBA dans un but de collaboration dans le processus d'enquête, l'IRBA étant chargée de l'expertise scientifique relative au facteur humain. La démarche méthodologique conçue au sein de l'IRBA (Vacher et al., 2009) consiste en un recueil d'observables correspondant aux actions réalisées ou non réalisées alors qu'elles auraient dû l'être. Pour chaque observable, des hypothèses concernant les mécanismes pouvant en être à l'origine sont formulées, qu'ils soient de l'ordre de la cognition, de la physiologie, de l'organisation ou autre. La robustesse de ces hypothèses est ensuite testée.

Lorsque des comportements de persévération semblent avoir joué un rôle dans la perte de maîtrise de la situation, nous recommandons alors d'identifier l'enchaînement des décisions, non pas à partir des actions réalisées ou non par l'équipage, mais à partir des opportunités de révision du plan d'action disponibles aux opérateurs. Le but est de déterminer à quelle étape du processus de décision sont survenus les comportements de persévération. En effet, il est important de distinguer si l'équipage a persévéré parce qu'il n'a pas détecté le changement de situation, parce qu'il n'a pas su l'interpréter ou s'il a bien identifié le problème mais a mal jugé les ressources nécessaires pour le gérer, car chacun de ces mécanismes peut être expliqué par des facteurs différents. Il est également important de replacer ce comportement dans son contexte en prenant en compte la charge de travail supporté par chaque opérateur lors des points de décision.

11.3. Renforcer les barrières de défense : la conception d'interfaces et l'entraînement des opérateurs

L'analyse des rapports d'accident a permis de mettre en avant certains facteurs spécifiques aux comportements de persévération. Ces facteurs sont relatifs aux barrières de défense mises en place par l'organisation et qui auraient pu favoriser l'évitement ou la récupération de la persévération. Il est important de rappeler ici leur importance pour la sécurité des vols.

Tout d'abord, l'ergonomie des interfaces mais aussi celle des procédures, comme les check-lists utilisées par les opérateurs, jouent un rôle important notamment pour faciliter la détection des informations cibles et pour déterminer rapidement les actions à mettre en place. Des efforts d'ergonomie sont donc indispensables à apporter à la conception des interfaces et des procédures. Ces difficultés rencontrées par les pilotes sont toujours d'actualité,

puisqu'elles apparaissent dans les accidents les plus récents survenus aux avions de dernière génération. La difficulté dans la conception des interfaces réside dans le choix de présentation des informations : toutes les informations doivent être accessibles par le pilote et, en même temps, les plus utiles pour gérer la situation au moment présent doivent être perçues et interprétées le plus rapidement possible. Dans ce sens, Airbus propose sur l'A319 un écran affichant des paramètres différents en fonction de la phase de vol, couplé à un écran où tous les paramètres, regroupés selon les grandes fonctions de l'appareil, sont accessibles rapidement par l'équipage. Au contraire, pour faciliter la récupération de la persévération, Dehais *et al.* (2010) proposent une contre-mesure originale : retirer quelques secondes l'affichage du paramètre sur lequel le pilote pourrait focaliser son attention, l'obligeant ainsi à réorienter son attention vers d'autres paramètres de la situation. Ces retraits d'affichage sont remplacés par des messages indiquant une solution alternative. Les résultats positifs n'ont cependant pas permis de déterminer si cet effet est dû au retrait de l'affichage ou à la proposition de la solution alternative. Le but de ces mesures est de détecter le plus rapidement possible les informations pertinentes. Pour faciliter leur interprétation, Orasanu *et al.* (2002) proposent des systèmes de couleurs afin de faciliter l'interprétation du niveau de risque associé à ces informations. C'est, par exemple, associer un code couleur sur l'écran radar en fonction de la gravité des conditions météorologiques.

Une deuxième barrière de défense joue un rôle important dans la récupération de la persévération : l'entraînement des personnels navigants. Dans le cadre de l'aide à la récupération de la persévération, l'utilisation de simulateurs de vol est appropriée, notamment lors des sessions *MOST* qui sont suivies d'un débriefing collectif. Ces entraînements en simulateur devraient privilégier des situations peu courantes à risques et des situations courantes associées aux comportements de persévération, comme l'atterrissage vers une piste où les conditions météorologiques se dégradent. Un autre type d'entraînement qui semble faciliter la flexibilité est l'exposition à des situations variables, qui entraîne les opérateurs à changer facilement de stratégies, en opposition à l'exposition à des situations stables (Canas, Antoli, Fajardo, & Salmeron, 2005). Cette dernière conduirait les opérateurs à automatiser un type de stratégie, les amenant ainsi à persister dans l'application de cette stratégie même lorsque la situation change. Au contraire, l'entraînement à des situations variables les obligerait à reconsidérer régulièrement leur stratégie et à détecter les changements de situations : les opérateurs deviendraient alors plus flexibles face à des situations nouvelles.

12. Conclusion générale

La contribution principale de ces travaux de thèse consiste en la proposition d'un modèle cognitif de la persévération, dans l'activité de conduite de systèmes dynamiques à risques, basé sur une revue de littérature pluridisciplinaire. La persévération a, en effet, été étudiée dans divers champs, utilisant parfois une terminologie différente, et sans recoupement entre ces différentes disciplines. L'intérêt de cette thèse est de prendre en compte ces différentes approches pour proposer un modèle intégratif reposant sur le cadre théorique de la sécurité écologique, propre à l'activité étudiée ici. L'approche expérimentale a permis, en partie, de conforter ce modèle. Les deux points principaux que l'on peut retenir de ces travaux de recherche sont que :

1) L'observation de comportements de persévération résultant de mécanismes cognitifs complexes nécessite une analyse détaillée de l'activité : la dynamique et la complexité des situations rencontrées par les opérateurs impliquent de reconstituer l'enchaînement des prises de décisions tout en prenant en compte la charge de travail supportée par les opérateurs. Pour cela, il est nécessaire d'identifier chaque opportunité de révision du plan d'actions produite par la disponibilité d'informations cibles signalant un changement de la situation et rendant inadapté et risqué le plan d'actions en cours. En effet, nos expériences montrent que la charge de travail peut influencer les différentes étapes du processus de décision entraînant l'impossibilité pour l'opérateur d'activer un mode de pensée contrôlé coûteux en termes de ressources attentionnelles. C'est le mode de pensée automatique utilisé dans ces cas qui peut ainsi être à l'origine des comportements de persévération.

2) La nature des interactions verbales entre les membres du groupe peut jouer un rôle important dans la prévention des accidents et des incidents liés aux comportements de persévération. Nos travaux ont ainsi montré que l'explicitation, par le rappel du contexte de la situation, du point de vue du responsable des décisions favorise la prise de décisions flexibles. En revanche, l'expression de désaccords au sein du groupe ne suffit pas à jouer ce rôle. Enfin, l'explicitation des points de vue des autres membres du groupe a été faiblement observée confirmant ainsi leur rôle limité à la transmission d'informations et aux propositions de solution.

Les résultats de ces travaux laissent néanmoins certaines questions en suspens qui doivent faire l'objet d'études expérimentales. Elles concernent le rôle que peuvent jouer

l'expression de l'argumentation par les membres du groupe sur la récupération de la persévération et l'influence, non abordée dans cette thèse, de la dimension émotionnelle. Ces questions constitueront l'objet des recherches suivantes.

Rôle de l'argumentation des membres du groupe

La faible part d'argumentation exprimée par les membres d'équipage n'a pas permis de déterminer son influence. Cependant, l'explicitation des points de vue pourrait influencer la représentation de la situation du commandant de bord ou, au moins, l'inciter à argumenter son propre point de vue, facteur de flexibilité. Mais l'attribution d'un rôle d'explicitation pourrait entraver la part importante de transmission d'informations et limiter son rôle positif. Ces hypothèses pourraient être testées lors d'une expérience en simulateur de vol pleine échelle avec un scénario incitant à un comportement de persévération. Trois conditions caractérisées par l'importance de l'argumentation du copilote pourraient être comparées. Le copilote, complice, aurait pour consigne soit de ne pas exprimer de point de vue alternatif, soit d'exprimer un point de vue alternatif sans explicitation ou soit d'exprimer un point de vue alternatif avec explicitation par rappel du contexte de la situation.

Influence de la dimension émotionnelle

Le choix de ne pas traiter de la dimension émotionnelle dans cette thèse relève simplement du besoin de clarifier, en premier lieu, les mécanismes cognitifs inhérents à la persévération. Cependant, la question de la dimension émotionnelle ne doit pas être écartée et la poursuite des travaux sur la persévération dans une activité qui comporte des risques pour l'opérateur doit impliquer l'étude du rôle des états émotionnels. En effet, ces dernières années de nombreux travaux ont mis en évidence l'existence de relations entre les réactions émotionnelles et les stratégies d'adaptation face à un danger (Damasio, 2003; Rolls, 1999; Schwartz, 2000). De quelle façon l'état émotionnel peut-il induire ou participer à la récupération des comportements de persévération ? Qu'en est-il dans une activité collective ? Ces questions sont à étudier pour proposer un modèle complet de la persévération.

Un Projet d'Etudes Amont financé par la Direction Générale de l'Armement est actuellement en cours au sein de l'IRBA. Ce projet concerne les interactions entre émotion et cognition dans l'activité médicale d'urgence. L'objectif est de déterminer l'impact de l'état émotionnel ressenti par des médecins militaires sur la performance dans la prise en charge de blessés sur des théâtres opérationnels, en particulier lors de l'élaboration d'un diagnostic

différentiel, c'est-à-dire lorsque le diagnostic à établir ne se différencie de ceux alternatifs que par un symptôme spécifique. La comparaison de trois conditions de prise en charge se distinguant par l'état émotionnel qu'elles suscitent permettra d'identifier l'effet de la valence de l'état émotionnel ressenti par l'opérateur sur la survenue ou l'évitement de comportements de persévération.

D'un point de vue général, cette thèse montre que la persévération dans l'application d'un plan d'actions à risques, lors de la conduite d'un système dynamique, ne résulte pas nécessairement d'une volonté de l'opérateur de prendre des risques mais plutôt d'une incapacité à agir autrement, du fait d'un manque de ressources disponibles pour évaluer correctement le danger et pour mettre en place une nouvelle stratégie d'actions. Aussi, les préconisations issues de ces travaux sont orientées vers la recherche de moyens permettant d'augmenter les ressources disponibles pour l'opérateur en charge des décisions. La mise en valeur des ressources du collectif est, pour nous, une voie qui semble importante à suivre pour la réduction des accidents dus à des comportements de persévération.

BIBLIOGRAPHIE

- Aldag, R. J., & Fuller, S. R. (1993). Beyond fiasco: A reappraisal of the groupthink phenomenon and a new model of group decision processes. *Psychological Bulletin*, *113*(3), 533-552.
- Amalberti, R. (2001). *La conduite de systèmes à risques* (2nd ed.). Paris: Presses Universitaires de France.
- Amalberti, R. (2001b). La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie Française*, *46*(2), 107-118.
- Amalberti, R. (2004). De la gestion des erreurs à la gestion des risques. In P. Falzon (Ed.), *Traité d'ergonomie* (pp. 221-230). Paris: Presses Universitaires de France.
- Azouvi, P., Didic-Hamel Cooke, M., Fluchaire, I., Godefroy, O., Hoclet, E., Le Gall, D., et al. (2001). L'évaluation des fonctions exécutives en pratique clinique. *Revue de Neuropsychologie*, *11*, 383-434.
- Barcelo, F., & Santome-Calleja, A. (2000). A critical review of the specificity of the Wisconsin Card Sorting Test for the assessment of prefrontal function. *Review of Neurologia*, *30*, 855-864.
- Barcelo, F., Sanz, M., Molina, V., & Rubia, J. F. (1997). The Wisconsin Card Sorting Test and the assessment of frontal function: A validation study with event-related potentials. *Neuropsychologia*, *35*, 399-408.
- Beauvois, J., & Joule, R. (1999). A radical point of view on dissonance theory. In E. Harmon-Jones & J. Mills (Eds.), *Cognitive dissonance: Progress on a pivotal theory in social psychology*. Washington: American Psychology Association.
- Berman, K. F., Ostrem, J. L., Randolph, C., Gold, J., Goldberg, T. E., Coppola, R., et al. (1995). Physiological activation of a cortical network during performance of the Wisconsin card sorting test - a positron emission tomography study. *Neuropsychologia*, *33*, 1027-1046.
- Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1995). The evolution of inhibition mechanisms and their role in human cognition behavior. In F. N. Densper & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition* (pp. 141-173). San Diego: Academic Press.
- Boeing (2006). 2005 statistical summary [Electronic Version], from www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf
- Brehmer, B. (1992). Dynamic decision making: Human control of complex systems. *Acta Psychologica*, *81*(3), 211-241.
- Brodbeck, F. C., Kerschreiter, R., Mojzisch, A., Frey, D., & Schultz-Hardt, S. (2002). The dissemination of critical, unshared information in decision-making groups: the effects of re-discussion dissent. *European Journal of Social Psychology*, *32*, 32-56.
- Brownstein, A. L. (2003). Biased predecision processing. *Psychological Bulletin*, *129*(4), 545-568.
- Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (1992). Rapport relatif à l'accident survenu le 31 mars 1992 au Boeing 707 immatriculé 5N-MAS (Nigéria) exploité par la Compagnie Trans-Air Limited [Electronic Version], from <http://www.bea.aero/docs/pa/1992/5n-s920331/htm/5n-s920331.html>

- Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (2011). Base de données WebDAS [Electronic Version], from <http://eccairs.bea.aero>
- Bureau Enquêtes Accidents Défense - air (2010). Bilan d'activité 2009 [Electronic Version], from http://bead.defense.gouv.fr/IMG/pdf/Bilan_2009.pdf
- Burian, B. K., Orasanu, J., & Hitt, J. (2000). Weather-related decision errors: Differences across flight types. In *Proceedings of the IEA 2000 and HFES 2000 Congress* (pp. 22-25). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Burri, C. (1935). The present status of the problem of individual differences in alternating activities. *The Psychological Bulletin*, 32(2), 113-139.
- Cadet, B. (1998). Emergence et développements de la psychologie cognitive. In B. Cadet (Ed.), *Psychologie cognitive* (pp. 25-51). Paris: Press Editions.
- Camus, J. F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris: Armand Colin.
- Canas, J. J., Antoli, A., Fajardo, I., & Salmeron, L. (2005). Cognitive inflexibility and the development and use of strategies for solving complex dynamic problems: effects of different types of training. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(1), 95-108.
- Causse, M., Dehais, F., Pastor, J., Péran, P., & Sabatini, U. (2010). Economic issues provokes hazardous landing decision-making by enhancing the activity of "emotional" neural pathways. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Research in Air Transportation*. Budapest, Hongrie.
- Chen, C.-K., Tsai, C.-H., & Shu, K.-C. (2009). An exploratory study for groupthink research to enhance group decision quality. *Journal of Quality*, 16(2), 137-152.
- Choi, J. N., & Kim, M. U. (1999). The organizational application of groupthink and its limitations in organizations. *Journal of Applied Psychology*, 84(2), 297-306.
- Christian, C. K., Gustafson, M. L., Roth, E. M., Sheridan, T. B., Gandhi, T. K., Dwyer, K., et al. (2006). A prospective study of patient safety in the operating room. *Surgery*, 139(2), 159-173.
- Clément, E. (2009). *La résolution de problème. A la découverte de la flexibilité cognitive*. Paris: Armand Colin.
- Collette, F. (2004). Exploration des fonctions exécutives par imagerie cérébrale. In T. Meulemans, F. Collette & M. Van der Linden (Eds.), *Neuropsychologie des fonctions exécutives* (pp. 25-51). Marseille: Solal.
- Commission du livre blanc sur la défense et la sécurité nationale. (2008). *Défense et sécurité nationale. Le livre blanc*. Paris: Odile Jacob. La documentation française.
- Curie, J. (1996). Des conditions de la recherche scientifique en ergonomie. In F. Daniellou (Ed.), *L'ergonomie en quête de ses principes*. Toulouse: Octarès.
- Dahlstrom, N., & Nahlinder, S. (2009). Mental workload in aircraft and simulator during basic civil aviation training. *The International Journal of Aviation Psychology*, 19(4), 309-325.
- Damasio, A. R. (2003). *Spinoza avait raison : le cerveau de la joie, de la tristesse et des émotions*. Paris: Odile Jacob.
- Darses, F. (2006). Analyse du processus d'argumentation dans une situation de reconception collective d'outillages. *Le Travail Humain*, 69(4), 317-347.

