Apport de l'aide à la décision à la coopération Homme-machine. Application au contrôle du trafic aérien

David Annebicque

▶ **To cite this version:**

David Annebicque. Apport de l'aide à la décision à la coopération Homme-machine. Application au contrôle du trafic aérien. Automatique / Robotique. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2010. Français. NNT : . tel-02112935

HAL Id: tel-02112935
https://hal.science/tel-02112935

Submitted on 27 Apr 2019

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.

LABORATOIRE D'AUTOMATIQUE, DE MÉCANIQUE, D'INFORMATIQUE INDUSTRIELLES ET HUMAINES
LAMIH FRE 3304

Numéro D'ordre : 10/14

THÈSE

Présentée à l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis

Pour l'obtention du

DOCTORAT

Sciences et Technologies

Mention

AUTOMATIQUE, GENIE INFORMATIQUE

Par

David ANNEBICQUE

Ingénieur-Maître

Apport de l'aide à la décision à la coopération Homme-machine.

Application au contrôle du trafic aérien.

Soutenue publiquement à Valenciennes le 19 Mai 2010 devant les membres du jury :

Igor CREVITS	Encadrant
Serge DEBERNARD	Co-directeur de thèse
Nicolas DURAND	Examinateur
Yannick FREIN	Rapporteur
Jean Michel HOC	Examinateur
Patrick MILLOT	Co-directeur de thèse
Daniel NOYES	Rapporteur/Président de Jury
Pascale ZARATE	Rapporteur

UNIVERSITÉ DE VALENCIENNES ET DU HAINAUT CAMBRESIS – UVHC
LE MONT HOUY, 59313 VALENCIENNES CEDEX 9 TÉLÉPHONE : 00 33 (0) 3 27 51 12 34

“Je n’ai pas de talents particuliers.

Je suis juste passionnément curieux.”

Albert Einstein

“Il vaut mieux prendre des décisions audacieuses et risquer de se tromper, plutôt que tergiverser

sans fin et avoir raison trop tard.”

Marilyn Moats Kennedy

Pour mes parents

À mes grands-parents

AVANT-PROPOS

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielles et Humaines (LAMIH) de l'Université de Valenciennes au sein de l'équipe système Homme-machine dirigée par le professeur Frédéric Vanderhaegen, je lui adresse toute ma reconnaissance.

Je remercie Madame Pascale Zaraté, Maître de Conférences et HDR, Responsable du thème Interaction, Autonomie, Dialogue et Coopération de l'IRIT de Toulouse, le Professeur Yannick Frein, Directeur du laboratoire G-SCOP de Grenoble et le Professeur Daniel Noyes, Directeur du LGP de Tarbes pour avoir accepté de rapporter ces travaux.

Je remercie également Jean-Michel Hoc, Directeur de Recherche CNRS à l'IRCCyN de Nantes et Nicolas Durand, HDR et Responsable du pôle POM (Planification, Optimisation, et Modélisation du trafic aérien) à la Direction des Services de la Navigation Aérienne, Direction de la Technique et de l'Innovation (DSNA-DTI) de Toulouse pour avoir accepté d'examiner ces travaux.

Je remercie les Professeurs Patrick Millot et Serge Debernard pour leur encadrement au cours de ces années de thèse.

Je remercie tout particulièrement Igor Crévits pour son accompagnement et son encadrement, les discussions et toute l'aide apportée pour la réalisation de ces travaux. Je remercie également Monsieur Michel Labour pour toute son expertise sur la méthode d'analyse de grille.

J'adresse des remerciements sincères aux contrôleurs du CRNA de Reims qui ont pris le temps de participer à notre étude.

Enfin je remercie les collègues de l'équipe SHM et plus particulièrement Thierry Poulain, Rudy Dahyot, Philippe Richard, Madame Isabelle Oliveira pour son aide dans toutes les démarches administratives, et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réussite de ces travaux.

SOMMAIRE

PRÉAMBULE : LE CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN

1 OBJECTIFS ET ORGANISATION DU CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN 24

1.1 OBJECTIFS 24

1.2 ORGANISATION 24

2 LE CONTRÔLE « EN-ROUTE » 26

2.1 OBJECTIFS DU CONTRÔLE « EN-ROUTE » 26

2.2 ORGANISATION DU CONTRÔLE « EN-ROUTE » 26

3 LE RÔLE DES CONTRÔLEURS AÉRIENS 28

3.1 INTRODUCTION 28

3.2 LE RÔLE DU CONTRÔLEUR ORGANIQUE 28

3.3 LE RÔLE DU CONTRÔLEUR RADARISTE 29

4 CONCLUSIONS 29

CHAPITRE 1 : COOPÉRATION HOMME-MACHINE

1 INTRODUCTION 32

2 CONCEPTION DE SYSTÈMES DE SUPERVISION HOMME-MACHINE 32

2.1 INTRODUCTION 32

2.2 SUPERVISION HOMME-MACHINE 33

2.3 SYSTÈME HOMME-MACHINE 36

3 COOPÉRATION HOMME-MACHINE 37

3.1 DÉFINITION(S) 37

3.2 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA COOPÉRATION HOMME-MACHINE 39

3.3 APPROCHES DE LA COOPÉRATION HOMME-MACHINE 39
3.3.1 Notions de Savoir-Faire et de Savoir-Coopérer 39
3.3.2 Approche fonctionnelle 42
3.3.3 Approches structurelles 43

4 CONSCIENCE DE LA SITUATION 50

4.1 INTRODUCTION 50
4.2 DÉFINITIONS 50
4.3 LA THÉORIE DE LA CONSCIENCE DE LA SITUATION 51
4.3.1 Les différentes approches 52
4.3.2 La conscience de la situation en équipe 57
4.4 RÉFÉRENTIEL COMMUN 58
4.4.1 Principes 58
4.4.2 Les différentes activités induites par le référentiel commun 59
4.5 ESPACE DE TRAVAIL COMMUN COMME SUPPORT DU RÉFÉRENTIEL COMMUN 61
4.5.1 AMANDA V1 : Modélisation de l'Espace de Travail Commun 62
4.5.2 AMANDA V2 : Intégration et évaluation de l'Espace de Travail Commun 62

5 DISCUSSIONS 65

5.1 OBJECTIFS 65
5.2 ÉVITER LES CONFLITS DÉCISIONNELS ENTRE AGENTS : EXEMPLE DE SAVOIR-FAIRE ET DE SAVOIR-COOPÉRER 65
5.3 L'OPTIMALITÉ DE LA DÉCISION : UNE NOTION INADAPTÉE ? 66
5.4 LA PRÉVISION ET LA STABILITÉ : DES BASES ESSENTIELLES 67
5.5 L'ENVIRONNEMENT COMME CONTRAINTE FORTE 67
5.6 LA NOTION DE MAÎTRISE COMME SYNTHÈSE ? 68

6 CONCLUSIONS 69

CHAPITRE 2 : LA COOPÉRATION HOMME-MACHINE VUE SOUS L'ANGLE DE L'AIDE À LA PRISE DE DÉCISION

1 INTRODUCTION 72

2 DÉCISION ET COOPÉRATION HOMME-MACHINE 73

2.1 LE MODÈLE DE L'OPÉRATEUR HUMAIN 73
2.1.1 Le modèle de Rasmussen 73
2.1.2 Le modèle de Hoc-Amalberti 74
2.2 LES DEGRÉS D'AUTOMATISATION 76

3 AIDE À LA DÉCISION 78

3.1 INTRODUCTION 78
3.2 DÉFINITIONS 79

3.3 ORIENTATIONS POUR L'AIDE À LA DÉCISION 80
3.3.1 Théorie de la décision 81
3.3.2 Rationalité procédurale 85
3.3.3 Conclusions sur les orientations de l'aide à la décision 87
3.4 MISE EN ŒUVRE 87
3.4.1 Théorie de la décision & Processus d'aide à la décision 87
3.4.2 Processus de décision 91

4 LIENS ENTRE COOPÉRATION HOMME-MACHINE ET AIDE À LA DÉCISION 96

4.1 LES SIMILITUDES ENTRE COOPÉRATION ET DÉCISION 96
4.2 LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE AIDE À LA DÉCISION DANS LE CONTEXTE DES SYSTÈMES HOMME-MACHINE. 97
4.3 INTÉGRATION DES OUTILS D'AIDE 98

5 DISCUSSIONS SUR L'AIDE À LA DÉCISION 99

5.1 OBJECTIFS 99
5.2 ACTION ET AIDE À LA DÉCISION 100
5.3 ACTION, AIDE À LA DÉCISION ET CONSCIENCE DE LA SITUATION 101
5.4 VERS UNE SÉPARATION ENTRE DÉCISION ET ACTION 102
5.5 AIDE À LA DÉCISION ET MAÎTRISE DE LA SITUATION 103

6 CONCLUSIONS 103

CHAPITRE 3 : PROPOSITION D'UNE DÉMARCHE POUR L'ANALYSE ET LA CONCEPTION DE SYSTÈMES D'AIDE À LA DÉCISION COOPÉRATIFS

1 INTRODUCTION 106

2 PROPOSITION D'UNE DÉMARCHE D'IDENTIFICATION DE LA DÉCISION 106

3 ANALYSE SYSTÉMIQUE DU PROCESSUS DÉCISIONNEL 108

4 ANALYSE MULTICRITÈRE DES DÉCISIONS 109

4.1 DÉCISION MONOCRITÈRE OU MULTICRITÈRE 109
4.2 MÉTHODOLOGIE MULTICRITÈRE D'AIDE À LA DÉCISION - MMCAD 110
4.2.1 Niveau 1 : objet de la décision et esprit de la recommandation 111
4.2.2 Niveau 2 : Analyse des conséquences et élaboration des critères 116
4.2.3 Niveau 3 : Modélisation des préférences, agrégation des performances 119
4.2.4 Niveau 4: Procédures d'investigation, élaboration de la recommandation 122
4.3 RELATION ENTRE PROCESSUS DÉCISIONNEL ET MMCAD 122

5 ANALYSE DE GRILLE 123

5.1 INTRODUCTION 123
5.2 OBJECTIFS 123

5.3 PRINCIPE DE L'ANALYSE DE GRILLE 124
5.3.1 Les éléments 124
5.3.2 Les attributs 125
5.3.3 Les pondérations 126
5.4 EXEMPLE D'APPLICATION ET D'INTERPRÉTATION 127
5.5 RELATION ENTRE ANALYSE DE GRILLE ET MMCAD 130

6 PROCESSUS ITÉRATIF D'ENTRETIEN 132

6.1 OBJECTIFS 132
6.2 LES ENTRETIENS 133
6.3 LE PROCESSUS DE REVUE 134
6.4 LES ITÉRATIONS 134

7 CONCLUSIONS 135

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA DÉMARCHE AU CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN

1 INTRODUCTION 138

2 LE CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN 138

2.1 LES COORDINATIONS 138
2.1.1 Définition et intervenants 139
2.1.2 Objectifs et cas de coordinations 139
2.2 OUTILS DISPONIBLES SUR UNE POSITION DE CONTRÔLE 141
2.2.1 Le Shoot Request ou SHRQ 141
2.2.2 Le FL? 142
2.3 PROBLÉMATIQUE DU CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN 142

3 OBJECTIFS AMANDA V3 145

3.1 INTRODUCTION 145
3.2 AMÉLIORER LE MODULE DE CALCUL DE TRAJECTOIRES, STAR 145
3.3 ÉTENDRE LES PRINCIPES DE L'ESPACE DE TRAVAIL COMMUN À LA COOPÉRATION À DISTANCE 148

4 APPLICATION DE NOTRE DÉMARCHE 149

4.1 INTRODUCTION 149
4.2 LE PROCESSUS DÉCISIONNEL DES CONTRÔLEURS AÉRIENS 150
4.2.1 Les niveaux 150
4.2.2 Relations entre les niveaux d'abstraction 151
4.3 APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE MULTICRITÈRE D'AIDE À LA DÉCISION 152
4.3.1 Le contrôle aérien : un problème multicritère 152
4.3.2 Choix des actions potentielles 152
4.4 ANALYSE DE GRILLE 153
4.4.1 Un premier exemple 153

5 PROCESSUS D'ENTRETIENS 154

5.1 LE PROTOCOLE 154

5.1.1 La situation 154

5.1.2 Les grilles 156

5.1.3 Les personnes rencontrées 158

5.1.4 Les supports 158

5.2 LES ENTRETIENS 159

5.2.1 Entretien 1 : Les grilles 159

5.2.2 Entretien 2 : Retour sur les grilles 159

5.2.3 Entretien 3 : Les coordinations 160

5.3 PROCESSUS DE REVUE 160

5.4 OBSERVATIONS EN SALLE. 161

6 CONCLUSIONS 162

CHAPITRE 5 : ANALYSE DES ENTRETIENS, DES GRILLES ET DES OBSERVATIONS EN SALLE

1 INTRODUCTION 164

2 ANALYSE DES ENTRETIENS 164

2.1 PRINCIPES D'ANALYSES 164

2.2 NIVEAU 1 : DÉTECTION DU CONFLIT 164

2.3 NIVEAU 2 : CHOIX D'UNE (OU PLUSIEURS) DIRECTIVE(S) 165

2.4 NIVEAU 3 : CHOIX ET APPLICATION D'UNE TRAJECTOIRE 166

2.5 LES AUTRES INFORMATIONS 167

2.6 SYNTHÈSE RELATIVE À LA GESTION DE CONFLIT 168

2.7 ANALYSE DES ENTRETIENS - LES COORDINATIONS 170

2.8 ANALYSE DES ENTRETIENS – CONCLUSIONS 172

2.8.1 Conclusions sur les entretiens 172

2.8.2 Vers un cadre global : la notion de maîtrise 174

3 ANALYSE DES GRILLES 177

3.1 PRINCIPES D'ANALYSE 177

3.2 ANALYSE DE L'ENSEMBLE DES CONTRÔLEURS 178

3.2.1 Relations aux niveaux 178

3.2.2 Différenciation des éléments 179

3.3 ANALYSE DES ATTRIBUTS 180

3.3.1 Relations d'identité sémantique 180

3.3.2 Relations de causalité sémantique 183

3.3.3 Attributs isolés 184

3.4 ANALYSE DES ÉLÉMENTS 184
3.4.1 Préambule 184
3.4.2 Analyse des solutions naturelles 185
3.4.3 Analyse de la solution en niveau 186
3.4.4 Analyse des autres solutions 186
3.5 CONCLUSION SUR LES GRILLES 187
3.6 CONCLUSIONS SUR LE RESSENTI DES PARTICIPANTS 187

4 ANALYSE DES OBSERVATIONS EN SALLE 188

4.1 L'ACTIVITÉ DU CONTRÔLEUR ORGANIQUE 188
4.2 ANALYSE DES COORDINATIONS 192
4.2.1 Analyse temporelle de l'activité de coordination 192
4.2.2 Analyse des cas de coordinations 194
4.3 CONCLUSIONS SUR LES OBSERVATIONS 197

5 CONCLUSIONS 197

CHAPITRE 6 : SPÉCIFICATIONS, ÉVALUATIONS ET PERSPECTIVES

1 INTRODUCTION 200

2 SPÉCIFICATIONS POUR AMANDA V3 200

2.1 INTRODUCTION 200
2.2 SPÉCIFICATIONS DES INTERFACES GRAPHIQUES 202
2.2.1 Structuration des interfaces 202
2.2.2 Principe de résolution d'un conflit 204
2.2.3 Exemple d'application 205
2.3 INTÉGRATION DES COORDINATIONS – VERS L'ETC-ÉTENDU 214
2.4 NOUVEAU MODULE DE CALCUL DE TRAJECTOIRE STAR 217
2.5 CONCLUSIONS SUR LES SPÉCIFICATIONS 219

3 VALIDATIONS ET ÉVALUATIONS EXPÉRIMENTALES 219

3.1 OBJECTIFS 219
3.2 VALIDATIONS 219
3.3 PLATEFORME EXPÉRIMENTALE 220
3.4 VALIDATION EXPÉRIMENTALE 222
3.4.1 Données à mesurer 222
3.4.2 Situations expérimentales 223

4 PERSPECTIVES DE RECHERCHE 223

4.1 AMÉLIORATION DE LA DÉMARCHE 223
4.2 MODÉLISATION DE L'ACTIVITÉ DES OPÉRATEURS AVEC DES MÉTHODES LOGICIELLES 224
4.3 EXTENSION À LA COOPÉRATION SOL-BORD 226

5 CONCLUSIONS 228

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE 22829

BIBLIOGRAPHIE 22833

ANNEXES 22843

ANNEXE 1 – LES OUTILS DU CONTRÔLE AÉRIEN 22345
ANNEXE 2 – PROCESSUS DE REVUE DE L'ENTRETIEN AVEC C1 22357
ANNEXE 3 – PROCESSUS DE REVUE DE L'ENTRETIEN AVEC C2 22367
ANNEXE 4 – PROCESSUS DE REVUE DE L'ENTRETIEN AVEC C3 22375
ANNEXE 5 – QUESTIONNAIRE POUR LE SECOND ENTRETIEN 22385
ANNEXE 6 – QUESTIONNAIRE POUR LE TROISIÈME ENTRETIEN 22387

INDEX DES TABLES ET DES FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : contenu de l'etc par rapport aux activités des contrôleurs [debernard, 2006] 63

Tableau 2 : Différences entre les approches de l'aide à la décision [Dias & Tsoukias, 2004] 82

Tableau 3 : notions abordées par deux modèles issus de la Coopération Homme-machine et de l'aide à la décision. 96

Tableau 4 : Synthèse des quatre problématiques de la MMCAD [Roy, 1985] 114

Tableau 5 : Modélisation des 4 situations de préférences dans la comparaison de deux actions potentielles [Roy & Bouyssou, 1993 ; Roy, 1985] 120

Tableau 6 : Utilisations des directives pendant les expérimentations d'AMANDA V2 [Guiost, 2006]. . 147

Tableau 7 : modifications à apporter sur AMANDA V3, en fonction des conclusions d'AMANDA V2 149

Tableau 9 : Les éléments de la grille, pour le premier niveau du processus décisionnel 157

Tableau 10 : Les éléments de la grille, pour le deuxième niveau du processus décisionnel 158

Tableau 11 : Détails des activités des différentes participant à l'étude. 158

Tableau 12 : Exemple de tableau de suivi du processus de revue (extrait de l'annexe 2) 161

Tableau 13 Répartition des paragraphes du processus de revue en fonction des niveaux. 172

Tableau 14 : Cumuls des pondérations 179

Tableau 15 : Exemple d'un relevé d'activité pendant une phase d'observation 189

Tableau 16 : Exemple d'analyse des enregistrements des coordinations 192

Tableau 17 : différence entre le temps ressenti et le temps mesuré pour les coordinations 194

Tableau 30 : Synthèse des résultats des analyses en fonction des objectifs 201

Tableau 31: Les cas de coordinations qui ne dépendent pas d'une résolution 216

FIGURES

Figure 1: Répartition des régions de contrôle en fonction de la route de l'avion 25

Figure 2: Découpage de l'espace français en centre de contrôle « en-route ». 26

Figure 3: Niveau de séparation sur le plan vertical 27
Figure 4: Système de supervision [Sheridan 1985] complété par [Millot 1997] 34
Figure 5: Fonctionnement de la supervision 35
Figure 6 : Savoir-Faire et Savoir-coopérer [Debernard et al. 2008 ; debernard, 2006] 41
Figure 7 : Fonctions principales du savoir-coopérer [Debernard, 2006] 42
Figure 8 : Structure / coopération verticale [Millot, 1988] révisé [Millot, Debernard, 2007] 43
Figure 9 : Structure / Coopération horizontale [Millot, 1988] révisé [Millot, Debernard, 2007] 44
Figure 10 : principe d'une répartition implicite [Millot & Debernard 1993]. 45
Figure 11 : Principe d'une répartition explicite [Millot & Debernard 1993] 45
Figure 12 : Répartition explicite assistée [crévits, 1996]. 46
Figure 13 : Principe de la délégation de tâche entre les agents [Debernard, 2006] 48
Figure 14 : Modèle de trajectoire point tournant [Cathelain, 2005] 48
Figure 15 : Principe de l'exploration ciblée dans STAR [Cathelain, 2005] 49
Figure 16 : Modèle de la conscience de la situation selon [Endsley, 1995*B*] 53
Figure 17 : Modèle RDP [Klein, 1997] 55
Figure 18 : Exemple de cluster dans AMANDA V2 64
Figure 19 : Exemple de la vue résolution de problème [Guiost, 2006] 65
Figure 20 : Échelle double de résolution de problème de Rasmussen, révisée par Hoc [1996] 74
Figure 21 : Modèle de résolution de problème en situation dynamique [Hoc, Amalberti, 1995]. 75
Figure 22 : Les degrés d'automatisation dans les systèmes Homme-machine [Sheridan, 1984] 76
Figure 23 : Exemple de deux systèmes ayant des niveaux d'automatisation différents. 78
Figure 24 : Modèle du processus d'aide à la décision selon Tsoukias [2006] 88
Figure 25 : Processus de décision selon Fernandez [2008] 91
Figure 26 : Processus de décision selon Pomerol [2006] 93
Figure 27 : Architecture des SIAD, extrait de Zaraté [2005] 95
Figure 28 : Schéma de principe de la démarche proposée 107
Figure 29 : Schéma de synthèse de la MMCAD [Annebicque *et al.*, 2007*a*] 111
Figure 31 : Exemple d'organisation d'une pondération à 5 niveaux 127
Figure 33 : Représentation sous forme de dendrogramme ou cluster (d'après Webgrid 5) 129
Figure 34 : Représentation graphique utilisant l'analyse en composantes principales 129
Figure 35 : Synthèse du processus itératif 135
Figure 36 : Exemple de cas ou la délégation d'un niveau est nécessaire. 142
Figure 37 : Résolution caractéristique de STAR 146
Figure 38 : Intégration du nouvel ETC-Étendu dans la plateforme AMANDA V3 148
Figure 39 : Processus décisionnel des contrôleurs [Annebicque *et al*. 2007*a*] 151
Figure 40 : Vue radar du conflit. Vue filtrée 155
Figure 41 : Les strips des différents avions de la situation 156
Figure 42 : Répartition des tâches sur une période de trafic normal et une période chargée. 190

Figure 43 : Répartition de l'activité du CO, basée sur les entretiens. 191
Figure 44 : Analyse temporelle des coordinations 193
Figure 45 : Nombre de coordinations par heure, en fonction de la charge de trafic 193
Figure 46 : Graphique détaillant chaque « grand type » de coordinations 195
Figure 47 : Type d'échange entre les contrôleurs 197
Figure 48 : Vue schématique de l'écran principal 203
Figure 49 : Vue résolution de problème et création de la directive 204
Figure 50 : Algorithme synthétisant le principe de la résolution d'un conflit 205
Figure 51 : Écran 30" : détection du conflit – (poste CO - Secteur A) 206
Figure 52 : Écran 20" : saisie de la stratégie de résolution (poste CO - Secteur A) 207
Figure 53 : écran 20" : proposition d'une solution par STAR (poste CO - Secteur A). 208
Figure 54 : écran 30" : création du cluster (poste CO - Secteur A) 209
Figure 55 : écran 30" : transfert de la demande au secteur adjacent (poste CO - Secteur A) 210
Figure 56 : écran 30" : le secteur B reçoit la demande émise par le secteur A-(poste CO - Secteur B) .210
Figure 57 : écran 30" : validation de la nouvelle trajectoire - -(poste CO - Secteur B) 211
Figure 58 : écran 30" : mise en œuvre la nouvelle trajectoire (délégation) -(poste CO - Secteur B) 212
Figure 59 : écran 30" : Appel pilote et assumer le vol. -(Secteur A) 213
Figure 60 : écran 30" : STAR a engagé le directe. 214
Figure 61 : Exemple de bandeau de coordination, avec les différentes informations. 215
Figure 62 : Exemple d'un cas de coordination en dehors d'une résolution. 216
Figure 63 : Proposition d'algorithme pour le nouvel module STAR 218
Figure 64 : Architecture logicielle de la plateforme AMANDA V3 221
Figure 65 : Algorithme de l'activité du CO 225
Figure 66 : Exemple d'une modélisation UML – Diagramme de séquence 226
Figure 67 : Délégation sol-bord assistée d'un ETC 227
Figure 68 : Exemple de strip, et détail des cases coordinations. 245
Figure 69 : Représentation de la console téléphonique (écran tactile en couleur) 248
Figure 70 : Représentation de la vue radar (type ODS) 249
Figure 71 : Etiquette normale 250
Figure 72 : menu ATC 250
Figure 73 : Étiquette déroulé, au survol de l'indicatif de l'avion (ou paramétrable) 250
Figure 74 : "formulaire" du montrer 251
Figure 75 : Etiquette avec une indication "VOIR" 252
Figure 76 : La boîte "vols particuliers" avec l'information "VOIR" 252
Figure 77 : Exemple de cas ou la délégation d'un niveau est nécessaire. 253
Figure 78 : Principe du collationnement entre deux CO 254
Figure 79 : Carte des flux et aéroports principaux du Nord Est de la France 256

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Aider l'Homme à prendre une décision est une pratique qui existe depuis très longtemps. Le père de famille, le chef d'état, le directeur d'une entreprise s'appuient sur un ou plusieurs conseillers (les membres de la famille, les conseillers politiques, le responsable des finances…) pour prendre la bonne décision en essayant de connaître et d'appréhender l'ensemble des paramètres.

L'opérateur humain (OH) face à un système automatisé doit prendre aussi des décisions et doit donc connaître l'ensemble des paramètres du système. Ces informations sont fournies par les systèmes de supervision qui affichent de manière compréhensible les données, l'état d'un système, l'OH devant ensuite les interpréter, les analyser et éventuellement décider pour agir sur le système. Les systèmes devenant de plus en plus complexe, les cadences de plus en plus élevées, la sécurité ou les risques élevés, les OHs n'ont pas toujours le temps d'analyser correctement tous les paramètres pour prendre une décision. Il devient nécessaire d'essayer d'aider cette phase de décision, notamment grâce à des outils d'aide à la décision qui assisteront l'OH en lui proposant une décision, une action pour agir sur le système.

Afin de proposer ces systèmes d'aide à la décision, aussi efficaces et pertinents dans les solutions apportées pour les OHs, il est nécessaire de bien comprendre comment les OHs raisonnent et prennent des décisions. Pour ce faire il faut mettre en place des démarches de recueil d'informations et d'analyse des méthodes de travail. Les méthodes d'aide à la décision, et notamment la méthodologie multicritère d'aide à la décision (MMCAD), proposent des champs d'investigation pour analyser les mécanismes de décision et aider ces derniers dans la phase de décision et de choix d'une action.

Le cadre applicatif de ce mémoire est le contrôle de trafic aérien. Le nombre d'avions étant en constante augmentation, les contrôleurs aériens doivent gérer de plus en plus d'aéronef, tout en continuant d'assurer une sécurité optimale. En particulier, ils doivent surveiller le trafic pour détecter des croisements d'avions à une distance trop proche les uns des autres. De tels croisements trop proches s'appellent des conflits. Il devient donc presque indispensable de leur proposer des outils qui soient capable de les décharger d'une partie de leur activité. C'est notamment l'objectif de la plateforme expérimentale AMANDA V2, développée au LAMIH, et qui propose un outil de calcul de trajectoire. Dans cet outil, le contrôleur choisit une stratégie de résolution pour le conflit qu'il a détecté. Le système se charge ensuite de calculer une trajectoire et de la proposer au contrôleur qui a le choix entre l'appliquer lui-même ou déléguer l'application de la solution au système, ce dernier se chargeant alors d'envoyer les ordres aux avions. La communication entre ces agents (les contrôleurs et un outil de calcul de trajectoire des avions appelé STAR) s'effectue au moyen de l'Espace de Travail Commun (ETC) qui est une interface permettant de saisir des informations (avions en conflit, directive) pour les contrôleurs et d'exploiter les outils d'aide. L'ETC est une zone de partage entre tous les agents d'une position de contrôle.

Les travaux présentés dans ce mémoire font suite à cette plateforme et proposent de poursuivre les aides introduites par AMANDA V2 en étendant les principes de l'ETC à plusieurs secteurs afin de faciliter la coopération entre des contrôleurs aériens distants et en améliorant la méthode de calcul de solution de l'outil STAR afin de mieux prendre en compte les pratiques des contrôleurs.

Afin de répondre à ces deux objectifs, les concepts de la coopération Homme-machine et les outils de l'aide à la décision sont étudiés. Une démarche en trois points, dont l'élément central est une analyse multicritère d'aide à la décision, est proposée. Cette démarche a pour objectif d'obtenir un maximum d'informations sur le travail des contrôleurs, sur les données qu'ils manipulent, sur les décisions qu'ils prennent… À partir de toutes ces données, il sera possible de proposer les spécifications du nouvel ETC ainsi que les modifications à apporter au module STAR.

Ce mémoire est composé de six chapitres.