- Darses, F. (2009). Résolution collective des problèmes de conception. *Le Travail Humain*, 72(1), 43-59.
- De Dreu, C. K. W., & West, M. A. (2001). Minority dissent and team innovation: The importance of participation in decision making. *Journal of Applied Psychology*, 86(6), 1191-1201.
- De Keyser, V., & Woods, D. D. (1990). Fixation errors: Failure to revise situation assessment in dynamic and risky systems. In A. G. Colombo & A. S. d. Bustamente (Eds.), *Systems reliability assessment* (pp. 231-251). Amsterdam: Kluwer.
- Dehais, F. (2004). *Modélisation des conflits dans l'activité de pilotage*. Thèse de doctorat de sciences cognitives, Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace Toulouse.
- Dehais, F., Tessier, C., Christophe, L., & Reuzeau, F. (2010). The perseveration syndrome in the pilot's activity: Guidelines and cognitive countermeasures. *Lecture Notes in Computer Science*, 5962, 68-80.
- Denihan, M. B. (2007). Decision making in naval aviation: contextual factors influencing cue and factor saliency. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 51th annual meeting* (pp. 333-337). Baltimore, MD.
- Dominowski, R. L., & Dallob, P. (1995). Insight and problem solving. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight*. Cambridge: The MIT Press.
- Duncan, J., Emslie, H., Williams, P., Johnson, R., & Freer, C. (1996). Intelligence and the frontal lobe: The organization of goal-directed behavior. *Cognitive Psychology*, 30, 257-303.
- Duncker, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographs*, 58(5), n°270.
- Egloff, B., & Hock, M. (2001). Interactive effects of state anxiety and trait anxiety on emotional Stroop interference. *Personality and Individual Differences*, 31(6), 875-882.
- Eling, P., Derckx, K., & Maes, R. (2008). On the historical and conceptual background of the Wisconsin Card Sorting Test. *Brain and Cognition*, 67(3), 247-253.
- Esser, J. K. (1998). Alive and well after 25 years: A review of groupthink research. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 73(2/3), 116-141.
- Eustache, F., & Faure, S. (2000). *Manuel de neuropsychologie*: Dunod.
- Evans, J. S. B. T. (2008). Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 255-278.
- Evans, J. S. B. T., & Frankish, K. (2009). *In two minds. Dual processes and beyond*. New-York: Oxford University Press.
- Eyrolle, H., Mariné, C., & Mailles, S. (1996). La simulation des environnements dynamiques : intérêts et limites. In J.-M. Cellier, V. de Keyser & C. Valot (Eds.), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques* (pp. 103-121). Paris: Presses Universitaires de France.
- Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Evanston, IL: Row, Peterson.
- Fischhoff, B. (2003). Hindsight \neq foresight: the effect of outcome knowledge on judgment under uncertainty. *Quality and Safety in Health Care*, 12, 304-312.

- Fisher, U., McDonnell, L., & Orasanu, J. (2007). Linguistic correlates of team performance: Toward a tool for monitoring team functioning during space missions. *Aviation, Space, and Environmental medicine*, 78(5), B86-B95.
- Fisher, U., & Orasanu, J. (1999). Say it again Sam! Effective communication strategies to mitigate pilot error. In *Proceedings of the 10th International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, OH.
- Fisher, U., & Orasanu, J. (2000). Error-challenging strategies: their role in preventing and correcting errors. In *Proceedings of the International Ergonomics Association 14th Triennial Congress and Human Factors and Ergonomics Society 44th Annual Meeting*. San Diego, California.
- Fukuda, R., & Sträter, O. (2004). Communication in Nuclear Power Plant (NPP). In R. Dietrich & T. M. Childress (Eds.), *Group interaction in high risk environments* (pp. 55-74). Aldershot, England: Ashgate Publishing Limited.
- Gaba, D. M. (1993). Human error in dynamic medical domains. In M. S. Bogner (Ed.), *Human error in medicine* (pp. 197-224). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gigone, D., & Hastie, R. (1993). The common knowledge effect: Information sharing and group judgment. *Journal of Personality and Social Psychology*, 65(5), 959-974.
- Gigone, D., & Hastie, R. (1997). The impact of information on small group choice. *Journal of Personality and Social Psychology*, 72(1), 132-140.
- Godefroy, O., Roussel-Pierronne, M., Routier, A., & Dupuy-Sonntag, D. (2004). Etude neuropsychologique des fonctions exécutives. In T. Meulemans, F. Colette & M. Van der Linden (Eds.), *Neuropsychologie des fonctions exécutives*. Marseille: Solal.
- Goh, J., & Wiegmann, D. A. (2001a). An investigation of the factors that contribute to pilots' decisions to continue to visual flight rules flight into adverse weather. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting* (pp. 26-29). Santa-Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Goh, J., & Wiegmann, D. A. (2001b). Visual flight rules flight into instrument meteorological conditions: An empirical investigation of the possible causes. *The International Journal of Aviation Psychology* 11(4), 359-379.
- Grant, D. A., & Berg, E. A. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and case of shifting to new responses in a Weigl-type card sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38, 404-411.
- Greitemeyer, T., & Schultz-Hardt, S. (2003). Preference-consistent evaluation of information in the hidden profile paradigm: Beyond group-level explanations for the dominance of shared information in group decisions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(2), 322-339.
- Hall, T. J., Rudolph, J. W., & Cao, C. G. L. (2006). Fixation and attention allocation in anesthesiology crisis management: an abstraction hierarchy perspective. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting*. San Francisco, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Halverson, A. L., Casey, J. T., Andersson, J., Anderson, K., Park, C., Rademaker, A. W., et al. (sous presse). Communication failure in the operating room. *Surgery*.

- Harnishfeger, K. (1995). The development of cognitive inhibition. Theories, definitions, and research evidence. In F. D. C. Braided (Ed.), *Interference and inhibition in cognition*. London: Academic Press.
- Hasher, L., Zachs, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance XVII, Cognitive régulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 653-675). Cambridge: MIT Press.
- Heldsingen, A. S., van den Bosch, K., van Gog, T., & van Merriënboer, J. J. G. (2010). The effects of critical thinking instruction on training complex decision making. *Human Factors*, 52(4), 537-545.
- Henningsen, D. D., Henningsen, M. L. M., Eden, E., & Cruz, M. G. (2006). Examining the symptoms of groupthink and retrospective sensemaking. *Small Group Research*, 37(1), 36-64.
- Hoc, J.-M., & Amalberti, R. (2007). Cognitive control dynamics for reaching a satisficing performance in complex dynamic situations. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 1, 22-55.
- Hoc, J.-M., Amalberti, R., Cellier, J.-M., & Grosjean, V. (2004). Adaptation et gestion des risques en situation dynamique. In J.-M. Hoc & F. Darses (Eds.), *Psychologie ergonomique : tendances actuelles* (pp. 15-48). Paris: Presses Universitaires de France.
- Hoc, J.-M., Amalberti, R., & Plee, G. (2000). Vitesse du processus et temps partagé, planification et concurrence attentionnelle. *L'année Psychologique*, 100, 629-660.
- Hofinger, G., & Buerschaper, C. (2009). Observing team problem solving and communication in critical incidents. In R. Flin & L. Mitchell (Eds.), *Safer surgery. Analysing behaviour in the operating theatre* (pp. 301-320). Surrey: Ashgate Publishing.
- Interstate Aviation Committee. (2011). Final report Tu-154M tail number 101, Republic of Poland [Electronic Version], from http://www.mak.ru/russian/investigations/2010/files/tu154m_101/finalreport_eng.pdf
- Janis, I. L. (1972). *Victims of Groupthink*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Janis, I. L. (1982). *Groupthink* (2d edition ed.). Boston: Houghton-Mifflin Company.
- Janis, I. L., & Mann, L. (1977). *Decision making: A psychological analysis of conflict, choice, and commitment*. New-York: Free Press.
- Jasper, H. H. (1931). Is perseveration a functional unit participating in all behavior processes ? *Journal of Social Psychology*, 2(1), 28-51.
- Jensen, R. S. (1995). *Pilot judgment and crew resource management*. Brookfield, VT: Ashgate.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Londres: Prentice Hall.
- Karsenty, L. (2000). Cooperative work: The role of explanation in creating a shared problem representation. *Le Travail Humain*, 63(4), 289-309.
- Karsenty, L., & Brézillon, P. (1995). Coopération homme-machine et explication. *Le Travail Humain*, 58(4), 289-310.
- Kelley, T. L. (1928). *Crossroads in the mind of man*. Stanford: Stanford University Press.

- Kiesler, C. A. (1971). *The psychology of commitment*. New York: Academic Press.
- Klein, G. A. (1993). A recognition-primed decision (RPD) model of rapid decision making. In G. A. Klein, Orasanu, J., Calderwood, R., Zsombok, C.E. (Ed.), *Decision making in action: Models and methods* (pp. 138-147). Norwood, New Jersey: Ablex.
- Klocke, U. (2007). How to improve decision making in small groups. Effects of dissent and training interventions. *Small Group Research*, 38(3), 437-468.
- Lechner, H. A., Squire, L. R., & Byrne, J. H. (1999). 100 years of consolidation--Remebering Müller and Pilzecker. *Learning & Memory*, 6, 77-87.
- Leplat, J. (1997b). Simulation et simulateur : principes et usages. In J. Leplat (Ed.), *Regards sur l'activité en situation de travail. Contribution à la psychologie ergonomique* (pp. 157-181). Paris: Presses Universitaires de France.
- Lezak, M. D. (1982). The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 17, 281-285.
- Lingard, L., Espin, S., Whyte, S., Regehr, G., Baker, G. R., Reznick, R., et al. (2004). Communication failures in the operating room: an observational classification of recurrent types and effects. *Quality and Safety in Health Care*, 13, 330-334.
- Lipshitz, R. (1997). Naturalistic decision making perspectives on decision errors. In C. Zsombok & G. Klein (Eds.), *Naturalistic Decision Making* (pp. 151-162). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Luchins, A. S. (1942). Mechanization in problem solving. *Psychological Monograph*, 54(248).
- Luchins, A. S. (1951a). On recent usage of the Einstellung-effect as a test of rigidity. *Journal of Consulting Psychology*, 15(2), 89-94.
- Luchins, A. S. (1951b). The Einstellung test of rigidity: its relation to concreteness of thinking. *Journal of Consulting Psychology*, 15(4), 303-310.
- Luchins, A. S., & Luchins, E. H. (1959). *Rigidity of behavior. A variational approach to the effect of Einstellung*. Eugene, Oregon: University of Orgeon Books.
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New-York: Basic Books Inc Publishers.
- Marc, J., & Rogalski, J. (2009). Collective management in dynamic situations: the individual contribution. *Cognitive Technology & Work*, 11, 313-327.
- Mayer, R. E. (1995). The search for insight: Grappling with Gestalt Psychology's unanswered. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight*. Cambridge: The MIT Press.
- Milner, B. (1963). Effects of different brain lesions on card sorting: The role of the frontal lobes. *Archives of Neurology*, 9, 100-110.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contribution to complex "frontal lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Mjøøs, K. (2001). Communication and operational failures in the cockpit. *Human Factors and Aerospace Safety*, 1(4), 323-340.

- Mollo, V., & Falzon, P. (2008). The development of collective reliability: a study of therapeutic decision-making. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 9(3), 223-254.
- Mosier, K. L., Sethi, N., McCauley, S., Khoo, L., & Orasanu, J. M. (2007). What you don't know can hurt you: Factors impacting diagnosis in the automated cockpit. *Human Factors*, 49(2), 300-310.
- Muthard, E. K., & Wickens, C. D. (2002). Change detection after preliminary flight decisions: linking planning errors to biases in plan monitoring. In *Proceedings of the 46th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Muthard, E. K., & Wickens, C. D. (2003). Factors that mediate flight plan monitoring and errors in plan revision: planning under automated and high workload conditions. In *Proceedings of the 12th International Symposium on Aviation Psychology*. Dayton, OH: Wright State University.
- Navarro, C. (1991). Une analyse cognitive de l'interaction dans les activités de travail. *Le Travail Humain*, 54(2), 113-128.
- Nemeth, C. J. (1986). Differential contributions of majority and minority influence. *Psychological Review*, 93(1), 23-32.
- Noizet, A., & Amalberti, R. (2000). Le contrôle cognitif des activités routinières des agents de terrain en centrale nucléaire : un double système de contrôle. *Revue d'intelligence artificielle*, 14, 73-92.
- O'Hare, D. (1990). Pilots' perception of risks and hazards in general aviation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 61(7), 599-603.
- O'Hare, D., & Smitheran, T. (1995). "Pressing on" into deteriorating conditions: an application of behavioral decision theory to pilot decision making. *The International Journal of Aviation Psychology*, 5(4), 351-370.
- Orasanu, J. (1994). Shared problem models and flight crew performance. In N. Johnston, N. McDonald & R. Fuller (Eds.), *Aviation psychology in practice* (pp. 255-285). Aldershot: Avebury technical.
- Orasanu, J., & Connolly, T. (1993). The reinvention of decision making. In G. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood & C. Zsombok (Eds.), *Decision making in action: models and methods*. Norwood: Ablex.
- Orasanu, J., Fisher, U., & Davison, J. (2002). Risk perception: a critical element of aviation safety. In *Proceedings of the IFAC 15th Triennial World Congress*. Barcelona, Spain.
- Orasanu, J., Martin, L., & Davison, J. (2001). Cognitive and contextual factors in aviation accidents: Decision errors. In E. Salas & G. A. Klein (Eds.), *Linking expertise and naturalistic decision making* (pp. 209-225). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Park, W. (2000). A comprehensive empirical investigation of the relationships among variables in the groupthink model. *Journal of Organizational Behavior*, 21, 873-887.
- Patterson, E. S., Woods, D. D., Cook, R. I., & Render, M. L. (2007). Collaborative cross-checking to enhance resilience. *Cognition, Technology & Work*, 7(3), 155-162.
- Plat, M., & Amalberti, R. (2000). Experimental crew training to deal with automation surprises. In N. Sarter & R. Amalberti (Eds.), *Cognitive engineering in the aviation domain*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

- Plat, M., & Rogalski, J. (2000). Traitement de dysfonctionnements d'automatismes et modes de coopération dans le cockpit. In T. H. Benchekroun & A. Weill-Fassina (Eds.), *Le travail collectif. Perspectives actuelles en ergonomie* (pp. 135-157). Toulouse: Octarès.
- Prince, C., & Salas, E. (1993). Training and research for teamwork in the military aircrew. In E. L. Wiener, B. G. Kanki & R. L. Helmreich (Eds.), *Cockpit Resource Management* (pp. 337-366). San Diego, CA: Academic Press.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam: Elsevier.
- Raufaste, E. (2001). *Les mécanismes cognitifs du diagnostic médical. Optimisation et expertise*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Reason, J. (1993). *L'erreur humaine*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Richard, J.-F. (2003). Editorial. *Psychologie Française*, 48(1), 1-2.
- Richard, J.-F. (2005). L'intelligence comme plasticité à l'environnement. In L. Lautrey & J.-F. Richard (Eds.), *L'intelligence* (pp. 75-89). Paris: Lavoisier.
- Ridderinkhof, K. R., Span, M. M., & Van der Molen, M. W. (2002). Perseverative behavior and adaptive control in older adults: Performance monitoring, rule induction, and set-shifting. *Brain and Cognition*, 49, 382-401.
- Rolls, E. T. (1999). *The brain and emotion*. Oxford: Oxford University Press.
- Ross, K. G., Shafer, J. L., & Klein, G. (2006). Professional Judgments and "Naturalistic Decision Making". In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 403-419). Cambridge: Cambridge University Press.
- Rudolph, J. W. (2003). Into the big muddy and out again: Error persistence and crisis management in the operating room. *Dissertation Abstracts International*, 64, 4079.
- Ruffel-Smith, H. P. (1979). *A simulator study of the interaction of pilot workload with errors, vigilance, and decisions* (NASA Technical Memorandum 78482). Moffett Field, CA: NASA-Ames Research Center.
- Sandson, J., & Albert, M. L. (1984). Varieties of perseveration. *Neuropsychologia*, 22(6), 715-732.
- Sandson, J., & Albert, M. L. (1987). Perseveration in behavioral neurology. *Neurology*, 37, 1736.
- Sarter, N., & Alexander, H. M. (2000). Error types and related error detection mechanisms in the aviation domain: An analysis of aviation safety reporting system incident reports. *The International Journal of Aviation Psychology*, 10(2), 189-206.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing :detection search and attention. *Psychological Review*, 83, 1-66.
- Schultz-Hardt, S., Brodbeck, F. C., Mojzisch, A., Kerschreiter, R., & Frey, D. (2006). Group decision making in hidden profile situations: dissent as a facilitator for decision quality. *Journal of Personality and Social Psychology*, 91(6), 1080-1093.
- Schultz, P. W., & Searlman, A. (2002). Rigidity of thought and behavior: 100 years of research. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 128(2), 165-207.

- Schwartz, N. (2000). Emotion, cognition and decision making. *Emotion and Cognition*, 14(4), 433-440.
- Schwartz, N., & Clore, G. L. (1996). Feelings and phenomenal experiences. In E. T. Higgins & A. W. Kruglanski (Eds.), *Social psychology: handbook of basic principles* (pp. 433-465). New-York: Guilford Press.
- Seron, X., Van der Linden, M., & Andrès, P. (1999). Le lobe frontal : à la recherche des spécificités fonctionnelles. In M. Van der Linden, X. Seron, D. Le Gall & P. Andrès (Eds.), *Neuropsychologie des lobes frontaux* (pp. 33-88). Marseille: Solal.
- Sexton, J. B., & Helmreich, R. L. (2003). Using language in the cockpit: relationships with workload and performance. In R. Dietrich (Ed.), *Communication in high risk environments* (pp. 57-73). Hamburg: Helmut Buske Verlag.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B298*, 199-209.
- Shallice, T., & Burgess, P. (1991). Higher-order cognitive impairments and frontal lobe lesions in man. In H. S. Levin, H. M. Eisenberg & A. L. Benton (Eds.), *Frontal lobe function and dysfunction* (pp. 139-156). Oxford: Oxford University Press.
- Shallice, T., & Burgess, P. (1996). The domain of supervisory processes and temporal organization of behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B351*, 1405-1412.
- Shappell, S., & Wiegmann, D. (2004). HFACS analysis of military and civilian aviation accidents: a north american comparison. In *Proceedings of the International Society of Air Safety Investigators* (pp.2-8). Queensland, Australia.
- Sicard, B., Taillemite, J. P., Jouve, E., & Blin, O. (2003). Risk propensity in commercial and military pilots. *Aviation, Space, and environmental Medicine*, 74(8), 879-881.
- Silberstein, D., & Dietrich, R. (2003). Cockpit communication under high cognitive workload. In R. Dietrich (Ed.), *Communication in high risk environments*. Hamburg: Helmut Buske Verlag.
- Spearman, C. (1927). *The abilities of man: Their nature and measurement*. London: Macmillan and co.
- Thompson, V. A. (2009). Dual-processes theories: A metacognitive perspective. In J. S. B. T. Evans & K. Frankish (Eds.), *In two minds. Dual processus and beyond*. (pp. 171-195). New-York: Oxford University Press.
- Vacher, A., Lardet, B., Mortier, E., Bourgeon, L., Bourgy, M., Fornette, M.-P., et al. (2009). Enquêtes techniques après accidents et incidents aériens et analyses des aspects facteurs humains. *Médecine Aéronautique et Spatiale*, 50(187/09), 5-14.
- Valot, C. (1998). *Métacognition et connaissances métacognitives. Intérêt pour l'ergonomie*. Université de Toulouse-Le-Mirail.
- Valot, C. (2002). An ecological approach to metacognitive regulation in the adult. In M. I. P. Chambres & P. J. Marescaux (Eds.), *Metacognition: Process, function and use* (pp. 201-221). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Van Daele, A. (1997). Contribution de la simulation à l'étude de l'activité de l'opérateur en situation dynamique. In P. B. A. Weill-Fassina (Ed.), *La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir* (pp. 29-37). Toulouse: Octarès.

- Van Daele, A., & Carpinelli, F. (1996). Anticipation de l'action et anticipation du processus : l'influence de la situation. In J.-M. Cellier, V. De Keyser & C. Valot (Eds.), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*.
- Waldstein, S. R., & Katzel, L. I. (2005). Stress-induced blood pressure reactivity and cognitive function. *Neurology*, *64*, 1746-1749.
- Warren, H. C. (1934). *Dictionary of Psychology*. New-York: Houghton Mifflin.
- Wertheimer, M. (1945). *Productive thinking*. New-York: Harper and Brothers Publishers.
- Wiegmann, D. A., Goh, J., & O'Hare, D. (2002). The role of situation assessment and flight experience in pilots' decisions to continue visual flight rules flight into adverse weather. *Human Factors*, *44*(2), 189-197.
- Wiggins, M. W., & Bollwerk, S. (2006). Heuristic-based information acquisition and decision making among pilots. *Human Factors*, *48*(4), 734-746.
- Wilson, G. F. (2002). An analysis of mental workload in pilots during flight using multiple psychophysiological measures. *The International Journal of Aviation Psychology*, *12*(1), 3-18.
- Zsombok, C. E. (1997). NDM: Where are we now ? In C. E. Zsombok & G. Klein (Eds.), *Naturalistic Decision Making* (pp. 3-16). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Zsombok, C. E., & Klein, G. (1997). *Naturalistic Decision Making*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Mécanismes cognitifs et rôle du collectif dans la persévération :
gestion d'événements imprévus dans l'activité de pilotage militaire
(Volume 2)

ANNEXES

Léonore BOURGEON

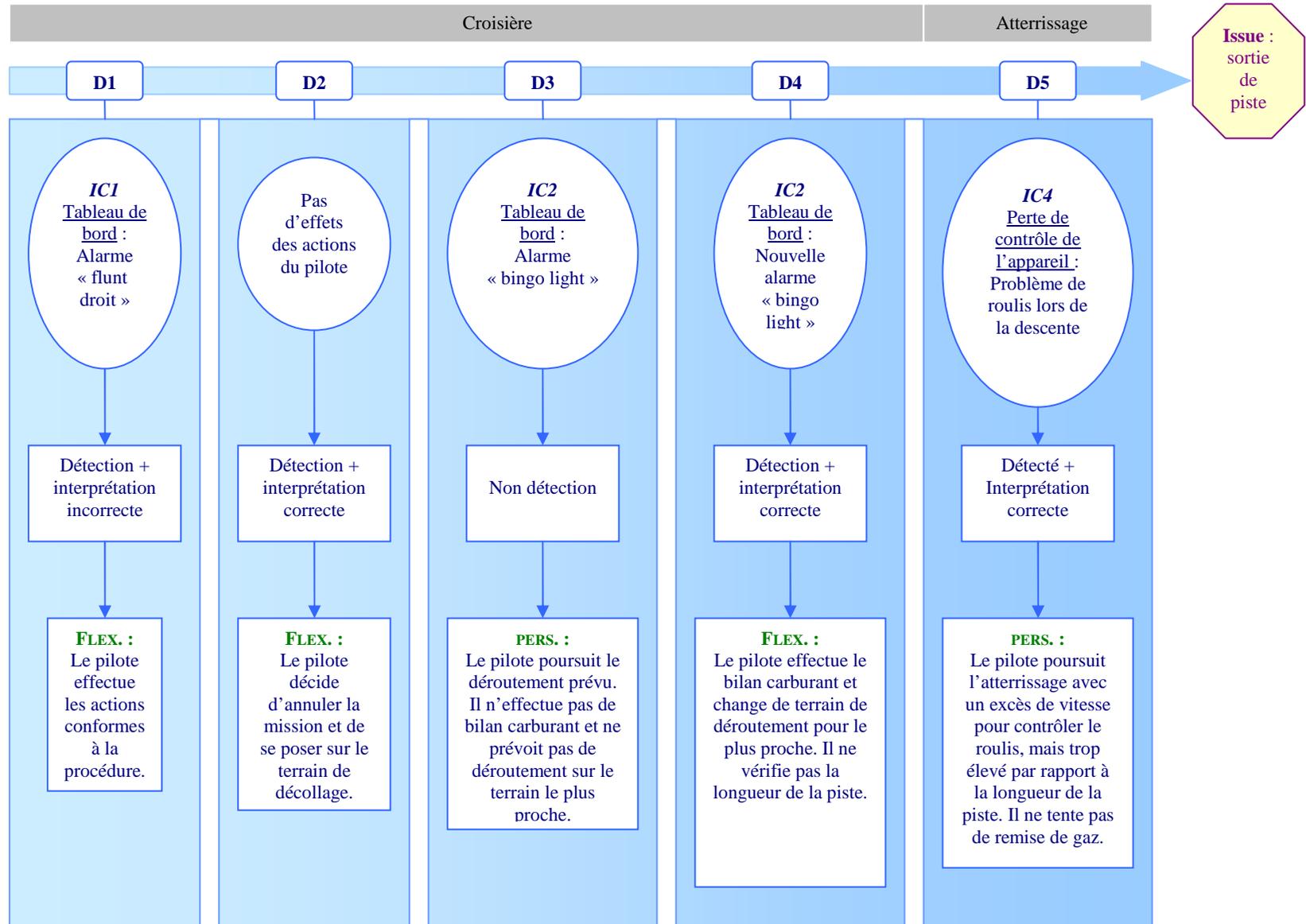
LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Exemple d'analyse d'un rapport d'accident, rapport R4.....	2
Annexe 2 : Résumés des 29 rapports d'enquête analysés.....	4
Annexe 3 : Enchaînements des décisions identifiées dans les 30 gestions d'événement.....	13
Annexe 4 : Caractéristiques des participants de l'expérience 1.....	16
Annexe 5 : Interfaces présentant les situations de vol des six scénarii.....	18
Annexe 6 : Illustrations du simulateur de vol pleine échelle de C160 « Thomson Training » situé sur la Base aérienne 105 d'Evreux.....	20
Annexe 7 : Caractéristiques des participants de l'expérience 2.....	22
Annexe 8 : Retranscription des communications verbales échangées par les 10 équipages.....	24
Annexe 9 : Liste des publications.....	68

Annexe 1 :
Exemple d'analyse d'un rapport d'accident, rapport

Partie précédente du vol :

Le pilote réalise un exercice de passe au-dessus d'une frégate.



Opportunité de révision

Traitement de l'information cible

Décision de l'équipage

Annexe 2 :
Résumés des 29 rapports d'enquête analysés

Référence	Aéronef	Type d'aéronef	But de la mission	Composition du collectif		Résumé de l'événement
				Equipage	Opérateurs extérieurs	
R1 : <i>T-2008-007-I</i>	TBM 700 	Transport	Instruction	Instructeur CB, Pilote	-	« Au cours d'un vol d'instruction, lors d'un exercice de panne « volets », le TBM 700 se pose train non sorti sur la piste de l'aéroport de Rennes Saint-Jacques. L'équipage est indemne et l'aéronef est endommagé. »
R2 : <i>A-2008-006-A</i>	Mirage 200D 	Chasse	Entraînement	Pilote CB, Navigateur	-	« Lors de la course au décollage, le pilote perd le contrôle de l'appareil qui part en glissade et sort de la piste. L'équipage, indemne, évacue l'appareil endommagé.»
R3 : <i>A-2007-013-I</i>	Jodel D140 Abeille 	Transport	Opération	Pilote	-	« Le Jodel D140 décolle de l'aérodrome de Saintes-Thénac en remorquant un planeur. Dans la montée initiale, suite à une perte de puissance du moteur, le pilote effectue un atterrissage forcé hors aérodrome dans un champ. Le planeur se largue et se pose à contre GFU. Le pilote de l'avion est indemne et l'aéronef est intact. »
R4 : <i>E-2007-011</i>	Hawker Hunter Mk 58 	Chasse	Entraînement	Pilote	Contrôleur aérien	« Lors d'une passe à la verticale de la frégate, le pilote (...) identifie un problème de transfert de carburant. Il annule la mission pour un retour sur Istres, puis se dérouté sur le terrain de Hyères et sort de piste à l'atterrissage. »
R5 : <i>A-2007-008-I</i>	Mirage F1CR 	Chasse	Opération	Pilote	Leader de la patrouille, Directeur des Vols	« Lors du circuit d'atterrissage, au retour de mission, le n°4 de la patrouille ne parvient pas à sortir le train auxiliaire, en normal comme en secours. L'atterrissage est réalisé sur le train principal uniquement. Le pilote est indemne, l'appareil est endommagé.»

Référence	Aéronef	Type d'aéronef	But de la mission	Composition du collectif		Résumé de l'événement
				Equipage	Opérateurs extérieurs	
R6 : <i>M-2007-002-A</i>	Atlantique 2 	Transport	Entraînement	Pilote, Navigateur, mecano ?	-	« Au cours d'une séance d'instruction en tours de piste, l'équipage effectue un poser-décoller. Lors de l'accélération de l'avion, après le toucher des roues, le commandant d'aéronef est informé de la position inadaptée des volets pour le décollage. Il ordonne l'arrêt du décollage. Malgré l'action sur les freins et le fonctionnement des moteurs en <i>REVERSE</i> , l'avion sort de piste et s'immobilise. L'équipage, indemne, évacue l'avion. »
R7 : <i>A-2006-014-A</i>	EpsilonTB30 	Chasse	Entraînement	Commandant de bord, pilote passager (étranger parlant peu le français)	-	« Confronté à une panne moteur après 37 minutes de vol, le moniteur initie un déroutement. La panne s'aggrave, le moteur ne délivre plus de puissance, alors le moniteur décide d'effectuer un atterrissage en campagne. L'avion se pose dans un champ de blé, une fois immobilisé, la procédure d'évacuation rapide au sol est réalisée. Les deux pilotes sont indemnes. »
R8 : <i>F-2006-006-I</i>	F406 	Transport	Opération	Commandant de bord, copilote, mécanicien-navigant	-	« Au cours d'un vol de bon fonctionnement au départ de Nantes, un essai de manœuvre du train d'atterrissage est effectué. La sortie du train se déroule normalement. Lors de la rentrée du train, la séquence s'interrompt et la configuration suivante est obtenue : palette haute, voyant train auxiliaire éteint, voyant « <i>gear unlocked</i> » éteint, voyants verts des trains principaux allumés, disjoncteur train déclenché. Le disjoncteur du train n'est pas réenclenché et l'appareil est dérouté sur Lorient au vu des conditions météorologiques régnant sur Nantes. Le train est sorti en secours, la signalisation obtenue en cabine (trois vertes) est cohérente avec la configuration, et l'atterrissage se déroule sans encombre. Les moteurs sont coupés après avoir dégagé la piste et l'avion est tracté (...). »

Référence	Aéronef	Type d'aéronef	But de la mission	Composition du collectif		Résumé de l'événement
				Equipage	Opérateurs extérieurs	
R9 : <i>M-2006-003-I</i>	Gardian 	Transport	Opération	Commandant de bord, copilote, mécanicien-navigant, navigateur, radar	-	« Peu après le décollage pour un vol de contrôle, l'équipage constate un niveau de kérosène décroissant anormalement dans les nourrices. Devant l'impossibilité de résorber l'anomalie, le commandant de bord décide un retour sur le terrain de départ. L'atterrissage se déroule sans incident. »
R10 : <i>M-2005-019-A</i>	Super-étendard modernisé 	Chasse	Entraînement	Pilote	Leader de la patrouille	« La patrouille légère est catapultée du porte-avions Charles de Gaulle au large d'Hyères pour une mission d'entraînement à l'assaut terre en Corse. L'appareil de l'équipier subit une ingestion volatile lors du survol des îles Sanguinaires. Ne parvenant ni à maintenir le vol en palier, ni à rejoindre le terrain d'Ajaccio Campo Dell'Oro, l'équipier s'éjecte au-dessus du golfe d'Ajaccio. Il souffre de blessures légères. L'appareil s'écrase en mer. »
R11 : <i>C-2005-004-A</i>	Mirage 2000-9 biplace 	Chasse	Opération	Pilote d'essai, pilote observateur	-	« Le Mirage 2000-9 DAD11 décolle (...) pour un vol d'essai, en leader d'une patrouille légère. Une trentaine de secondes après le décollage, le pilote signale un problème moteur, puis son intention de se reposer. Une minute après, alors que le pilote tente un atterrissage à contre QFU, une perte totale de poussée survient et contraint l'équipage à s'éjecter. Les deux occupants se posent dans l'enceinte de la base. L'appareil s'écrase dans le même secteur en prenant feu. »

Référence	Aéronef	Type d'aéronef	But de la mission	Composition du collectif		Résumé de l'événement
				Equipage	Opérateurs extérieurs	
R12 : <i>S-2005-002-A</i>	Ecureuil AS 350 	Hélicoptère	Opération	Pilote, mécanicien- navigant	-	« L'hélicoptère décolle de l'aire de poser (...) après avoir déposé trois passagers rotor tournant. L'appareil s'élève à la verticale d'une vingtaine de mètres puis débute sa translation. Il part alors en rotation à gauche autour de l'axe de lacet, sans que le pilote puisse contrôler au palonnier. Après avoir effectué plusieurs tours sur son axe de lacet, il s'écrase sur le toit d'une maison inhabitée. Les deux membres d'équipage sont gravement blessés. »
R13 : <i>F-2005-001-I</i>	Cessna F406 	Transport	Instruction	Instructeur CB (PNF), pilote à l'instruction (PF), pilote à l'instruction en place passager	-	« Au cours d'un vol d'instruction, à l'issue d'un exercice de coupure du moteur droit consécutive à une simulation de baisse de pression d'huile, des flammes apparaissent en sortie des tuyères lors de la tentative de rallumage. Sur ordre du pilote instructeur, le pilote à l'instruction interrompt la séquence de redémarrage. Les flammes disparaissent après quelques secondes. Le retour à la base et l'atterrissage sont effectués en vol monomoteur. »
R14 : <i>A-2004-005-A</i>	TBM 700 	Transport	Opération	Commandant de bord, Copilote	-	« Le TBM 700 (...) est convoyé de Villacoublay à Tarbes pour une opération de maintenance (...). Lors de l'atterrissage, l'avion touche des roues, redécolle de quelques mètres puis retouche à nouveau, avec une verticale jugée importante par l'équipage. Après l'atterrissage du TBM700 sur l'aéroport de Tarbes Ossun, et alors que la vitesse de l'avion est contrôlée et que l'équipage s'apprête à faire demi-tour sur la piste pour la remonter, l'aéronef s'affaisse sur le côté droit. »
R15 : <i>E-2007-011</i>	CASA-235-200 M 	Transport	Opération	Commandant de bord, Copilote, Pilote en place passager	-	« A l'issue d'un largage de parachutistes (...), le commandant de bord décide de procéder à une navigation en très basse altitude dans le massif des Pyrénées. L'appareil s'écrase sur le flanc sud du Pic du Pioulou à une altitude de 1830 m. Les sept personnes à bord sont tuées.»