Le premier chapitre propose une bibliographie sur les thématiques de la supervision de systèmes, des systèmes Homme-machine, de la coopération Homme-machine et de la conscience de la situation (CS). La supervision a rapidement impliqué de concevoir des systèmes facilement utilisables et compréhensibles par les OHs. Les systèmes Homme-machine sont ensuite abordés, ces systèmes intègrent, dès la conception, la présence et l'intervention possible d'un OH. Les Hommes et les machines doivent travailler efficacement ensemble, c'est l'objet de la partie suivante qui aborde la notion de coopération Homme-machine. Différentes approches sont présentées. Une large place est faite pour la notion de conscience de la situation. Il est en effet

très important de fournir une bonne CS aux opérateurs humains ayant à gérer, à utiliser des systèmes de plus en plus complexes. Les notions de référentiel commun puis d'Espace de Travail Commun apportent un support au maintien et au partage de la CS entre les agents. Ce chapitre se termine par une discussion afin d'apporter un autre éclairage sur les différentes notions abordées.

Le deuxième chapitre s'intéresse à l'aspect prise de décision. Cette notion fait partie intégrante de nombreux modèles de coopération Homme-machine. Ce chapitre fait un état de l'art des différents modèles de l'aide à la décision puis des possibilités de mise en œuvre de ces modèles. L'intérêt d'utiliser des modèles d'aide à la décision dans un contexte de coopération Homme-machine est détaillé, notamment par les similitudes des notions abordées par les deux domaines. Ce chapitre se termine par une discussion sur la place de l'action et de la décision dans les différents domaines abordés.

Le troisième chapitre propose une démarche de conception des systèmes d'aide à la décision, dans le contexte de la coopération Homme-machine. Cette démarche se compose de trois étapes : l'analyse et la description du processus décisionnel, l'utilisation d'une méthodologie multicritère d'aide à la décision [Roy, 1985] et, enfin, le recueil d'information via une méthode d'entretien basée sur des analyses de grille [Kelly, 1955]. Ces trois méthodes sont décrites d'une manière générale puis les liens entre ces trois méthodes sont expliqués afin de montrer l'organisation de notre démarche.

Le quatrième chapitre commence par une présentation des deux objectifs de ces travaux qui sont l'extension des principes de l'ETC à plusieurs secteurs et l'amélioration du module STAR afin qu'il propose des solutions en adéquation avec les pratiques des contrôleurs aérien. La démarche présentée dans le chapitre précédent est donc appliquée au contrôle du trafic aérien, pour répondre à ces deux problèmes. Chacune des trois étapes est présentée par rapport au contrôle du trafic aérien et des contrôleurs. La dernière partie de cette démarche, l'analyse de grille, implique une série d'entretiens. Ces entretiens nécessitent la mise en place d'un protocole d'entretien qui est détaillé. Ce protocole d'entretien se base notamment sur un processus de revue afin de capitaliser et de valider les informations obtenues.

Le chapitre cinq est l'analyse de toutes les informations collectées. Cette analyse se décompose en trois points : l'analyse des entretiens, sans les grilles ; l'analyse des grilles ; et l'analyse des mesures et relevés effectués pendant les observations en salle de contrôle. Ces analyses permettent de mettre en valeur un ensemble de critères et de préférences, d'identifier les données échangées dans le cadre des coordinations et le processus décisionnel des contrôleurs dans l'activité de détection/résolution de conflit. Toutes ces données vont permettre de modéliser les outils destinés à la future plateforme AMANDA V3.

Enfin, le chapitre six présente les premières spécifications de la plateforme AMANDA V3 en se basant sur les analyses précédentes. Des pistes pour la validation des concepts sont proposées ainsi que des situations expérimentales avec les données pertinentes à mesurer. Enfin des perspectives pour le projet et la démarche sont proposées.

De nombreux exemples issus de l'expérience du LAMIH illustrent cette thèse. Ces travaux débutent donc par un préambule présentant les bases de la gestion du trafic aérien français.

PRÉAMBULE

LE CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN

L'ensemble des travaux réalisés pendant cette thèse s'applique au domaine du contrôle du trafic aérien. Ainsi, et même si un effort de généralisation est fait, de nombreux exemples sont extraits de ce domaine d'application. Le contrôle aérien n'étant pas forcément connu de tous, ce mémoire commence par une présentation du contrôle aérien aussi courte que possible, pour comprendre la suite du document.

1 OBJECTIFS ET ORGANISATION DU CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN

1.1 OBJECTIFS

La Navigation Aérienne est un service public chargé de fournir aux avions civils, volant dans l'espace aérien français, diverses prestations qui garantissent la sécurité, la régularité mais aussi l'économie des vols [Legrand, 1982]. La Navigation Aérienne en France est gérée par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), elle-même entité du ministère des Transports[1].

Les avions survolant le ciel français sont soumis à deux types de règles. Les avions volant « à vue » dans des conditions météorologiques idéales sont soumis aux règles dites VFR (*Visual Flight Rules*). Ceux-ci sont en général des petits avions amateurs. En revanche la majorité des aéronefs vole à une altitude qui ne leur permet plus de se repérer visuellement. Ces avions volent donc « aux instruments » et sont soumis aux règles dites IFR (*Instrument Flight Rules*). Ils ont besoin d'une assistance permanente ainsi que de nombreux services (météo, trafic…) pour pouvoir se repérer et se déplacer en toute sécurité. Cette assistance et ces services sont fournis par la Navigation Aérienne.

La Navigation Aérienne a deux objectifs principaux :

- Veiller à la sécurité des vols et des passagers, en maintenant en permanence des normes de séparation réglementaires minimales entre tous les avions, ces normes seront décrites par la suite ;
- Maintenir une fluidité du trafic aérien pour optimiser la circulation aérienne et les temps de vols.

1.2 ORGANISATION

L'espace aérien français comporte trois classes de régions de contrôle, supervisées par trois types de contrôle (Figure 1) :

- **Le contrôle d'aéroport** qui gère les avions en phase initiale de décollage et en phase finale d'atterrissage, c'est à dire dans une zone très proche et restreinte autour de l'aéroport. Sur les grands aéroports, des contrôleurs spécifiques s'occupent du roulage des avions, des personnels sur les pistes et des routes de l'aéroport.

[1] La dénomination exacte du ministère peut changer en fonction des gouvernements.

- **Le contrôle d'approche** qui a la charge des avions volant dans la région autour des grandes zones aéroportuaires. L'objectif principal est de gérer les avions qui vont atterrir, de les séquencer en vue de l'atterrissage ou à l'inverse de les préparer pour l'insertion dans le trafic lors de leur décollage.
- **Le contrôle « en-route »** qui gère la majeure partie du temps du vol d'un avion, entre un aéroport de départ et la zone d'approche de l'aéroport de destination. Le contrôle « en-route » gère donc tous les niveaux supérieurs, et c'est cette région de contrôle qui fait l'objet de nos études.

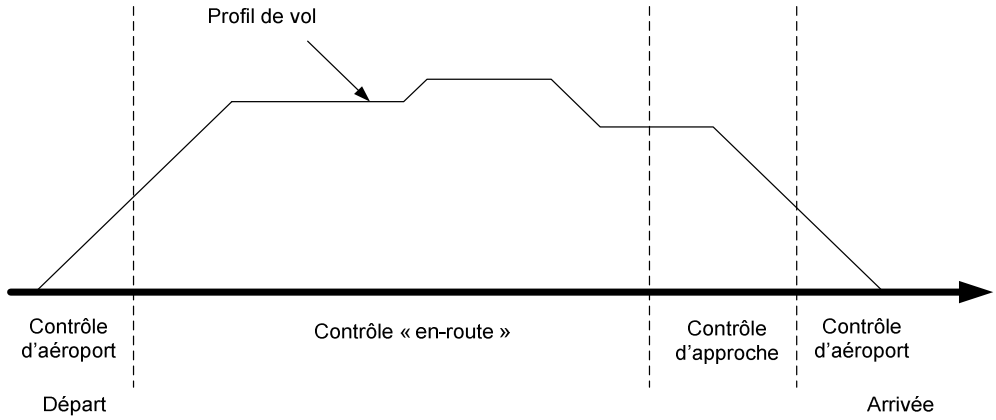


FIGURE 1: RÉPARTITION DES RÉGIONS DE CONTRÔLE EN FONCTION DE LA ROUTE DE L'AVION

Le contrôle « en-route » gère donc la majeure partie de l'espace aérien français. Afin de faciliter la surveillance et la gestion du trafic, le territoire français est divisé en 5 zones, gérées chacune par un Centre de Contrôle « en-Route » (CCR) couvrant le Nord, l'Est, le Sud-est, le Sud-ouest et l'Ouest (Figure 2). Tous les contrôleurs gérant un même CCR travaillent ensemble dans les CRNA (Centre en Route de la Navigation Aérienne), qui sont respectivement implantés à Athis-Mons, Reims, Aix en Provence, Bordeaux et Brest.

Chaque centre est ensuite divisé en secteurs géographiques selon la charge de trafic et sont contrôlés en permanence par au moins deux contrôleurs.

Chaque avion traversant l'espace aérien français suit une route précise en quatre dimensions, composée de balises indiquant un point au sol, d'un niveau de vol et d'un instant de passage qui forment le plan de vol. Les contrôleurs d'un secteur connaissent la route de l'avion grâce à des strips qui contiennent toutes les informations importantes du vol : aéroport de départ et de destination, route (ensemble de balises, comportant des estimés horaires de passage), type d'avion, niveau de vol souhaité...

FIGURE 2: DÉCOUPAGE DE L'ESPACE FRANÇAIS EN CENTRE DE CONTRÔLE « EN-ROUTE ».

2 LE CONTRÔLE « EN-ROUTE »

2.1 OBJECTIFS DU CONTRÔLE « EN-ROUTE »

Dans le cadre des travaux menés au LAMIH en collaboration avec la DGAC, seul le contrôle « en-route » est étudié. Le contrôle « en-route » reprend donc les deux objectifs principaux du contrôle aérien : la sécurité des vols et des passagers, et la régularité du trafic, c'est-à-dire la réduction des retards et le respect des horaires.

La sécurité vise à :

- Prévoir et éviter les collisions entre aéronefs ;
- Prévoir et empêcher les collisions entre les aéronefs et les obstacles fixes (relief par exemple) ;
- Éviter aux aéronefs de pénétrer dans des espaces aériens présentant un danger (conditions météorologiques défavorables, turbulences) ou réglementés (zones militaires).

Pour mener à bien ces objectifs, le contrôle en-route dispose de moyens organisationnels.

2.2 ORGANISATION DU CONTRÔLE « EN-ROUTE »

Pour éviter les collisions, les aéronefs sont soumis à des normes de séparation. Dans le plan vertical, les avions sont espacés de 1000 pieds (l'unité anglo-saxonne *ft* est utilisée*)* jusqu'au

niveau FL410 (encore appelé niveau 410, équivalent à 41 000 pieds). Au-delà la séparation est de 2000 *ft* (Figure 3).

Chaque niveau ne comporte (*a priori*[2]) que des avions se déplaçant dans un seul sens. Ainsi les avions volant du Nord au Sud emprunteront un niveau dit pair (FL280 par exemple) et les avions faisant Sud-Nord passeront par les niveaux dits impairs. Ainsi les risques de voir deux avions face à face sont réduits.

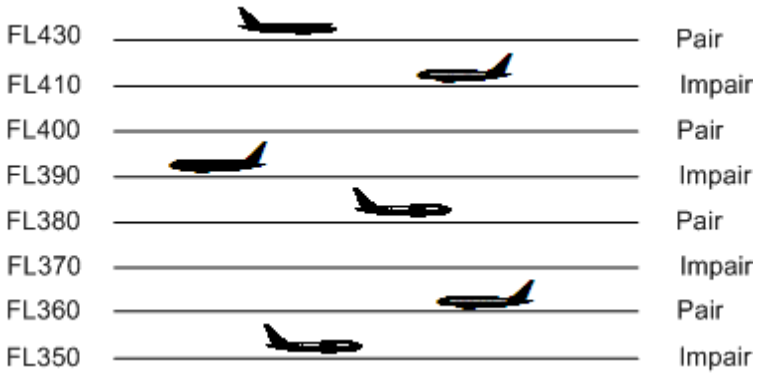


FIGURE 3: NIVEAU DE SÉPARATION SUR LE PLAN VERTICAL

À un même niveau, deux avions ne peuvent pas se croiser à moins de 5 milles-nautiques (NM), c'est la norme de séparation horizontale.

La perte de séparation entre deux avions (verticalement ou horizontalement) s'appelle un *air-miss* ou quasi collision. Quand un *air-miss* risque d'arriver (les avions vont se croiser sous la norme de séparation, si leurs trajectoires ne sont pas modifiées) on parle de **conflit**.

Le rôle des contrôleurs est donc de veiller au respect de ces normes de séparation, de détecter un éventuel conflit le plus tôt possible et le cas échéant d'agir pour l'éviter. On parle dans ce cas de **résolution de conflits**. Pour résoudre un conflit, les contrôleurs vont ordonner au pilote d'au moins un des aéronefs impliqués de modifier sa route. En fonction du contexte, différentes actions sont possibles : (*i*) changer de cap, en restant au même niveau de vol, solution la plus optimale du point de vue de la consommation de l'appareil, mais qui va nécessiter une surveillance pour le remettre sur sa route ; (*ii*) modifier le niveau de vol de l'avion, notamment si ce dernier est destiné à descendre prochainement par exemple vers son aéroport de destination ; et enfin, (*iii*) agir sur la vitesse en la réduisant ou en l'augmentant.

En cas de non détection par les contrôleurs de cette perte de séparation un outil, le « filet de sauvegarde », prévient les contrôleurs de l'imminence d'un *air-miss*. Ces derniers doivent alors agir immédiatement pour rétablir les distances de séparation.

[2] Dans le cadre d'une résolution, et de manière très limitée, un avion peut changer de niveau et être à « contre sens » le temps de cette résolution, à condition bien sûr de ne pas mettre en péril la sécurité des autres vols.

Enfin, les avions sont aussi équipés d'un outil indépendant et embarqué qui permet en tout dernier recours d'éviter la collision, le TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*). Ce système avertit, par une alarme auditive dans un premier temps, les pilotes d'un danger potentiel puis, si la situation s'aggrave, propose aux pilotes des deux avions une action pour éviter la collision. La solution proposée consiste à faire monter un avion et descendre l'autre.

La régularité du trafic est un autre aspect très important. Tout en respectant les contraintes de sécurité, les contrôleurs doivent essayer de favoriser le respect des horaires, tout en permettant une économie de carburant maximale pour l'ensemble des vols [Colin de Verdière, 1996].

3 LE RÔLE DES CONTRÔLEURS AÉRIENS

3.1 INTRODUCTION

Sur une position de contrôle, deux contrôleurs gèrent un secteur pour assurer des conditions normales et acceptables de trafic : un Contrôleur Radariste (CR ou *Executive Controller EC*) et un Contrôleur Organique (CO ou *Planning Controller PC*). Le CR prend en charge la résolution des conflits dans le secteur tandis que le CO prépare le trafic avant l'arrivée des avions dans le secteur pour réguler au mieux la charge de travail du CR [Alonso, 1992].

3.2 LE RÔLE DU CONTRÔLEUR ORGANIQUE

Le CO a une tâche stratégique. Il est en liaison avec les autres secteurs et tous les intervenants possible du contrôle aérien. Le CO ne communique pas avec les pilotes et a une tâche de régulation. Il doit en effet essayer de réguler le trafic de manière à ne pas surcharger son CR. Le CO a quatre fonctions principales à exécuter :

- Coordination entrante : il communique, négocie avec le CO du secteur géographique précédent ayant l'avion sous contrôle, afin de modifier les conditions d'entrée prévues de ce vol si cela est nécessaire (la modification d'un niveau de vol peut résoudre un conflit par exemple) ;
- Coordination sortante : suite à une résolution de conflit, pour un avion traversant son secteur par exemple, les conditions de sortie peuvent être différentes de celles prévues sur le plan de vol. Il est donc obligatoire de prévenir le secteur suivant et d'avoir son accord pour remettre l'avion sur sa nouvelle route ;
- Supervision du trafic : c'est le CO qui reçoit en premier le strip d'un avion qui va arriver dans le secteur. Le CO va faire une pré-analyse du trafic afin de déterminer si ce nouvel avion risque d'entrer en conflit avec un avion déjà dans le secteur, afin de prévenir son CR, prédire sa charge et si nécessaire modifier la coordination entrante ;
- Assistance du CR : autant que possible, le CO essaye d'assister son CR en « contrôlant » les ordres envoyés par le CR, en détectant les conflits pour lui, éventuellement en

proposant des solutions pour la résolution et en surveillant le trafic pendant que le CR résout les conflits.

3.3 LE RÔLE DU CONTRÔLEUR RADARISTE

Le CR a donc une tâche plutôt tactique et c'est lui qui est en liaison avec les pilotes des avions par radio, sachant que chaque secteur possède sa propre fréquence. Il a en charge de détecter les conflits et de trouver des solutions (nouveau cap, changement de niveau) pour les résoudre et conserver les normes minimales de séparation. Le CR a donc une vision centrée sur son secteur.

Le CR réalise quatre tâches principales :

- Intégrer les nouveaux vols. Après que le CO ait pris en compte l'arrivée du strip d'un nouveau vol, le CR prend connaissance de ce nouvel avion et confirme cette pré-analyse. Ensuite il « reçoit l'avion en fréquence » : le pilote d'un avion doit appeler le secteur dans lequel il s'apprête à entrer ;
- Surveiller le trafic : le CR doit vérifier que les avions respectent les routes prévues, qu'ils ne pénètrent pas de zones militaires ou dangereuses et qu'ils suivent les consignes indiquées ;
- Guider les vols, détecter les conflits et les résoudre : le CR doit assister, si besoin est, les avions qui se trouvent dans son secteur, c'est-à-dire les dérouter pour éviter un conflit et accéder aux demandes des pilotes si cela est possible (réduction de route, changement de niveau de vol en cas de turbulences,…) ;
- Communiquer et informer les pilotes : le contrôle aérien est un service d'information ; le CR peut être amené à communiquer diverses informations aux pilotes (météo, zones militaires actives…).

4 CONCLUSIONS

Ce prologue a résumé le fonctionnement du contrôle de trafic aérien afin de permettre au lecteur de mieux comprendre la problématique et les exemples cités dans ce document. Par la suite, certains aspects du contrôle aérien, notamment les coordinations entre secteurs, seront détaillés. Enfin, en annexe le lecteur pourra trouver une description précise de l'ensemble des outils à la disposition des contrôleurs.

CHAPITRE 1

COOPÉRATION HOMME-MACHINE

1 INTRODUCTION

L'ère de l'automatisation peut être considérée comme la seconde révolution depuis l'ère industrielle. Cette automatisation a eu un impact majeur sur les processus industriels. Nombre de tâches, auparavant dédiées aux opérateurs humains, ont été automatisées, ce qui a été bénéfique lorsqu'elles étaient pénibles, difficiles ou dangereuses. Cette automatisation a eu aussi un impact bénéfique sur le plan de la performance et de la rentabilité et aujourd'hui, les cadences de production arrivent à des niveaux et des rendements inimaginables il y a encore quelques dizaines d'années.

Néanmoins, l'Homme reste indispensable dans les situations d'urgences ou critiques où il faut être capable de prendre une décision rapidement, ou encore dans les situations où l'automatisation est impossible. Il est alors primordial de fournir tous les éléments du système nécessaires à l'OH pour prendre une décision et agir. C'est dans ce contexte que les approches de coopération Homme-machine essayent de proposer des méthodes de partage des informations, de répartition de tâches entre les différents acteurs, humains ou machines, qui ont en charge la gestion du procédé.

Ce chapitre commence par une présentation des principes de supervision des systèmes, liée à la notion de système Homme-machine. Les agents décideurs font partie d'un tout et doivent travailler, voire coopérer ensemble. La deuxième partie aborde donc les principes de la coopération Homme-machine. Celle-ci implique notamment une bonne perception par l'OH des informations et de l'état du système : la conscience de la situation. Cette dernière est abordée dans la troisième partie de ce chapitre et le lien est fait entre coopération et conscience de la situation au travers de la notion de référentiel commun. Enfin, une dernière partie présente une discussion sur les hypothèses considérées dans la conscience de la situation. Cette discussion montre que la conscience de la situation est une notion importante, mais qu'elle pourrait être encore plus pertinente sous réserve de reconsidérer certaines hypothèses. Des exemples, issus du contrôle aérien, sont cités pour éclairer cette discussion

2 CONCEPTION DE SYSTÈMES DE SUPERVISION HOMME-MACHINE

2.1 INTRODUCTION

Depuis que les systèmes industriels existent, la supervision existe. D'abord comme simple surveillance visuelle par des opérateurs humains (OHs) en contact direct avec le procédé, puis par la suite assistée de différents synoptiques et autres écrans de contrôle, la supervision est une tâche fondamentale dans le bon fonctionnement des procédés industriels. La supervision et le rôle des superviseurs évoluent à chaque fois que les systèmes évoluent, que la complexité change, que le niveau d'automatisation est modifié… Il existe de très nombreux moyens d'aider

les OHs à réaliser correctement leur tâche de surveillance et de contrôle. Des moyens qui peuvent intervenir en amont, pendant la phase de conception, ou en aval, avec la formation ou l'expérience par exemple. Toutes ces notions, ces méthodes et autres outils entrent dans le cadre de la supervision Homme-machine.

2.2 SUPERVISION HOMME-MACHINE

Sheridan en 1985, puis Millot [1997] propose un découpage en 4 niveaux des systèmes de supervision (Figure 4).

- Au niveau inférieur, le procédé global est composé de différents sous-systèmes. Ces sous-systèmes utilisent de très nombreuses variables pouvant être de diverses natures (discrètes, continues, …).
- Juste au-dessus, ces différents sous-systèmes sont pilotés par des calculateurs, des automates…
- A un niveau intermédiaire, la supervision assure la cohérence et la coordination entre les unités de commandes des sous-systèmes.
- Enfin au plus haut niveau, les OHs supervisent le système.

Cet ensemble de sous-systèmes formant le système global, peut-être plus ou moins complexe. Zaytoon [Zaytoon, 2001 ; cité dans Delepine 2007] définit plusieurs critères pour qualifier un système complexe :

- De nombreuses variables et informations interviennent dans le système.
- Le système est composé de nombreuses fonctions, très variées et fortement imbriquées. Les échanges d'informations sont importants, tout comme les activités et les objectifs à atteindre.
- Le système est composé de nombreuses configurations et de nombreux modes de fonctionnement.
- Il existe une incertitude et une imprédictibilité de certains comportements, de certaines variables ou interactions entre les éléments du système, mais aussi avec son environnement.
- Le système est fortement influencé par les facteurs temporels.

Millot [1997] complète le modèle de la Figure 4 par trois échelles verticales : nature des informations, niveau d'abstraction et horizon temporel. Il fait remarquer que les types de tâches qui relèvent de compétences humaines (symboliques plutôt que numériques), d'objectifs stratégiques plutôt que tactiques, de moyen ou long terme plutôt que temps réel sont au plus haut niveau du système tandis que les tâches à automatiser sont plutôt au niveau bas.

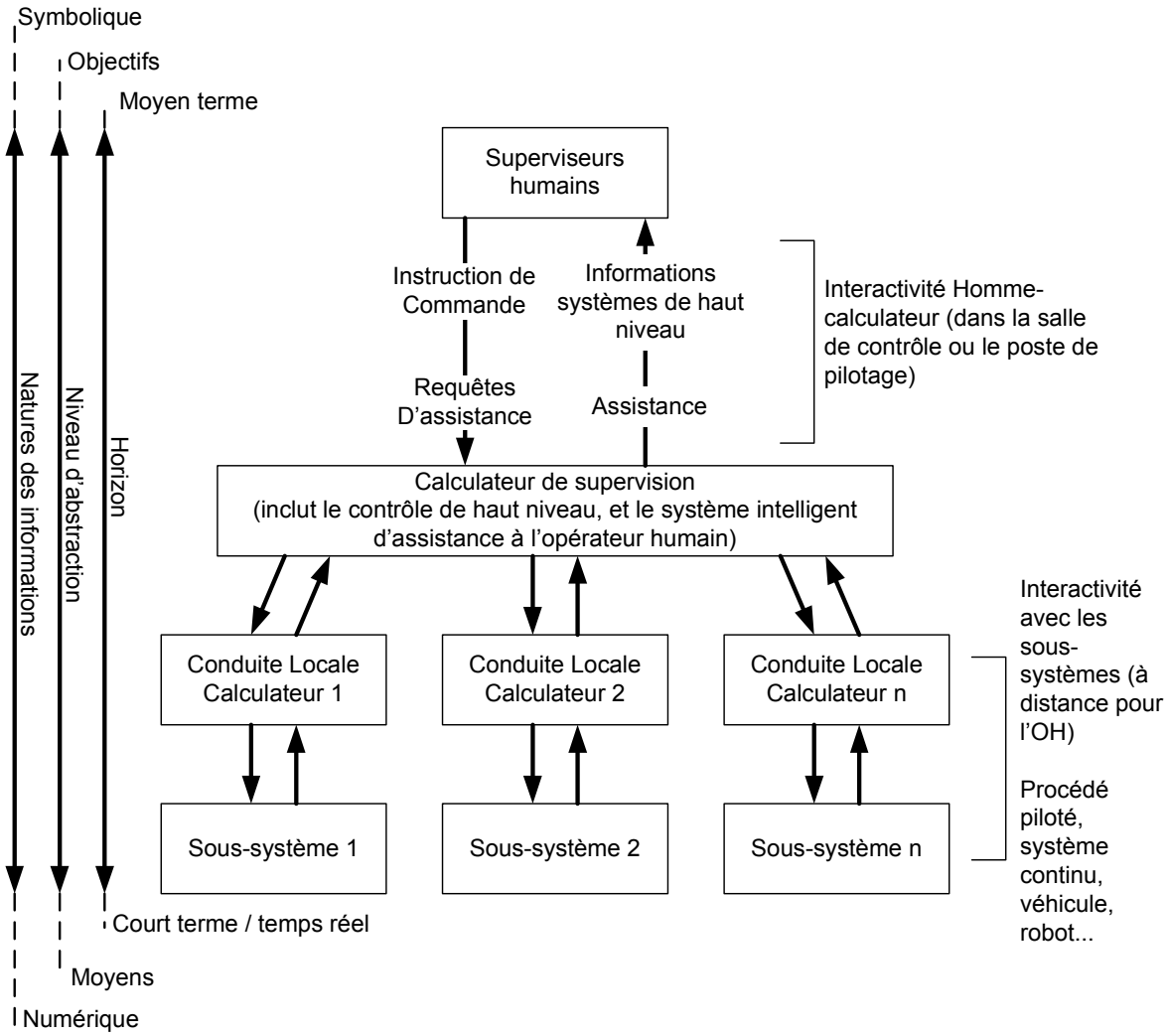


FIGURE 4: SYSTÈME DE SUPERVISION [SHERIDAN 1985] COMPLÉTÉ PAR [MILLOT 1997]

Staroswiecki et Gehin [2000] définissent la supervision comme un problème consistant à contrôler/surveiller les tolérances aux fautes en fonction de la reconfiguration des objectifs. Cette définition implique la notion de surveillance qui est définie par :

L'activité de détection et de localisation des défaillances, tend à poursuivre ou restaurer un fonctionnement normal (ou dégradé) ou en tout cas à s'opposer à toute évolution catastrophique. [Staroswiecki, Gehin, 2000]

Cette définition implique que l'opérateur de supervision puisse accéder aux informations nécessaires pour évaluer/surveiller l'état du ou des systèmes et qu'il ait les capacités techniques et physiques, ainsi que les compétences intellectuelles, pour pouvoir maintenir le système dans son état de fonctionnement optimal/nominal. L'OH, sans aucune forme d'aide, est difficilement capable de surveiller un système complexe (au sens de Zaytoon), l'ensemble des paramètres étant trop important.

Pour réussir cette activité, les travaux visent à aider la supervision selon deux aspects :

- Aider l'OH à se construire une bonne image (sous entendue mentale) du procédé, de son fonctionnement et de son état (la conscience de la situation). Il doit comprendre le fonctionnement du système et les possibilités d'actions (dépendant en partie de la formation et de l'expérience).
- Assister l'opérateur par le biais d'un système d'aide à la décision ou à l'action afin de le guider vers la solution la plus appropriée (aide à la décision), ou de l'assister dans la mise en application de celle-ci (aide à l'action).

La Figure 5 schématise la supervision comme étant supérieure à la boucle de conduite du dispositif. Le procédé se trouve en bas du modèle, avec sa partie commande. Il est configuré pour réaliser des objectifs. Au niveau supérieur se trouve l'OH de supervision. Son rôle et son activité sont dépendants des fonctions automatisées dans le système. L'OH dispose d'une Interface Homme-Machine (ou IHM) qui lui présente les éléments du système, les possibilités d'actions et toutes les informations nécessaires pour mener à bien la supervision du système. L'OH (ou l'étape de supervision Homme-machine en général) peut interagir avec le procédé notamment en reconfigurant les objectifs, ou en réparant (agissant sur) un sous-système en dernier recours [Delepine 2007].