Référence	Aéronef	Type d'aéronef	But de la mission	Composition du collectif		Résumé de l'événement
				Equipage	Opérateurs extérieurs	
R16-J1 : <i>A-2006-004-A</i>	Mirage 2000-5F 	Chasse	Entraînement	Pilote leader J1	3 pilotes de la patrouille J2, J3 et J4	« Au cours d'une mission d'entraînement au combat aérien, deux Mirage 2000-5F (...) s'abordent. A la suite de cet événement, l'un des avions se dérouté à Saint-Dizier et le pilote du second est contraint à s'éjecter. Les deux pilotes sont indemnes.»
R16-J2 : <i>A-2006-004-A</i>	Mirage 2000-5F 	Chasse	Entraînement	Pilote J2	Leader (J1) et 2 pilotes de la patrouille (J3 et J4)	« Au cours d'une mission d'entraînement au combat aérien, deux Mirage 2000-5F (...) s'abordent. A la suite de cet événement, l'un des avions se dérouté à Saint-Dizier et le pilote du second est contraint à s'éjecter. Les deux pilotes sont indemnes.»
R17 : <i>A-2006-019-A</i>	Mirage F1-CT 	Chasse	Opération	Pilote	Leader	« Lors d'une mission de convoyage entre le Tchad et la France, le dispositif aérien, comprenant un ravitailleur C135 et une patrouille de 3 F1-CT, survole l'Algérie. A une quinzaine de nautiques au sud de Constantine, le numéro deux de la patrouille perd le contrôle de son appareil. Le pilote s'éjecte. »
R18 : <i>G-2009-001-I</i>	AS 350 BA Ecureuil 	Hélicoptère	Opération	Pilote Cb, Mécanicien	-	« A l'issue d'une mission de secours et d'assistance aux victimes, et lors du vol de retour vers sa base, l'Écureuil heurte le sol à proximité du terrain de Colmar-Meyenheim. L'équipage composé d'un pilote commandant de bord et d'un mécanicien de bord effectue une remise de gaz puis un déroutement sur le terrain de Bâle-Mulhouse. L'équipage est indemne. L'hélicoptère est endommagé. »

Référence	Aéronef	Type d'aéronef	But de la mission	Composition du collectif		Résumé de l'événement
				Equipage	Opérateurs extérieurs	
R19 : <i>M-2008-015-I</i>	Nord 262 E 	Transport	Instruction	Instructeur CB, pilote stagiaire, mécanicien	-	« Lors d'un vol d'instruction IFR, en croisière, l'équipage est confronté à l'avarie soudaine d'un moteur et à une perte momentanée de contrôle de l'appareil. Le déroutement et l'atterrissage sont effectués en monomoteur sur le terrain de Périgueux. Le moteur droit est endommagé, l'équipage est indemne. »
R20 : <i>A-2008-009-A</i>	Mirage 2000-N 	Chasse	Entraînement	Pilote, Navigateur CB	-	« Lors d'un exercice d'entraînement à vue au tir fictif du missile ASMP, le M 2000 N perd la poussée de son turboréacteur. Après une tentative de rallumage inefficace, l'équipage s'éjecte. Les deux membres d'équipages sont légèrement blessés, l'appareil s'écrase dans un champ et prend feu. »
R21 : <i>A-2007-001-A</i>	Mirage F1-CR 	Chasse	Opération	Pilote leader	Pilote équipier	« A l'alignement avant décollage, le pilote du Mirage F1 CR leader effectue une mise en puissance sur freins pour tenter de réarmer l'alternateur 1. Simultanément, son équipier voit de la fumée s'échapper des ouies d'aération de la soute à équipements. Sur ordre de son équipier, le leader procède alors à une évacuation d'urgence au sol. L'incendie est circonscrit par les services de secours. Le pilote est indemne et le Mirage F1 CR est endommagé. »
R22 : <i>A-2007-010-A</i>	Mirage F1 CT 	Chasse	Opération	Pilote	Leader, ORV	« L'avion n°2 d'une patrouille légère de Mirage F1 CT effectue un ravitaillement en vol en haute altitude. Suite à la rupture du tuyau souple de l'avion ravitailleur et l'arrachement de la valve de remplissage, le pilote est confronté à un dysfonctionnement du réacteur. Après avoir atteint l'altitude de décision d'éjection éventuelle sans que la panne n'ait été résolue, le pilote s'éjecte. L'avion s'écrase dans une zone désertique. Le pilote est indemne. »

Référence	Aéronef	Type d'aéronef	But de la mission	Composition du collectif		Résumé de l'événement
				Equipage	Opérateurs extérieurs	
R23 : A-2006-018-A	Mirage F1 CR 	Chasse	Opération	Pilote	Leader	« Lors d'une mission de familiarisation au théâtre africain à partir de l'aérodrome de N'Djamena, l'équipier d'une patrouille de deux avions subit une collision volatile sur la glace latérale gauche avec éclatement de celle-ci et rupture partielle de l'arceau verrière. La patrouille se déroute sur N'Djamena où les deux avions se posent. Le pilote concerné par la collision volatile est blessé. »
R24 : T-2005-012-A	SA 341 Gazelle 	Hélicoptère	Entraînement	CB (PNF), Copilote (PF)	-	« Lors d'un entraînement au poser sous jumelles de vision nocturne (JVN) en zone sablonneuse, le commandant de bord, confronté en très courte finale à une panne de ses JVN, plaque son appareil au sol. L'hélicoptère est endommagé lors de ce poser. L'équipage est indemne. »
R25 : A-2004-020-A	Mirage 2000-D 	Chasse	Entraînement	Pilote, Navigateur	-	« Au cours d'une mission d'entraînement au combat, lors d'une évolution à basse vitesse et forte incidence, l'appareil est sujet à un décrochage compresseur du réacteur, sur des manœuvres importantes à la manette des gaz, entraînant ainsi une perte de motorisation puis une détérioration irréversible de la turbine. L'équipage s'éjecte. L'appareil s'écrase dans un champ, le pilote est gravement blessé et le navigateur est indemne. »
R26 : A-2004-013-I	D140 R Abeille 	Transport	Opération	Pilote CB, Copilote	-	« (...) un D140 avec deux personnes à bord décolle de Villacoublay pour une mission de liaison (...) à destination de Romorantin. Durant la course au décollage, l'avion fait une embardée vers la gauche et sort de piste. Il continue sa course sur la zone herbeuse jouxtant la piste en dur, puis s'immobilise. Le pilote et le passager évacuent l'appareil sains et saufs. »

Référence	Aéronef	Type d'aéronef	But de la mission	Composition du collectif		Résumé de l'événement
				Equipage	Opérateurs extérieurs	
R27 : <i>A-2004-017-A</i>	Lynx WG 13 	Hélicoptère	Entraînement		-	« (...), un Lynx décolle de la base d'aéronautique navale de Hyères pour réaliser une mission d'entraînement sur zone de poser exigüe. Après plus d'une heure de vol, lors d'un exercice de poser (...), l'appareil s'écrase. Il est détruit et les quatre membres d'équipage sont blessés à des degrés divers. »
R28 : <i>S-2004-006-A</i>	Canadair Cl-415 	Transport	Instruction	Instructeur CB (PNF), Pilote à l'instruction (PF), Pilote passager	-	« (...), un Canadair effectue une mission d'instruction sur le lac de Sainte-Croix. Après 1h30 de vol, l'hydravion percute la surface de l'eau. Deux membres d'équipage sont tués, le troisième est gravement blessé. L'avion s'abîme au fond du lac. »
R29 : <i>T-2006-015-A</i>	TBM 700 	Transport	Instruction	Instructeur CB (PNF), Pilote à l'instruction (PF), Mécanicien-Navigant	-	« Au cours de la phase d'accélération, lors d'un posé-décollé, le TBM 700 sort de piste. L'équipage est indemne et l'aéronef endommagé.»

Annexe 3 :
Enchaînements des décisions identifiées
dans les 30 gestions d'événement

	Points de décision																					
Réf.	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22
R1	ND- P	DIC -F	DII- P																			
R2	ND- P	ND- P	DII- F	DII- P	DII- P	DII- F																
R3	DII- F	DIC -F	DIC -F																			
R4	DII- F	DIC -F	ND- P	DIC -F	DIC -P																	
R5	DIC -F	DIC -F	DIC -P	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -P	DIC -P	DIC -P	DIC -F	DIC -F	DIC -P	DIC -P	DIC -P	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -P	DIC -F	DIC -F
R6	DIC -F	DIC -P	DIC -F	ND- P	DIC -F	DII- P	DII- P	DIC -F														
R7	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -P	DIC -F	DIC -F																
R8	DIC -P	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F																	
R9	DIC -F	DIC -F																				
R10	DIC -F	DIC -F																				
R11	DIC -F	DIC -F	DIC -F																			
R12	DIC -F																					
R13	DIC -F	DIC -F																				
R14	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -P	DIC -P	DIC -P	DIC -P	DIC -P													
R15	DIC -F	DIC -P	DIC -F	DIC -F																		
R16 -J1	ND- P	ND- P	DIC -F	DII- P	DIC -F	DII- F	DII- F	DII- P	DIC -F	DIC -P	DIC -F											

A chaque point de décision identifié sont associées la nature du traitement de l'information cible (Non Détection : ND ; Détection et Interprétation Incorrecte : DII ; Détection et Interprétation Correcte : DIC) et la nature de la réponse données par l'équipage (P : Persévération ; F : Flexible).

Réf.	Points de décision													
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
R16 -J2	ND- P	ND- P	ND- P	ND- P	DII- P	DII- P	DII- P	DII- P	DIC -F					
R17	DIC -F	DIC -F	DIC -P	DIC -F	DIC -P	DIC -F								
R18	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -P	DIC -P	DIC -F	DIC -P	DIC -P	DIC -F		
R19	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F				
R20	ND- P	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F									
R21	DIC -F	DII- P	DIC -F	DIC -F										
R22	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -P	DIC -F	DIC -P	DIC -F							
R23	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F									
R24	DIC -F	DIC -P	DIC -F											
R25	DII- P	DII- P	DII- P	DII- P	DIC -F	DIC -P	DIC -F	DIC -F	DIC -F					
R26	DIC -P	DIC -P	DIC -P	DIC -P	DII- P	DIC -P								
R27	ND- P	DIC -F	DII- P	DII- P	DII- P	DIC -F								
R28	ND- P	DIC -F	ND- P	DIC -F	DIC -P	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F					
R29	DIC -F	DIC -F	DIC -F	DIC -F										

A chaque point de décision identifié sont associées la nature du traitement de l'information cible (Non Détection : ND ; Détection et Interprétation Incorrecte : DII ; Détection et Interprétation Correcte : DIC) et la nature de la réponse données par l'équipage (P : Persévération ; F : Flexible).

Annexe 4 :
Caractéristiques des participants de l'expérience 1

Sujet	Unité	Aéronef type	Age	Nombre d'heures de vol sur tous types d'aéronef	Nombre d'années depuis la qualification Commandant de Bord
S1	ETEC	A319	33	3800	1
S2	ETEC	F50	35	4000	1
S3	autre	TBM	31	2500	0
S4	autre	Casa	33	2400	1
S5	ETEC	F50	28	1150	0
S6	autre	C135	34	3900	1
S7	autre	C135	28	1700	0
S8	ETEC	F50	28	800	0
S9	ETEC	F50	35	3700	0
S10	ETEC	F50	31	3100	3
S11	ETEC	F50	34	3400	4
S12	autre	Casa	31	3000	4
S13	ETEC	F50	33	3700	6
S14	autre	Casa	24	1400	0
S15	ETEC	F50	32	3200	4
S16	ETEC	F50	32	2200	2
S17	ETEC	F50	34	4500	6
S18	ETEC	A319	31	2950	3
S19	ETEC	A319	30	3200	3
S20	ETEC	F50	36	6000	12
S21	ETEC	F50	34	4000	8
S22	ETEC	F50	35	3850	8
S23	ETEC	A319	38	7000	3
S24	ETEC	F50	29	2000	2
S25	ETEC	A319	29	2100	1
S26	ETEC	F50	35	3900	7
S27	ETEC	F50	38	5900	7
S28	BEAD	autre	43	3700	9
S29	Autre	C160	34	3600	6
S30	BEAD	autre	37	2000	0

Annexe 5 :
Interfaces présentant les situations de vol
des six scénarii

Vous avez décollé de N'Djamena au Tchad pour un vol à destination de Paris-Roissy. L'objet de votre mission est de transporter le Chef d'état-major des armées qui rentre de la tournée des OPEX de Noël. Il est attendu à Paris-Roissy à 11h00 TU pour être ensuite conduit au ministère de la Défense.

Il est 05h30 TU et vous venez de décoller de N'Djamena avec 22 tonnes de carburant. Au cours de la préparation, le mécanicien vous a informé qu'il a vu quelques hérons se poser près des taxiways. L'ATIS annonce qu'il fait beau et qu'il y a eu un orage récemment.

Vous venez de rentrer le train et débutez la phase de montée vers l'altitude de transition.

Prêt

Scénario A

Vous avez décollé d'Abidjan en Côte d'Ivoire pour un vol à destination de Paris-Roissy. L'objet de votre mission est de ramener le Ministre des affaires étrangères en urgence à Paris. Il est attendu à Paris-Roissy pour 19h00 TU afin d'être transporté au Palais de l'Elysée.

Il est 17h00 TU, vous venez de passer la balise BJA travers EST d'Alger et il vous reste 8 tonnes de carburant. La météo annonce que vous êtes dans une zone anticyclonique sans phénomène météorologique.

Vous êtes actuellement en croisière au niveau FL390 lorsque vous entendez un "boum" sourd.

Prêt

Scénario B

Vous avez décollé de Paris-Roissy pour un vol à destination de Berlin-Tegel. L'objet de votre mission est de transporter le Ministre de la défense qui doit assister à un sommet de l'OTAN. Il est attendu à Berlin-Tegel pour 17h30 TU.

Il est 17h15 TU, vous êtes en phase d'approche sur l'aéroport de Berlin-Tegel et il vous reste 3 tonnes de carburant. Le terrain de déroutement prévu est Berlin-Schönefeld situé à 20 Nm. L'ATIS annonce l'arrivée d'un front froid par le nord-ouest.

Vous êtes actuellement en finale à 1800 pieds lorsque vous apercevez un cumulonimbus très proche du terrain.

Prêt

Scénario C

Vous avez décollé de Paris-Roissy pour un vol à destination de Madrid. L'objet de votre mission est de transporter des journalistes qui doivent couvrir un sommet du G8. Ils sont attendus à Madrid pour 18h00 TU.

Il est 15h45 TU et vous venez de décoller de Roissy avec 10 tonnes de carburant. L'ATIS annonce que les conditions sont anticycloniques sur tout le trajet.

Vous êtes actuellement à 1 500 pieds et vous venez de rentrer les volets.

Prêt

Scénario D

Vous avez décollé de Douchambé au Tadjikistan avec 24 tonnes de carburant pour un vol à destination de Paris-Roissy. L'objet de votre mission est de ramener le Ministre de la Défense qui doit passer les fêtes de fin d'année à Paris. Nous sommes le 24 décembre et il est attendu à Roissy pour 8h30 TU.

Il est 06h00 TU, cela fait 5h30 que vous êtes en croisière et votre copilote se réveille après son repos. La météo annonce que sur nord de l'Italie, les conditions sont anticycloniques.

Vous êtes actuellement au niveau FL300 et vous venez de passer Brindisi. Vous faites vos calculs du log : heure estimée d'arrivée et calculs carburant.

Prêt

Scénario E

Vous avez décollé de Paris-Roissy pour un vol à destination de Solenzara. L'objet de votre mission est de transporter le Chef d'état-major de l'armée de l'air qui doit assister à une démonstration d'exercice de tir. Il est attendu à Solenzara pour 18h00 TU.

Il est 17h45 TU, vous êtes en phase d'approche sur l'aéroport de Solenzara et il vous reste 2,5 tonnes de carburant. Le contrôleur vient de vous annoncer les conditions météo : "vent faible de l'ouest 10 Kt, ciel clair et QNH 1011".

Vous êtes actuellement à 1 500 pieds et vous êtes en final vers la piste 18.

Prêt

Scénario F

Annexe 6 :
Illustrations du simulateur de vol pleine échelle de C160
« Thomson Training »
situé sur la Base aérienne 105 d'Evreux



Prise de vue extérieure du simulateur sur vérins



Prise de vue de l'intérieur de l'habitacle. Sur la gauche se trouve le moniteur de simulateur travaillant sur les logiciels de simulation. Sur la droite se trouve des membres d'équipage à leur poste de travail.

Annexe 7 :
Caractéristiques des participants de l'expérience 2

Equipage	Commandant de bord		Copilote		Mécanicien-Navigant	
	Age	Expérience	Age	Expérience	Age	Expérience
E1	33	2750	25	800	36	3200
E2	33	800	25	500	33	3000
E3	28	3200	29	1200	25	500
E4	29	3000	28	450	34	3900
E5	32	500	24	600	28	1850
E6	29	3900	25	750	29	1200
E7	30	1850	26	1300	34	2600
E8	32	1200	24	470	29	1450
E9	29	2600	27	1050	28	450
E10	31	1450	25	1300	30	880

Caractéristiques d'âge et d'expérience de vol (exprimée en nombre d'heures de vol sur tous types d'aéronef) des participants en fonction de l'équipage et de leur statut.

Annexe 8 :
Retranscription des communications verbales échangées
par les 10 équipages

1^{er} point de décision :

E1.....	18
E2.....	20
E3.....	21
E4.....	23
E5.....	28
E6.....	31
E7.....	36
E8.....	40
E9.....	41
E10.....	44

2^d point de décision :

E3.....	48
E5.....	50
E6.....	53
E9.....	54
E10.....	59

1^{er} point de décision

Equipage E1				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:37:12	<i>Déclenchement panne</i>			
00:37:15		"Ouais" (<i>Autre</i>)		
00:37:18		"Ah (..) super.." (<i>Pensée/Pbm</i>)		
00:37:21	<i>Alarme sonore</i>			
00:37:22				"Radio nav" (<i>Info/Pbm</i>)
00:37:24		"D'accord et si tu le prends tu lui dis qu'on va à Turin, t'essayes ?" (<i>Init. Action</i>)		
00:37:28		"Voir si ça marche" (<i>Arg/Ass - Simulation</i>)		
00:37:30			"Encore une panne" (<i>Info/Pbm</i>)	
00:37:31		"D'accord, ça marche pas (..)" (<i>Info/Action</i>)		
00:37:32			"(..) sur la deux" (<i>Info/Pbm</i>)	
00:37:35		"Ouais" (<i>Ack.</i>)		
00:37:37			"Si on peut" (<i>Pensée/Act.</i>)	
00:37:38				"Pourtant c'est (..) radio nav pourtant en panne" (<i>Pensée/Pbm</i>)
00:37:41		"D'accord" (<i>Ack.</i>)		
00:37:42				"Radio com" (<i>Info/Pbm</i>)
00:37:49			"Heu on les a utilisés les moyens reco nav par hasard?, ça peut arriver que .." (<i>Init. Action</i>)	
00:37:53		« (..) passé en radio com ouais de toutes façons » (<i>Info/Action</i>)		
00:37:56			« Ah ouais ? » (<i>Ack.</i>)	
00:37:59				« Heu on peut mettre la VHSC secours? » (<i>Init. Action</i>)
00:38:02		"La VHSC tu mets 128.3, s'il te plait" (<i>Init. Action</i>)		
00:38:08	<i>Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit</i>		"On passe medam, pour info" (<i>Info/Vol</i>)	
00:38:09		"Ouais alors, aux deux vor (..)" (<i>Info/Pbm</i>)		
00:38:11				"Il est coupé, il marche pas" (<i>Info/Action</i>)

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:38:12	Le MN retourne à sa place	"De quoi ?" (Info/Action)		
00:38:14				"Marche pas" (Info/Action)
00:38:15		"Comment ça il marche pas ?" (Info/Action)		
00:38:16				"Ouais ben le le déporté marche pas" (Info/Action)
00:38:17		"Pourquoi elle marche pas ?" (Info/Action)		
00:38:19				"Elle est cassée" (Info/Action)
00:38:20		"Cassée ?" (info/action)		
00:38:21				"Cassée" (info/action)
00:38:22		"Heu d'accord, bon et ben, allez" (Ack.)		
00:38:24	Le MN sort une check-list			"Bon alors, radio nav, radio com" (Init. Action)
00:38:32				"Pour l'instant radio nav, hein" (Info/Pbm)
00:38:34		"Alors à toute, pour l'instant on va mettre 76.00, d'accord ?" (Init. Action)		
00:38:35				"Reçu" (Ack.)
00:38:40				"Est-ce que vous intéresse de faire des fois un reset cir quand même pour réinitialiser l'ensemble des moyens radio com radio nav" (Init. Action)
00:38:41		"Vas-y toutes façons là heu" (Init. Action)		
00:38:47			"Reset CIR" (Info/Action)	
00:38:50	Le COP effectue le "reset cir"			

Equipage E2				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:26:55	Déclenchement panne			
00:27:02	Alarme sonore			
00:27:04				"Alarme radio nav" (Info/Pbm)
00:27:05		"Ca tombe bien.." (Pensée/Pbm)		
00:27:07	Le MN vérifie les instruments	"Il était en train de me parler pour appeler Marseille" (Info/Pbm)		
00:27:14		"Formidable! Alors.." (Pensée/Pbm)		
00:27:17			"On fait la CL, alarme radio nav?" (Init. Action)	
00:27:25				"(..) alarme radio nav" (Info/Pbm)
00:27:34	Le MN agit sur les instruments			"Et donc je vais, j'essaye d'aller en radio nav, là, ça veut pas, ça veut pas y aller" (Info/Pbm)
00:27:36		"Ouais, vas-y, ça marche pas ?" (Info/Pbm)		
00:27:37				"Non" (Info/Pbm)
00:27:38		"Je vais essayer à droite" (Init. Action)		
00:27:41		"Ca marche pas non plus" (Info/Action)		
00:27:44		"Radio com?" (Init. Action)		
00:27:46			"Marche pas non plus" (Info/Action)	
00:27:49	Le MN agit sur les instruments			"(..) radio com ici" (Info/Pbm)
00:27:50		"Avant de faire une CL, je te propose de faire un reset CIR immédiatement" (Init. Action)		
00:27:54				« (..) » (NI)
00:27:55		"Et on le fait, de toutes façons c'est coincé là" (Arg/Ass - Contexte)		
00:27:57		"Donc heu vas-y" (Init. Action)		
00:27:58				"Façons, ça peut pas, ça peut pas être pire quoi" (Arg/Ass - Contexte)
00:28:00	Le MN effectue le reset CIR			"Reset CIR" (Info/Action)

Equipage E3				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:22:50	Déclenchement panne			
00:22:54			"Et panne de vor et adf " (Info/Pbm)	
00:22:59		"Et tous les moyens radio nav là" (Info/Pbm)		
00:23:06			"(..)" (NI)	
00:23:09				"(..)" (NI)
00:23:10				"Panne radio nav?" (Info/Pbm)
00:23:12			"Là y a une panne radio nav ouais donc " (Arg/Ass - Procédure)	
00:23:13			"On va faire la check-list" (Init. Action)	
00:23:15		"Attends, standby" (Pensée/Désaccord)		
00:23:15		"J'ai plus de radio" (Arg./Désaccord - Contexte)		
00:23:16			"Reçu" (Ack.)	
00:23:21			"Tu veux que j'essaye à gauche?" (Init. Action)	
00:23:22		"Essaye à gauche" (Init. Action)		
00:23:23			"Avec Gènes?" (Init. Action)	
00:23:24		"Ah non avec Genève" (Pensée/Désaccord)		
00:23:25			"Avec Genève ok" (Ack.)	
00:23:28		"Parce que là on peut plus continuer en hauteur de toutes façons" (Arg./Désaccord - Contexte)		
00:23:31			"J'ai, j'ai plus rien là" (Info/Action)	
00:23:33				"Ah là j'ai plus rien" (Info/Pbm)
00:23:34		"(..)" (NI)		
00:23:36			"Ecoute, j'ai pas de, j'ai pas d'émission non plus hein" (Info/Pbm)	
00:23:39		"(..)?" (NI)		
00:23:40			"Ouais .." (Ack.)	

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:23:42			"J'essaye à gauche, t'essayes à droite" (<i>Init. Action</i>)	
00:23:46		"Ok, la deux" (<i>Ack.</i>)		
00:23:47			"Ok " (<i>Ack.</i>)	
00:23:50		"(..) non plus, essaye sur la déportée, t'affiche 134.02 s'il te plait" (<i>Init. Action</i>)		
00:23:54			"J'ai, non, j'ai rien" (<i>Info/Action</i>)	
00:23:57				"La déportée?" (<i>Ack.</i>)
00:23:57		"Ouais" (<i>Ack.</i>)		
00:24:03	<i>Le Mn se dirige vers l'arrière du cockpit</i>	"Alors c'est 134.02" (<i>Info/action</i>)		
00:24:06				"134.02" (<i>Ack.</i>)
00:24:09			"Et on arrive à 600 pieds du niveau" (<i>Info/Vol</i>)	
00:24:11		"Tu me confirmes la position par rapport à milpa s'il te plait?" (<i>Info/Vol</i>)		
00:24:14			"Alors, tu veux la position exacte, là?" (<i>Ack.</i>)	
00:24:16		"Par rapport au point critique" (<i>Ack.</i>)		
00:24:17	<i>Le Mn rejoint son poste à l'avant</i>		"Alors, par rapport au point critique ok" (<i>Ack.</i>)	

Equipage E4				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:24:01	Déclenchement panne			
00:24:04		"C'est parti?" (Info/Pbm)		
00:24:07	Alarme FMS			
00:24:09		"(..) on a une panne radio" (Info/Pbm)		
00:24:11				"Confirmé" (Info/Pbm)
00:24:14		"Est-ce que t'as un retour sur.." (Info/Pbm)		
00:24:16			"Ouais (..) ouais" (Info/Pbm)	
00:24:18	Le CB fait un essai de communication radio	"(..) attention" (Init. Action)		
00:24:23		"Tu m'as entendu ou pas là?" (Info/Action)		
00:24:24				"Non" (Info/Action)
00:24:25			"Ouais je t'entends, moi je t'entends ouais" (Info/Action)	
00:24:26		"J'ai dit Genève contrôle, tu m'as entendu?" (Ack.)		
00:24:27			"Oui" (Ack.)	
00:24:28		"Alors moi j'ai pas de retour sur la mienne" (Arg/Ass - Contexte)		
00:24:30		"Je passe sur la VHF 2, d'accord?" (Init. Action)		
00:24:36	Le COP vérifie les instruments		"Ouais donc heu" (Ack.)	
00:24:38	Le CB agit sur les instruments	"(..) affichage radio com (..) affiché?" (Info/Pbm)		
00:24:42	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit			"Eh ben on va voir" (Ack.)
00:24:53	Le MN agit sur les instruments à l'arrière du cockpit			"Donc pareil là, les radio com on peut pas" (Info/Pbm)
00:24:55				"et à priori on a aussi des alarmes radio nav" (Info/Pbm)
00:24:57		"Ouais" (Ack.)		
00:24:57			"Ouais" (Ack.)	
00:24:58	Le MN rejoint son poste à l'avant	"Affirm" (Ack.)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:25:00			"Y a le VOR tacan apparemment qui heu est à vérifier" (Info/Pbm)	
00:25:08		"VOR et tacan?" (Ack.)		
00:25:09	Le MN sort une check-list		"Heu sur le VOR sur le tacan" (Ack.)	
00:25:12	Le MN lit la check-list		"CL ..panne simple?" (Init. Action)	
00:25:15		"De toutes façons ya une panne, une panne radio nav pour l'instant" (Arg/Désaccord - Procédure)		
00:25:19			"Ouais vu qu'on est en..on est en nav, donc on a (..)?" (Info/Pbm)	
00:25:24		"Quoi?" (Ack.)		
00:25:25			"On a (..)" (Ack.)	
00:25:28		"Ouais, on a même les FMS pour l'instant " (Info/Pbm)		
00:25:30			"Les FMS oui et ensuite on relance tout" (Init. Action)	
00:25:32		"Attends on va.." (Pensée/Désaccord)		
00:25:33		"On va gérer la panne pour l'instant" (Arg/Désaccord - Procédure)		
00:25:35		"Surtout moi ce qui m'inquiète un peu, c'est la panne radio en fait" (Pensée/Pbm)		
00:25:37			"Ouais ouais" (Ack.)	
00:25:38	Le MN lit la CL "panne radio com"			"Donc là..panne équipement radio com"" (Init. Action)
00:25:41		"Ouais" (Ack.)		
00:25:43				"Donc "FMS alarme", là on a plus de radio com "(..) disjoncteur équipement radio com à déclencher"" (Info/Action)
00:25:51				"On va aller voir, hein?" (Init. Action)

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:25:54				"Procédure: appeler la page radio com", on peut pas" (Info/Action)
00:25:57		"Là on a quelle radio nav?" (Info/Pbm)		
00:25:59				"Appelle-la?" (Init. Action)
00:26:00				"(..) alt et next" (Info/Action)
00:26:06	Le CB agit sur les instruments	"Ah non, je peux pas" (Info/Action)		
00:26:11				"Alors " (Ack.)
00:26:16				"Je vais déjà t'allumer la déportée" (Init. Action)
00:26:18		"Ouais, on va faire ça ouais" (Ack.)		
00:26:20				"On va t'allumer déjà la déportée" (Init. Action)
00:26:21		"ouais" (Ack.)		
00:26:22	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit			"C'était quelle fréquence sur la déportée?" (Info/Action)
00:26:24		"Et bien c'était..130..avec Genève, 134.02" (Info/Action)		
00:26:29				"134.02" (Ack.)
00:26:30				"Ah mais ici ya pas de déportée" (Info/Action)
00:26:37		"Elle fonctionne pas?" (Info/Action)		
00:26:38				"Elle fonctionne pas" (Info/Action)
00:26:38		"D'accord" (Ack.)		
00:26:39			"Ok cool" (Ack.)	
00:26:40		"Ok donc voilà, pour l'instant.." (Ack.)		
00:26:47			"Ben là vu que ya pas de déportée.." (Arg/Ass - Contexte)	
00:26:49		"Attends attends" (Pensée/Désaccord)		
00:26:50		"On va, on va revenir sur la check-list " (Init. Action)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:26:56	<i>Le COP vérifie les instruments et le MN rejoint son poste à l'avant</i>		"Par contre heu (..) gauche" (<i>Info/Pbm</i>)	
00:26:59		"Donc, la déportée marche pas" (<i>Arg/Ass - Contexte</i>)		
00:27:02	<i>Le MN sort une check-list</i>			"La déportée marche pas, ouais" (<i>Ack.</i>)
00:27:03		"D'accord" (<i>Ack.</i>)		
00:27:05		"Donc, on reprend la CL pour voir là" (<i>Init. Action</i>)		
00:27:09				"Ouais" (<i>Ack.</i>)
00:27:12		"Et ce qu'on, et ce qu'on va faire.." (<i>Init. Action</i>)		
00:27:13			"Reçu" (<i>Ack.</i>)	
00:27:14		"Vas-y reprend la CL" (<i>Init. Action</i>)		
00:27:15				"(..) le problème, c'est qu'on a pas d'affichage radio com là" (<i>Pensée/Action</i>)
00:27:19		"Ouais" (<i>Ack.</i>)		
00:27:23	<i>Le MN lit la CL "panne radio com"</i>			"Donc "perte équipement radio com"" (<i>Info/Action</i>)
00:27:27				"Donc "appeler la page", on peut pas, (..) on peut pas, (..) on peut pas" (<i>Info/Action</i>)
00:27:32				"Vérifier (..) donc les deux (..) sont bons" (<i>Info/Action</i>)
00:27:35				"On ne peut pas récupérer directement l'équipement en panne, il est possible de confirmer la perte définitive donc on a un reset (..) soit un reset CIR, cette action relance un test complet des systèmes centralisés" (<i>Init. Action</i>)
00:27:48		"D'accord, on va le mettre" (<i>Ack.</i>)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:27:50		"Pour l'instant ce que je vous propose c'est que, là on est en panne radio" (<i>Arg/Ass - Contexte</i>)		
00:27:52			"Oui" (<i>Ack.</i>)	
00:27:52		"Tu passes 76.00 déjà " (<i>Init. Action</i>)		
00:27:55		"Parce qu'il a pas pu finir son message, on a pas pu terminer, donc le mec il est en train de se poser des questions" (<i>Arg/Ass - Simulation</i>)		
00:27:59		"Voilà, et si jamais on récupère les instruments, heu je leur confirmerai qu'on a eu un petit incident et que c'est annulé, d'accord?" (<i>Init. Action</i>)		
00:28:05			"D'accord" (<i>Ack.</i>)	
00:28:05				"Reçu" (<i>Ack.</i>)
00:28:06		"Pour l'instant on passe à 76.00" (<i>Init. Action</i>)		
00:28:11		"Indicatif panne radio" (<i>Info/Action</i>)		
00:28:17		"Maintenant, tu peux faire ton reset CIR calmement" (<i>Init. Action</i>)		
00:28:20		"Ils sont au courant de notre problème" (<i>Arg/Ass - Simulation</i>)		
00:28:23		"Et on va voir après" (<i>Arg/Ass - Procédure</i>)		
00:28:25	Le MN agit sur les instruments			"Ok" (<i>Ack.</i>)
00:28:28				"Tu fais un (..)?" (<i>Info/Action</i>)
00:28:29		"Ouais" (<i>Info/Action</i>)		
00:28:31	Le MN effectue le "reset CIR"			"Allez hop" (<i>Info/Action</i>)