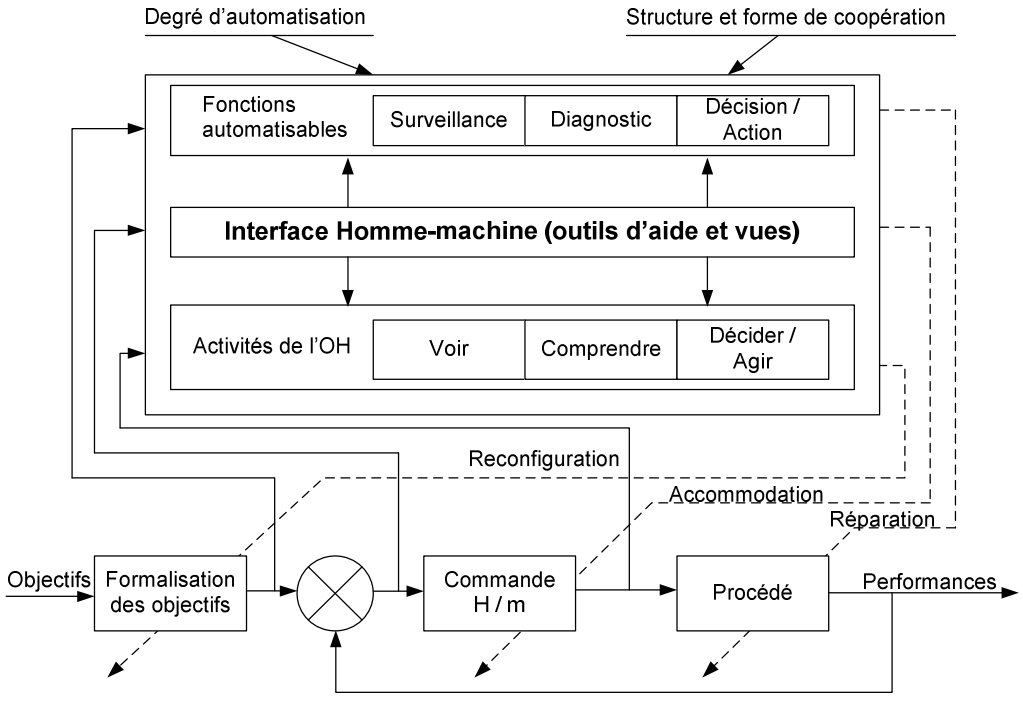


FIGURE 5: FONCTIONNEMENT DE LA SUPERVISION

Sur cette Figure 5, le niveau de supervision est dépendant du degré d'automatisation ainsi que de la forme (ou structure) de coopération choisie. Ces deux paramètres vont définir le niveau et la forme de l'aide apportée aux OHs.

Enfin, le système doit être en cohérence avec les tâches que doit accomplir l'OH de supervision, c'est-à-dire que le système doit laisser le temps à l'OH de décider et d'agir. Il est donc important de bien définir le rôle du système et celui de l'OH de supervision. Comme déjà introduit par Millot [1997], Figure 4, ce sont ces aspects de partage et de répartition d'activités qui interviennent dans la notion de coopération Homme-machine.

2.3 SYSTÈME HOMME-MACHINE

Dans le cadre de la supervision, le système global doit intégrer l'OH et cela dès la conception afin de prendre en compte ses capacités et ses faiblesses. Les interactions entre les Hommes et le système sont étudiées dans le cadre des « systèmes Homme-machine », et tout particulièrement en coopération Homme-machine.

Johannsen [1982] définit un Système Homme-Machine (SHM) comme :

> *Une synthèse fonctionnelle entre un Homme (ou un groupe d'Hommes) et un système technologique (machine). [Johannsen, 1982]*

Un système Homme-machine est un système complexe qui fait intervenir des OHs et une (ou des) machine(s). Ce système va, à partir de consignes, d'objectifs ou de buts fixés *a priori* par un OH, exécuter une fonction précise, produire quelque chose ou fournir un service.

Les systèmes Homme-machine impliquent de nombreuses interactions entre les deux parties (l'Homme et la machine). L'OH doit souvent, en fonction des divers états (précédents ou à venir) de la machine, des buts ou des objectifs à atteindre, intervenir sur la machine en agissant sur des paramètres, en modifiant la commande ou les ordres. L'enjeu majeur dans la conception de système Homme-machine est donc de faciliter les interactions entre les agents humains (OHs, décideurs…) et les agents artificiels (machines, procédés, outils d'aide…).

L'objectif des concepteurs, des « ingénieurs en système Homme-machine » et des « automaticiens humains[3] » est de réussir à faire interagir efficacement l'Homme (ou les Hommes) et la machine (ou les Machines). Cela signifie que l'Homme doit pouvoir comprendre comment la machine fonctionne, connaître son état et si le procédé se déroule normalement ou s'il y a des défaillances[4]. Dans le cas de dysfonctionnements, l'OH doit être capable d'intervenir afin de relancer le système, ou de le faire fonctionner en mode dégradé.

Mais les procédés sont de plus en plus complexes, les OHs peuvent être surchargés, peuvent faire des erreurs… Il devient nécessaire de leur apporter des moyens d'interagir efficacement avec le système. L'enjeu principal est donc de : (*i*) définir des méthodes/outils de coopération afin que

[3] Correspond à la traduction littérale de l'expression anglaise « *human engineering* »

[4] C'est typiquement l'objectif de la supervision et des outils qui sont mis en place dans ce but. Cependant ces outils ne prennent pas toujours (bien) en compte l'Homme en tant qu'élément clé du système et non simple surveillant du bon déroulement du procédé.

l'OH puisse travailler efficacement avec la machine ; (*ii*) développer des outils de supervision pour que l'OH puisse comprendre l'état de la machine et, par conséquent, avoir conscience de la situation ; (*iii*) proposer des outils d'aide (aide à la décision, aide à l'action…) pour que l'OH puisse agir sur la machine efficacement (en terme de rapidité, de simplicité…). Dans ce dernier cas, l'ajout d'agents (les outils d'aide) fonctionnant à un même niveau décisionnel que les opérateurs nécessite la mise en place d'une réelle coopération permettant l'optimisation des ressources tout en évitant de surcharger inutilement les OHs ainsi que les incompréhensions entre eux et les agents, sources d'erreurs et de dégradation des performances.

3 COOPÉRATION HOMME-MACHINE

3.1 DÉFINITION(S)

Les concepts de la coopération Homme-machine se basent sur les principes de la coopération Homme-Homme en essayant d'imiter et de transposer les mécanismes qui se développent entre deux OHs vers un couple Homme-Agent et ce afin d'aider cet OH.

D'après les travaux originaux de Piaget [1977], Hoc [1996] définit de manière opérationnelle la coopération de la manière suivante :

> *Deux agents impliqués dans la conduite d'un système sont en situation de coopération aux deux conditions suivantes :*
>
> - *Ils poursuivent chacun des buts qui peuvent entrer en interférence, soit au niveau des résultats, soit au niveau des procédures ;*
> - *Ils font en sorte de traiter ces interférences pour que les activités de chacun soient réalisées de façon à faciliter les activités de l'autre. [Hoc, 1996]*

Cette définition met en avant deux termes importants : **buts** et **interférences**. Ici les buts ne concernent pas nécessairement les objectifs globaux (au sens de la supervision) à atteindre, mais des buts locaux en termes de tâches à réaliser.

Le second terme important est la notion d'interférences. Les interférences sont des interactions qui se développent entre les agents et peuvent être de nature positive ou négative. Il y a interférence négative si par exemple, la représentation qu'un OH a du procédé ou de la situation est en conflit avec la représentation qu'un autre agent peut avoir. Il y a également des interférences négatives quand les buts locaux sont différents ou quand les procédures pour la réalisation des tâches sont contradictoires. Les interférences positives sont celles qui traduisent l'échange d'informations, qui permettent de construire en amont une représentation commune des buts, tâches, utilisation des ressources, planification des activités, répartition du travail, entre les agents et qui permet donc d'éviter ou de réduire les conflits à l'origine des

interférences négatives. Cette représentation du procédé commune à plusieurs agents correspond à la notion de référentiel commun [Leplat, 1991].

Cette définition de la coopération Homme-machine met en valeur un certain nombre de difficultés techniques. En effet, il est assez difficile de détecter toutes les interactions entre les différents agents et il est tout aussi difficile de détecter les interférences négatives. En toute logique, la conception d'un système Homme-machine ne doit pas créer de telles interférences. De plus, la coopération nécessite, évidemment, un partage d'informations entre les agents. La construction et la mise à jour d'un référentiel commun peuvent être coûteuses car elles vont engendrer des activités supplémentaires, notamment pour l'OH, et cela d'autant plus si un agent détecte une interférence négative dans ce partage d'informations. Sheridan [1999] souligne le fait que le temps d'utilisation d'un système d'aide est souvent corrélé à la complexité du système et des tâches. Si des systèmes coopératifs peuvent, bien sûr, assister les agents humains dans des tâches complexes, il est aussi possible d'envisager et de mettre en place des outils d'assistance pour des tâches plus simples mais plus nombreuses, ce qui permet de minimiser les interférences négatives.

Définir ce qu'est exactement la coopération Homme-machine reste à l'heure actuelle difficile. Debernard propose de retenir quelques éléments pour mieux la cerner [Debernard, 2006] :

- le but des agents (humains et artificiels) est généralement commun ;
- les agents agissent sur les mêmes tâches, ou sur leurs décompositions en activités humaines ou fonctions techniques [cité dans Dearden, Harrison, Wright, 2000]. Ces tâches ou leurs décompositions sont au même niveau décisionnel, au sens du modèle de résolution de problème de Rasmussen [Rasmussen, 1983] ;
- malgré les différences entre l'Homme et la machine, notamment au niveau de la responsabilité, chaque agent va contribuer à faciliter le travail des autres. Cela peut passer par le changement de la représentation d'un agent en fonction d'un autre agent ou encore, par la réalisation d'une tâche non prévue afin d'aider un autre agent incapable de réaliser cette dernière ;
- enfin, il existe un minimum de partage d'informations permettant la gestion des interférences (au sens de Hoc), de la connaissance des actions et des buts des autres agents (humain ou artificiel).

Zouinar [2000], qui dresse un état de l'art des définitions de la coopération Homme-machine, retient comme définition de la coopération :

- une séquence d'actions, développée par un ou plusieurs agents en vue d'aider un ou plusieurs autres agents à réaliser leurs buts ;

- une situation dans laquelle plusieurs agents agissent ensemble, conjointement afin de réaliser un but. Cette situation implique et impose une activité de communication entre les agents, qui va concerner directement le but à atteindre, et suppose une aide mutuelle entre les agents (facilitation de l'activité, partage d'informations, surveillance d'autrui et intervention en cas d'erreur). C'est le sens de la définition de Hoc [1996].

3.2 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA COOPÉRATION HOMME-MACHINE

La coopération implique donc l'intervention de plusieurs agents. Avoir plusieurs agents peut permettre de réaliser des tâches plus exigeantes, notamment physiquement ou mentalement, qui seraient très difficiles voire impossibles à accomplir pour un agent seul. A défaut d'avoir besoin d'augmenter ces capacités physiques ou cognitives, la coopération peut permettre de répartir la charge de travail entre plusieurs agents et ainsi maintenir un niveau de charge de travail, de stress ou de fatigue plus supportable pour chacun des agents. Dans des situations où il est nécessaire de prendre des décisions, la présence de plusieurs agents permet d'avoir plusieurs solutions, de les confronter et de tirer, *a priori*, la meilleure solution, pouvant être composée d'un compromis des différentes solutions.

Mais la coopération apporte aussi des inconvénients. Pour coopérer, les agents doivent communiquer, partager, se surveiller et se coordonner. Cette activité est coûteuse en ressources cognitives et implique la mise en place de structures et de supports permettant d'assister cette coopération.

Debernard et Hoc [2003] évoquent également le problème de la répartition des rôles et des responsabilités. En effet, si un OH reste le seul responsable d'un système, il peut être réfractaire à coopérer avec un système si d'une part, il ne le comprend pas et, d'autre part, s'il n'a pas confiance dans ce système. De la même manière, si le système est déclaré responsable, l'OH va avoir naturellement tendance à surveiller, contrôler le système afin de prévenir tous risques notamment liés à la sécurité.

3.3 APPROCHES DE LA COOPÉRATION HOMME-MACHINE

Il existe plusieurs approches qui définissent comment les agents (humains ou artificiels) vont travailler et coopérer ensemble. Le choix d'une de ces approches est souvent lié aux compétences des agents, tant en terme de savoir-faire que de savoir-coopérer.

3.3.1 NOTIONS DE SAVOIR-FAIRE ET DE SAVOIR-COOPÉRER

Dans le cadre de la coopération Homme-machine, Millot [1998] puis Millot et Pacaux-Lemoine [1998] décomposent les compétences des agents en deux aspects : le savoir-faire, relatif aux actions de résolutions de problèmes et le savoir-coopérer, relatif aux capacités à gérer les interférences.

Le savoir-faire représente donc les connaissances, les capacités de raisonnement et les capacités de communication des OHs ou des agents artificiels qui leur permettent de résoudre les problèmes. Les capacités de communication impliquent des questions de connexion des entrées et des sorties des agents entre eux, d'une part, et avec le dispositif à superviser, d'autre part. Ceci conduit naturellement à la dimension structurelle de la coopération Homme-machine initiée par Millot [1988] et reprise dans [Millot & Hoc, 1997] et détaillée au paragraphe 3.3.3.

Hoc et Lemoine [1998] décrivent quatre types d'activités dans le savoir-faire : l'élaboration de l'information, le diagnostic, la prise de décision et l'action. Ces activités schématisent le modèle de l'activité d'un agent et sont issues du modèle de résolution de problème en situation dynamique élaboré par Hoc et Amalberti [1995] et inspiré du modèle de prise de décision de Rasmussen [1983].

Debernard décompose le savoir-faire en deux aspects fortement liés (Figure 6) [Debernard *et al.* 2008 ; Debernard, 2006]:

- un aspect qui relève de la gestion du procédé par la détection, la résolution et la surveillance des problèmes,
- un aspect qui est propre à l'OH devant gérer ses ressources internes pour être en capacité de traiter l'ensemble des problèmes ou des tâches.

Le savoir-coopérer représente, quant à lui, la capacité des agents (humains ou artificiels) à gérer des interférences entre leurs buts respectifs mais aussi à faciliter la réalisation des buts des autres agents. L'interférence est une interdépendance entre les tâches des agents, plus précisément entre, d'une part, le but de l'un des agents et, d'autre part, l'impact des actions des autres agents sur ce but [Castelfranchi, 1998]. Ces interférences peuvent être négatives lorsque les buts sont concurrents ou positives lorsque les buts sont convergents. Ainsi, dans le cadre d'un système Homme-machine, il est indispensable de doter l'outil d'aide de savoir-coopérer, afin qu'il communique efficacement avec l'OH et qu'il évite la création d'interférences négatives.

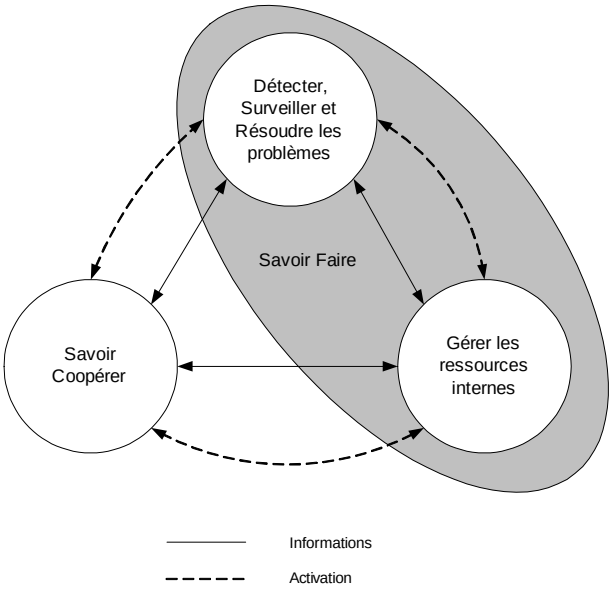


FIGURE 6 : SAVOIR-FAIRE ET SAVOIR-COOPÉRER [DEBERNARD ET AL. 2008 ; DEBERNARD, 2006]

Toujours pour Debernard [Debernard *et al.* 2008 ; Debernard, 2006], le savoir-coopérer, qu'il décrit comme un « savoir-faire dédié à la gestion des activités coopératives », est composé de trois fonctions principales (Figure 7) :

- la gestion des demandes explicites (faites à un autre opérateur) et des apports (faits par un autre opérateur), afin notamment de mettre à jour le référentiel interne ;
- la perception des activités d'un autre opérateur, à partir des actions réalisées par cet opérateur ou des informations transmises par le système. À partir de cette perception, il est possible de reconstruire des informations implicites telles que l'état du système ou celui de l'OH ;
- une gestion des interférences qui consiste à réduire les différences entre les référentiels internes des OHs.

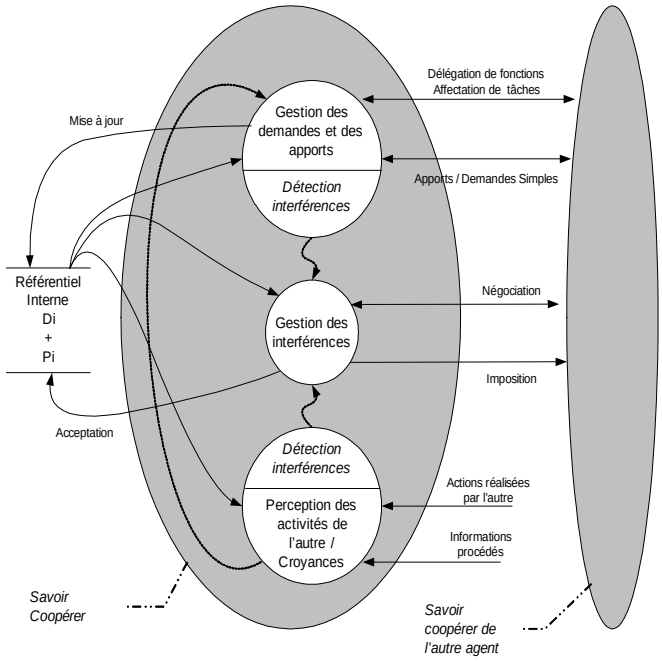


FIGURE 7 : FONCTIONS PRINCIPALES DU SAVOIR-COOPÉRER [DEBERNARD, 2006]

3.3.2 *APPROCHE FONCTIONNELLE*

L'approche fonctionnelle est destinée à définir le contenu opérationnel du savoir-coopérer [Millot, 1998] en s'appuyant sur les trois formes de coopérations définies par Schmidt [1991] :

- **Forme augmentative.** Dans cette configuration, l'ensemble des tâches à réaliser, supposé décomposable en sous tâches similaires, sont réparties entre plusieurs agents, tous les agents possédant le même niveau de savoir-faire.

- **Forme confrontative.** Dans cette configuration, plusieurs agents ayant les mêmes compétences, traitent en parallèle une seule tâche. Dans ce cas, l'objectif pour ces agents est d'arriver à une solution correcte. Les agents vont confronter leurs idées, leurs solutions, les informations, leur représentation du problème… Ils s'assurent qu'à chaque étape menant à la solution, qu'à chaque prise de décision, ils soient bien en accord. Cette forme de coopération implique généralement de nombreuses interactions, négociations et interférences.

- **Forme intégrative.** Dans cette configuration, les agents ont des compétences différentes et la tâche globale à réaliser ne peut pas être traitée par un seul agent. La tâche est donc décomposée en sous tâches différentes et complémentaires attribuées aux différents agents en fonction de leurs savoir-faire. Cette décomposition entraîne un ordre précis d'exécution des sous tâches.

Un système coopératif peut mettre en jeu plusieurs de ces formes à la fois, sur des tâches ou des sous-tâches différentes. Grislin-Le Strugeon et Millot [1999] montrent que ces trois formes sont

génériques de toute coopération. En d'autres termes, entre deux agents toute coopération est décomposable en une ou plusieurs de ces trois formes ou alors la coopération est impossible.

Les approches structurelles présentées dans le paragraphe suivant permettent de définir les conditions opérationnelles d'une coopération Homme-machine.

3.3.3 APPROCHES STRUCTURELLES

Millot [1988] définit deux structures de coopération : une structure verticale et une structure horizontale. Ces approches définissent comment les OHs et les outils d'aides interagissent et notamment quel agent a en charge la décision finale [Millot, Hoc, 1997].

3.3.3.1 Structure verticale et horizontale

Dans la structure verticale (Figure 8), l'OH est entièrement responsable du système et il est le seul à pouvoir agir sur celui-ci. Les outils d'aide accèdent, comme l'OH, à l'ensemble des données du système et présentent des solutions et des conseils, que l'OH peut intégrer dans sa phase de réflexion, l'OH ayant au final le choix d'exécuter ou non une proposition du système. Dans cette structure hiérarchique des conflits décisionnels peuvent apparaître et Millot et Debernard [2007] montrent le rôle du savoir-coopérer pour gérer ces conflits.

Dans cette structure, l'outil d'aide mis en place peut agir de deux façons : (*i*) l'outil est là comme une solution de secours. Si l'OH est surchargé ou s'il ne comprend pas bien la situation, il peut alors venir s'appuyer sur l'outil pour lui fournir une solution ; (*ii*) l'OH peut utiliser les compétences de l'outil et ses « bonnes connaissances » du système pour vérifier une décision ce qui permet en même temps à l'OH d'enrichir son expérience sur le système.

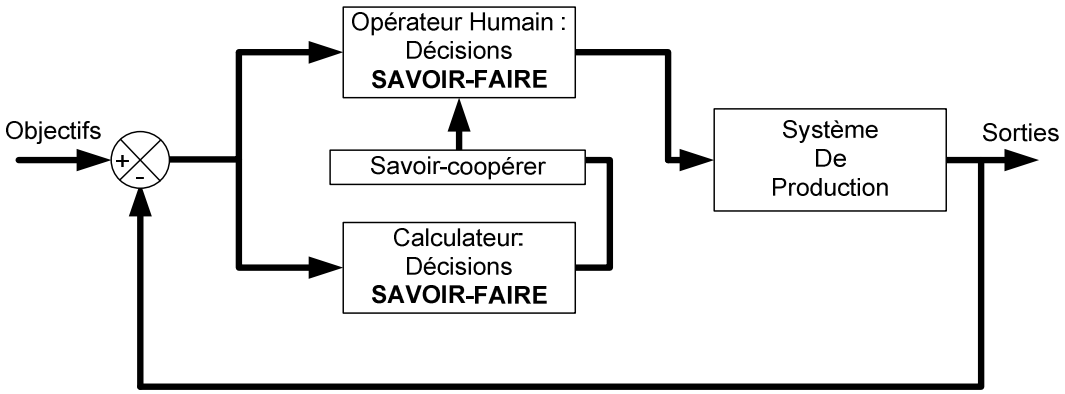


FIGURE 8 : STRUCTURE / COOPÉRATION VERTICALE [MILLOT, 1988] RÉVISÉ [MILLOT, DEBERNARD, 2007]

Dans la structure horizontale (Figure 9), l'ensemble des tâches à réaliser est réparti de manière dynamique entre l'OH et le système. Dans ce cas de figure l'outil devient, en plus d'un outil d'aide à la décision, un outil d'aide à l'action.

Ce type de structure comprend deux niveaux : le niveau opérationnel d'exécution des tâches qui est de nature horizontale, et le niveau organisationnel qui est de nature verticale et qui commande le niveau inférieur. Millot [1988] y place le savoir-coopérer en tant que commande du répartiteur de tâches entre les agents.

Lorsque la répartition des tâches est assurée par l'OH, on parle de répartition dynamique explicite. Lorsqu'elle est assurée par un agent artificiel, on parle de répartition dynamique implicite. Dans ce cas, le répartiteur se base sur des critères de performance, de charge de l'OH ou autres, pour définir le meilleur compromis.

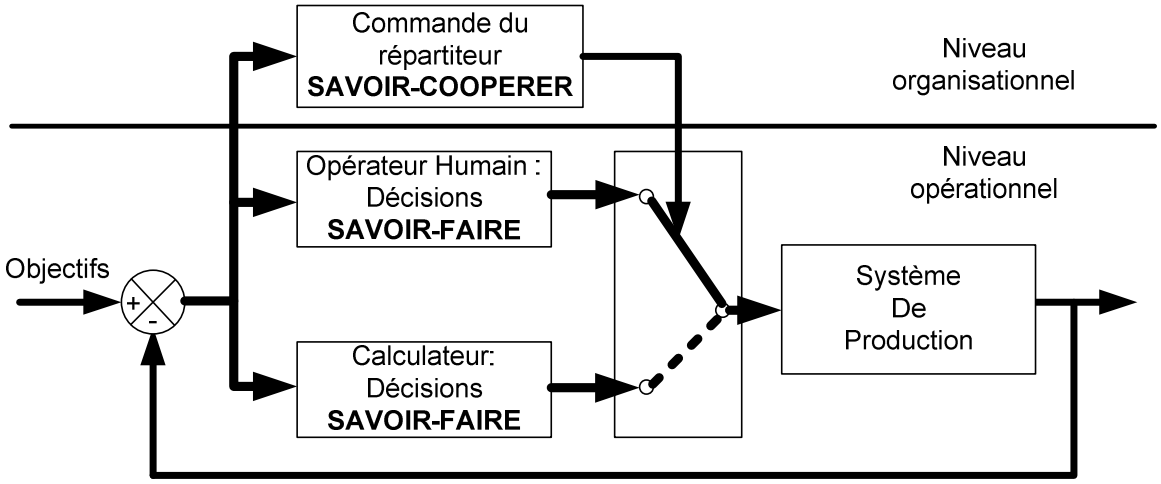


FIGURE 9 : STRUCTURE / COOPÉRATION HORIZONTALE [MILLOT, 1988] RÉVISÉ [MILLOT, DEBERNARD, 2007]

3.3.3.2 Répartition implicite et explicite dans le contrôle aérien

SPECTRA V1 (Système de Partage Expérimental de tâche pour le Contrôle du TRafic Aérien) [Debbache *et al.*, 1990 ; Debernard *et al.*, 1990*a*] est la première plateforme développée au sein du laboratoire, dans le cadre du partenariat avec la DGAC. SPECTRA V1 met en scène un seul contrôleur, le contrôleur radariste, et un outil développé par le CENA (Centre d'Étude de la Navigation Aérienne), SAINTEX (Système de contrôle AutomatIque de NuiT EXpérimental) [Angerand & Le Jeannic, 1992]. Cette plateforme avait pour objectif d'évaluer la meilleure forme de répartition dynamique de tâches entre ces deux agents.

Deux modes de répartitions ont été évalués [Millot & Debernard 1993] :

- un mode de **répartition dynamique implicite** (Figure 10) où un répartiteur dynamique alloue des conflits aériens partageables (conflits résolvables par le contrôleur ou par SAINTEX) en fonction d'un critère d'exigence de tâches estimé en ligne ;

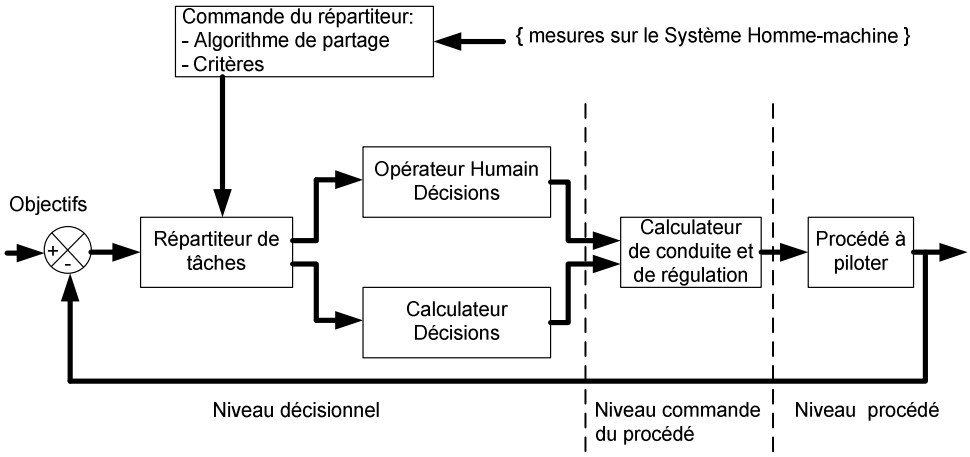


FIGURE 10 : PRINCIPE D'UNE RÉPARTITION IMPLICITE [MILLOT & DEBERNARD 1993].

- un mode de **répartition dynamique explicite (**Figure 11**)** piloté par le contrôleur radar (CR) lui-même qui peut choisir de résoudre un conflit ou de le donner à SAINTEX.