Equipe E5				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:25:23	Déclenchement panne			
00:25:31	Le MN traite une panne à l'arrière du cockpit	"Ok, perte du, de la VHF1" (Info/Pbm)		
00:25:32		"Je lance (..)" (Init. Action)		
00:25:36			"(..) gauche" (NI)	
00:25:39		"Tu prends la radio com, tu m'affiches ..." (Init. Action)		
00:25:44				"Tu m'as annoncé perte de la radio.." (Arg/Ass - Contexte)
00:25:45				"Je vérifie juste quelque chose" (Init. Action)
00:25:46		"De la VHF1 ouais" (Info/Pbm)		
00:25:49		"La perte de la VHF1, a priori le vor2 et l'ADF" (Info/Pbm)		
00:25:56				"Et derrière j'ai une alarme "BMS base module fail"" (Info/Pbm)
00:26:01	Le MN rejoint son poste à l'avant	"Ok " (Ack.)		
00:26:07		"Ok, t'essayes de passer la page radio com derrière s'il te plait..)" (Init. Action)		
00:26:10				"Radio com j'ai essayé" (Info/Action)
00:26:11		"T'as essayé? Ok" (Ack.)		
00:26:12	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit	"Tu peux mettre "on" sur la déportée VHF1?" (Init. Action)		
00:26:15				"Ouais" (Ack.)
00:26:16		"Avec comme fréquence, 134.02" (Init. Action)		
00:26:20				"En cours" (Info/Action)
00:26:25				"Heu y a pas de déportée" (Info/Action)

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:26:27		"Caramba" (Pensée/Action)		
00:26:31	Le MN rejoint son poste à l'avant	"On simule la déportée, c'est ça alors?" (Info/Action)		
00:26:45	Le MN sort une check-list			"Le modèle déporté est cassé" (Info/Action)
00:26:47		"Ok, on a plus de radio alors, ok" (Info/Pbm)		
00:26:51		"Et bien, 76.00 transpondeur dans un premier temps, et on maintient, heu les éléments " (Init. Action)		
00:26:56			"Ok, je prend la (..) à gauche" (Init. Action)	
00:27:00				"Et 76.00 vérifié au milieu" (Info/Action)
00:27:02	Le MN agit sur les instruments	"On va essayer de faire un petit coup sur emergency, essayer quoi hein?" (Init. Action)		
00:27:06		"En VHF" (Info/Action)		
00:27:48	Le MN sort une check-list	"Ok, donc perte des moyens radio " (Info/Pbm)		
00:27:51		"J'ai quand même fait le message, en blind, pour.." (Init. Action)		
00:27:53		"Peut-être qu'ils nous entendent, eux" (Arg/Ass - Contexte)		
00:27:58		"J'ai transbordé 76.00 et on poursuit niveau 200 sur Medam" (Init. Action)		
00:28:03			"Reçu" (Ack.)	
00:28:04				"Reçu au milieu" (Ack.)
00:28:06		"Alors.." (Autre)		
00:28:07				"Moi, je vais annoncer également une alarme DBF sur le FMS1 derrière" (Info/Pbm)
00:28:12			"Et bien, check-list .."panne DBF"" (Init. Action)	

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:28:15	<i>Le MN lit la check-list</i>			""Panne de dialogue gemini BDnav..et gong".." (Info/Action)
00:28:20				"..en 26" (Info/Action)
00:28:23			"Pour l'équipage, prochain point critique dans une minute" (Info/Vol)	

Equipage E6				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:23:30	Déclenchement panne			
00:23:35		"Alors soit y a eu une coupure .." (Info/Pbm)		
00:23:37	Alarme sonore			
00:23:38	Le CB effectue un appel radio	"Genève, Gotham 1010"		
00:23:46			"Moi j'ai pas entendu la fin (..) quelque chose" (Info/Pbm)	
00:23:48			"Et j'ai une alarme radio nav" (Info/Pbm)	
00:23:50		"D'accord..et ben écoute" (Ack.)		
00:23:53	Le CB effectue un appel radio	"Genève, Gotham 1010, radio check"		
00:23:58		"Et sinon je propose de passer sur la deux" (Init. Action)		
00:24:02		"Je récupère.." (Info/Action)		
00:24:03			"Et j'ai panne 126 avec Marseille" (Info/Pbm)	
00:24:07			"Sur la carte.." (Info/Pbm)	
00:24:10		"Putain, j'arrive pas, je suis bloqué (..) radio com là?" (Info/Pbm)		
00:24:18				"Non, c'est bloqué" (Info/Pbm)
00:24:20			"Ok, MN tu peux regarder sur le FMS1? " (Init. Action)	
00:24:22			"Directement, pour changer les pages?" (Arg/Ass - Procédure)	
00:24:27	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit			"Oui je regarde" (Ack.)
00:24:28			"(..) radio com radio nav, par exemple" (Info/Action)	
00:24:33				"Non. On peut pas non plus, également" (Info/Action)
00:24:37			"Reçu" (Ack.)	

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:24:39	<i>Le MN rejoint son poste à l'avant</i>	"Bien bien bien" (Ack.)		
00:24:43			"J'ai panne 126 sur la carte avec Marseille (..)" (Info/Pbm)	
00:24:47		"Bon et ben écoute heu" (Ack.)		
00:24:48			"T'es passé sur heu" (Autre)	
00:24:50				"On était sur quelle fréquence là?" (Info/Pbm)
00:24:52		"On était sur Genève" (Info/Pbm)		
00:24:56		"Heu écoute, je vais faire un petit message en l'air?" (Init. Action)		
00:24:59				"Oui" (Ack.)
00:24:59		"Pour l'instant on reste sur cette fréquence?" (Info/Action)		
00:25:01				"Ok " (Ack.)
00:25:03		"Et heu sinon on va sortir la check " (Init. Action)		
00:25:06		"Et puis après si ça marche pas.." (Arg/Ass - Simulation)		
00:25:08		"On allumera la déportée" (Init. Action)		
00:25:09	<i>Le MN sort une check-list</i>			"Reçu" (Ack.)
00:25:10	<i>Le MN lit la check-list</i>	"Ok?" (Ack.)		
00:25:11		"C'est bien pris?" (Ack.)		
00:25:13		"Ah ça marche pas putain" (Info/Pbm)		
00:25:18		"Je vais essayer la deux" (Init. Action)		
00:25:20		"Ah putain on peut pas bordel" (Info/Action)		
00:25:24		"On est québlo!" (Info/Pbm)		
00:25:26				"Je propose qu'on passe directement sur (..)" (Init. Action)

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:25:31	Le MN lit la check-list	" Allez HF" (<i>Init. Action</i>)		
00:25:35		"Oh putain, on a plus rien là" (<i>Info/Action</i>)		
00:25:38		"Bon (..)" (<i>Autre</i>)		
00:25:47		"Bon déjà (..) ça c'est, ça c'est bloqué là" (<i>Info/Pbm</i>)		
00:25:50		"On va faire un petit reset CIR, si ça se trouve.." (<i>Init. Action</i>)		
00:25:54	Le MN range la check-list			"Ben de toutes façons heu, toutes les faces.." (<i>Arg/Désaccord - Contexte</i>)
00:25:58	Le MN sort une check-list			"Moi je veux bien mais bon" (<i>Pensée/Désaccord</i>)
00:26:00	Le MN et le CB lisent la check-list		"Est-ce que y a une CL panne, fin face bloquée?" (<i>Init. Action</i>)	
00:26:13		"Panne équipement radio com" (<i>Init. Action</i>)		
00:26:16		"On a eu un (..).." (<i>Arg/Ass - Contexte</i>)		
00:26:17				"Ouais mais.." (<i>Pensée/Désaccord</i>)
00:26:19		"sinon c'est quoi?" "Perte (..)"" (<i>Init. Action</i>)		
00:26:22				"J'ai 3 flag donc " (<i>Arg/Désaccord - Procédure</i>)
00:26:24				"On a perdu a priori tous les, tous les moyens" (<i>Arg/Ass - Procédure</i>)
00:26:27		"Ah ouais" (<i>Ack.</i>)		
00:26:29				"(..) moi j'ai , moi j'ai un truc "touche PCV inactive"" (<i>Init. Action</i>)
00:26:33		"Oui, c'est peut-être, c'est pas mal" (<i>Pensée/Action</i>)		
00:26:42				"Mais bon" (<i>Pensée/Désaccord</i>)
00:26:44				"Ouais on a pas une alarme.." (<i>Arg/Désaccord - Procédure</i>)

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:26:47	Le MN et le CB lisent la check-list	"Non, "FMS alarme radio com"" (Init. Action)		
00:26:51		"Et radio nav" (Init. Action)		
00:26:54				"Non c'est pas ça" (Pensée/Désaccord)
00:26:56				"Vous avez une alarme com radio nav?" (Info/Pbm)
00:26:58			"Oui" (Info/Pbm)	
00:26:58			"Ouais" (Info/Pbm)	
00:26:59			"Alarme radio nav" (Info/Pbm)	
00:27:00		"Ecoute en attendant, on va déjà passer la déportée?" (Init. Action)		
00:27:03				"Ouais ouais" (Ack.)
00:27:04		"Hein?" (Ack.)		
00:27:05				"Ouais je la mets sur quoi, après ?" (Info/Action)
00:27:07		"Et ben écoute heu.." (Autre)		
00:27:08	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit		"Déjà avec Genève dans un premier temps je pense?" (Info/Action)	
00:27:11			"Non?" (Ack.)	
00:27:12		"(..) on va revenir sur Genève" (Ack.)		
00:27:12				"(..)" (NI)
00:27:15		"Donc mets ton (..) sur.." (Init. Action)		
00:27:17				"Quoi?" (Ack.)
00:27:18		"134.02, c'est ça?" (Info/Action)		
00:27:21		"Voilà, c'est 134.02 avec heu..Génève, c'est bon?" (Info/Action)		
00:27:30				"Bon la déportée est cassée, elle fonctionne pas" (Info/Action)
00:27:33		"Elle fonctionne pas pour le simu ou ..pour la mission?" (Info/Action)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:27:36	<i>Le MN rejoint son poste à l'avant et sort une check-list</i>			"Ben ya pas de boitier" <i>(Info/Action)</i>
00:27:58		"Ah d'accord, là on a plus de radio là" <i>(Info/Pbm)</i>		
00:28:01			"Je propose un reset peut-être non?" <i>(Init. Action)</i>	
00:28:03		"Ouais ouais" <i>(Ack.)</i>		
00:28:03			"Si on a une panne, perte totale de com" <i>(Arg/Ass - Procédure)</i>	
00:28:06				"Ecoute, moi j'ai rien au niveau des .." <i>(Arg/Ass - Procédure)</i>
00:28:13		"Ouais ouais ben" <i>(Ack.)</i>		
00:28:14			"Ben je regarde hein pour l'instant, je suis en train de regarder" <i>(Init. Action)</i>	
00:28:17				"Attends je vais voir si je trouve quelque chose par là, si tu veux" <i>(Init. Action)</i>
00:28:19		"Ouais vas-y" <i>(Ack.)</i>		
00:28:22				"Oh ça va finir en reset CIR ça, (..) très rapidement" <i>(Pensée/Action)</i>
00:28:27	<i>Le MN lit la check-list</i>			""Chargeur"" <i>(Info/Action)</i>
00:28:29			"Est-ce que le temps qu'on traite on passe en 76.00 ou est-ce que d'abord on traite et.." <i>(Init. Action)</i>	
00:28:33		"On traite d'abord" <i>(Arg/Désaccord-Procédure)</i>		
00:28:34			"Reçu" <i>(Ack.)</i>	
00:28:36			"Pour information, pour moi au niveau distance on passe le point critique entre Lyon et Turin" <i>(Info/Vol)</i>	

Equipe E7				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:22:27	Déclenchement panne			
00:22:36		"T'as entendu la fréquence?" (Info/Pbm)		
00:22:40				"T'entends quelque chose là?" (Info/Pbm)
00:22:43			"Non" (Info/Pbm)	
00:22:44				"J'ai entendu juste le début de la fréquence quand il me l'a annoncée" (Info/Pbm)
00:22:52	Le COP essaie différents réseaux			"Bon. La une?" (Init. Action)
00:22:54			"Je passe sur la deux, on va voir" (Init. Action)	
00:22:57		"Ouais" (Ack.)		
00:23:01			"Je peux plus passer en radio nav" (Info/Pbm)	
00:23:04				"Radio nav?" (Info/Pbm)
00:23:06			"En radio com, pardon" (Info/Pbm)	
00:23:08	Le CB agit sur les instruments	"Attends" (Init. Action)		
00:23:10		"C'est ok là?" (Info/Action)		
00:23:12			"Ouais" (Info/Action)	
00:23:15				"Je vais essayer derrière" (Init. Action)
00:23:18			"T'essayes derrière et sinon t'allumes la déportée s'il te plait" (Init. Action)	
00:23:21				"Ouais" (Ack.)
00:23:22			"Heu 134.02" (Info/Action)	
00:23:24		"Tu peux nous le mettre?" (Init. Action)		
00:23:24				"Ouais" (Ack.)
00:23:25		"134.02?" (Info/Action)		
00:23:26			"Ouais" (Info/Action)	
00:23:29				"Elle est en marche" (Info/Action)
00:23:31				"137.02" (Info/Action)
00:23:32		"Ok" (Ack.)		
00:23:35			"Je reprends contact avec .." (Init. Action)	

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:23:36		"Ouais s'il te plaît" (Init. Action)		
00:23:49			"Ouais j'entends pas quand ils parlent" (Info/Pbm)	
00:23:51				"Ah ouais mais y a pas de déporté dans le simu" (Info/Action)
00:23:53		"Hein?" (Ack.)		
00:23:54				"Y a pas de déporté dans le simu" (Info/Action)
00:23:55		"Ah bon?" (Ack.)		
00:23:56				"Hé" (Autre)
00:24:03			"Bon..on va traiter la panne" (Init. Action)	
00:24:07	Le MN sort la check-list			"Oui" (Ack.)
00:24:07			"Et on va poursuivre" (Init. Action)	
00:24:12		"Donc t'arrives pas à contacter avec la déportée?" (Info/Action)		
00:24:15	Le CB agit sur les instruments	"Attends, radio com.." (Init. Action)		
00:24:18		"Non, ça veut pas" (Info/Action)		
00:24:23		"Ok. À droite, non plus?" (Init. Action)		
00:24:26			"(..) non plus (..)" (Info/Action)	
00:24:29		"Sinon on peut essayer heu.." (Init. Action)		
00:24:34				"Attends je vais regarder..ah quoi que non" (Init. Action)
00:24:36			"Ah on a plus accès au.." (Info/Pbm)	
00:24:37				"Ouais ouais" (Ack.)
00:24:38				"(..) on est bloqué sur sur la page FMS" (Info/Pbm)
00:24:40			"Et là, on peut changer la page FMS, non, même pas?" (Info/Pbm)	
00:24:43				"Si " (Info/Pbm)
00:24:45			"Heu le FMS lui (..)" (Info/Pbm)	
00:24:45				"(..)" (NI)

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:24:47	Le MN sort une check-list	"Ok, on a une panne associée" (Info/Pbm)		
00:24:49		"Vas-y regarde si y a une panne associée" (Arg./Ass - Procédure)		
00:24:51		"Peut-être faut faire un reset CIR ou quelque chose" (Init. Action)		
00:24:53				"Alors on va faire le check ouais" (Ack.)
00:24:55		"Regarde.." (Init. Action)		
00:24:58		"Panne du système commande radio" (Info/Action)		
00:25:02	Le MN lit la check-list			"(..)" (Info/Action)
00:25:06			"Je vais regarder sur le transpondeur pour l'instant" (Init. Action)	
00:25:07		"Ouais. Affirm" (Ack.)		
00:25:08	Le MN sort une autre check-list	"Et puis on va voir" (Info/Action)		
00:25:35			"Je vais essayer sur la deux" (Init. Action)	
00:25:47			"Bon, c'est pareil sur la deux" (Info/Action)	
00:25:49		"Ouais, moi j'ai rien moi" (Info/Pbm)		
00:25:51		"Tu tentes un reset CIR?" (Init. Action)		
00:25:53				"Si tu veux ouais" (Ack.)
00:25:54		"Ouais" (Ack.)		
00:25:56	Le MN lit la check-list			"Attends je vérifie heu.." (Arg./Désaccord - Procédure)
00:25:58			"Ben non ça fonctionne pas sur les radios en elles-mêmes hein, à mon avis non" (Pensée/Pbm)	
00:26:02		"Ben heu la déportée elle marche non plus" (Info/Action)		
00:26:05				"La déportée pas non plus donc ouais" (Ack.)
00:26:07		"C'est quand même bizarre (..) commande" (Pensée/Pbm)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:26:10				"On tente le reset CIR" (Init. Action)
00:26:14				"Allez attention, c'est parti" (Info/Action)
00:26:21	Le MN voit une alarme			"Je vais voir si le cycleur et les breakers sont bons, mais bon" (Init. Action)
00:26:33	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit			"(..)" (NI)
00:26:36			"J'ai plus l'alarme" (Info/Pbm)	
00:26:37		"Ouais je crois que c'est une erreur" (Pensée/Pbm)		
00:26:39				"C'est bon?" (Info/Pbm)
00:26:40			"Ben écoute (..) c'est revenu" (Info/Pbm)	
00:26:41		"(..) ça lui a fait du bien apparemment" (Pensée/Pbm)		
00:26:44		"T'essayes de reprendre la une?" (Init. Action)		
00:26:46	Le MN rejoint son poste à l'avant		"Sur 134.02" (Info/Action)	
00:26:56			"Oui, on a accès maintenant, mais tjs pas.." (Info/Pbm)	
00:26:59				"Ouais, j'entends pas non plus" (Info/Pbm)
00:27:07			"Je vais réessayer avec l'approche de Lyon" (Init. Action)	
00:27:10			"Sur la VHF 2" (Info/Action)	
00:27:24			"Non. Panne radio. Le déportée heu" (Info/Pbm)	
00:27:27		"Ok.." (Ack.)		
00:27:28			"Elle est toujours en marche toi la déportée?" (Info/Action)	
00:27:29		"Affirm ouais" (Info/Action)		
00:27:31		"Alors, on est en route sur medam" (Info/Vol)		

Equipe E8				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:19:45	<i>Déclenchement panne</i>			
00:19:47		"Ah" (<i>Autre</i>)		
00:19:50		"2 1 2 4 quelque chose?" (<i>Info/Pbm</i>)		
00:19:52	<i>Alarme sonore</i>			
00:19:53				"Il n'y a plus rien" (<i>Info/Pbm</i>)
00:19:55				"Et une alarme radio nav" (<i>Info/Pbm</i>)
00:19:57		"Ah, appuie sur reset cir" (<i>Init. Action</i>)		
00:19:58	<i>Le MN agit sur les instruments</i>	"Radio nav aussi?" (<i>Info/Pbm</i>)		
00:19:59				"Ouais" (<i>Info/Pbm</i>)
00:20:00		"Vas-y mets toi sur la page" (<i>Init. Action</i>)		
00:20:01				"(..) fail, c'est les radio nav (..)" (<i>Info/Action</i>)
00:20:03		"(..) radio com" (<i>Info/Pbm</i>)		
00:20:12		"Appuie sur radio com" (<i>Init. Action</i>)		
00:20:15				"Il ne veut pas" (<i>Info/Action</i>)
00:20:18	<i>Le CB agit sur les instruments</i>			"Touche.." (<i>Info/Action</i>)
00:20:21				"Tu peux sur la tienne?" (<i>Info/Action</i>)
00:20:25	<i>Le CB actionne le reset CIR</i>			"Il ne veut pas" (<i>Info/Pbm</i>)

Equipe E9				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:22:02	Déclenchement panne			
00:22:05		"Ah" (Autre)		
00:22:07	Le CB effectue un appel radio	"Gotham 1010"		
00:22:14		"Heu j'ai compris "126" mais après?" (Info/Pbm)		
00:22:18		"Alors" (Autre)		
00:22:22		"Ouais j'ai une panne radio" (Info/Pbm)		
00:22:23			"Je t'entends pas quand tu parles" (Info/Pbm)	
00:22:25		"Tu veux essayer?" (Init. Action)		
00:22:26			"Ouais" (Ack.)	
00:22:29			"J'entends plus" (Info/Action)	
00:22:30		"Ca marche plus" (Info/Pbm)		
00:22:30			"Est-ce que (..) sur la VHF2?" (Init. Action)	
00:22:32		"Ouais on va essayer sur la 2" (Ack.)		
00:22:35		"Pour voir si c'est la radio, tu.." (Init. Action)		
00:22:37			"Attends je passe la page radio" (Init. Action)	
00:22:38	Le MN agit sur les instruments	(..) MN il est en train de toucher aux radios,		
00:22:39		"Attends" (Pensée/Désaccord)		
00:22:41		"On va d'abord traiter la radio MN" (Arg./Désaccord - Procédure)		
00:22:43				"La radio aussi mais heu" (Pensée/Désaccord)
00:22:45			"J'ai perdu heu, j'ai perdu le vor2" (Info/Pbm)	
00:22:47		"(..) traiter le vor là" (NI)		
00:22:50			"On a perdu les 2 vor?" (Info/Pbm)	
00:22:51		"Là t'as.." (Info/Pbm)		
00:22:55			"Moi non plus je peux pas passer sur la page radio com hein" (Info/Pbm)	

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:22:57		"Alors..essaye de les rappeler" <i>(Init. Action)</i>		
00:22:59			"Et en secours? Tu veux pas les passer sur la déportée à ce moment là?" <i>(Init. Action)</i>	
00:23:02				"Mais ya pas de déportée au simu, fin je crois pas?" <i>(Info/Action)</i>
00:23:04			"Oui mais bon, on peut faire comme si.." <i>(Info/Action)</i>	
00:23:06				"Ah (..)" <i>(Autre)</i>
00:23:07			"Non?" <i>(Info/Action)</i>	
00:23:08		"Est-ce que ya une déportée au simu?" <i>(Info/Action)</i>		
00:23:09				"Non ya pas de déportée" <i>(Info/Action)</i>
00:23:10		"Ah ya pas de déportée" <i>(Ack.)</i>		
00:23:11			"Non mais on peut la mettre (..) non?" <i>(Info/Action)</i>	
00:23:13				"Heu ouais" <i>(Info/Action)</i>
00:23:13			"Non ça marche pas?" <i>(Info/Action)</i>	
00:23:15		"Heu on va essayer une dernière fois" <i>(Init. Action)</i>		
00:23:16				"(..) il marche pas non plus" <i>(Info/Pbm)</i>
00:23:18		"(..) MN, est-ce que tu peux essayer toi avec ta VHL de contacter " <i>(Init. Action)</i>		
00:23:21		"Pour voir si c'est nos BCB ou si c'est une panne radio totale?" <i>(Arg./Ass - Procédure)</i>		
00:23:25				"Où ça? Sur la une ou la deux?" <i>(Info/Action)</i>
00:23:26			"La deux, avec Genève" <i>(Info/Action)</i>	
00:23:28		"Avec Genève, on a pas de.." <i>(Info/Action)</i>		
00:23:29				"Et c'est qui heu?" <i>(Info/Action)</i>

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:23:30			"Gotham 1010" (Info/Action)	
00:23:31		"Gotham 1010" (Ack.)		
00:23:32				"Oui mais qui c'est qu'on.." (Info/Action)
00:23:33			"Genève" (Info/Action)	
00:23:33		"Genève" (Info/Action)		
00:23:36	Le MN effectue un appel radio			"J'ai rien" (Info/Action)
00:23:37		"Bon et ben on va dire qu'on est en panne radio" (Info/Pbm)		
00:23:39		"Donc on va quand même leur faire le, on va on va, je vais quand même leur faire le message " (Init. Action)		
00:23:42		"Au cas où on est juste en panne de reception" (Arg.Ass - procédure)		
00:23:59	Le CB affiche 76.00	"Bon alors, on a 76.00" (Init. Action)		
00:24:01		"Heu tiens, y avait 77 avant sur le transpondeur" (Info/Action)		
00:24:05			"76.00 par contre je pense qu'il faut quand même parler d'un autre problème " (Init. Action)	
00:24:07			"C'est qu'on a perdu chacun notre vor.." (Arg./Ass - Procédure)	
00:24:11		"Ouais, heu on va d'abord terminer la radio " (Arg./Ass - Procédure)		
00:24:14		"Donc là on est en panne radio, donc on va, on va faire heu.." (Arg./Ass - Procédure)		
00:24:18		"On va utiliser donc la procédure en cas de panne radio" (Init. Action)		

Equipe 10				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:20:51	Déclenchement panne			
00:20:57	Alarme sonore			
00:20:58				"Alors, ..on a une panne de radio nav" (Info/Pbm)
00:21:05		"Alors, ...radio nav failed" (Info/Pbm)		
00:21:16		"On a pas trouvé de radio nav pour le moment" (Info/Pbm)		
00:21:19			"On a (..) aussi un problème radio" (Info/Pbm)	
00:21:23		"Ouais ouais" (Ack.)		
00:21:24			"Oui" (Ack.)	
00:21:26		"On va (..) fréquence avec Marseille" (Init. Action)		
00:21:32				"A priori heu (..) devant" (Info/Pbm)
00:21:37		"Reçu" (Ack.)		
00:21:40	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit			"(..) ça veut dire quoi?" (Pensée/Pbm)
00:21:56		"Alors, on a pas d'accès aux pages de radio nav" (Info/Pbm)		
00:21:59			"On n'a pas d'autre accès aux pages radio nav ?" (Init. Action)	
00:22:02				"On a accès aux pages du FMS qui dit (..) etc" (Info/Action)
00:22:07		"On a pas accès aux pages de radio nav, donc déjà on va passer en pages radio com" (Init. Action)		
00:22:11				"Radio com non plus hein" (Info/Action)
00:22:12	Le Mn retourne à son poste à l'avant	"Donc là, on a (..) de FMS, radio nav on a rien" (Info/Pbm)		
00:22:18				"Ouais .. À priori le boîtier commande.. " (Ack.)
00:22:21			"Donc en gros là, il nous reste que le VOR1 de secours?" (Init. Action)	

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:22:24			"On peut rien changer?" (Init. Action)	
00:22:26				"Attends.. (..) fonctionne" (Info/Pbm)
00:22:31	Le Mn sort une check-list	"Bon heu .." (Autre)		
00:22:33	Le Mn range la check-list			"T'essayes de voir si tu peux pas changer à gauche?" (Init. Action)
00:22:35	Le Mn se dirige vers l'arrière du cockpit	"Ouais, tu me mets juste s'il te plaît, sur la déportée, la une déportée, tu me mets heu le fréquence 134.02" (Init. Action)		
00:22:44				"La 134.02?" (Ack.)
00:22:45		"Ouais, s'il te plaît" (Ack.)		
00:22:48				"Quand on est dans le simu, y a pas de déporté" (Info/Action)
00:22:50		"Oh" (Autre)		
00:22:51	Le Mn retourne à son poste à l'avant			"J'pensais qu' y en a une" (Pensée/Action)
00:22:56				"Elle est cassée, on est partis avec" (Info/Action)
00:22:58		"On est partis avec une déportée cassée?" (Info/Action)		
00:22:59		"Oh..panne radio alors" (Info/Pbm)		
00:23:02		"Alors bon (..)" (Autre)		
00:23:05	Le MN sort une check-list			"Reçu" (Ack.)
00:23:07	Le MN range la check-list	"Donc on va faire heu (..) on va faire l'analyse.." (Init. Action)		
00:23:12				"L'analyse.." (Ack.)
00:23:13		"Et le bilan, et en fonction de ça (..) on va faire ce qui va bien" (Arg./Ass - Procédure)		
00:23:18	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit			"Moi je vais essayer(..) quand même" (Init. Action)
00:23:21		"T'arrives à les afficher toi ou pas?" (Info/Pbm)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:23:25	<i>Le MN retourne à son poste à l'avant</i>	"T'arrives à sélectionner les pages ou pas?" (<i>Info/Pbm</i>)		
00:23:26			"(..) les pages je peux pas les avoir" (<i>Info/Pbm</i>)	
00:23:30		"Et si on.." (<i>Init. Action</i>)		
00:23:33	<i>Le Mn sort une check-list</i>	"Ok" (<i>Ack.</i>)		
00:23:42		"D'accord, alors, ensuite, FMS, j'y suis, est-ce que j'ai accès à la page ALT? " (<i>Info/Action</i>)		
00:23:49		"Ca c'est la page ALT : dans le FMS j'ai accès à toutes les pages, c'est déjà pas si mal" (<i>Info/Action</i>)		
00:23:55			"Ah moi il est bloqué" (<i>Info/Action</i>)	
00:23:57	<i>Le MN range la check-list</i>	"Je vais essayer de faire un check quand même avec .. Jamena" (<i>Init. Action</i>)		
00:24:08			"Je vais tenter de faire un message en blanc" (<i>Init. Action</i>)	
00:24:10		"Ouais" (<i>Ack.</i>)		
00:24:12		"C'est ce que je vais faire" (<i>Init. Action</i>)		
00:24:13			"On va afficher 76.00 à l'issue aussi" (<i>Init. Action</i>)	
00:24:15		"Ouais, on va faire l'analyse" (<i>Pensée/Désaccord</i>)		
00:24:17		"On va faire l'analyse et on affichera après" (<i>Arg/Désaccord - Procédure</i>)		
00:24:20				"Analyse : a priori les (..) ça ne marche pas, j'ai vérifié les disjoncteurs, rien de particulier" (<i>Info/Action</i>)
00:24:24		"D'accord " (<i>Ack.</i>)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:24:25		"Et la check-list associée, elle parle de quelque chose ou pas?" (<i>Info/Action</i>)		
00:24:27	<i>Le MN sort une chek-list</i>			"Eh bien, le problème de la check-list associée.." (<i>Pensée/Action</i>)
00:24:42				"Elle traite des pannes séparées mais la perte d'un équipement si tu veux.." (<i>Info/Action</i>)
00:24:55				"On est pas sur la perte d'un équipement, on a la perte d'un équipement total quoi" (<i>Info/Action</i>)
00:25:03				"Est-ce que vous avez des alarmes à noter?" (<i>Info/Pbm</i>)
00:25:05		"J'ai rien du tout à droite, j'ai que des alarmes radio nav (..)" (<i>Info/Pbm</i>)		
00:25:06		"Pour accéder aux pages FMS, ça nous aide pas, donc.." (<i>Arg./Ass - Contexte</i>)		
		"Laisse le à gauche pour l'instant" (<i>Init. Action</i>)		
00:25:13			"D'accord" (<i>Ack.</i>)	
00:25:16		"Heu, dans 16 nautiques on arrive au point critique" (<i>Info/Vol</i>)		

2^d point de décision

Equipage E3				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:24:21				"(..)" (NI)
00:24:24		"ok, on a plus de radio.." (Arg/Ass - Contexte)		
00:24:26		"là on va arriver sur le point critique" (Arg/Ass - Contexte)		
00:24:28		"on va faire demi-tour en emergency hein?" (Init. Action)		
00:24:29			"ok" (Ack.)	
00:24:30		"tu me confirmes le point critique? On est à quel niveau là?" (Info/Vol)		
00:24:33			"heu attends" (Autre)	
00:24:34		"(..)" (NI)		
00:24:35			"ouais ok" (Ack.)	
00:24:36	Le MN agit sur les instruments		"Milpa c'est bon, donc heu dans 25 nautiques" (Info/Vol)	
00:24:39		"ouais donc heu, ben écoute heu.." (Ack.)		
00:24:41			"et là on pourra passer 76.00" (Init. Action)	
00:24:43		"on va passer 77" (Pensée/Désaccord)		
00:24:45		"parce que je te rappelle qu'on est un petit peu super chargés quoi" (Arg/Désaccord - Contexte)		
00:24:48		"et là on est au niveau 180, on est plus en supérieur" (Arg/Désaccord - Contexte)		
00:24:50			"d'accord" (Ack.)	
00:24:51		"hein, donc on a pas le droit de passer au-dessus des Alpes" (Arg/Désaccord - Procédure)		
00:24:52			"ok" (Ack.)	
00:24:53		"donc je passe emergency" (Init. Action)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:24:57		"tu peux l'afficher en même temps? " (<i>Init. Action</i>)		
00 :24 :59		"Comme ça on voit ce qui est pas normal" (<i>Arg/Ass - Simulation</i>)		
00:25:01				"reçu" (<i>Ack.</i>)
00:25:04	<i>Le MN agit sur les instruments</i>	"tu fais demi-tour?" (<i>Init. Action</i>)		
00:25:05			"ok" (<i>Ack.</i>)	

Equipe E5				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:28:27			"Donc on avait une météo sur Turin (..) (Info/Vol)"	
00:28:33	Le COP sort la fiche météo		"Je revérifie à gauche" (Init. Action)	
00:28:36		"Reçu" (Ack.)		
00:28:41		"Donc je t'écoute maintenant" (Init. Action)		
00:28:42	Le MN lit la check-list			"Ok, donc heu "BDnav inutilisable, cause disjonteur calculateur gestion DB9alpha déclenché"" (Info/Action)
00:28:50				"Je vais le vérifier" (Init. Action)
00:28:51	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit	"Oui" (Ack.)		
00:28:52				"Il aurait pu le mettre un peu plus près" (Autre)
00:29:12	Le MN rejoint son poste à l'avant			"Enclenché" (Info/Action)
00:29:16				"panne de liaison gemini-BDnav et BDnav non formaté" (Info/Action)
00:29:20	Le MN lit la check-list			"ce sont des différentes causes. Procédure (..)appeler la page alarme du BDF pour préciser la panne" (Info/Action)
00:29:30	le COP agit sur les instruments			"Vas-y" (Init. Action)
00:29:35			"(..)" (NI)	
00:29:35				"Attends, je vais le tenter derrière" (Init. Action)
00:29:36			"Ouais" (Ack.)	
00:29:38	Le MN se dirige vers l'arrière du cockpit			"Comme c'est une panne qui est intervenu sur le FMS1.." (Arg/Ass-Procédure)
00:28:40				"Donc basic module fail et les status.." (Arg/Ass-Procédure)