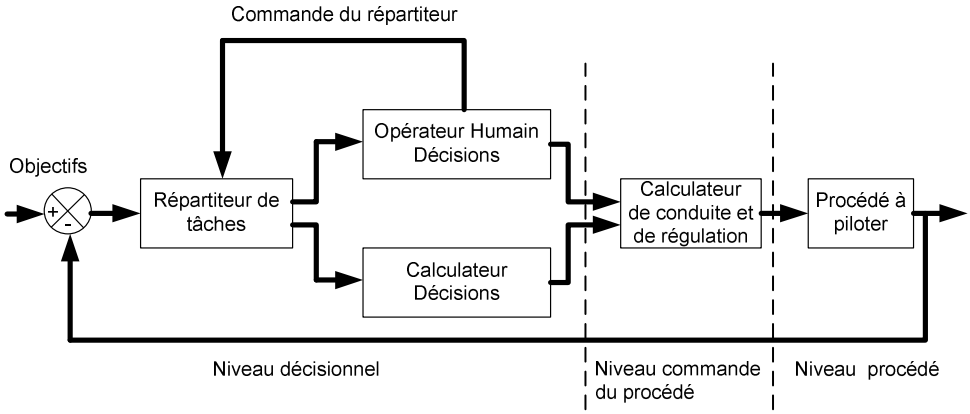


FIGURE 11 : PRINCIPE D'UNE RÉPARTITION EXPLICITE [MILLOT & DEBERNARD 1993].

Ces deux modes de répartition ont été testés dans le cadre du projet SPECTRA V1. Les conclusions ont été les suivantes :

- Les résultats de SPECTRA V1 montrent que les contrôleurs préfèrent une répartition explicite qui leur permet d'avoir un meilleur contrôle de la situation. Cependant, cette forme de répartition provoque une charge de travail supplémentaire pour en assurer la gestion.
- Les résultats de SPECTRA V1 montrent également que la répartition implicite permet un gain de charge de travail des contrôleurs. Cependant, cette forme de répartition ne permet plus aux contrôleurs d'assurer leurs responsabilités, puisqu'une partie des tâches est attribuée par un répartiteur de tâches automatique et réalisée automatiquement par SAINTEX.

SPECTRA V2 fait directement suite au projet SPECTRA V1 et se base sur trois hypothèses qui répondent aux conclusions précédentes [Crévits, 1996 ; Vanderhaegen *et al.* 1994] :

- Dans le cadre de l'organisation du contrôle du trafic aérien, le CR est toujours assisté d'un contrôleur organique (CO). L'idée est donc de laisser le CO s'occuper de la répartition explicite. Garder un OH dans la gestion de la répartition permet une meilleure confiance et donc une meilleure acceptation de cette aide. Les conflits décisionnels entre les OHs et le système sont également évités. Un concept est proposé dans le cadre de SPECTRA V2 et se nomme **gestion externe** de la répartition du niveau tactique.
- Néanmoins, pour aider le CO à évaluer la charge de travail de son CR et ainsi définir une répartition entre le CR ou le système, il est possible d'utiliser les algorithmes présents dans la répartition implicite, sous réserve de quelques modifications. Ces algorithmes vont donc former une **aide à la répartition** pour le CO.
- Prédire les tâches dans le cadre d'un algorithme de répartition permet une meilleure régulation de la charge de travail du contrôleur radariste. Dans SPECTRA V2, ce concept se nomme : **répartition dynamique de tâches anticipée.**

Dans le cadre de SPECTRA V2 une répartition explicite assistée est donc introduite (Figure 12). La répartition entre le CR et SAINTEX est définie automatiquement et proposée au CO, qui a la possibilité de modifier cette répartition. Le CO supervise donc la répartition. Un répartiteur automatique appelé PLAF (PLanification d'AFfectation), remplit deux fonctions : la prédiction de la charge de travail du CR, en se basant sur une prédiction du trafic aérien futur et sur la faisabilité de l'ordonnancement des tâches du CR issues de la prédiction de trafic, ainsi qu'une proposition de répartition entre les agents permettant de rendre l'ordonnancement des tâches réalisable en affectant des tâches partageables à SAINTEX. Cet outil n'est pas présenté en détail ici, mais le lecteur pourra consulter [Crévits, 1996 ; Crévits, Debernard, Millot, 1994 ; Crévits *et al.* 1993].

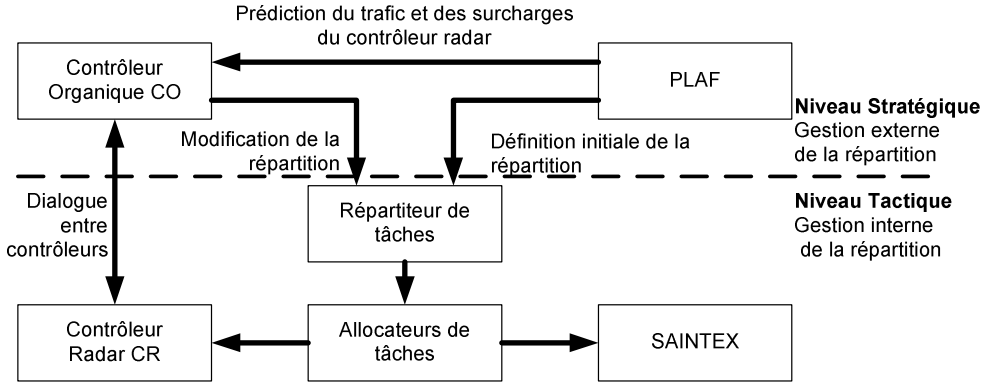


FIGURE 12 : RÉPARTITION EXPLICITE ASSISTÉE [CRÉVITS, 1996].

Si les résultats des expérimentations menées sur SPECTRA V2 ont montré une bonne régulation de la charge de travail du CR et une acceptation par ce dernier du mode de commande de la répartition des tâches, pour certains conflits partageables, les contrôleurs n'étaient pas en

accord avec les résolutions de conflits proposées par SAINTEX. Ce désaccord concernait à la fois la définition même du conflit, c'est-à-dire les avions impliqués dans ce dernier, et les solutions calculées. Pour éviter ces désaccords menant à un rejet possible de la coopération Homme-machine, le concept de délégation de tâches a été introduit et évalué.

3.3.3.3 Délégation de tâches

La délégation de tâche, introduite par Castelfranchi [1998], réside dans le besoin d'un agent (X) de faire appel à un autre agent (Y) pour mener à bien sa tâche. Ce besoin peut provenir d'un manque de compétence de X pour effectuer cette tâche, de l'incapacité de X à exécuter la tâche seul, d'un manque de ressources de X (physiques, internes), ou d'un jugement que Y sera meilleur pour exécuter cette tâche. Dans tous les cas, l'agent X doit avoir connaissance des capacités et des compétences de l'agent Y, à qui il fait appel et bien sûr une part de confiance en cet agent. Castelfranchi [1998] distingue deux formes de délégation :

- La délégation fermée (*executive delegation*), où l'objet délégué est complètement spécifié et correspond à une action à réaliser. X maîtrise parfaitement ce que va faire l'agent Y, mais spécifier l'objet est coûteux.
- La délégation ouverte (*open delegation*), où l'objet délégué n'est pas complètement spécifié, il est intégré dans un plan ou une décision, global. La spécification de l'objet est donc moins coûteuse pour X, mais il y a un risque plus important d'interférence entre les deux agents.

Le projet AMANDA (*Automation MAN-machine Delegation of Action*) [Annebicque *et al.* 2008*a* ; Debernard 2006 ; Guiost, 2006] fait donc suite au projet SPECTRA. Ce dernier avait une logique de répartition de tâche globale. Dans le cadre de la délégation de tâche, introduite dans le projet AMANDA, la tâche globale de résolution de conflit est décomposée en sous tâches afin d'être allouées individuellement à un agent.

La tâche globale de détection/résolution de conflit a été décomposée selon un modèle simplifié du modèle de résolution de problème de Rasmussen [1983] : **diagnostic**, **prise de décision schématique**, **prise de décision précise** et **mise en œuvre** (Figure 13)

Dans un premier temps, le contrôleur assure le diagnostic des situations qui consiste à définir les avions en conflit de manière directe (les avions ne respectant pas les normes minimales de séparation) ou de manière interférente (les avions venant contraindre la résolution). Ce regroupement d'avions est appelé un **cluster**.

Une fois le cluster créé, le contrôleur définit une stratégie de résolution de conflit, qui correspond à la manière générale de résoudre le conflit mais sans en préciser les paramètres effectifs. Le contrôleur peut alors déléguer sa stratégie au système sous la forme de **directive(s)** : faire passer tel avion derrière tel autre, par exemple.

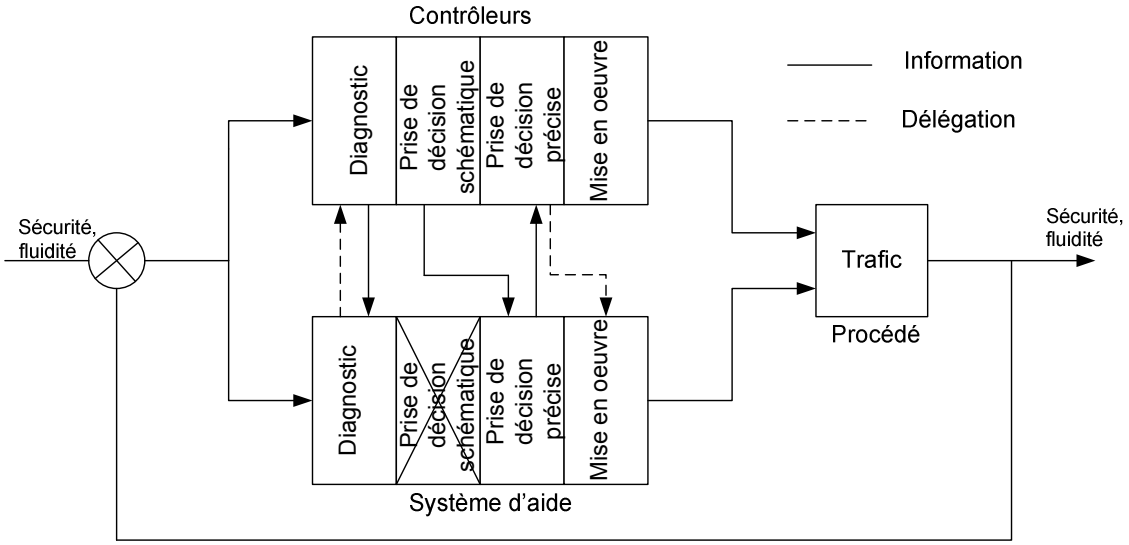


FIGURE 13 : PRINCIPE DE LA DÉLÉGATION DE TÂCHE ENTRE LES AGENTS [DEBERNARD, 2006].

Dans ce cas le système propose alors une trajectoire aux contrôleurs qu'ils peuvent valider puis en déléguer l'application, c'est-à-dire l'envoi des ordres aux avions, à un Système Tactique d'Aide à la Résolution, appelé STAR, [Cathelain, 2005]. Dans tous les cas, les contrôleurs peuvent ne pas utiliser cette délégation d'application et reprendre la main sur un conflit délégué au système.

STAR, contrairement à d'autres systèmes de calcul de trajectoire et de résolution de conflit [Durand, 2004 ; Bosc, 1997 ; Zeghal, 1993], s'appuie sur une stratégie définie par le contrôleur pour calculer la nouvelle trajectoire et ce de manière à permettre une meilleure acceptation de l'outil par les contrôleurs (puisque le principe général de la résolution provient d'eux).

Les trajectoires sont calculées selon la méthode du point tournant, c'est-à-dire que l'avion est dévié à un moment donné jusqu'à un certain point, dit tournant puis, l'avion est remis sur sa route d'origine, celle définie dans le plan de vol (Figure 14).

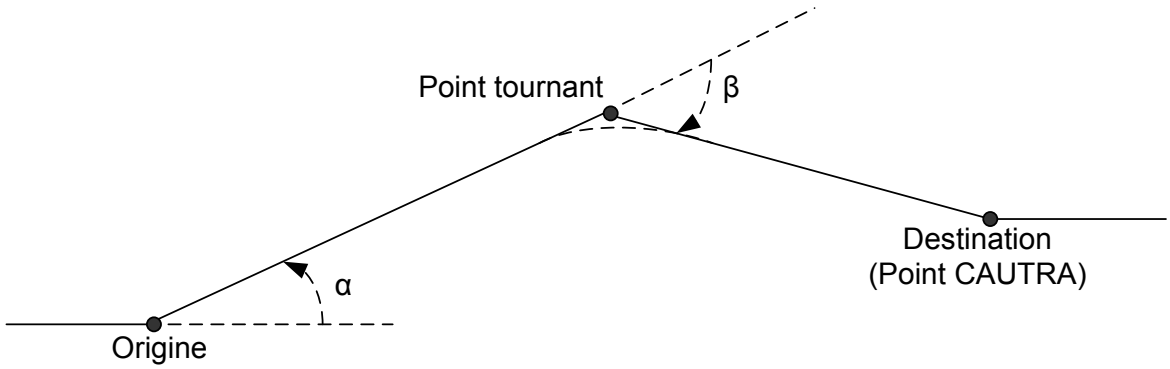


FIGURE 14 : MODÈLE DE TRAJECTOIRE POINT TOURNANT [CATHELAIN, 2005]

Le principe de calcul retenu par [Cathelain, 2005] est l'exploration ciblée (Figure 15). En se basant sur la stratégie choisie par le contrôleur, le système va calculer l'ensemble des

trajectoires (appelés « plan ») respectant cette stratégie et permettant de résoudre le conflit. Ensuite chacun de ces plans est caractérisé selon différents critères :

- Trajectoire non conflictuelle ;
- Nombre de déviations et angles de déviation ;
- Point d'origine de la déviation dans le secteur contrôlé ;
- La distance minimale de séparation entre l'avion conflictuel (celui qui est dérouté) et l'avion privilégié (l'avion à éviter).

Suite à cette caractérisation et en fonction d'un choix multicritère, une seule trajectoire est présentée au contrôleur. La Figure 15 [Cathelain, 2005] présente schématiquement le fonctionnement du module de calcul de trajectoires de STAR.

Cette délégation de tâche et l'utilisation de STAR nécessitent la mise en œuvre d'un support d'informations entre les contrôleurs et le système. Ce support a permis, d'une part, aux agents (humains et artificiels) de coopérer mais aussi de disposer des mêmes informations et de construire une représentation commune à la fois de la situation et des tâches à réaliser permettant de maintenir une bonne conscience de la situation. Les concepts liés à la conscience de la situation sont à présent abordés.

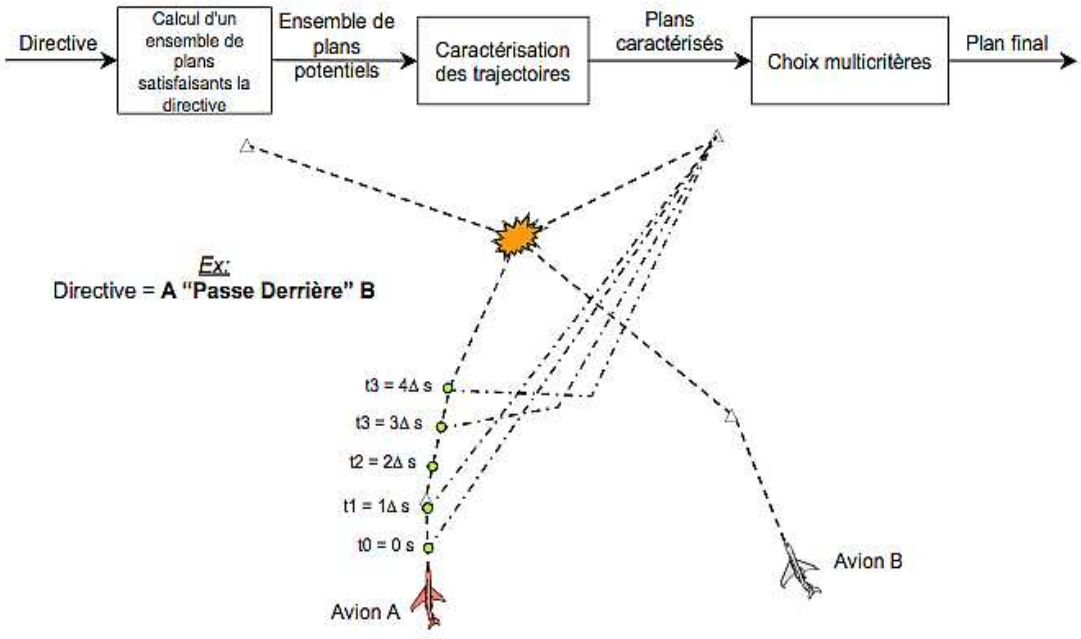


FIGURE 15 : PRINCIPE DE L'EXPLORATION CIBLÉE DANS STAR [CATHELAIN, 2005]

4 CONSCIENCE DE LA SITUATION

4.1 INTRODUCTION

Comme le décrit la partie précédente, l'objectif des « automaticiens humains » et des concepteurs de systèmes Homme-machine est de faciliter, autant que possible, l'utilisation et la compréhension du système automatisé par l'opérateur. Pour réaliser cela, il est indispensable que l'opérateur ait conscience de la situation à gérer et de ce que fait l'automatisation. En coopération Homme-machine, plus encore car les interactions entre décideurs sont très importantes, chaque agent doit être en mesure d'évaluer ce que fait un autre agent. Cet aspect est très important dans le cadre de la coopération Homme-machine car il permet à tous les agents de travailler ensemble et de coopérer efficacement. Dans cette partie, les différentes approches de la Conscience de la Situation (CS) sont présentées.

4.2 DÉFINITIONS

La notion de CS ou *Situation Awareness* (SA) voit le jour dans les années 80 [Spiker, Rogers, Cicinelli, 1986 ; Endsley, 1988*a*], principalement dans le domaine de l'aéronautique. À l'origine, le concept de CS est présenté comme un élément du processus cognitif des pilotes qui ont en permanence besoin de connaître les paramètres, les données de la situation dans laquelle ils travaillent. Plus globalement, la CS est un domaine d'étude qui concerne la perception de l'environnement et qui est essentiel pour les décideurs dans des situations dynamiques de systèmes complexes, et sensibles pour la sécurité tels que l'aviation, le contrôle du trafic aérien, la supervision et la gestion des centrales électriques, particulièrement nucléaires. Endsley définit la CS par :

> *La perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leurs états dans un futur proche. [Endsley, 1988b]*

La CS implique donc d'être conscient de ce qui se passe autour de soi et de comprendre la façon dont l'information, les événements et les actions auront un impact sur l'environnement contrôlé de manière immédiate et dans un futur proche.

Ne pas avoir une bonne CS ou avoir une CS défaillante a été identifié comme l'un des principaux facteurs dans les accidents dont la cause est une erreur humaine [Nullmeyer *et al.* 2005]. Ainsi, la CS est importante dans les domaines où le nombre d'informations est très important et où prendre de mauvaises décisions peut avoir de graves conséquences.

Avoir une CS complète, exacte et à jour (en temps réel) est donc essentiel dans des domaines : (*i*) où il y a une forte présence technologique et des interactions importantes avec différents systèmes ; (*ii*) où la situation est complexe et partagée entre divers agents (humains ou

artificiels) ; (*iii*) et où la situation implique, de la part des décideurs, des décisions et des choix importants. La CS a été reconnue comme cruciale, mais souvent insaisissable, comme fondation du succès d'une prise de décision [Endsley, 1997] à travers un large panel de systèmes complexes et dynamiques [Endsley, 1995*a*] tels que :

- L'aviation et le contrôle du trafic aérien [Nullmeyer *et al.* 2005] ;
- Les interventions d'urgence et le commandement militaire [Gorman, Cooke, Winner 2006 ; Blandford, Wong, 2004] ;
- Les stations offshores de pétrole ou les centrales nucléaires [lire par exemple Flin, O'Connor, 2001].

Dominguez [*et al.* 1994] précisent que la CS doit également inclure les notions suivantes :

- L'extraction, en continu, d'informations provenant de l'environnement ;
- L'intégration de ces informations avec celles déjà connues, pour créer une « image mentale » de la situation actuelle ;
- L'utilisation de cette image pour diriger l'exploration (la recherche d'information), la perception et l'anticipation des événements futurs.

En fait, Dominguez ne réduit pas la CS à l'unique connaissance de la situation. Il considère la CS comme un tout allant du recueil d'information, à l'analyse de ces informations, et à la mise en concordance avec les informations précédentes, dans l'objectif de pouvoir orienter efficacement la perception et l'anticipation des actions futures.

La notion de modèle mental est souvent associée à la CS. Le modèle mental est généralement défini comme une représentation de la pensée et du raisonnement d'une personne, d'un système physique ou d'un logiciel. Pour Carroll et Olson [1987] le modèle mental se définit par :

> *Une structure riche et élaborée reflétant la compréhension de l'utilisateur sur ce que le système contient, comment il fonctionne et pourquoi il réagit de telle manière. Il doit être conçu comme une connaissance du système suffisante pour permettre à l'utilisateur d'essayer, de tester « mentalement » des actions avant d'en choisir une et de l'appliquer sur le système réel. [Carroll & Olson, 1987]*

4.3 LA THÉORIE DE LA CONSCIENCE DE LA SITUATION

La première théorie de la CS s'est focalisée sur un seul OH face à une situation. Cette théorie a vu apparaître différentes approches, provenant de différents courants de recherche. Dans une première partie, une synthèse de ces approches concernant la CS pour un individu est donc faite. Par la suite, le constat est fait que les OHs travaillent souvent en équipe, et qu'ils ont besoin de partager cette CS entre eux. L'approche CS en équipe est donc décrite dans une seconde partie.

4.3.1 LES DIFFÉRENTES APPROCHES

Chalandon indique que la définition de la CS d'Endsley est assez floue conceptuellement [Chalandon, 2007]. Toutefois, il considère qu'il est possible de regrouper l'ensemble des définitions et des concepts en 4 grandes familles[5].

4.3.1.1 L'approche dite « linéaire » :

Cette première approche se base principalement sur la définition d'Endsley [Endsley 1988*b*]. Chalandon qualifie cette approche de contemplative, c'est-à-dire qui intervient de façon indépendante de la prise de décision. Cette approche ne considère pas non plus, les possibilités d'action laissées à l'utilisateur. L'approche linéaire de la CS va offrir une vue instantanée de la connaissance du monde environnant, cette vue devant être la plus précise et complète possible. Cette approche est assez paradoxale car elle est très centrée sur le sujet et ses besoins, mais nie la possibilité d'agir et l'autonomie de celui-ci. Amalberti [1996] va même jusqu'à préciser que cette approche séquentielle (perception, compréhension, anticipation, décision, action), qui suppose une dépendance entre toutes les étapes et un sens unique de parcours, est d'une « désarmante naïveté ».

Néanmoins, ce modèle est l'un des plus utilisés et le premier défini pour la CS (Figure 16). Endsley fournit avec sa définition un modèle théorique[6] de la CS [Endsley, 1995*b*].

[5] Les noms de ces familles sont extraits de la thèse de Xavier Chalandon [Chalandon, 2007], et peuvent donc varier dans la littérature.

[6] On pourra consulter la thèse de Bailly [2004] qui fait une analyse de la théorie d'Endlsey

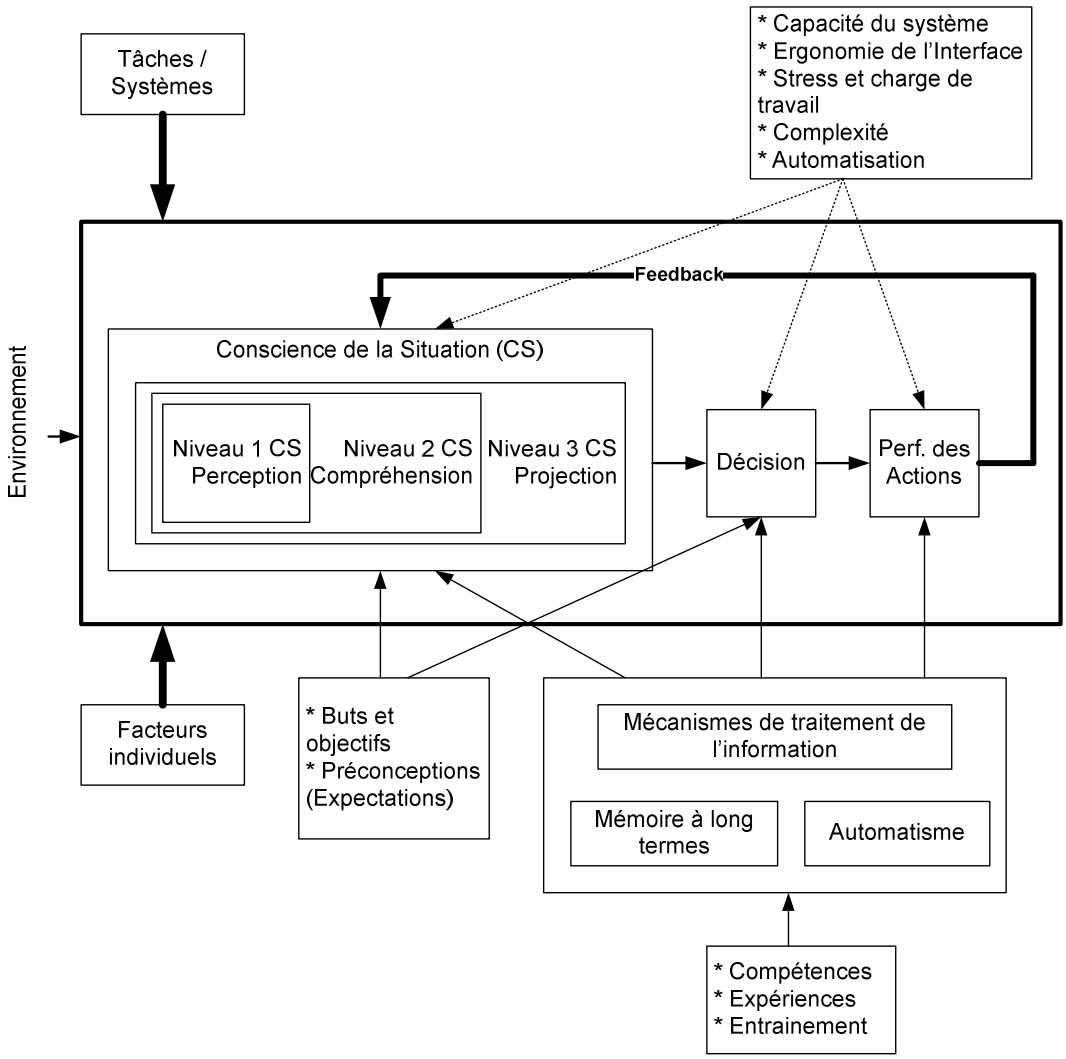


FIGURE 16 : MODÈLE DE LA CONSCIENCE DE LA SITUATION SELON [ENDSLEY, 1995*B*]

Dans ce modèle, trois niveaux sont distingués : **perception**, **compréhension** et **projection**.

- Perception (niveau 1) : c'est l'étape la plus importante, qui consiste à percevoir le statut, les attributs et la dynamique des éléments pertinents de l'environnement. Ainsi, le niveau 1, niveau de base de la CS, implique des processus de surveillance et de détection de signaux, qui conduisent à une CS de plusieurs éléments (objets, événements, personnes, systèmes, facteurs environnementaux…) et de leurs états (lieux, conditions, modes, actions).

- Compréhension (niveau 2) : cette étape est indissociable du niveau 1. Elle vise, par le biais de processus de reconnaissance, d'interprétation ou d'évaluation, à donner un sens aux éléments détectés précédemment. Le niveau 2 consiste à intégrer et synthétiser les informations du niveau 1 pour comprendre leur impact sur les différents buts et objectifs.

- Projection (niveau 3) : c'est le plus haut niveau de la CS. Le niveau 3 est atteint grâce à la connaissance de l'état et de la dynamique des éléments ainsi que de la compréhension de

la situation (provenant des niveaux 1 et 2 précédents). L'extrapolation et la projection de ces informations déterminent le moment opportun pour agir et la façon donc elles vont influencer les états des différents éléments de l'environnement.

La construction de la conscience de la situation est orientée par les buts et objectifs fixés, et soumise à des contraintes (la capacité du système, l'ergonomie, le stress ou encore la complexité). Mais le succès de la construction de la CS dépend des capacités, des compétences et de l'expérience des individus.

Après la construction de la CS par l'OH, celui-ci va donc l'utiliser pour prendre des décisions et agir sur le système. Ces actions seront évaluées en terme de performance (vis-à-vis des buts fixés) et permettront à l'OH d'obtenir un retour d'informations afin de mettre à jour sa CS. Endsley précise que la capacité limitée de la mémoire et de l'attention peut conduire à une non perception des nouveaux éléments, ce qui peut entrainer une dégradation de la CS [Endsley, 1995*b*].

4.3.1.2 Approche dite « décisionnelle »

L'approche dite « décisionnelle » [Prince & Salas, 1997] vient en réaction à l'approche linéaire, en considérant l'action potentielle comme un élément essentiel au problème de la synchronisation activité-environnement dans les situations à environnement dynamique, individuel et personnalisé [Klein, 1995]. La situation est donc imposée à l'OH qui va la découvrir et sa connaissance du domaine va permettre de finaliser l'identification et la compréhension de la situation. La CS se présente comme une orientation vers une action ou un groupe d'actions. Elle fait un lien plus ou moins explicite entre les événements réels de la situation extérieure et les connaissances internes de la mémoire de l'utilisateur.

Klein [1997] a proposé le modèle RPD (« *Recognition Primed Decision* », Figure 17) pour expliquer comment, dans des situations d'urgences ou de fortes pressions temporelles, les militaires ou les sapeurs-pompiers (par exemple) peuvent décider et réaliser des actions efficaces sans analyser et comparer un ensemble d'options possibles. Le modèle propose trois modes possibles d'évaluation de la situation :

- **Reconnaissance simple (« *simple match* »).** La situation est reconnue et une action « évidente » est mise en œuvre immédiatement sans qu'il y ait de comparaison ou d'évaluation des différentes alternatives possibles. Ce niveau est, généralement, réalisable par les experts qui, presque par « réflexe », sont capables de s'orienter vers l'action grâce à une agrégation implicite entre les événements de la situation et les connaissances du fonctionnement du processus (au sens large).
- **Adaptation d'action (« *developing a course of action* »).** La situation est reconnue et une action est retenue parmi une liste d'actions généralement utilisées dans ce type de

situation. L'action retenue est ensuite simulée mentalement (ce qui correspond à la définition de [Carroll & Olson, 1997]) afin d'essayer de vérifier sa faisabilité et le cas échéant de l'adapter.

- **Stratégie complexe (« *complex RPD strategy* »).** Cette dernière stratégie est mise en œuvre en cas d'échec du mode précédent, c'est-à-dire que l'action choisie initialement n'est pas faisable ou retenue après la simulation mentale. Dans ce cas, une autre action est choisie et est, à son tour, simulée et évaluée. Le second cas possible de déclenchement de ce mode intervient lorsque la dynamique de la situation induit des écarts par rapport au modèle. Dans ce cas, il faut réévaluer la situation.

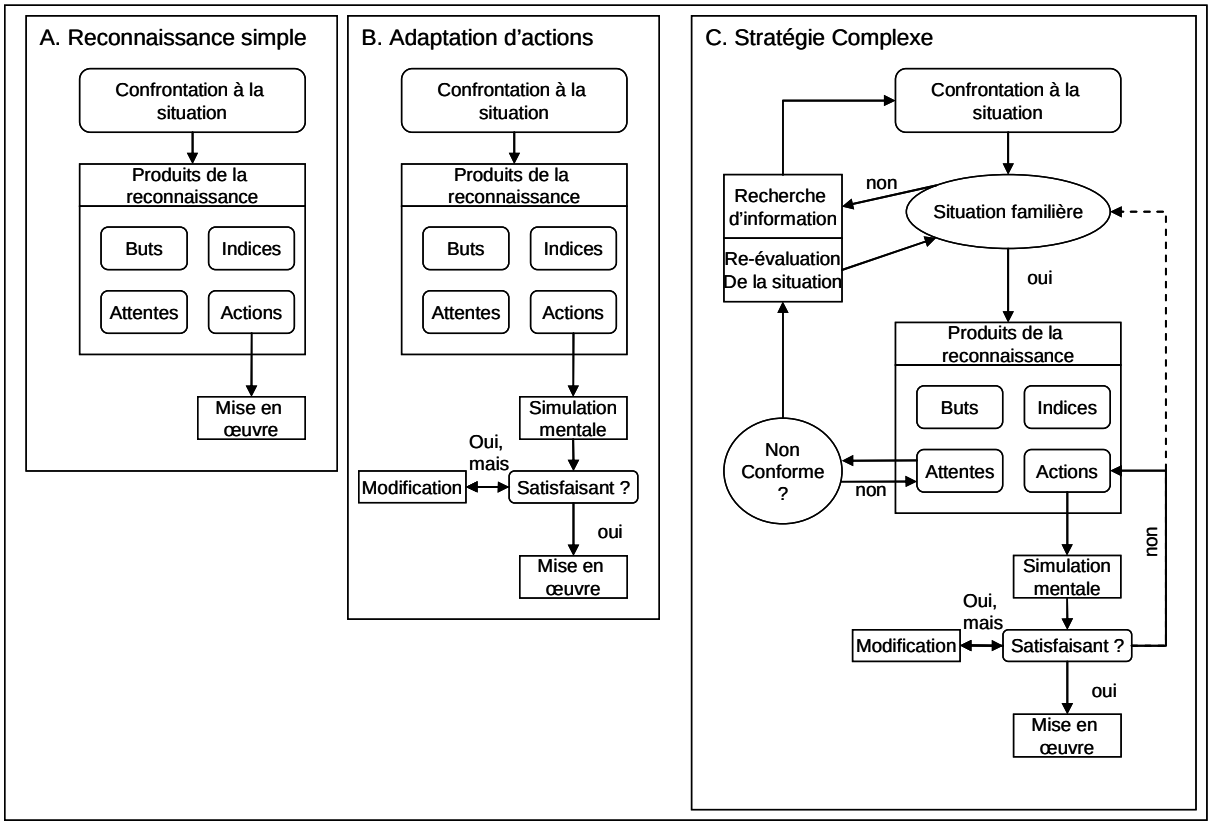


FIGURE 17 : MODÈLE RDP [KLEIN, 1997]

Plusieurs caractéristiques du modèle RPD, sont à souligner :

- La situation préexiste à l'OH et elle lui est imposée. L'évaluation de la situation est initialisée à l'apparition d'un événement particulier. L'évaluation est centrée sur ce problème et se terminera par le choix d'une action qui va permettre de répondre à ce problème [Klein, 1997 ; Orasanu & Fisher, 1997].
- Le choix d'une action répond à un critère d'acceptabilité et non d'optimalité. « *Trouver la première option qui marche, pas nécessairement la meilleure possible* » [Klein, 1997].
- La sélection d'un des modes d'évaluation dépend de l'expertise de l'OH, mais aussi des contraintes de la situation et du contexte. Ainsi, les stratégies plus anticipatrices ne

seront mises en œuvre que si l'OH estime que la dynamique de l'environnement et le risque qui peut être associé le permettent. Dans le cas contraire, l'OH sera amené à agir avec une compréhension dite limitée [Orasanu & Fisher, 1997].

4.3.1.3 Approche dite « centrée sur la régulation »

Cette approche est issue de l'ergonomie et est centrée sur l'activité. La CS ou la compréhension de la situation est donc un ajustement permanent d'une représentation fonctionnelle en fonction des actions antérieures et des objectifs fixés [Hoc & Amalberti, 1995 ; Starter & Woods, 1991]. Cet ajustement permanent occupe donc une partie de l'activité de l'OH et implique que ce dernier « ne comprenne pas » la situation (au sens de l'optimalité) car les ressources qu'il devrait affecter à cette compréhension optimale sont incompatibles avec la dynamique de la tâche. Amalberti [2001] définit cette non-compréhension, ou cette compréhension minimale, comme un compromis cognitif contrôlé par les méta-connaissances du sujet.

Selon Chalandon [Chalandon, 2007], le modèle de résolution de problème en situation dynamique de Hoc [Hoc, 1996] est l'un des modèles les plus complets pour représenter les échanges et processus cognitifs mis en œuvre dans cette approche de la CS.

4.3.1.4 Approche dite « néo-écologique »

Cette approche de la CS impose un changement, nécessaire, du paradigme de la cognition généralement centrée sur le sujet, vers un couplage entre l'homme et son environnement. L'OH doit avoir une conscience explicite des contraintes (le terme d'approche « centrée sur les contraintes » peut parfois être rencontré) et des ressources de l'environnement et définit donc sa CS comme une :

« Conscience adaptative dirigée vers l'externe » [Smith & Hancock, 1995].

La CS devient donc un structurant pour la connaissance du sujet. Si cette approche peut sembler très normative comme une approche linéaire, elle ne renie pas la capacité de l'OH à agir, en ce sens où elle ne cherche pas à définir totalement la CS, mais à éclairer l'utilisateur sur les contraintes de l'environnement. Vicente parle d'approche « formatrice » [Vicente, 1999].

Dans le même courant, d'autres auteurs [Abeloos, Mulder, Van Paassen, 2002] proposent de définir la CS par :

« La perception des affordances spatio-temporelles de l'environnement »

Cette définition introduit la notion d'affordance, empruntée à la psychologie écologique développée par Gibson [Gibson, 1979] et défini par :

> *Une entité mixte sujet/environnement qui spécifie les potentialités et contraintes d'interaction qui existent dans un environnement pour un organisme. [Gibson, 1979]*

Pour Gibson, chaque élément d'un environnement a une capacité ou propose à l'OH des possibilités d'agir ou d'interagir (bonnes ou mauvaise, favorables ou défavorables). Par exemple, une poignée de porte suggère d'être actionnée pour ouvrir la porte…

Dans ces approches la CS se focalise sur un seul individu et son environnement (le pilote, le contrôleur aérien). Or, dans de nombreuses situations, le travail se fait en équipe (un pilote et un copilote, un contrôleur radariste et un contrôleur organique). Les différents OHs de l'équipe vont et doivent partager leur CS afin de travailler ensemble et de coopérer.

4.3.2 LA CONSCIENCE DE LA SITUATION EN ÉQUIPE

Salas *et al.* [1992] parlent de « *team SA* » littéralement conscience de la situation en équipe. Salas définit une équipe par :

> *Un groupe distinguable de deux ou plus, qui interagissent dynamiquement, de manière interdépendante et adaptive vers un but, des objectifs ou une mission commune, qui ont chacun des rôles spécifiques, des fonctions à accomplir et qui ont une durée limitée dans l'équipe. [Salas et al. 1992]*

La CS d'équipe, « *Team SA* », est défini par Endsley [1995*b*] comme :

> *La mesure dans laquelle chaque membre de l'équipe possède la conscience de la situation requise pour ses responsabilités. Endsley [1995b]*

Dans une équipe, chacun des membres a une tâche, un sous but précis, à accomplir en fonction de son rôle et de ses compétences. Associé aux autres membres de l'équipe, ils vont accomplir la tâche globale ou le but. Le succès ou l'échec de l'équipe dépend donc du succès ou de l'échec de chacun des membres de l'équipe. Si un membre a une CS défaillante, ses actions peuvent conduire à des performances médiocres qui mettent en cause la réussite de toute l'équipe. Dans cette définition, chaque membre de l'équipe doit avoir une CS élevée pour les éléments qui lui sont pertinents vis-à-vis de sa tâche.

Le bon déroulement de cette partie de la tâche de chacun des membres de l'équipe va donc résider dans la capacité de chacun à communiquer, à coopérer et à échanger afin de réaliser la tâche requise. Cette coordination, ou coopération, va se faire principalement par la parole, mais peut être améliorée, facilitée grâce à l'utilisation de supports tels que les écrans d'affichage, les documents, les écrits… [Dumazeau, 2005 ; Zouinar, 1998]. Boy complète cet aspect de la CS en précisant qu'un agent qui interagit avec un autre agent doit être conscient [Boy, 1999] :

- de ce que l'autre agent fait (*history awareness*) ;
- de ce que l'autre agent fait, et pendant combien de temps il le fait (*action awareness*) ;
- du pourquoi l'autre agent fait quelque chose (*action rationale awareness*) ;
- de ce que va faire l'autre agent, et quand il va le faire (*intention awareness*).

Pour accéder à la conscience d'un autre agent, pour comprendre ce qu'il fait ou ce qu'il va faire, pour partager une bonne CS entre tous les agents d'une équipe, il est donc nécessaire de mettre en place des méthodes, des outils pour faciliter le partage des informations. Une solution est la mise en place d'un référentiel commun entre les agents, afin que chacun puisse s'y référencer pour mettre à jour son référentiel interne.

4.4 RÉFÉRENTIEL COMMUN

Les agents doivent donc pouvoir partager leur représentation et accéder facilement à la représentation d'un autre agent afin de mener à bien les objectifs fixés. La notion de référentiel commun peut permettre ce partage de la CS.

4.4.1 PRINCIPES

Comme nous l'avons montré précédemment, un OH supervisant un procédé se construit une représentation interne de ce procédé, un référentiel. À partir de ce référentiel, il pourra gérer les différentes situations qui vont se présenter et planifier les opérations, les actions mais également détecter les évolutions anormales du procédé [Leplat, 1991]. Ce référentiel est une représentation, plus ou moins réaliste et correcte, du procédé et de son état à un instant donné. Dès lors que plusieurs OHs interviennent sur le procédé, ils vont mettre en commun leur référentiel afin de former un référentiel commun que chacun va mettre à jour et exploiter pour mettre à jour son propre référentiel.

Dans le cadre d'une coopération Homme-Homme, les agents doivent donc s'échanger les données de leur référentiel respectif et ces échanges se font généralement de manière verbale. Ce référentiel commun est uniquement virtuel, au même titre que le référentiel de l'agent. Dans certains cas, les agents peuvent s'appuyer sur des supports afin de partager, de diffuser leur référentiel et d'établir un référentiel commun externe avec les autres agents [Lemoine, 1998]. C'est le cas par exemple des strips papiers en contrôle aérien qui présentent les plans de vol des avions aux contrôleurs qui peuvent les annoter. L'ensemble des strips est un référentiel commun externe entre les deux contrôleurs qui est donc ici médiatisé. Zouinar [1998] précise que les supports offrent, en plus d'un partage entre les OHs, une persistance des informations et des données, ce qui améliore la coopération, en évitant de multiples tâches de communication entre les agents pour mettre à jour leur référentiel. La construction du référentiel commun, ainsi que

son maintien, engendrent donc pour les agents des activités supplémentaires à celles issues des tâches à réaliser.

4.4.2 LES DIFFÉRENTES ACTIVITÉS INDUITES PAR LE RÉFÉRENTIEL COMMUN

Loiselet et Hoc [2001] distinguent deux modes de gestion du référentiel commun : l'élaboration du référentiel commun et son maintien, ou encore sa mise à jour.

L'élaboration du référentiel commun implique, de la part d'agents coopérants, un investissement important dans l'ajustement de leurs référentiels respectifs en fonction de celui de l'autre. Les OHs ont recours à des apports ou des explications afin de partager les informations et ainsi mettre à jour leur référentiel. Ces échanges sont déclenchés suite à la mise à jour du référentiel d'un des agents ou suite à la volonté d'un des agents de réduire les différences, ou bien encore suite à la création d'une nouvelle représentation.

Le maintien du référentiel commun consiste en l'enrichissement de ce dernier par les OHs. Dans ce cas, un OH transmet à un collègue des informations qu'il juge pertinentes pour assurer le contrôle du procédé qu'ils ont en charge.

Le référentiel commun permet aussi la gestion des activités dues à la coopération, c'est-à-dire l'identification des activités des autres agents (poursuites de buts pouvant entrer en interférence) et la facilitation des activités communes (aider l'OH en cas de réalisation d'une tâche commune), [Hoc, 1996]. Lemoine [1998] définit pour le référentiel commun des contrôles et des moyens pour les échanges nécessaires :

- Le contrôle s'effectue par l'intermédiaire d'échanges de messages entre les agents coopérants. Ces messages sont des accusés de réception, des accords ou désaccords, des précisions, des évaluations, des marquages de l'information…
- Les moyens sont l'expression orale (coopération Homme-Homme) et les marquages de l'information sur des interfaces graphiques (coopération Homme-machine et coopération Homme-Homme) [Zouinar, 1998].

Hoc [2001], qui parle de COFOR, *COmmon Frame Of Reference*, structure les activités coopératives selon trois niveaux :

- **La coopération dans l'action** (le plus bas niveau d'abstraction) correspond aux activités de niveau tactique qui prennent part à un niveau local de la situation et à court terme. Dans ce niveau, les opérateurs détectent et résolvent les conflits entre eux, c'est-à-dire qu'ils détectent et réduisent les interférences négatives. Pour anticiper ces conflits, ils doivent identifier les buts et les objectifs de leurs collègues.
- **La coopération dans la planification** consiste, pour les opérateurs, à construire et maintenir leur référentiel commun, dans le but de faciliter les autres activités

coopératives pour l'exécution des tâches. Ce niveau concerne : (*i*) l'élaboration du référentiel commun entre les agents coopérants par le biais, par exemple, d'activités conduisant les agents à s'échanger un certain nombre d'informations sur leurs référentiels respectifs ; (*ii*) l'élaboration d'un but ou d'un plan commun. Millot et Hoc [1997] avancent l'hypothèse que deux agents peuvent avoir une activité coopérative tout en ne poursuivant pas les mêmes buts mais, en utilisant des ressources communes. Dans ce cas, le point (*ii*) facilite les activités de détection d'interférences et permet d'anticiper leurs résolutions.

- **La méta-coopération** (le plus haut niveau d'abstraction) concerne la construction des structures de coopération à long terme et nécessitent une grande expérience de la coopération. Cela concerne : (*i*) l'élaboration de représentations compatibles entre les agents, cruciale entre un OH et un outil d'aide de façon à ce que les raisonnements suivis par chaque agent puissent aboutir à une solution compréhensible par chacun d'entre eux ; (*ii*) l'élaboration, par un agent, de son propre modèle ainsi que du modèle des autres agents nécessaire afin de prendre en compte les intentions et procédures des différents agents.

Une autre décomposition des activités propres à la gestion d'un référentiel commun est donnée par Pacaux-Lemoine et Debernard [2002]. Ils distinguent 3 classes d'activités :

- **Renseigner** : un agent met à jour son propre référentiel à partir des informations qui lui proviennent du procédé ou d'autres agents ;
- **Contrôler** : un agent compare son propre référentiel au référentiel commun. Au cours de cette comparaison, il peut détecter une interférence (ou différence) entre les deux référentiels, c'est le contrôle mutuel ;
- **Gérer les interférences** : la gestion d'interférences représente à elle seule un processus complet de contrôle. Cette activité peut être décomposée selon l'échelle double de Rasmussen [1983] : prise d'information, diagnostic, prise de décision, action. Dans un premier temps, la détection d'une interférence s'opère après une prise d'information de la part de l'un des agents (contrôle mutuel). Un diagnostic est alors élaboré afin de déterminer les causes de cette interférence qui peuvent être de multiples natures (erreur de compréhension du procédé, mauvaise solution à un problème, erreur lors de la mise en œuvre d'une solution…). Lorsque le diagnostic est terminé, les agents élaborent une solution pour réduire cette interférence puis l'appliquent. Les agents disposent de trois types de résolution d'interférence qui ont chacune des coûts cognitifs différents :
    - **Négociation** : c'est le type de résolution dont le coût est le plus important. Les agents coopérants entrent dans une phase de dialogue qui vise à réduire les différences entre leurs référentiels. Ce mode de résolution peut modifier le

référentiel commun et/ou modifier le référentiel d'un ou plusieurs agents. Le dialogue peut être verbal dans le cas d'une coopération Homme-Homme ce qui occasionne des échanges d'informations de haut niveau et dans ce cas cette démarche est relativement efficace. Par contre, lorsque la communication verbale n'est pas possible (coopération Homme-Homme à distance ou coopération Homme-machine) les échanges d'informations sont plus pauvres et la résolution d'interférence par la négociation s'en trouve complexifiée.

- **Acceptation** : dans ce cas un agent accepte de mettre à jour son référentiel en fonction du référentiel commun. Ce type de résolution peut se produire lorsque l'agent estime que le coût (cognitif et temporel) d'une négociation est trop important pour lui-même ou pour l'agent avec lequel il coopère. Par cette méthode, l'agent qui met à jour son référentiel exerce une activité de facilitation de tâche envers un autre agent puisqu'il accepte les contraintes qui lui sont imposées par le référentiel commun.
- **Imposition** : c'est le type inverse de l'acceptation. Un agent impose son référentiel au référentiel commun. Ce type de résolution résout les interférences pour les autres agents. En effet, à partir du moment où un agent impose son référentiel en tant que référentiel commun, cela suppose que les autres agents acceptent de mettre à jour leur propre référentiel. Lorsqu'ils refusent, ils peuvent soit tenter d'imposer leur référentiel soit engager une négociation.

La mise à jour du référentiel commun et sa consultation passent principalement par une activité verbale. Certains outils permettent de médiatiser ce référentiel commun par exemple le tableau de strips pour les contrôleurs, l'écran de supervision…, mais ce n'est pas leur vocation première. Il peut être intéressant de proposer un outil dédié à ce référentiel commun, un espace où les agents pourraient venir puiser des informations, mais également en ajouter afin de garder cet espace toujours à jour. C'est ce que propose de faire l'Espace de Travail Commun [Pacaux-Lemoine, Debenard, 2002].

4.5 ESPACE DE TRAVAIL COMMUN COMME SUPPORT DU RÉFÉRENTIEL COMMUN

Le projet AMANDA intègre la notion de référentiel commun et d'aide à la communication entre les différents agents composant le système. Ici, la notion d'agent est au sens large puisqu'il y a les deux contrôleurs aériens (agents humains) et l'outil de calcul de trajectoire et de résolution de conflit STAR (agent artificiel). La conception de ce référentiel commun médiatisé appelé ETC (Espace de Travail Commun), a été réalisée avec la première version d'AMANDA qui a permis de modéliser le contenu et les interactions entre agents supportées par le futur ETC. La seconde version, AMANDA V2, a permis d'évaluer cet espace avec des contrôleurs professionnels.

4.5.1 AMANDA V1 : MODÉLISATION DE L'ESPACE DE TRAVAIL COMMUN

Cette première version de la plateforme AMANDA avait pour objectif de recueillir les échanges entre les contrôleurs et d'analyser les activités de ces derniers dans la tâche globale de détection/résolution de conflit permettant de modéliser à la fois un outil d'aide à la résolution et de partage d'informations entre les deux agents.

Un protocole expérimental a été proposé [Guiost 2006] afin de favoriser les échanges entre les contrôleurs. Pour cela, un second contrôleur radariste participait à la gestion du trafic et ce dernier était réparti entre les deux radaristes, de telle manière qu'ils coopèrent et communiquent pour résoudre un conflit.

Les deux contrôleurs ont ainsi échangé beaucoup d'informations pour détecter et résoudre des conflits et ces échanges ont permis d'identifier les différentes phases dans la détection/résolution de conflit, mais également les données échangées. L'ensemble des échanges a été retranscrit puis codé [Guiost, 2006 pour plus de détails sur le codage des échanges] en vue de la modélisation de l'ETC. Guiost distingue quatre types d'échanges par rapport aux items du référentiel commun qui correspondent aux différentes activités du modèle de résolution de problème de Rasmussen [1983]. Ces items sont : des données, des problèmes, des stratégies, des solutions et des mises en œuvre. Les échanges par rapport à ces items sont :

- Des apports simples, qui correspondent à un apport d'informations sur l'un des items du référentiel commun.
- Des demandes simples, qui correspondent à une demande sur un des items du référentiel commun pour lequel l'information n'est pas accessible directement.
- Des détections d'interférences, qui correspondent à la détection par un des contrôleurs d'une différence entre son référentiel et le référentiel commun.
- Des résolutions d'interférences, qui correspondent aux activités qui visent à réduire les différences entre le référentiel d'un contrôleur et le référentiel commun.

Suite aux expérimentations menées dans le cadre d'AMANDA V1, Guiost a proposé une série de spécifications pour l'ETC qui ont ensuite été intégrées dans AMANDA V2. L'ensemble de la démarche est présenté dans [Guiost, Debernard, 2007 ; Guiost, 2006 ; Guiost, Debernard, Millot, 2003].

4.5.2 AMANDA V2 : INTÉGRATION ET ÉVALUATION DE L'ESPACE DE TRAVAIL COMMUN

L'objectif de l'ETC est de faire coopérer les divers agents présents sur un secteur, c'est-à-dire les deux contrôleurs (CO et CR) et l'outil de calcul de trajectoire et de délégation STAR (décrit dans le paragraphe 3.3.3.3 de ce chapitre). L'ETC doit donc permettre de partager une même représentation entre ces trois agents, ainsi qu'un échange rapide et efficace d'informations.

Le contenu effectif de l'ETC a été déterminé à partir de l'analyse des données obtenues pendant la phase expérimentale d'AMANDA V1. Pour chaque activité des contrôleurs par rapport aux étapes du modèle de résolution de problème de Rasmussen, les données produites ainsi que le contenu de l'ETC ont été définis (Tableau 1) [Debernard, Poulain, Guiost, 2004 ; Guiost, Debernard, Millot, 2003].

À partir de l'analyse des résultats d'AMANDA V1, il est possible de définir les données qui doivent figurer dans un cluster (Figure 18) :

- Les avions concernés par le cluster (a), ceux choisis par le contrôleur et éventuellement ceux ajoutés par STAR. En plus de l'indicatif des aéronefs, STAR précise l'état de ces avions par rapport au conflit. Ainsi la notation PB indique que les avions ne sont pas séparés, ou OK lorsqu'il n'y a pas de problème, ou que celui-ci est résolu.
- L'altitude du conflit est indiquée (b).
- Le centre du cluster (c) indique la distance minimale de séparation entre les avions. Celle-ci évolue en fonction de la situation et de la résolution. Il y a également la directive choisie par le contrôleur, la notation OK si STAR est capable de produire une solution à partir de cette directive, et enfin les différents ordres que STAR envoie aux avions, avec l'indicatif de l'avion et l'ordre (cap, remise en directe sur sa route initiale ou changement de niveau).
- Une couleur de cluster (d), permettant de faire le lien entre les avions du cluster et la vue radar.

TABLEAU 1 : CONTENU DE L'ETC PAR RAPPORT AUX ACTIVITÉS DES CONTRÔLEURS [DEBERNARD, 2006]

Activités	*Données produites par l'activité*	*Contenu de l'ETC*
Élaboration d'informations	Données initiales (plus ou moins complète) issues du procédé	
Diagnostic	Problèmes	Niveau avion : objectifs non atteints (CFL ≠ TFL ou RFL) Niveau conflits : liste des avions du problème, liste des duels
Prise de décisions schématiques	Stratégie de résolution d'un problème	Directives
Prise de décisions précises	Définitions des solutions	Ordre différé
Mise en œuvre des solutions	Résolution d'un problème	Instructions
Attribution des rôles par rapport à chaque activité	Affectation des activités	Délégation

Il existe deux types de directives : des directives explicites et des directives implicites.

- Dans le cas d'une directive explicite l'avion à dévier, la stratégie de déroutement (passer derrière, passer devant) et l'avion à éviter sont précisés par le contrôleur.
- Dans le cas d'une directive implicite, l'avion à éviter n'est pas précisé. Les stratégies sont par exemple, tourner à droite ou à gauche, monter ou descendre. Le système se charge de déterminer l'avion à éviter.

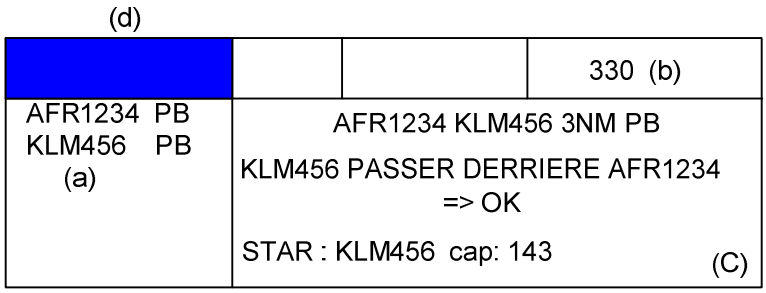


FIGURE 18 : EXEMPLE DE CLUSTER DANS AMANDA V2

Un autre mode de saisie d'une stratégie (cette fois précise) est l'ordre différé. Dans ce cas, le contrôleur va définir l'ensemble des ordres que doit effectuer l'avion, avec leur point d'application. Cette méthode permet une saisie précise de la solution, mais demande plus de temps et une plus grande projection de la part du contrôleur.

La Figure 19 montre la vue résolution de problème, qui est en fait l'Espace de Travail Commun entre le contrôleur (CO ou CR) et l'outil STAR. Lorsque le contrôleur sélectionne sa directive, l'outil STAR propose automatiquement une solution (le trait bleu en pointillé correspond à la route initiale de l'avion). Le contrôleur peut ensuite accepter la solution et la déléguer au système.