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:28:46				"(..) manuel ya que des zeros, mode automatique?" (Arg/Ass-Procédure)
00:28:48	Le MN rejoint son poste à l'avant			"Faut que je les relève" (Init. Action)
00:28:50				"Donc j'ai relevé les status" (Info/Action)
00:28:53		"Oui" (Ack.)		
00:28:53				"Et ya 2.1 dans le dans tout le status" (Info/Action)
00:28:56		"Ok" (Ack.)		
00:29:58				""effectuer un on-off inférieur à 7 secondes sur le FMS1 ou 2 pour confirmer la perte de liaison"" (Info/Action)
00:30:07		" Ben écoute (..)" (Ack.)		
00:30:08				"On met radio nav sur quoi là?on est en route avec heu.." (Info/Action)
00:30:10		"On n'arrive pas à avoir de radio nav hein, donc tu le fais sur le, tu le fais sur le 1.." (Info/Action)		
00:30:14				"Oui" (Ack.)
00:30:15		"Et en revanche, je ferais bien un reset CIR avant ça quoi.. " (Init. Action)		
		"De toutes façons on a plus de radio on a plus rien " (Arg/Ass-Contexte)		
00:30:21				"Oui" (Ack.)
00:30:22		"Donc on va faire un reset CIR dès maintenant et ensuite on fera (..)FMS" (Init. Action)		
00:30:25				"Ouais" (Ack.)
00:30:26			"Pour l'équipage, donc pour là, en fait on passe, on arrive au point critique" (Info/Vol)	

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:30:29			"et la météo sur Turin n'est pas accessible puisqu'on avait l'ILS hors service.." <i>(Info/Vol)</i>	
00:30:32		"Oui ils ont, ils ont.." <i>(Ack.)</i>		
00:30:34			"On a broken 400 pour le taf" <i>(Info/Vol)</i>	
00:30:37			"Donc Turin le taf de 6 heures à 15 heures.." <i>(Info/Vol)</i>	
00:30:41		"Ca c'est les taf là hein, on contactera, on verra, on ira voir, il faisait meilleur sur Bergamo, donc c'est bon" <i>(Arg/Désaccord-Simulation)</i>		
00:30:47			"Reçu" <i>(Ack.)</i>	
00:30:48		"Et de toutes façons, maintenant on pourra plus faire demi-tour en cas de problème" <i>(Info/Pbm)</i>		
00:30:52				"On fait la reset CIR?" <i>(Init. Action)</i>
00:30:53		"Vas-y, reset CIR" <i>(Init. Action)</i>		
00:30:56	Le MN effectue le reset CIR			"Parti" <i>(Info/Action)</i>

Equipage E6				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:28:42			"Turin est accessible" (Info/Vol)	
00:28:44			"Il faut (..) dès à présent les 31 nautiques restant en fait" (Info/Vol)	
00:28:47		"Ouais " (Ack.)		
00:28:48			"De Medam" (Info/Vol)	
00:28:50			"Donc maintenant en cas de déroutement ce serait Turin, Turin accessible" (Info/Vol)	
00:28:54			"Je sors les fiches à gauche" (Init. Action)	
00:28:56		"Ok reçu" (Ack.)		
00:28:57		"Panne SSC c'est ça?" (Info/Action)		
00:28:59		"T'es dans les pannes ssc là?" (Info/Action)		
00:29:02				"Ouais je regarde mais bon heu.." (Info/Action)
00:29:16		"Heu écoute heu" (Autre)		
00:29:25				"Qu'est-ce qu'on a eu comme alarme? Juste une radio nav?" (Info/Pbm)
00:29:31		"Non on a radio nav et je pense qu'on a radio com aussi" (Info/Pbm)		
00:29:41			"(..) 002 en descente (..)200 pieds à gauche" (Info/Vol)	
00:29:44	Le CB lit une check-list	""UG HS"" (Info/Action)		
00:29:51				"Non ben ya rien qui correspond pour moi" (Pensée/Action)
00:29:58		"Bon écoute on va déjà faire un reset CIR.." (Init. Action)		
		"Ca engage à rien" (Arg/Ass-Simulation)		
00:30:03				"Ok" (Ack.)
00:30:04	Le MN range la check-list	"Ca te va?" (Pensée/Action)		
00:30:05		"Hein MN?" (Pensée/Action)		
00:30:07	Le CB effectue le reset cir			"Ben oui on peut tenter" (Pensée/Action)

Equipe E9				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
		"Donc là comme on est en condition IMC " (Arg./Ass - Procédure)		
		"On peut pas se dérouter sur un terrain" (Pensée/Action)		
00:24:26		"Donc on va..on a pas eu de nouvelle clearance " (Arg./Ass - Procédure)		
		"On va continuer " (Init. Action)		
		"Confirmément à notre plan de vol " (Arg./Ass - Procédure)		
00:24:31		"Et on..(..) verticale latente et à l'heure de l'arrivée prévue on descendra" (Info/Action)		
00:24:36			"Ouais" (Ack.)	
00:24:37		"Comme le veut la loi" (Arg./Ass - Procédure)		
		"On a mis 76.00" (Init. Action)		
00:24:40		"Donc, maintenant, la radio c'est traité" (Info/Pbm)		
00:24:43				"Ouais" (Ack.)
00:24:44	Le MN sort une check-list	"Alors on a des pannes de radio nav" (Info/Pbm)		
00:24:47		"Je t'écoute pour les..pour les radios nav, on arrive plus à passer en page radio com radio nav, MN" (Init. Action)		
00:24:55		"Et on a.." (NI)		
00:24:56			"Et on a perdu ..les vor..pour moi" (Info/Pbm)	
00:24:57		"Voilà, et ils mettent heu "radio nav failed select radio nav mode on vor (..)" (Info/Action)		
00:25:04				"Ouais mais ça c'est les conséquence du, de la perte du vor" (Pensée/Pbm)

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:25:08				"Après on a une autre panne c'est la, c'est ne pas, les touches qui ne répondent pas quoi" (Info/Pbm)
00:25:12	<i>Le CB effectue un appel radio</i>	"Attends je vais essayer quelque chose sur la deux" (Init. Action)		
00:25:16	<i>Le MN lit une check-list</i>	"Sur la deux j'arrive pas à transmettre" (Info/action)		
00:25:20		"Non" (Info/Action)		
00:25:26		"Moi j'ai, moi j'ai aucun retour sur toutes mes radios, MN" (Info/Pbm)		
00:25:32		"Ok" (Ack.)		
00:25:33			"T'as essayé en secours aussi?" (Init. Action)	
00:25:36		"Heu, je vais essayer pour voir" (Init. Action)		
00:24:41		"J'avais essayé avant sur le premier mais j'ai pas essayé sur les autres en secours" (Info/action)		
00:25:45		"Non plus" (Info/action)		
00:25:47		"Ah...non plus" (Info/action)		
00:25:54		"On n'a pas (..) radio?" (Info/Pbm)		
00:25:57		"On a pas pris les cartes radio dans l'autre vor, MN" (Info/Pbm)		
00:26:00				"Heu non, non non" (Info/Pbm)
00:26:03		"Non parce que là heu" (Autre)		
00:26:06		"Forte chance que ça soit une uv qui est tombé sur une asd qui est tombé en rade " (Pensée/Pbm)		
00:26:09				"Tout à l'heure je (..) quand vous avez parlé de vérifier les coordonnées à Médam, c'est que y avait un problème avec le GPS?" (Info/Pbm)

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:26:15	Le MN lit une check-list	"Non, les FMS (..) vérifier vraiment le la position du GPS puisque y a plus de nav" (Info/Pbm)		
00:26:16			"Oui, ça d'accord mais heu" (Pensée/Désaccord)	
00:26:22			"Justement puisqu'on a plus de radio nav pour l'instant heu " (Arg./Désaccord - Contexte)	
00:26:24		"Ouais .." (Ack.)		
00:26:24			"Là au moins on est sûr des points de .. " (Arg./Ass - Procédure)	
00:26:27		"D'abord, on va checker ça " (Pensée/Désaccord)		
00:26:29		"Parce qu'après le deuxième souci c'est que si on a plus de radio nav, on peut pas percer" (Arg./Désaccord - Procédure)		
00:26:38				"Heu je, moi, d'après ce qui ya, ya pas cette genre de panne" (Pensée/Action)
00:26:42				"Donc heu à la limite je propose un reset CIR" (Init. Action)
00:26:47				"Parce que normalement ya des pages même (..) les 3, les 2 plus celui-là qui est en rade, donc heu" (Arg./Ass - Contexte)
00:26:49		"Ouais (..) (Ack.)		
00:26:54		"Bon ben écoute heu .." (Autre)		
00:26:55				"Tu restes dans une situation non..non panne simple en fait" (Arg./Ass - Procédure)
00:26:58		"On va faire ça, on va faire un reset CIR pour voir ce que ça donne (..) (Init. Action)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:27:00	Le MN lit une check-list			"touche bcr inactive", mais touche bcr inactive, on les a toutes" (Info/Action)
00:27:04		"En fait, le..et est-ce qu'ils disent quelque chose sur le ssc qui marche pas?" (Init. Action)		
00:27:07				"Justement, je regardais la ssc aussi" (Info/action)
00:27:09		"Parce que moi le ssc ya ya ya plus rien" (Arg./Ass - Contexte)		
00:27:12				"Ouais, donc c'est pour moi c'est c'est un élément du ssc qui qui doit ou carrément le ssc qui doit.." (Pensée/Pbm)
00:27:18		"Tu penses que c'est le ssc qui est en panne? Parce que j'ai plus aucune heu.." (Pensée/Pbm)		
00:27:20				"Ouais ouais" (Pensée/Pbm)
00:27:21				"Ouais donc c'est pour ça mais ya, ya perte d'un élément mais ya pas perte du ssc, en soi" (Pensée/Pbm)
00:27:28				"Comprenez-vous ce que je veux dire?" (Pensée/Pbm)
00:27:30			"Oui" (Ack.)	
00:27:31		"Je comprends ouais" (Ack.)		
00:27:32				"Y a pas de panne ssc dedans. Voilà ça existe pas" (Pensée/Action)
00:27:54		"Alors, ouais.." (Ack.)		
00:27:57		"A Lyon, tu te souviens de ce qu'ils ont passé ..en plafond?" (Info/Action)		
00:28:00			"Ouais, cavok" (Pensée/Pbm)	
00:28:01		"Ok" (Ack.)		

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN	
00:28:02	<i>Le MN lit une check-list</i>		"Parce que là ce qu'il fait, le problème.." (NI)		
00:28:03		"Ouais je..c'est ce que j'étais en train de " (NI)			
00:28:05			"On a pas l'atis de Turin..donc heu" (Arg./Ass - Procédure)		
00:28:07		"Et que surtout on a panne radio nav pour passer" (Arg./Ass - Procédure)			
00:28:09			"On a pas de radio nav et sachant qu'à Lyon, même si on a dépassé le point critique, sachant qu'ils nous ont annoncé cavok, si on peut descendre un peu.." (Arg./Ass - Procédure)		
00:28:17			"Ouais" (Ack.)		
00:28:18			"Au moins on aura heu on est sûr d'avoir heu, la visi pour se poser quoi" (Arg./Ass - Simulation)		
00:28:23			"A Turin on a aucune indication" (Arg./Ass - Procédure)		
00:28:24				"T'as vu les (..) sur le..?" (Info/Vol)	
00:28:26			"Ouais il fait pas beau" (Info/Vol)		
00:28:27				"D'accord" (Ack.)	
00:28:30		"Ben je pense qu'il va falloir vite prendre une décision (..) fais un reset cir" (Init. Action)			
00:28:32				"(..)" (NI)	
00:28:34	<i>Le MN effectue le reset cir</i>			"Ouais" (Ack.)	

Equipeage 10				
Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:25:20		"Heu plutôt que de se dérouter à l'étranger on va essayer de se dérouter en France " (<i>Arg/Ass - Simulation</i>)		
00:25:23		"Donc heu" (<i>Init. Action</i>)		
00:25:25			"Donc à Lyon toujours" (<i>Info/Action</i>)	
00:25:27		"On se donne encore 10 nautiques pour prendre la décision" (<i>Init. Action</i>)		
00:25:33		"On va prendre une mise de cap sur Lyon, une mise de cap a priori, d'accord?" (<i>Init. Action</i>)		
00:25:36			"Reçu" (<i>Ack.</i>)	
00:25:38			"Maintenant ou ..?" (<i>Info/Action</i>)	
00:25:38		"Non non, dans 10 nautiques" (<i>Info/Action</i>)		
00:25:39		"On va essayer de réfléchir, on va peut-être (..) 76.00, ça donne le temps à MN de traiter son, son histoire là" (<i>Arg/Ass - Contexte</i>)		
00:25:55		"Et on a une VOR déportée là, on a rien du tout?" (<i>Info/Action</i>)		
00:25:57			"Non y en a pas" (<i>Info/Action</i>)	
00:25:57				"Non y en a pas" (<i>Info/Action</i>)
00:25:58		"Bon ça va, ça va être costaud là cette histoire" (<i>Pensée/Pbm</i>)		
00:26:00		"Va falloir naviguer aux instruments dans une TMA qui est saturée" (<i>Arg/Ass - Simulation</i>)		
00:26:05		"Sans moyens radio nav" (<i>Arg/Ass - Simulation</i>)		
00:26:07		"Je pense que ça va être rock'n roll" (<i>Arg/Ass - Simulation</i>)		
00:26:09			"Oui" (<i>Ack.</i>)	

Temps	Actions et événements	CB	COP	MN
00:26:10		"Et bien tu commences à mettre les moyens sur Lyon?" (<i>Init. Action</i>)		
00:26:20				"Donc là le problème c'est qu'on a pas de panne qui corresponde directement aux problèmes qu'on a " (<i>Pensée/Action</i>)
00:26:25		"T'es sûr?" (<i>Pensée/Désaccord</i>)		
00:26:27	Le MN lit la check-list			"Heu..on pourrait peut-être faire un .. tenter un reset CIR" (<i>Init. Action</i>)
00:26:30		"Ouais, vas-y, tente un reset CIR" (<i>Init. Action</i>)		
00:26:32		"Après je proposerai qu'on éteigne le (..) et qu'on le rallume " (<i>Init. Action</i>)		
00:26:40	Le MN effectue le reset CIR			"Ok, c'est parti" (<i>Info/Action</i>)

Annexe 9 : Liste des publications

Communications dans des congrès internationaux :

Bourgeon, L., Valot, C., & Navarro, C. (2011). Study of perseveration behaviors in military aeronautical accidents and incidents: Analysis of plan continuation errors. *Talk accepted at the Human Factors and Ergonomics Society's 55th Annual Meeting, 19-23 septembre 2011, Las Vegas, Etats-Unis.*

Bourgeon, L., Valot, C., & Navarro, C. (2010). Stratégies collectives d'adaptation face à l'imprévu : place de l'argumentation au sein d'équipages d'avions de transport. *Talk presented at the 45^{ème} Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (p51-55), 13-15 septembre 2010, Liège, Belgique.*

Bourgeon, L., Valot, C., Fauconnet, S., Loyau, F., & Navarro, C. (2009). The effects of success-related pressure on information processing strategies and plan continuation error. *Poster presented at the 15th International Symposium on Aviation Psychology (p 563-568), 27-30 avril 2009, Dayton, Etats-Unis.*

Bourgeon, L., Valot, C., & Navarro, C. (2008). Flexibility of aircrews' decision making: an analysis of crew members argumentation. *Talk presented at the 8th International Symposium of the Australian Aviation Psychology Association, "Making it happen", 8-11 avril 2008, Sydney, Australie.*

Communications dans des congrès nationaux :

Bourgeon, L., Valot, C., & Navarro, C. (2007). Discussion d'avis divergents et familiarité des équipages d'avions de transport : impacts sur le niveau de résilience. *Poster presented at the Colloque de l'Association pour la Recherche Cognitive - ARCo'07, « Cognition- Complexité-Collectif » (p 11), 28-30 novembre 2007, Nancy, France.*

Bourgeon, L., Valot, C & Navarro, C. (2006). Do aircrews trained and working within a same organization develop similar adaptive strategies to cope with complex situations? *Poster presented at the 2nd Symposium on Resilience Engineering, 8-10 novembre 2006, Juan-les-Pins, France.*

Communications médico-militaires :

Bourgeon, L., Valot, C., & Navarro, C. (2010). Composantes cognitives des comportements de persévération dans l'activité de pilotage. *Poster presented at the 4^{ème} Biennale de la recherche du Service de Santé des Armées (p 82), 02-03 juin 2010, Paris, France.*

Bourgeon, L., Valot, C. & Navarro, C. (2008). Comment gérer un événement inattendu en vol ? : Analyse de l'argumentation d'équipages de transports. *Poster presented at the 3^{ème} Biennale de la recherche du Service de Santé des Armées, 10-11 juin 2008, Paris, France.*

Bourgeon, L., Valot, C. & Navarro, C. (2006). Gestion du risque et modes de coopération dans le cockpit. *Poster presented at the 2^{ème} Biennale de la recherche du Service de Santé des Armées, 13-14 juin 2006, Paris, France.*