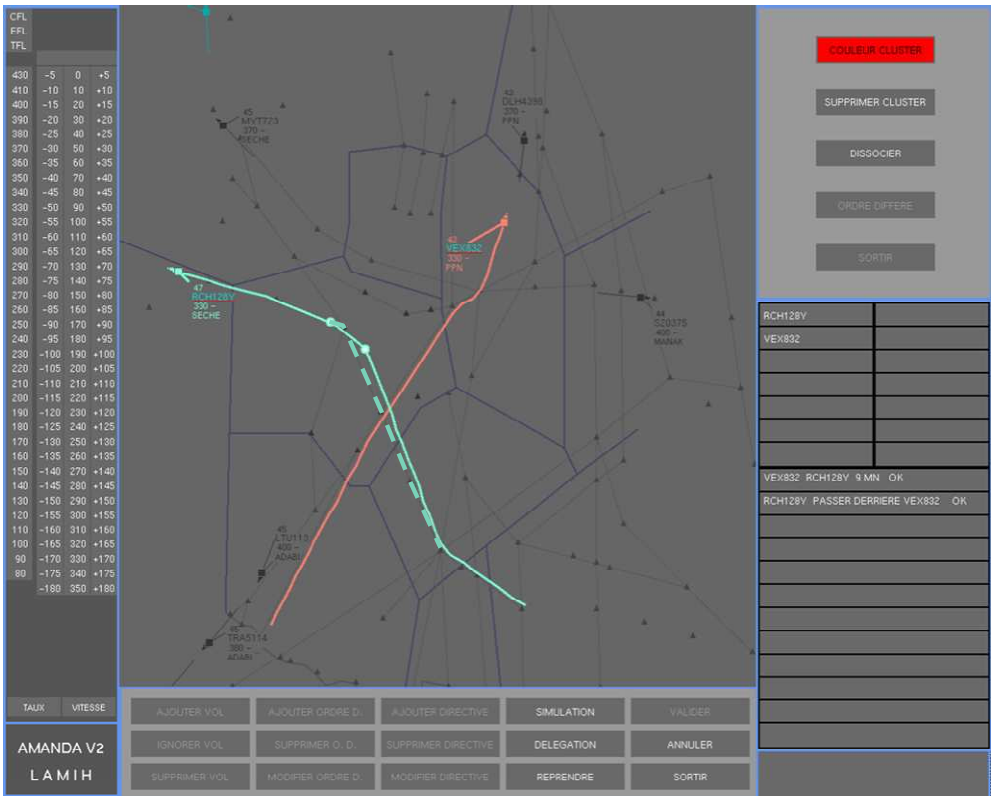


FIGURE 19 : EXEMPLE DE LA VUE RÉSOLUTION DE PROBLÈME QUI PERMET LA COMMUNICATION ENTRE UN CONTRÔLEUR ET STAR [GUIOST, 2006]

L'ETC a reçu un accueil favorable de la part des contrôleurs durant les expérimentations. Les contrôleurs ont apprécié la notion de cluster pour regrouper les avions. Mais le module STAR a montré, dans certaines situations, des incohérences avec les pratiques des contrôleurs, ce qui s'est révélé perturbant pour eux. Ils ont dû passer plus de temps pour analyser et comprendre la situation et ont rejeté certaines propositions de STAR.

5 DISCUSSIONS

5.1 OBJECTIFS

Cette partie aborde les hypothèses de la CS (dans la version développée par Endsley) sous un autre éclairage. La notion de CS est importante et présente chez les OHs, mais sa définition ne permet pas d'expliquer toutes les actions de ces derniers. Il est possible, en exploitant autrement les hypothèses de la CS, mais aussi les résultats des différents projets présentés, d'essayer de répondre à ce problème et d'expliquer les actions des OHs.

5.2 ÉVITER LES CONFLITS DÉCISIONNELS ENTRE AGENTS : EXEMPLE DE SAVOIR-FAIRE ET DE SAVOIR-COOPÉRER

Le projet SPECTRA intègre un outil de résolution automatique SAINTEX qui est performant pour résoudre un conflit aérien binaire sur un secteur faiblement encombré. Ce module possède un savoir-faire reconnu. Dans la forme de répartition implicite de SPECTRA V1, les tâches sont

attribuées automatiquement à l'un des deux agents, ce qui a logiquement posé des problèmes d'ordre décisionnel pour l'OH. SPECTRA V1, avec cette forme de répartition, ne possède pas un savoir-coopérer adapté à la situation et aux opérateurs. SPECTRA possède une stratégie qui entre en conflit avec celle des contrôleurs. Dans le cadre de la répartition explicite, le savoir-coopérer mis en œuvre est celui du contrôleur lui-même qui décide qui fait quoi. Dans SPECTRA V2, le principe de répartition explicite est conservé, mais la tâche de répartition est attribuée à un second contrôleur qui a la capacité d'estimer la charge de travail de son collègue et de coopérer avec lui en cas de besoin. De cette manière, le savoir-coopérer utilisé est celui du second contrôleur.

Dans le projet AMANDA, les choses sont un peu différentes. Le système de calcul automatique de trajectoire STAR se base sur une stratégie saisie par un des contrôleurs pour travailler. Il y a donc aucun risque de conflit décisionnel sur la stratégie. STAR dispose donc d'un savoir-coopérer meilleur que celui de SAINTEX. Par contre, le système de calcul de trajectoire utilise des méthodes mathématiques pour déterminer la nouvelle trajectoire ce qui pose, dans certains cas, des problèmes aux contrôleurs. En effet, ces derniers ont été quelquefois surpris par les solutions proposées et ont analysé précisément les solutions pour évaluer si la trajectoire proposée et affichée était correcte (alors que mathématiquement elle l'était). STAR possède un bon savoir-coopérer, mais possède un savoir-faire inadapté au processus décisionnel des contrôleurs, car ne correspondant pas à leurs pratiques.

Il est important que les solutions proposées correspondent aux pratiques des opérateurs, tout comme il est important que le système coopère efficacement avec les opérateurs. Il ne faut donc pas négliger un aspect par rapport à un autre, et il faut donc traiter le problème dans son ensemble.

Pour revenir sur les principes de la CS, le contrôleur perçoit la réponse de STAR, mais ne la comprend pas. Dans la CS la perception (niveau 1) ne conduit pas implicitement à la compréhension (niveau 2), comme le laisse sous-entendre le modèle d'Endsley. Il faut que le système d'aide agisse de façon cohérente et sur la globalité du métier des opérateurs afin de faciliter cette compréhension des éléments perçus ou apportés par les aides.

5.3 L'OPTIMALITÉ DE LA DÉCISION : UNE NOTION INADAPTÉE ?

L'outil STAR calcule mathématiquement une trajectoire répondant à la stratégie du contrôleur. De ce calcul résulte une solution optimale qui minimise un certain nombre de critères mais qui ne correspond pas aux solutions que les contrôleurs manipulent habituellement quand ils résolvent un conflit. Les contrôleurs n'ayant pas les capacités, ni le temps, pour se projeter à long terme et établir une solution optimale, ils n'utilisent pas ce type de solutions trop complexes à concevoir. La compréhension de la solution de STAR a donc été difficile pour eux, tout comme sa

projection, c'est-à-dire la prévision de l'exactitude (la séparation des avions) de la solution de STAR. L'analyse de cette solution pour la comprendre et l'accepter devient alors trop coûteuse pour le contrôleur et inadaptée à la dynamique du contrôle aérien. Ainsi, les solutions présentées par STAR ne trouvent pas toujours d'écho chez les contrôleurs.

La méthode de calcul doit donc prendre en compte les savoir-faire des opérateurs afin de proposer des solutions facilement compréhensibles et qui vont favoriser la projection de l'opérateur. Les potentiels manipulés (dans le cadre de STAR et du contrôle aérien, les trajectoires, les solutions à un conflit) par l'outil d'aide doivent être les mêmes que ceux que manipulent les opérateurs.

5.4 LA PRÉVISION ET LA STABILITÉ : DES BASES ESSENTIELLES

La CS aborde la notion de projection, mais plus que de pouvoir se projeter, les OH ont besoin de pouvoir prévoir. La prévisibilité est importante et cohérente avec la gestion des ressources. Rester sur des « chemins » connus, dans des normes de fonctionnement habituelles, permet une prévisibilité du futur plus grande et plus juste. S'il y a un doute, une ambiguïté sur une variable, un paramètre… l'opérateur n'a plus la possibilité de pouvoir se projeter correctement pour anticiper, pour planifier ses actions futures, ce qui risque dans des cas extrêmes de le conduire à une situation potentiellement dangereuse.

Pour contrecarrer ces risques, les opérateurs passent beaucoup de temps à surveiller le(s) système(s), l'évolution des paramètres et autres variables. Plus cette surveillance est accrue, plus les opérateurs ont une bonne CS et ils poussent cette surveillance jusqu'à faire de la redondance. Cette dernière peut prendre plusieurs formes. Dans le contrôle aérien, elle passe par une surveillance mutuelle entre les deux contrôleurs, par le système de collationnement, par l'écriture des informations sur les strips.

Un autre aspect important est la stabilité de cette prévision, de cette projection. Les OHs qui peuvent passer du temps pour établir une projection fiable et exploitable, essayent de garantir que cette projection va réellement se passer comme ils le prévoient. Une forme d'aide peut donc être de séparer les prévisions/projections stables de celles qui sont instables, pour que l'opérateur puisse se projeter rapidement en utilisant des bases fiables. Dans le cas contraire, l'OH sait que sa projection ne peut pas être considérée comme fiable et il va mener des actions pour la fiabiliser, la stabiliser. Il est donc envisageable que l'opérateur puisse mener certaines actions afin de stabiliser une situation et ainsi pouvoir mieux utiliser sa projection.

5.5 L'ENVIRONNEMENT COMME CONTRAINTE FORTE

La CS aborde la notion de « situation » mais ne la définit jamais précisément. La CS ne précise pas si la situation est un ou plusieurs problèmes, si elle englobe l'activité des opérateurs ou toute forme de contraintes possibles. Finalement, la situation peut correspondre à l'environnement de

travail des opérateurs. L'ensemble de cet environnement/situation évoluant sans cesse, cette évolution peut conduire à modifier des paramètres perçus à tel point qu'une décision sera abandonnée car invalidée. Cette notion d'abandon n'est en aucun cas un échec, mais un réajustement en vue de produire une solution ou une décision en adéquation avec le système et ses nouvelles données. De plus, toutes les modifications de la situation ne sont pas forcément à prendre en compte, à percevoir, mais il faut en tenir compte et aider l'opérateur à percevoir les bonnes informations, celles qui vont lui permettre de se projeter et ainsi garder une bonne maîtrise de la situation.

Les opérateurs agissent aussi dans un contexte global. Ils ne sont pas isolés avec le système. En termes de décisions, de prise de décisions, plusieurs personnes peuvent intervenir à différents niveaux. En termes d'organisation, il peut y avoir une hiérarchie, des règles, des procédures pour prendre une décision, pour agir. Enfin, en termes de tâches, un opérateur peut être impliqué sur plusieurs systèmes liés ou non entre eux.

De la même manière, certaines actions n'ont pas directement d'impact sur la situation mais sont nécessaires pour le bon déroulement de l'activité globale. Le contrôle aérien en est un bon exemple. Certains avions traversent le secteur sans poser de problème mais sont quand même déviés afin d'anticiper un conflit ou de stabiliser une situation. Ces actions ne résolvent pas directement une situation problématique, mais permettent d'éviter d'aggraver ou de complexifier une autre situation, qui est, elle, problématique. Ces actions permettent donc de garder un environnement plus facilement gérable et compréhensible par les contrôleurs, en d'autres termes maîtrisable.

5.6 LA NOTION DE MAÎTRISE COMME SYNTHÈSE ?

Les points précédents montrent un autre point de vue pour la CS. La perception n'entraine pas forcément de compréhension, et la compréhension n'implique pas une projection. De plus la situation et l'environnement, prennent une place importante. Se focaliser sur un seul aspect de la CS ou isoler une partie de l'environnement dans un processus de conception peut conduire à l'intégration d'outils d'aide inadaptés. Les OHs travaillent dans un contexte qui évolue, où ils doivent réaliser de multiples tâches avec divers autres agents, sous diverses contraintes, en vue de divers objectifs. Il ne faut donc pas isoler l'opérateur et une partie de son activité. Il faut qu'il ait une vision globale de son activité et qu'il perçoive les informations ou estime qu'il a perçu suffisamment d'informations pour comprendre, décider, agir, prévoir… Toutes ces tâches ne sont pas indépendantes, elles s'imbriquent les unes dans les autres en permanence.

La maîtrise de toutes ces tâches par l'opérateur lui permet d'estimer ses capacités, ses possibilités d'agir et de réussir. Il faut lui donner les moyens d'obtenir une maîtrise globale de la situation, élever le niveau de conscience pour fournir des aides plus équilibrées entre tous les

aspects du travail et pas seulement un seul. Ainsi, si les systèmes d'aide favorisent cette maîtrise, si les systèmes aident l'OH à percevoir les informations (au sens le plus large), à les comprendre et à planifier les actions futures nécessaires (la projection), leur travail commun, en coopération, ne sera que plus efficace. L'OH aura une plus grande confiance envers le système, car il y trouvera un réel gain dans sa maîtrise de la situation.

6 CONCLUSIONS

Ce chapitre a présenté les concepts fondateurs de la coopération Homme-machine. En partant des principes de la supervision, le constat est fait que le système doit s'efforcer d'interagir efficacement avec l'Homme. Pour cela, la coopération Homme-machine apporte un ensemble de modèles et d'approches qui permet de concevoir des systèmes coopératifs, intégrant des opérateurs et un ou des systèmes automatisés. Les interactions entre les différents agents sont modélisées. Les notions de savoir-faire et savoir-coopérer sont introduites afin de bien prendre en compte les capacités d'action et de coopération des différents agents. Mais la coopération Homme-machine n'est pas encore suffisante car les opérateurs ne perçoivent pas forcément toutes les actions du système ou les changements sur ce dernier. La conscience de la situation (CS) est donc l'élément qui permet de répondre à ce problème. La CS permet à l'OH de percevoir les informations du système et d'en faire une projection.

Enfin la conscience de la situation, liée avec les principes de coopération Homme-machine, de savoir-faire et de savoir-coopérer, conduit au référentiel commun, qui permet de faire cohabiter et coopérer efficacement les opérateurs humains et le système, en partageant un certain nombre d'informations. L'opérateur a ainsi conscience de l'activité des autres agents, ainsi que du système. Des exemples issus du contrôle aérien et des projets du laboratoire (SPECTRA et AMANDA) ont illustré ces parties.

Ce chapitre se termine par une discussion dans le but d'apporter un éclairage différent des hypothèses de la conscience de la situation. Cette discussion montre que la notion d'optimalité n'est pas forcement adaptée à l'opérateur humain, car elle ne lui offre pas la capacité de se projeter correctement. L'opérateur a besoin de pouvoir prévoir les réponses d'un système d'aide. La notion de maîtrise est introduite et présentée comme une synthèse plus fonctionnelle de la conscience de la situation.

Les approches structurelles et fonctionnelles de la coopération Homme-machine ne permettent donc pas de définir de manière opérationnelle un outil d'aide dont le savoir-faire est compatible avec celui de l'OH. Il faut utiliser d'autres approches, d'autres méthodes afin d'obtenir cette compatibilité et ainsi pouvoir définir les contraintes de développement d'un outil d'aide. Le

chapitre suivant s'intéresse à cela en présentant les concepts d'aide à la décision que nous avons utilisés lors de nos travaux de recherche.

Ces travaux de recherche ont deux objectifs. Tout d'abord améliorer le savoir-faire de l'outil STAR, afin que les solutions proposées correspondent mieux aux pratiques des contrôleurs aériens. De cette manière, le temps passé par les contrôleurs pour comprendre une solution devrait être réduit et la confiance ainsi que l'acceptation par les OHs du système accrues. Le second objectif de ces travaux est l'extension des principes de l'ETC pour le partage et la communication entre plusieurs secteurs distants. L'objectif est de fournir une vision commune de la situation entre deux COs de deux secteurs différents. Ce partage d'information devrait permettre de faciliter les coordinations et d'éviter tous les problèmes d'ambiguïtés ou de doutes qu'il peut y avoir.

CHAPITRE 2

LA COOPÉRATION HOMME-MACHINE VUE SOUS L'ANGLE DE L'AIDE À LA PRISE DE DÉCISION

1 INTRODUCTION

Le chapitre précédent a présenté la supervision et la coopération Homme-machine notamment la Conscience de la Situation (CS) qui est indispensable pour que l'opérateur puisse bien appréhender le système sur lequel il doit intervenir. La discussion en fin de chapitre 1 montre un autre point de vue des hypothèses de la CS, notamment en insistant sur l'importance de la stabilité d'une projection, que les OHs vont essayer de garantir. La notion de maîtrise apparaît également comme une notion importante, permettant de donner un sens à de nombreuses actions des OHs.

Ce chapitre complète ces aspects. Les modèles de la coopération Homme-machine sont très importants et très pratiques pour définir comment un OH va travailler avec un système, comment une aide peut intervenir… mais n'abordent pas les aspects opérationnels et de conception, explicitement. Dans ce chapitre, les outils décisionnels sont vus dans un contexte coopératif et comme un soutien à la CS. L'intérêt d'intégrer l'aspect aide à la décision est d'apporter des modèles mais aussi des concepts qui vont permettre de proposer des algorithmes et des outils concrets pour la mise en œuvre des modèles coopératifs.

La première partie de ce chapitre aborde la notion de décision dans les modèles de coopération Homme-machine. Ces modèles sont conditionnés en fonction du degré d'automatisation désiré, degré qui peut évoluer en fonction de l'utilisation du système par l'OH et des tâches à accomplir. Mais pour autant, aucun des modèles n'aborde précisément comment établir une bonne aide à la décision, laissant le concepteur relativement libre de choisir la solution qui lui convient le mieux.

La deuxième partie essaye de répondre à cette question. Après une présentation des approches d'aide à la décision, deux courants sont développés : la théorie de la décision et les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD). L'aide à la décision se pose ici comme un guide pour la conception des outils d'aide.

La troisième partie fait le lien entre les modèles de la coopération Homme-machine du chapitre 1 et les modèles de décision présentés précédemment. Elle présente tout d'abord un constat sur les similitudes entre les deux champs théoriques, puis présente une synthèse opérationnelle des caractéristiques d'un système d'aide dans le cadre des systèmes coopératifs.

Enfin, la dernière partie est une discussion qui fait écho à celle du chapitre 1. Un autre point de vue de la décision, dans un contexte de système coopératif, est présenté. Cette partie se présente en trois points : le premier rappelle les bases de l'action dans le cadre de l'aide à la décision ; le deuxième concerne la conscience de la situation ; enfin le dernier point présente un point de vue nouveau, détachant la décision de l'action.

2 DÉCISION ET COOPÉRATION HOMME-MACHINE

2.1 LE MODÈLE DE L'OPÉRATEUR HUMAIN

Avant de définir le degré d'automatisation et les outils d'assistance, il est important de disposer d'un modèle de l'opérateur humain. Ce modèle est encore plus important pour définir des outils d'aide à la décision. En effet, il va permettre de comprendre le processus cognitif des opérateurs humains. Ce processus est composé de quatre étapes allant de la détection du problème à la prise de décision et au choix d'une (ou plusieurs) action(s) pour résoudre le problème. Toute cette démarche est décrite dans le modèle de Rasmussen [1983]. Hoc et Amalberti [1995] complèteront ensuite ce modèle.

2.1.1 LE MODÈLE DE RASMUSSEN

Rasmussen [1983] propose un modèle de la résolution de problème par un OH. Ce modèle, sous forme d'une échelle double, (Figure 20) représente la « démarche » que met en place un OH de la détection d'un problème jusqu'à sa résolution, en passant par toutes les phases de décision, de choix et d'action.

Tout commence par la **détection** d'une situation anormale. L'OH va recueillir des données sur cette situation en **recherchant les informations** disponibles sur le système et l'environnement pour aboutir à une **identification** du problème. Une fois le problème identifié l'OH construit une **solution schématique**, répondant au problème et prenant en compte les contraintes du système et de son environnement. Cette étape conduit à une **solution plus précise**, composée de buts et sous buts à atteindre. Enfin, la dernière étape concerne l'**exécution** de cette solution.

Il est possible dans le modèle de Rasmussen de court-circuiter certaines de ces étapes en se basant sur différents comportements de l'OH. Selon Rasmussen [1983], ces comportements sont au nombre de trois :

- *Skill based behaviour*, ou **comportement basé sur des habiletés du problème.** C'est le niveau le plus bas, il permet de passer directement de la détection à l'exécution d'une solution selon des relations acquises par apprentissage assimilées à des automatismes.
- *Rules based behavour*, ou **comportement basé sur les règles**. Une fois une situation anormale détectée, l'OH utilise des règles et des procédures qu'il a mémorisées lors d'expériences similaires antérieures. Ce mode nécessite un niveau supplémentaire d'analyse dans la mesure où, à partir de ses perceptions, l'OH doit reconnaître une situation et sélectionner une règle appropriée qui l'amènera à entreprendre son action.
- *Knowledge based behaviour*, ou **comportement basé sur les connaissances**. La situation détectée est, *a priori*, inconnue de l'OH. Il doit donc inventer une solution en se basant sur ses connaissances et son expérience. C'est un processus qui nécessite

beaucoup de ressources cognitives et qui prend du temps. Sur la base des connaissances mémorisées et de processus analytiques, un plan d'action est élaboré.

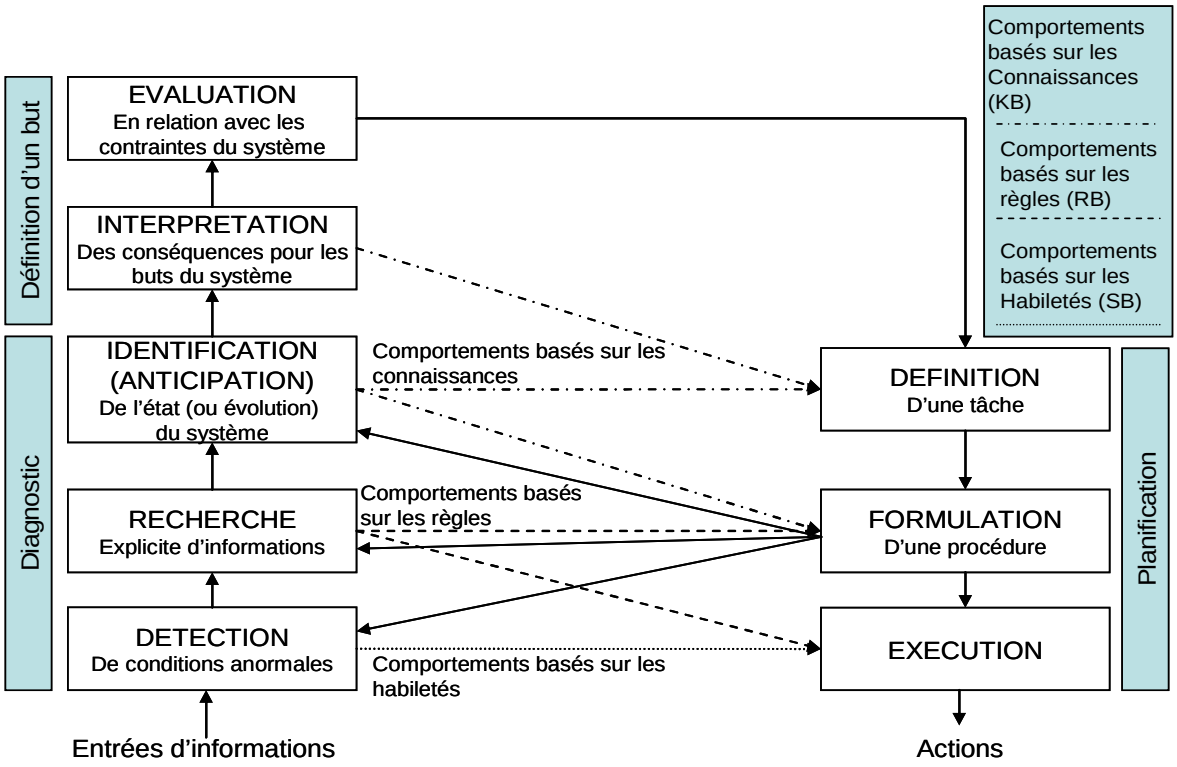


FIGURE 20 : ÉCHELLE DOUBLE DE RÉSOLUTION DE PROBLÈME DE RASMUSSEN, RÉVISÉE PAR HOC [1996]

Le modèle de Rasmussen est très utilisé et a été souvent employé dans le domaine de la coopération Homme-machine. Néanmoins il s'agit d'un modèle explicatif qui n'a pas vocation à être simulé. Il est statique et séquentiel et ne prend pas en compte le comportement dynamique de l'OH. Ensuite, il n'existe pas de retour possible dans les étapes du modèle initial de Rasmussen. Hoc révise ce modèle afin d'y ajouter un aspect dynamique [Hoc, 1996]. Il intègre des retours entre les différentes étapes, permettant une recherche explicite d'informations.

2.1.2 LE MODÈLE DE HOC-AMALBERTI

Hoc et Amalberti, en s'appuyant sur le modèle précédent, proposent un modèle de résolution de problèmes en situation dynamique (Figure 21, [Hoc, 1996 ; Hoc & Amalberti, 1995]). Ce modèle se base sur la « représentation occurrente » de la situation que se fait l'OH, c'est-à-dire une représentation, une image symbolique ou conceptuelle de la situation, alimentée en permanence par des informations provenant du système, du processus et des connaissances de (ou des) l'OH (s).

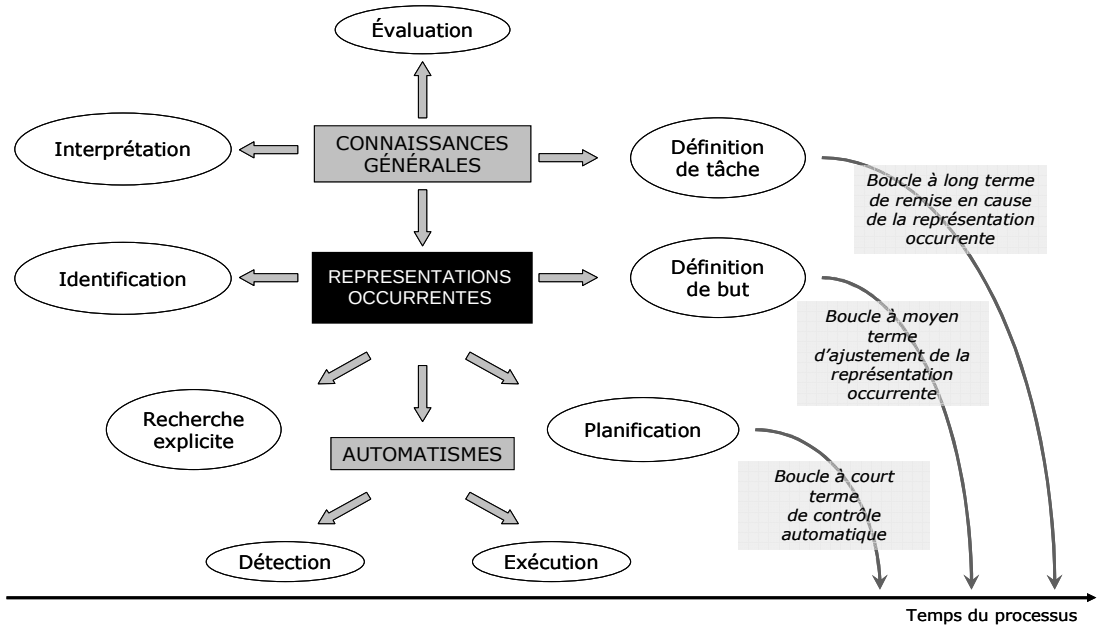


FIGURE 21 : MODÈLE GÉNÉRIQUE DE RÉSOLUTION DE PROBLÈME EN SITUATION DYNAMIQUE [HOC, AMALBERTI, 1995].

Pour Hoc & Amalberti [1995], il existe trois boucles de supervision et de contrôle :

- une boucle à court terme avec des actions quasi-automatiques, presque reflexes ;
- une boucle à moyen terme, qui se base sur le bloc central, la « représentation occurrente » de la situation qui est mise à jour en permanence soit par anticipation soit en cas d'incompréhension. Ce niveau correspond à une planification ;
- une boucle à long terme qui en cas d'incompréhension forte permet de reconstruire tout ou partie du bloc « représentation occurrente ». Cette phase implique plusieurs modes cognitifs : des activités de compréhension et de révision de la représentation ; et des activités induites et synchronisées par la dynamique de la situation.

La « représentation occurrente » est le modèle selon lequel l'OH se représente le système. C'est un élément clé et déclencheur grâce auquel l'OH est capable d'établir un diagnostic, de prendre une décision et d'évaluer une action. Grâce aux boucles, cette représentation reste cohérente avec l'état du système, ce qui permet de maintenir une bonne CS.

Chalandon [2007] considère ce modèle de résolution dynamique comme une approche possible de la CS, approche qu'il nomme centrée sur la régulation. La représentation occurrente est en interaction avec la situation afin de se mettre à jour. L'OH se base ensuite sur cette représentation occurrente qu'il se construit pour décider et agir.

L'intégration d'outils d'aide, la mise en place de coopération Homme-machine, ou la répartition dynamique de tâches vont modifier l'activité des OHs ainsi que l'allocation des tâches entre l'Homme et la machine, ce qui va conduire à définir différents degrés d'automatisation (ou LOA – *Level of Automation*) en fonction des tâches à réaliser.

2.2 LES DEGRÉS D'AUTOMATISATION

Sheridan [1984] identifie cinq niveaux d'automatisation qui préfigurent les cinq niveaux de partage des décisions entre l'Homme et la machine (Figure 22). Ces niveaux évoluent de manière linéaire allant d'un mode de supervision et de commande totalement manuel (branche *a* sur la Figure 22), à un mode de supervision et de commande totalement automatique (branche *e* sur la Figure 22). Les modèles identifiés par Sheridan comprennent trois niveaux :

- un niveau procédé, c'est le niveau le plus bas composé du procédé et de ses capteurs / actionneurs ;
- un niveau automatisme qui contient les différents automatismes (traitement, contrôle…) et les différentes interfaces (IHM, affichage, contrôle) ;
- un niveau humain qui concerne l'OH et ses attributions sur le système.

Deux types d'actions sont repartis entre les agents : (*i*) des fonctions tactiques (contrôle/commande) ; (*ii*) des fonctions stratégiques (décision, gestion, planification…).

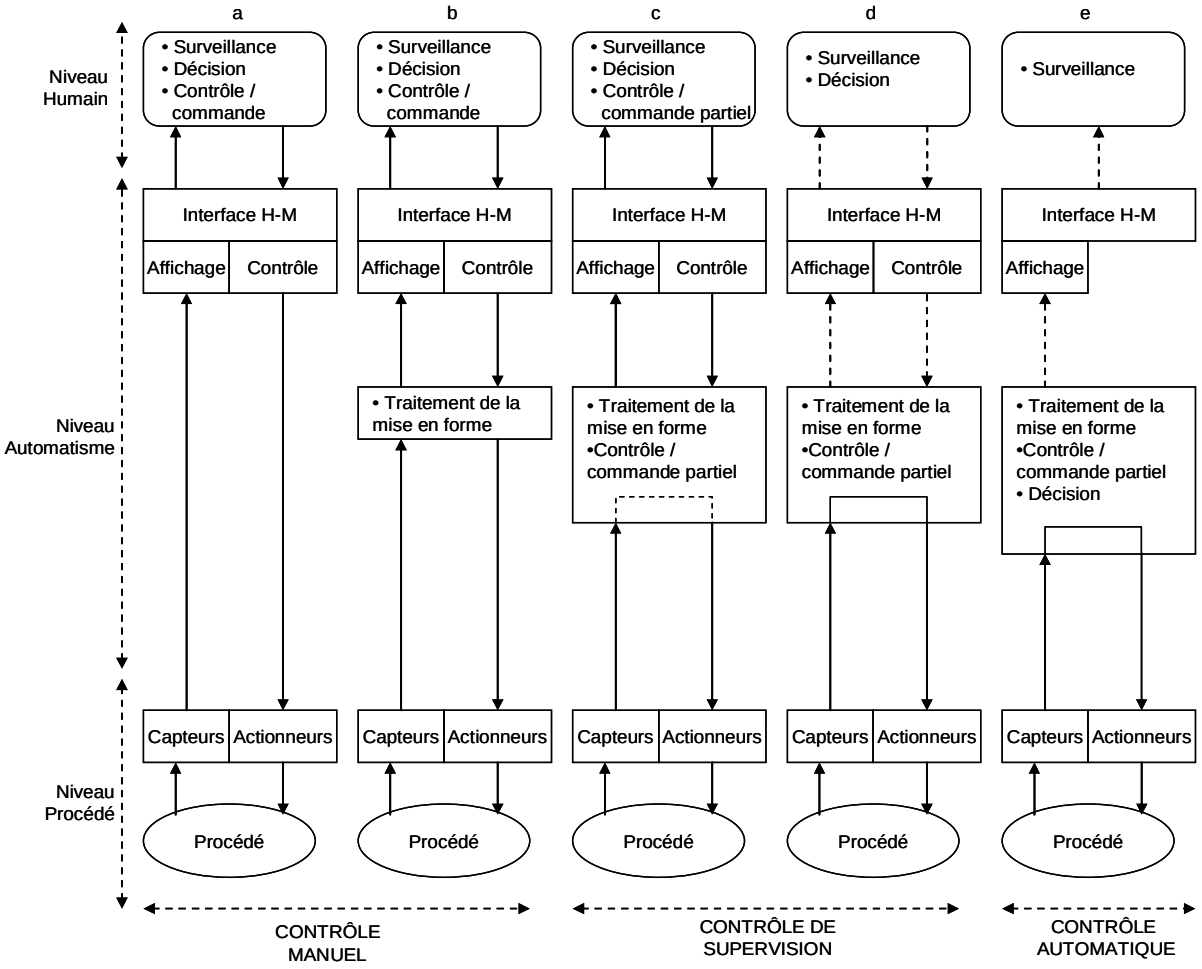


FIGURE 22 : LES DEGRÉS D'AUTOMATISATION DANS LES SYSTÈMES HOMME-MACHINE ADAPTÉ DE [SHERIDAN, 1984].

Sur la Figure 22 (adapté de [Sheridan, 1984]), on distingue bien l'évolution du tout manuel au tout automatique. L'OH perdant successivement les fonctions tactiques (le contrôle/commande dès la branche *c* est réduit puis supprimé), les fonctions stratégiques (branche *e*). Au niveau d'automatisation le plus fort, l'OH ne peut plus agir sur les automatismes (plus de contrôle), et ne fait que de la surveillance passive sans possibilité de réagir sur le procédé.

De manière plus précise Sheridan [1999] propose les 10 niveaux ou degrés d'automatisation suivants :

1. pas d'assistance, l'OH prend toutes les décisions et agit seul ;
2. le système offre un ensemble complet d'alternatives en terme de décisions ou d'actions ;
3. le système offre un ensemble réduit d'alternatives en terme de décisions ou d'actions ;
4. suggère une alternative ;
5. exécute une décision si l'OH approuve ;
6. laisse un certain temps à l'OH pour empêcher le système d'agir ;
7. exécute automatiquement puis informe l'OH si nécessaire ;
8. exécute automatique et informe l'OH s'il le demande ;
9. exécute automatiquement et informe l'OH si le système le décide ;
10. le système décide, agit automatiquement et n'informe pas l'OH.

Ce modèle présente donc 10 niveaux d'automatisation allant du tout manuel au tout automatique et passant par différentes étapes de coopération impliquant plus ou moins l'OH. Jusqu'au niveau 5 l'OH est impliqué fortement dans la décision finale. À partir du niveau 7, l'OH n'a plus de contrôle sur le système. Le niveau 6 est intermédiaire, le système laisse une marge de temps pour que l'OH réagisse.

En se basant sur les quatre classes d'activités du modèle simplifié de résolution de problème de Rasmussen [1983] des niveaux d'automatisation sont définis ([Parasuraman, Sheridan, Wickens, 2000], exemple Figure 23)

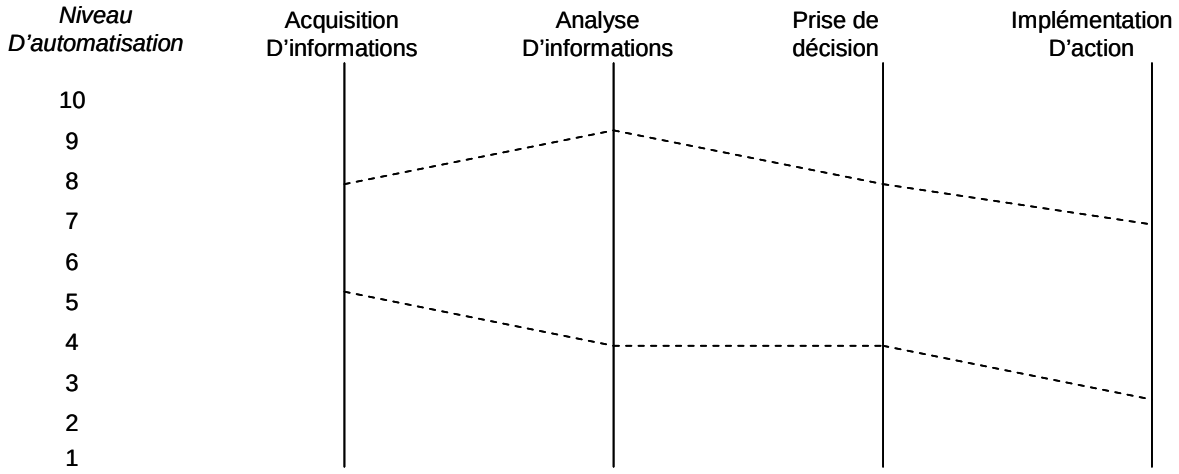


FIGURE 23 : EXEMPLE DE DEUX SYSTÈMES AYANT DES NIVEAUX D'AUTOMATISATION DIFFÉRENTS.

Le choix du bon degré d'automatisation n'est donc pas évident. Il y a plusieurs paramètres à prendre en compte pour faire le bon choix : l'OH (capacité à agir, réagir, niveau de formation, de compétences…), le système (fiabilité, conditions d'utilisation…).

Le modèle de Rasmussen apporte une description de la méthode mise en place par un OH pour résoudre un problème. Ce modèle est important pour la mise en place d'outils d'aide, afin de bien comprendre le cheminement effectué par l'OH. Les approches structurelles et fonctionnelles permettent de définir comment l'aide intervient auprès des OHs, comment ils vont travailler ensemble pour aboutir à une action/décision. De la même manière les degrés d'automatisation permettent de définir l'implication de chacun des agents sur le système.

Deux niveaux important ressortent des interactions Homme-machine. Le premier concerne l'attribution des tâches entre les différents agents, niveau stratégique, et le second l'activité, ou comment l'agent va réaliser la tâche ou fonction qui lui est attribuée, niveau tactique. Le premier niveau trouve des réponses avec les approches de la coopération Homme-machine. Le second niveau, notamment pour les outils d'aide aux OHs, n'a pas de réponses explicites. Il faut donc avoir recours à d'autres outils méthodologiques, comme par exemple l'aide à la décision.

L'aide à la décision doit donc être vue dans une optique d'intégration dans des systèmes coopératifs, c'est-à-dire qu'elle doit assister l'opérateur dans la prise de décision, mais aussi favoriser une CS accrue.

3 AIDE À LA DÉCISION

3.1 INTRODUCTION

Les modèles de la coopération Homme-machine ou de résolution de problème par l'opérateur humain, au sens des automaticiens et des psycho-cogniticiens, représentent, globalement, la façon dont les opérateurs humains résolvent des problèmes et échangent des informations entre

eux ou avec le système. La notion d'outils d'aide est récurrente dans ces modèles. Mais ces modèles de coopération Homme-machine, ne proposent qu'une démarche, une modélisation des interactions entre les différents agents, c'est-à-dire comment répartir les tâches entre les agents… mais pas comment concevoir les systèmes d'aide, avec lesquels les OHs doivent interagir, de manière opérationnelle. Le problème est de produire une solution pour répondre aux problèmes des opérateurs, qui ont souvent des choix à faire, des décisions à prendre. Il est important de définir comment le système d'aide doit répondre à ces problèmes, la manière dont ce dernier va présenter les informations, la compréhension de ces informations et leurs acceptabilités par les OHs.

L'objectif est de proposer des représentations permettant une description du problème, des décisions pour aboutir à une solution et la manière de communiquer les informations aux OHs. Les représentations s'appuient soit sur des formalisations mathématiques et probabilistes comme la théorie de la décision, soit sur des représentations semi-formelles comme le raisonnement à partir des cas, ou des bases de faits, comme dans les systèmes interactifs d'aide à la décision. La partie suivante va décrire ces concepts et outils.

3.2 DÉFINITIONS

Chaque jour, l'Homme est confronté à des décisions à prendre (que mettre aujourd'hui, comment me rendre au travail…), des décisions tout à fait banales, sans réelles incidences sur notre avenir. Il existe cependant des décisions où l'enjeu est bien plus important (des décisions économiques dans des entreprises par exemple, des décisions de justice…). Une première définition de la décision peut être :

Décision, action de décider : Décider, c'est trancher, choisir, déterminer ce qu'on doit faire. La décision se résume donc à choisir parmi plusieurs options celle qui va (selon divers critères) la mieux nous satisfaire. [Petit Robert]

Dans des cas simples, il n'est pas utile d'apporter de l'aide. Dans des cas plus complexes (l'économie, le contrôle aérien…), il peut être intéressant d'aider, d'évaluer l'ensemble des critères pour prendre la « bonne » décision. Roy [1985] expose sa définition de l'aide à la décision :

L'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroitre la cohérence entre

> *l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part. [Roy, 1985]*

Il rappelle que la décision est omniprésente chez l'Homme, qu'elle précède chacune de ses actions. Pour Roy, la prise de décision est une activité à part entière. Dans cette définition, il explique que l'aide à la décision s'appuie sur « des modèles clairement explicités, mais non nécessairement clairement formalisés ». Pour lui, il est important de pouvoir « convaincre » les autres de ses choix et de sa décision en explicitant comment s'élabore la décision. L'aide à la décision doit apporter des résultats et des réponses à un problème précis.

Roy parle de modèle dans sa définition. Il convient d'apporter une définition de ce qu'il entend par ce terme.

> *Un modèle est un schéma qui, pour un champ de questions, est pris comme représentation d'une classe de phénomènes, plus ou moins habilement dégagés de leur contexte par un observateur pour servir de support à l'investigation et/ou à la communication. [Roy, 1985]*

De cette définition apparaît la notion de schéma qui signifie, toujours selon Roy :

> *Description mentale (intériorisée) ou figurée (diagrammes, formules mathématiques,…) généralement réduite aux traits essentiels et ayant un caractère symbolique. [Roy, 1985]*

Pour Roy, le modèle est donc le résultat d'une observation, d'une analyse, d'un effort de modélisation. Le modèle est une représentation d'un morceau de la réalité. Cette représentation n'est pas forcément l'exact reflet de la réalité et peut (doit ?) donc comporter des différences telles des amplifications de certains aspects ou des atténuations d'autres aspects. Le modèle est adapté en fonction des objectifs qui sont fixés. Un modèle n'est ni bon, ni faux. Il est pertinent ou non selon un besoin donné. Le modèle va permettre de comprendre une situation réelle, de la maîtriser et de pouvoir agir.

L'aide à la décision, qui se base donc sur des modèles, peut être vue comme la recherche d'une vérité, d'une réponse mais de manière partielle car dépendante du modèle de base. Les théories et méthodologies employées vont donc essayer, en fonction du modèle, de conduire le processus de décision vers un résultat cohérent avec les objectifs et le système de valeurs du décideur.

3.3 ORIENTATIONS POUR L'AIDE À LA DÉCISION

Il existe deux orientations majeures, mais non concurrentes, dans la proposition d'une aide à la décision. Une première orientation qui va produire des résultats sur lesquels s'appuyer : la théorie de la décision, une approche mathématique et orienté résultat et une seconde

orientation qui s'intéresse au processus décisionnel, en se basant sur la notion de rationalité procédurale (ou limitée) en apportant des aides de type informatique. Les parties qui suivent vont décrire ces deux orientations.

3.3.1 THÉORIE DE LA DÉCISION

La théorie de la décision est un ensemble de champs de questions abordées sous un cadre mathématique en vue d'apporter des réponses à des problèmes de décision [Tsoukias, 2006]. La théorie de la décision fait des hypothèses très fortes pour pouvoir répondre aux décisions. La plus importante notamment est qu'elle se base sur la rationalité, c'est-à-dire qu'il existe des normes, logiques et rationnelles, que chaque décideur respecte.

La théorie de la décision conçoit la décision comme un acte à part entière et de ce point de vue tente d'apporter un résultat ; c'est donc une approche orientée résultat. Le but de la théorie de la décision est d'aider le décideur, celui qui doit prendre les décisions, il est expert dans le domaine étudié, ou le client, celui qui fait la demande pour un problème de décision, à rationaliser son système de valeurs, ses préférences (le client et le décideur peuvent être la même personne). Ce système de valeurs est ordonné et rationnel.

3.3.1.1 Place et nature du modèle de la décision

[Tsoukias, 2007 ; Dias & Tsoukias, 2004] distinguent 4 approches pour l'application de la théorie de la décision.

- **L'approche normative** considère le décideur comme rationnel. Les préférences sont transitives (c'est-à-dire que les valeurs ne varient pas) et le comportement du décideur n'intervient pas dans l'étude. Le décideur doit donc s'adapter, adapter ses préférences et son comportement aux axiomes définis pour atteindre la solution, qui a une valeur universelle. Des **postulats** sont faits quant aux raisonnements des décideurs.
- **L'approche descriptive** est plus empirique. Elle s'inspire de ce que d'autres décideurs ont pu faire dans un contexte similaire et essaye de le reproduire dans le cas présent. Dans cette approche le décideur, ses actes et ses choix prennent une place plus importante. L'objectif est d'**observer** et de formaliser les pratiques du client.
- **L'approche prescriptive**. Lorsque le client n'est pas rationnel, ses préférences peuvent être incomplètes, imprécises et incertaines. Il faut donc faire exprimer autrement les préférences au client, mais ce dernier n'est pas obligé de le faire et dans ce cas, il faut recourir à des méthodes et des modèles externes permettant d'identifier et de comprendre comment raisonne le client. Cette démarche va produire un modèle qui ne sera valide que pour ce client mais qui aura le mérite de bien lui correspondre. Ce modèle de rationalité doit donc prendre en compte le langage formel avec les

problématiques que cela engendre (imprécision, surplus d'informations, ambigüités des termes…). L'objectif est donc ici de **découvrir** comment le décideur raisonne.

- **L'approche constructive** remet en cause la définition explicite et exhaustive du problème par le décideur. Dans ce cas, comment être sûr de bien fournir une réponse à son problème ? L'approche constructive propose donc d'élaborer le problème et sa solution en même temps. Il est ici nécessaire **d'établir un consensus** entre les objectifs et les solutions potentielles.

Dias et Tsoukias [2004] proposent un tableau (Tableau 2) de synthèse de ces différentes approches :

TABLEAU 2 : DIFFÉRENCES ENTRE LES APPROCHES DE L'AIDE À LA DÉCISION [DIAS & TSOUKIAS, 2004]

Approche	***Caractéristiques***	***Comment obtenir le modèle***
Normative	Rationalité exogène, comportement économique	Postuler
Descriptive	Rationalité exogène, modèles empiriques du comportement	Observer
Prescriptive	Rationalité endogène, cohérence avec la situation problématique	Découvrir
Constructive	Processus d'apprentissage, cohérence avec le processus de décision	Établir un consensus

3.3.1.2 Quelques champs de question de la théorie de la décision

Il existe de nombreux champs applicatifs pour la théorie de la décision et le modèle de décision [Tsoukias, 2006]. Ces champs disciplinaires imposent tous une symbolique et un formalisme mathématique :

- La recherche opérationnelle (RO) propose une solution optimale à un problème combinatoire, d'optimisation ou encore d'ordonnancement. La RO se base sur des approches mathématiques telles que la programmation linéaire, la programmation dynamique ou encore des heuristiques… Le problème est traduit sous forme d'équations avec un objectif à atteindre et des contraintes à respecter. En utilisant une des méthodes mathématiques citées, une réponse optimale (si elle répond à tous les critères et à l'objectif) est obtenue.
- L'intelligence artificielle (IA) conçoit des systèmes (souvent informatiques) qui tentent de reproduire l'intelligence humaine et le raisonnement humain. Deux approches

s'affrontent : celle qui considère que l'IA doit reproduire l'intelligence humaine et celle qui doit reproduire l'intelligence rationnelle que devrait avoir l'humain. L'intelligence artificielle inclut des processus de perception, de compréhension et d'apprentissage. L'IA permet ensuite, par exemple, de simuler des situations pour voir le choix que pourrait prendre un humain face à une situation donnée.

- L'utilité et les fonctions d'utilité. Le principe consiste à donner une valeur numérique réelle à chacun des *possibles du problème*. Pour deux éléments, celui qui a la plus grande *préférence* aura la plus grande valeur. Cette valeur numérique va permettre d'évaluer deux possibles entre-eux et ainsi obtenir celui qui a la préférence du décideur. Cette façon de faire est simple et logique quand le décideur n'a qu'un seul objectif précis qui est de choisir la meilleure option dans une liste de choix. Quand il y a plusieurs objectifs, plusieurs attributs peuvent être nécessaires pour évaluer les possibles. Le problème est le même. Une valeur est attribuée pour chaque attribut de chaque possible et, ensuite, une évaluation est faite pour déterminer la meilleure solution sur l'ensemble des attributs [Lire Abdellaoui & Gonzales, 2006]. Si deux produits (objets…) $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$ sont disponibles pour un consommateur, il est possible de construire une fonction d'utilité $\mathcal{U}$ telle que $\mathcal{U}(\mathcal{A})>\mathcal{U}(\mathcal{B})$, ce qui signifie que le produit $\mathcal{A}$ est préféré au produit $\mathcal{B}$ par ce consommateur. Il est ainsi possible de construire une fonction d'utilité pour chaque paire de produits et pour chaque consommateur. Il sera au final possible d'établir un ordre de préférence de l'ensemble des produits.

- La théorie du choix social, qui est souvent citée pour parler des problèmes d'élection, est en fait une méthode qui interprète les préférences individuelles (chaque électeur) par rapport à la décision prise par un groupe entier (les électeurs du pays par exemple). En d'autres termes, comment le candidat élu, que « je » n'ai pas choisi, peut « me » représenter, peut correspondre à « mes » attentes. Comment prendre en compte dans l'agrégation des résultats du vote, l'ensemble des électeurs qui n'ont pas choisi ce candidat ? La théorie du choix social vise à identifier les liens entre les préférences individuelles des membres d'un groupe face aux préférences collectives du groupe [Bouyssou, Marchant, Perny, 2006].

- La logique est une forme de modélisation mathématique qui se base sur des règles formelles pour arriver à une déduction. La logique se base sur l'algèbre de Boole et la logique des prédicats. Plus récemment, la logique floue a vu le jour et permet de prendre en compte une part d'incertitude. Un formalisme logique se base donc sur trois éléments importants : (*i*) une base de faits, le problème est traduit de manière formelle ; (*ii*) l'ensemble de déduction également écrit de manière formelle, qui contient des règles

pour étudier le problème ; (*iii*) l'interprétation, c'est un modèle qui permet d'établir la validité des faits.

La motivation commune à tous ces champs applicatifs est l'abstraction et l'universalité de la décision :

- l'abstraction car le problème décisionnel est extrait de son environnement, dans le but d'avoir une vision plus globale. La théorie de la décision apporte un formalisme mathématique qui garantit une part de cette abstraction, en formalisant mathématiquement chacune des étapes de la décision,
- l'universalité car le résultat de la décision sera valable quelle que soit son application. La décision ne dépend pas du contexte décisionnel. Ces deux points conduisent à une amélioration des modèles et outils théoriques.

3.3.1.3 Imprécision, risque, incertain et caractéristiques humaines

La théorie de la décision a introduit au fur et à mesure certaines notions. Les notions de risque et d'incertain [Chateauneuf, Cohen, Jaffray, 2006*a* ; 2006*b*] sont différenciées. L'imprécision et les caractéristiques humaines sont aussi prises en compte.

- L'imprécision est présente dès la définition du problème par le client. Ce dernier n'a pas une idée précise et formelle de son problème. Il l'exprime donc avec un certain flou, une certaine imprécision. L'imprécision peut exister aussi dans la réponse donnée. Il y a une imprécision si la réponse ne répond pas au problème posé. L'imprécision reste propre à chaque problème. Par exemple une taille « grande ou petite » est imprécise, car dépendant du jugement de chacun, alors que mineur ou majeur a un sens légal et, en fonction du problème, n'est donc pas imprécis.
- Le risque implique que le ou les décideurs ont connaissance des probabilités d'échec ou de succès (la probabilité de gagner au loto par exemple). Cependant, chaque décideur est libre de ses réactions vis-à-vis du risque, mais aussi des enjeux. Parier une somme modique pour un gain relativement faible, mais avec une probabilité de gagner très élevée est un risque modéré (on parle d'aversion au risque). Parier une fortune pour gagner plus, mais avec une probabilité de gagner faible est « risqué ». On parle de préférence pour le risque. L'aversion au risque est un comportement relativement normal et parfois nécessaire (pour faire des affaires par exemple). La préférence au risque peut être une pathologie dangereuse pour celui qui en souffre. [Chateauneuf, Cohen, Jaffray, 2006*a*].

- L'incertitude, omniprésente dans la vie courante, désigne des situations dans lesquelles il n'existe pas de probabilité de succès ou d'échec. La théorie de la décision propose des solutions pour décider dans ces cas de figure. [Chateauneuf, Cohen, Jaffray, 2006*b*].
- Les caractéristiques psychologiques humaines prennent en compte l'Homme dans les modèles de décision en considérant certains paramètres psychologiques tels que la fatigue, le stress, les temps de réaction…

La théorie de la décision considère l'Homme comme rationnel, c'est-à-dire agissant selon des normes et dans l'intérêt des objectifs fixés. La théorie de la décision modélise donc de façon mathématique, une part d'incertitude, de risque… et applique le même modèle pour tous les acteurs d'un problème, qui sont sensés agir de la même manière. Cette représentation se trouve très éloignée de la réalité où les Hommes vont agir également pour leur bien-être et leurs propres intérêts. Simon [1947] introduit donc la notion de rationalité procédurale.

3.3.2 RATIONALITÉ PROCÉDURALE

C'est H.A. Simon, qui en 1947, parle le premier de la notion de processus de décision (lire [Simon, 1947] cité dans [Tsoukias, 2007]). Il remarque notamment que les comportements des décideurs ne peuvent pas être mis en équation par la théorie de la décision. Quelques années plus tard, H.A. Simon [1955] introduit la notion de rationalité procédurale. En effet, les premières approches sur la décision et la prise de décision considèrent l'individu, le décideur comme rationnel, c'est-à-dire qu'il agit de manière logique et cohérente avec ses buts. Simon, en tant qu'économiste, utilise la définition de rationalité économique qui considère que les agents sont censés agir de façon cohérente et cherchent à optimiser leur bien-être et leurs intérêts.

Simon insiste sur la nécessité de prendre en compte le processus de décision, c'est-à-dire l'ensemble des mécanismes mentaux mis en place par les décideurs pour faire un choix ou pour prendre une décision. Pour lui, le processus de décision doit se composer de trois étapes [Pomerol 2006 ; Simon 1979] : (*i*) recenser toutes les actions possibles ; (*ii*) déterminer l'ensemble des conséquences des actions possibles ; (*iii*) évaluer toutes les conséquences des actions possibles.

Par la suite, Simon précisera qu'il faut, bien sûr, considérer une dernière étape qui est la mise en œuvre de la décision. Selon Simon, décision et action sont inséparables ; l'action n'est qu'une précision, un niveau de détail supplémentaire de la décision.

Le premier point évite l'écueil de croire que les actions sont données. Il faut les recenser, les lister, ce qui n'est pas forcément une tâche évidente. De la même manière, évaluer de manière exhaustive les conséquences possibles d'une action semble très difficile voire parfois impossible. Selon le problème, il peut y avoir 2 ou 3 conséquences évidentes comme une infinité de conséquences beaucoup moins évidentes (lire [Pomerol, 2006], qui cite de nombreux exemples

sur ce domaine). Pourtant, la théorie de la décision voudrait que la meilleure solution soit choisie en connaissant toutes les conséquences possibles [Lire par exemple Savage, 1954] : c'est la notion de rationalité. **Pour Simon, cette rationalité n'est pas adaptée au processus de décision et aux capacités de projection ou d'anticipation des Hommes.** La rationalité, qu'il qualifie de substantive, est inadaptée pour les raisons suivantes :

- Les décideurs ne peuvent pas parfaitement connaître le problème. La rationalité suppose que toutes les conséquences possibles soient prévisibles et énumérables. Or, il y a toujours une part de risque et d'incertain qui n'est pas prévisible, ni même maîtrisable. Il en résulte que les conséquences (tout comme les actions dans certains cas) ne peuvent pas être définies de manière exhaustive.
- Les conséquences font parties du futur. Le futur appelle bien souvent une certaine imagination pour prédire ce qu'il pourrait être. Dans certains cas, l'expérience peut être capable de prévoir une réaction, une conséquence d'une action. Mais cette prévision ne peut être parfaitement exacte dans de nombreux cas.
- La rationalité se base sur l'exhaustivité des actions possibles. Dans un contexte réel, seul un fragment de ces actions possibles est connu. L'Homme n'a pas la faculté de prévoir l'ensemble des actions possibles. Seules les plus évidentes lui viennent à l'esprit. Rendre exhaustive cette liste d'actions possibles est bien souvent impossible et dans d'autres cas beaucoup trop coûteux en ressources.
- Enfin, rien ne garantit que les actions soient comparables et de même nature et donc que le décideur puisse utiliser, par exemple, les fonctions d'utilité pour les évaluer. De la même manière, les préférences sont souvent fortement liées aux choix et aux actions.

Dans certains cas, considérer l'OH comme rationnel est tout à fait adapté. Mais Simon part du constat que souvent ce n'est pas le cas. Beaucoup de problèmes sont trop complexes pour atteindre l'exhaustivité requise pour appliquer les fonctions d'utilité ou les principes de la théorie de la décision. Fort de ce constat, Simon [1955] propose son concept de **rationalité procédurale**. Il considère que les agents, les décideurs, ne peuvent pas être rationnels car ils ne peuvent pas accéder à l'ensemble des informations pour l'être, pour produire une liste d'actions ou de conséquences exhaustives. Pour définir la rationalité procédurale, il adapte les quatre points précédents de manière à les rendre cohérents avec la réalité :

- Il est impossible d'énumérer tous les événements possibles et donc encore moins d'évaluer une probabilité pour chacun de ces événements.
- Il est impossible d'avoir une fonction d'utilité globale. Les préférences des décideurs ne sont pas rationnelles. Elles ne visent pas une optimisation ou une maximisation de cette

fonction d'utilité mais la satisfaction des besoins et des buts des décideurs. Les préférences sont multicritères et variables.

- ❖ L'optimisation globale n'est pas réaliste car les décisions s'étalent dans le temps. Elles peuvent se décomposer en sous-décisions, qui ne sont pas indépendantes. Les notions de préférences, d'actions, d'objectifs ou de buts sont très étroitement liées et non séparables. Les sous-décisions sont prises de manière locale, et non globale, et sur une partie des critères et non l'ensemble. De ce fait, la décision ne peut être globale.
- ❖ L'information et l'attention sont des éléments essentiels. L'Homme ne peut se focaliser et étudier qu'un petit nombre d'actions voire qu'une seule action.

Cette approche conclut sur le fait que, plutôt que de viser l'optimal qui n'est pas toujours accessible, il faut viser une solution satisfaisante. Simon définit la notion de satisfaction, en précisant que c'est une action qui dépasse un niveau de satisfaction sur l'ensemble des critères. Pomerol [2006] précise que dans ce contexte, on peut considérer que la prise de décision s'arrête une fois qu'une telle solution/décision est trouvée. D'un point de vue algorithmique, le processus de décision peut être vu comme séquentiel et heuristique. Il peut prendre la forme d'un ensemble de règles à satisfaire (*satisficing rules*).

3.3.3 CONCLUSIONS SUR LES ORIENTATIONS DE L'AIDE À LA DÉCISION

Ces deux orientations sont donc de natures différentes. La théorie de la décision vise à produire un résultat exploitable, alors que l'orientation de la rationalité procédurale s'intéresse au processus décisionnel et tente de comprendre comment décide, raisonne l'opérateur, pour ensuite l'aider dans cette démarche. Ces orientations sont théoriques, conceptuelles. Le processus de décision et les outils d'aide à la décision vont mettre en œuvre ces approches. Dans les deux parties qui suivent, deux approches sont présentées. La première qui est une application de la théorie de la décision dans le cadre d'un processus d'aide à la décision, se base sur une démarche proposée par Tsoukias [2006]. La seconde approche s'appuie sur des outils informatiques pour appliquer la rationalité limitée de Simon. Ces outils informatiques sont principalement les Système Interactif d'Aide à la Décision (SIAD).

3.4 MISE EN ŒUVRE

3.4.1 THÉORIE DE LA DÉCISION & PROCESSUS D'AIDE À LA DÉCISION

En prenant en compte les remarques de Simon, Tsoukias [2006] propose un processus d'aide à la décision se basant toujours sur la théorie de la décision mais intégrant une part de rationalité procédurale. La décision doit être vue comme un processus et non comme un acte [Tsoukias 2006, qui cite Simon]. La rationalité ne doit plus être vue selon les objectifs à atteindre (c'est le sens même de rationnel) mais vis-à-vis du processus. C'est la rationalité procédurale/limitée.

Tsoukias propose d'encadrer la théorie de la décision en l'enrichissant d'un cadre applicatif et en impliquant le décideur dans la conception. Son processus d'aide à la décision comprend quatre étapes (Figure 24) qui vont s'articuler autour de la théorie de la décision qui va servir à évaluer les différents potentiels, actions possibles, le choix et la construction du modèle de décision.

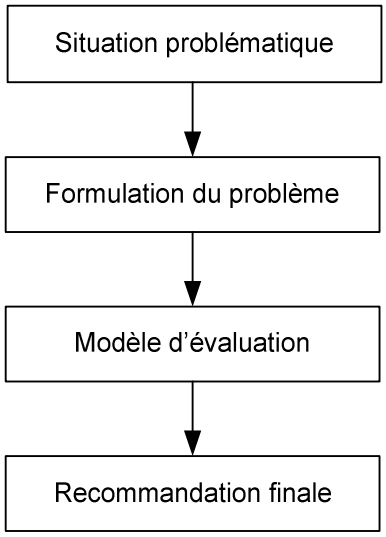


FIGURE 24 : MODÈLE DU PROCESSUS D'AIDE À LA DÉCISION SELON TSOUKIAS [2006]

Le point central de la méthode est l'évaluation des possibles notamment en choisissant un modèle d'évaluation pour émettre une recommandation exploitable. Il nécessite au préalable de connaître le contexte du problème et de structurer les actions envisageables et les conséquences possibles.

Le modèle d'évaluation est classique et vise à appliquer une méthode de l'aide à la décision classique (recherche opérationnelle, théorie de la décision…). Tsoukias propose une représentation mathématique de ce modèle (dont nous ne développerons pas les notations [Lire Tsoukias, 2006 pour plus de détails]). Toutefois, le modèle d'évaluation se compose des éléments suivant :

- un ensemble d'alternatives, de possibilités sur lesquelles le modèle va s'appliquer ;
- un ensemble d'attributs ou de dimensions qui décrivent et mesurent les alternatives citées précédemment ;
- pour chaque dimension ou attribut, une échelle de valeur est associée ;
- un ensemble de critères[7] pour évaluer les alternatives afin de prendre en compte les préférences des clients ;
- un ensemble d'incertitudes pour les dimensions et les critères ;

[7] Dans ce contexte, un critère est un modèle de préférence.

- des opérateurs qui vont permettre de synthétiser les alternatives (par exemple l'agrégation).

Cette description peut être vue comme une synthèse de l'ensemble des modèles et des approches d'aide à la décision qui reprennent globalement la même organisation. Le choix des échelles de valeurs, des dimensions ou encore des préférences aura un impact fort sur le résultat du modèle d'évaluation, indépendamment de la méthode d'évaluation retenue.

Autour de cette évaluation, Tsoukias propose d'introduire un contexte à son problème, afin notamment de cadrer les choix possibles pour les préférences, les dimensions… Si un cadre précis est défini, les choix possibles pour le client et/ou le décideur se trouvent limités et donc l'impact qu'ils pourront avoir sur le résultat sera plus prévisible ou au moins maîtrisable. Pour cela, deux étapes sont nécessaires avant le choix du modèle d'évaluation : l'estimation du contexte du problème et la structuration des possibles (Figure 24).

La définition de **la situation problématique** est le point d'entrée du processus d'aide à la décision défini par Tsoukias [2006]. Préalablement à l'établissement du contexte du problème, des hypothèses sont prises :

- le client est impliqué dans un ou plusieurs processus de décision dont il fait la demande d'aide,
- le problème implique au moins deux participants, le décideur (client généralement) et l'homme d'étude,
- il existe au moins deux objectifs, les préoccupations du demandeur/client et les motivations de l'homme d'étude,
- la situation est composée d'un ensemble de ressources (limité) comprenant la connaissance qu'a le décideur de son problème, les connaissances d'ordre méthodologique de l'homme d'étude et le temps. Il s'ajoute bien souvent une notion de coût financier…,
- il existe un objet de convergence qui consiste en une représentation commune des préoccupations du client,
- enfin, bien que le processus d'aide soit cognitif, le choix est clairement fait de l'orienter vers l'opérationnel et l'hypothèse est faite que les deux participants (ou plus) vont tout mettre en œuvre pour produire un résultat.

Une fois ces hypothèses fixées, la situation problématique peut être définie. Elle vise à répondre aux questions suivantes : Quels sont les décideurs du problème ? Qui rencontre ce problème ? Comment le client intervient-il sur ce problème ?... De même que pour l'évaluation, Tsoukias propose un formalisme mathématique qui comprend trois ensembles :

- l'ensemble des participants au processus d'aide à la décision ;
- l'ensemble des enjeux que les participants amènent dans ce processus ;
- l'ensemble des engagements pris par les participants vis-à-vis de leurs propres enjeux et de ceux des autres participants.

Une fois le problème structuré, l'étape suivante consiste à **formuler le problème**, à définir les actions potentielles. Les possibles sont les possibilités d'agir pour répondre au problème. Il faut voir ici cette possibilité d'agir dans un sens très large : une action (appuyer sur un bouton, dévier un avion), un choix (prendre à droite plutôt qu'à gauche, ne rien faire, accepter la demande)… Cette formulation n'est pas unique mais elle va fortement conditionner le résultat et le reste de l'étude. L'objectif est de formaliser le problème avec le client. Il doit donc être impliqué. Tsoukias [2006] prend un exemple qui permet de bien comprendre l'enjeu de la formulation du problème : prenons un client qui exprime son problème de la manière suivante : « investir dans de nouveaux autocars pour améliorer le service ». La formulation peut au moins prendre trois variations :

- choisir un fournisseur parmi l'ensemble des fournisseurs ;
- choisir une offre parmi un ensemble d'offres proposées ;
- choisir une combinaison d'offres.

Ces formulations vont impliquer des résultats, des engagements et des enjeux différents. La formulation et l'établissement des actions possibles sont donc très importants. La description du problème du premier point prend une part importante pour clarifier les objectifs et le problème. Le formalisme présenté par Tsoukias, comprend trois éléments :

- un ensemble d'actions potentielles que le client peut choisir d'entreprendre eu égard à la problématique définie à l'étape précédente ;
- un ensemble de points de vue afin de mesurer, de comparer, d'évaluer les actions potentielles ;
- une problématique décisionnelle, c'est-à-dire l'application envisagée des actions potentielles, une anticipation des objectifs visés par le client.

Cette étape est sûrement la plus complexe, car elle implique de bien formaliser le problème, de clarifier la situation, ce qui n'est pas toujours évident pour le client. Atteindre cet objectif est déjà un grand pas vers l'aide à la décision.

En se basant sur ces éléments de contexte, ces actions potentielles, il est enfin possible d'appliquer le **modèle d'évaluation** retenu et ainsi produire un résultat. Ce résultat n'est pas

forcément exploitable pour un opérateur. Tsoukias ajoute donc une dernière étape qui vise à rendre ce résultat exploitable dans le contexte défini à la première étape.

La **recommandation finale** est la dernière étape du processus d'aide à la décision. Tsoukias qualifie cette étape de « retour à la réalité ». La recommandation est l'étape inverse de la structuration du problème. Cette étape vise à passer du langage formel et abstrait du résultat du modèle d'évaluation à un langage courant et compréhensible par le client. La recommandation ne peut se faire que sous certaines hypothèses :

- le modèle formel obtenu avec l'évaluation est correct ;
- le client est convaincu que le modèle le représente, qu'il le comprend et qu'il se sent apte à utiliser les conclusions ;
- la recommandation est légitime et valable dans le contexte défini et utilisé par l'aide à la décision.

À ce stade, le client obtient une décision, un résultat applicable, *a priori* compatible avec son problème (d'où l'importance de vérifier la légitimité de la recommandation).

Au final, ce processus d'aide à la décision présente deux aspects. Le fait d'expliciter le problème dans les deux premières parties peut se révéler suffisant dans certains cas de figure et convenir/suffire au client. Énumérer les possibles reste une activité plus complexe que l'établissement d'une simple liste. L'homme d'étude doit mettre en place d'autres techniques pour aider le client à les exprimer.

3.4.2 PROCESSUS DE DÉCISION

L'approche précédente, basée sur la théorie de la décision, se focalise sur la production d'un modèle de manière mathématique. Après avoir considéré l'OH comme rationnel, Tsoukias présente une variante du processus d'aide à la décision se basant sur la rationalité procédurale de Simon. Ceci permet notamment d'intégrer l'OH dans le processus de décision. Cette partie présente une autre approche qui s'intéresse au processus de décision et non au résultat à proprement parler. L'objectif est ici d'assister le décideur dans sa démarche de choix plutôt que de lui fournir un résultat.

L'approche orientée processus permet d'établir une description opérationnelle de ce processus. Cette description du processus de décision se compose de 4 étapes [Fernandez, 2008], Figure 25.

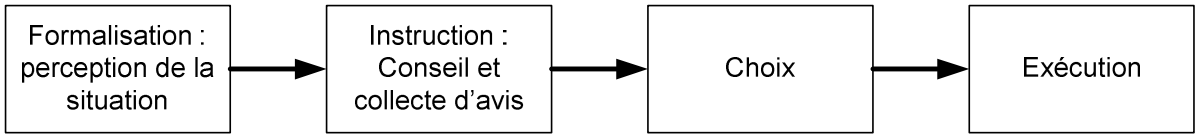


FIGURE 25 : PROCESSUS DE DÉCISION SELON FERNANDEZ [2008]

- **Formalisation, perception de la situation, alerte**. Cette phase correspond à la prise de conscience de la situation. Des informations et des données du système ont changé/évolué. Le décideur estime (ressent selon Fernandez) qu'il faut agir. Cette phase correspond à la **DETECTION** du modèle de Rasmussen.
- **Instruction, collecte d'avis**. Le décideur recherche des informations, collecte les avis, étudie la situation, établit si besoin une nouvelle solution… Cette phase correspond à la **PRISE d'INFORMATION** et **l'ANALYSE** du modèle de Rasmussen.
- **Choix**. La décision est prise, la solution à appliquer est définie. Le décideur a évalué les conséquences de cette solution et estime qu'elles sont acceptables. Cette phase correspond à la **PRISE de DECISION** du modèle de Rasmussen.
- **Exécution**. C'est l'application de la solution précédemment choisie. C'est la phase **ACTION** du modèle de Rasmussen.

Cependant, comment faire cette détection, choisir la bonne solution ? Dans cette approche la solution est de se baser sur des éléments, des faits, existants pour diagnostiquer et décider.

3.4.2.1 Décisions basées sur des patrons

La notion de décision basée sur des patrons (ou *decision pattern* en anglais) est la forme de décision la plus primitive. Cette forme de décision peut être assimilée aux réflexes. Nombre de ces décisions sont déclenchées par des *stimuli*. Pomerol [2006] distingue deux cas de décision basée sur des patrons. Le premier cas se base sur des diagnostics, le second sur la reconnaissance de cas.

- **Décision et Diagnostic**

Pomerol propose un modèle (Figure 26) de décision basé sur deux principes : le diagnostic et la projection.

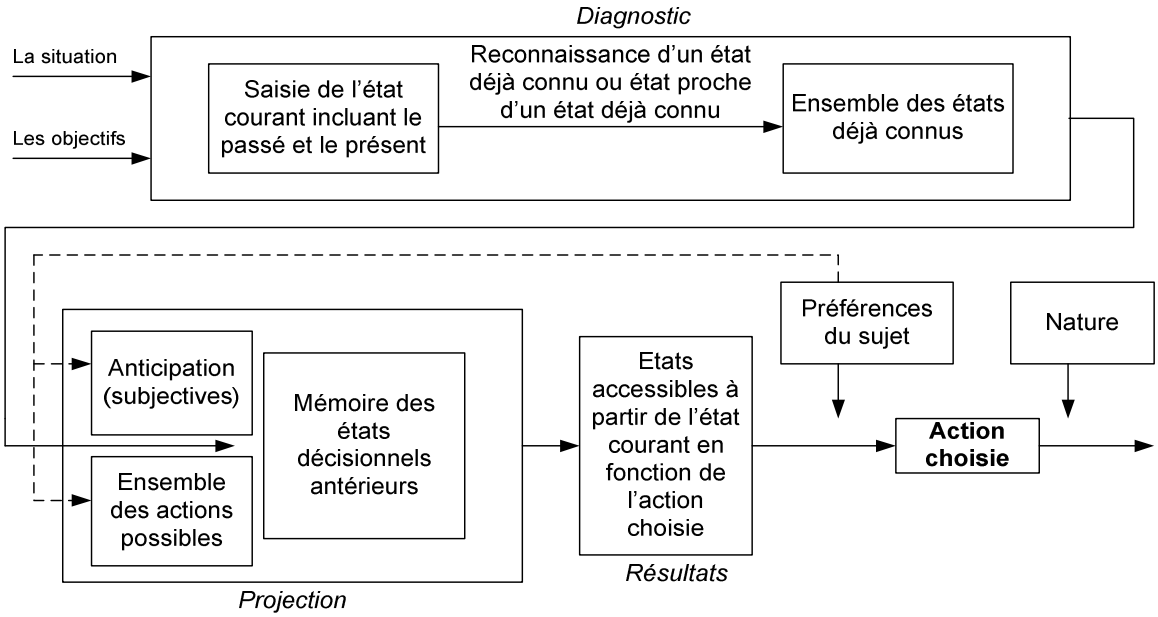


FIGURE 26 : PROCESSUS DE DÉCISION SELON POMEROL [2006]

- Le diagnostic consiste à identifier l'environnement ou le « monde ». C'est-à-dire quel est l'état courant, le présent et le passé.
- La projection consiste à essayer d'anticiper, à partir des éléments précédents, les conséquences d'une décision sur l'avenir ; définir et prévoir le futur.

Ce type de décision est fréquent et rationnel dans de très nombreux cas, plus encore dans des domaines où la prise de décision est continue. Ce type de fonctionnement diagnostic/projection est une des bases des systèmes experts. Le monde est alors codé dans une base de règles. La phase de décision se résume alors à une recherche d'un cas similaire dans la base de règles. Si les règles sont associées à des solutions ou des hypothèses alors on obtient une décision. Dans la réalité, les situations ne peuvent que très rarement correspondre exactement à une règle déjà présente dans la base de règles. Il faut donc, plutôt que d'essayer d'identifier un cas identique, rechercher un cas semblable. C'est le raisonnement à partir de cas.

- **Décision à base de cas**

Cette méthode se compose d'une base de cas qui représente l'expérience acquise sur un système donné. Ces cas sont accompagnés d'une décision ou solution, elle-même obtenue à partir de l'expérience. Le principe consiste à reconnaître dans cette base un cas qui correspond ou qui est semblable au cas de figure rencontré [Caulier, Houriez 1995].

La grande particularité des systèmes à base de cas est d'avoir une capacité d'apprentissage, c'est-à-dire que la base est capable d'apprendre les nouveaux cas de figure rencontrés ainsi que les décisions qui permettent de résoudre ces problèmes. Ainsi, la base est de plus en plus complète avec le temps et l'expérience.

La principale difficulté est donc de définir quand le cas rencontré est proche d'un cas ou d'un autre dans la base de cas. Pour cela, Gilboa et Schmeidler [cités dans Pomerol, 2006] proposent un ensemble de fonctions mathématiques permettant de rapprocher la décision actuelle d'un des cas de la base. Le détail ne sera pas présenté dans ce document, mais pour résumer, le principe consiste à définir une distance entre la décision et l'ensemble des cas de la base. Ils appellent cette distance la distance de similitude. Ensuite, il faut choisir la distance maximale pour déterminer le cas le plus proche.

3.4.2.2 Système Interactif d'Aide à la Décision - SIAD

La notion de Système Interactif (informatique) d'Aide à la Décision (SIAD) voit le jour en Angleterre. La traduction anglaise de SIAD est *Decision Support System* ou *DSS*. Une première définition [citée dans Zaraté, 2005] provient de Morton. Pour Morton, un SIAD se compose à la fois d'ordinateur(s), de modèle(s) analytique(s) et de terminaux pour une interactivité avec un ou plusieurs OHs. Cette aide doit être disponible pour des situations mal structurées et complexes. Morton définit donc un SIAD comme un outil qui va :

- assister les décideurs dans leur processus de décision, dans des tâches semi-structurées ou mal structurées ;
- aider les décideurs plutôt que de les remplacer dans leur jugement et leurs intuitions ;
- améliorer la qualité de la prise de décision (*effectiveness*) plutôt que l'efficacité (*efficiency*).

Morton nuance la notion de qualité et d'efficacité (l'ambigüité est plus forte avec les termes anglais). Il utilise le terme *efficiency* ou efficacité pour définir une réponse à une tâche donnée selon une série de critères de performance (rapidité, coût…). Le terme *effectiveness*, pour qualité, implique une identification de la solution, de ce qu'il faut faire et de la pertinence des critères d'évaluations de cette solution. Cette notion requiert donc de l'apprentissage et une adaptation. Il va de soit que, à court terme du moins, l'efficacité est plus rapide et moins coûteuse. La notion de SIAD est donc basée sur un équilibre entre l'intuition du décideur et ce que pourrait proposer un système d'aide. Zaraté [2005] propose comme définition des SIAD :

> *Des systèmes informatisés, interactifs, qui aident les décideurs en utilisant des données et des modèles pour résoudre des problèmes mal structurés.*

Cette définition souligne à nouveau le problème de la bonne structuration du problème. Simon soulignait déjà ce point, ainsi que Tsoukias.

Les SIAD sont donc des compléments pour le raisonnement des décideurs. À partir de *stimuli*, les SIAD tentent de reconnaître une situation et de proposer une solution rationnelle et cohérente. Pomerol [2006] précise que si on prend le temps de décider, on se retrouve finalement toujours

dans une projection et une construction de l'avenir. Les SIAD, grâce à ce qu'il nomme des scénarios, aident à construire cet avenir.

Un SIAD se constitue d'une base de modèles, d'un module de perception et d'une base de données (Figure 27).

- la base de modèles sert à calculer la projection ;
- le module de perception sert pour percevoir les *stimuli* de l'environnement ou du contexte ;
- la base de données sert pour l'apprentissage.

Nombre de SIAD [Pomerol, 2006] oublient la phase perception/diagnostic, se basant essentiellement sur la base de modèle. Ceci est donc réducteur. Il n'y a pas de phase de reconnaissance, ni d'étude des critères de choix de la solution.

Le moteur d'inférence du modèle de la Figure 27 correspond généralement à un algorithme qui simule le raisonnement humain afin d'extraire, à partir de la base de modèles (SGBM) et la base de données (SGBD, aussi appelé base de connaissances, base de faits ou base de règles selon les informations contenues), la solution la plus adaptée au problème en cours de traitement.

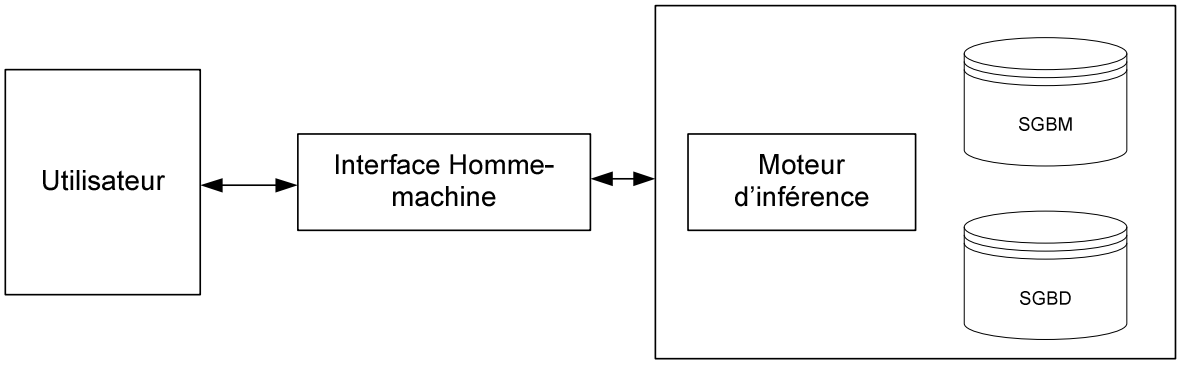


FIGURE 27 : ARCHITECTURE DES SIAD, EXTRAIT DE ZARATÉ [2005]

Pomerol précise aussi qu'il n'existe pas réellement de formalisme général pour les SIAD, chaque SIAD étant fait dans un but précis avec un contexte donné. Il précise cependant qu'on peut se rapprocher des systèmes à heuristique pour trouver des bases d'approche théorique, en considérant que le décideur recherche une heuristique et que cette tâche est facilitée par le SIAD. Le décideur s'arrêtera alors dès qu'une réponse sera trouvée et non pas dès que l'ensemble des réponses possibles seront trouvées, ce qui nous ramène donc dans un modèle de rationalité procédurale décrit précédemment.

4 LIENS ENTRE COOPÉRATION HOMME-MACHINE ET AIDE À LA DÉCISION

4.1 LES SIMILITUDES ENTRE COOPÉRATION ET DÉCISION

L'aide à la décision aborde globalement les mêmes notions que la coopération Homme-machine, c'est-à-dire la résolution d'un (ou plusieurs) problème(s), en proposant des outils d'aide au décideur (à l'opérateur). Ce dernier est plus ou moins impliqué dans tout le processus de résolution selon le degré d'automatisation choisi (modèle de l'opérateur humain, de résolution de problème, préférences des décideurs…). Le Tableau 3 montre pour les trois étapes de la résolution de problème, c'est-à-dire l'identification du problème, la construction des possibles et le choix de la solution, les notions abordées par la coopération Homme-machine, qui s'appuie sur les modèles de résolution de problème [Hoc et Amalberti ; Rasmussen] et les notions de l'aide à la décision. Ces notions sont d'ailleurs à peine différentes dans les termes employés. Cependant l'aide à la décision et la coopération Homme-machine, bien qu'abordant les mêmes notions, ne les abordent pas de la même manière. Ainsi l'aide à la décision répond au problème en apportant une solution opérationnelle en utilisant des méthodes mathématiques (théorie de la décision) ou informatique (SIAD) pour aboutir à une réponse permettant de résoudre le problème. La coopération Homme-machine, se base sur des modèles pour proposer des organisations qui vont favoriser la résolution du problème par les agents hommes ou machines. Elle est donc plus orientée vers l'organisation des agents qui vont résoudre le problème que vers sa résolution proprement dite. Ces deux domaines se complètent et vont permettre d'aller plus loin dans la réflexion sur la modélisation et la construction d'une solution.

TABLEAU 3 : NOTIONS ABORDÉES PAR DEUX MODÈLES ISSUS DE LA COOPÉRATION HOMME-MACHINE ET DE L'AIDE À LA DÉCISION.

Modèles de résolution de problème	Aide à la décision
détection, recherche d'informations et identification	Définition/modélisation plus ou moins formelle du problème selon les approches
interprétation des conséquences et évaluation des contraintes	Le choix des possibles et l'évaluation des conséquences ; construction de la base de faits pour les SIAD
choix d'une tâche, procédure et exécution	L'établissement des préférences et l'évaluation : le moteur d'inférence (SIAD), les probabilités (théorie de la décision)

Un autre point qui ressort de la présentation des approches de la décision est d'aider les décideurs à bien formaliser leur problème, en d'autres termes à bien en avoir conscience, ce qui

rappelle les approches de la conscience de la situation (il existe d'ailleurs une approche décisionnelle exposée notamment par Klein [1995 ; 1997]).

Pomerol [2006] parle de projection, de prévoir le futur, ce qui correspond au troisième niveau du modèle linéaire de la CS de Endsley (Figure 16). Tout comme pour la CS, Pomerol précise qu'il faut d'abord bien appréhender le présent et le passé, en d'autres termes, percevoir et comprendre la CS, avant d'établir la projection.

Dans les systèmes de supervision, l'aspect décision, aide, assistance à l'opérateur Humain de supervision sont également omniprésents. La nécessité d'aider l'opérateur pour bien comprendre le système et les nombreux paramètres est l'objectif de la supervision. Mais la supervision va plus loin en intégrant aussi des aides. On retrouve cette notion d'aide dans les modèles de conception (citons par exemple le cycle en U de Millot [1999]) qui emploi cette notion dans sa phase descendante de conception. La coopération Homme-machine et la supervision abordent la place de l'aide, l'aspect fonctionnel des aides avec les opérateurs et le système, mais ne définit pas le fonctionnement des aides. Les aspects de l'aide à la décision permettent de répondre à ces problèmes.

Toutes ces similitudes confortent le choix d'utiliser l'aide à la décision comme support pour la conception des outils d'aide coopératifs. Il est nécessaire d'aider l'opérateur à bien percevoir les informations, à bien les prendre en compte, à bien décider ainsi qu'à agir. Il devrait donc être plus aisé d'utiliser les modèles (opérationnels) de l'aide à la décision, pour exploiter les modèles (conceptuels) de la coopération et ainsi proposer des outils adaptés et coopératifs.

4.2 LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE AIDE À LA DÉCISION DANS LE CONTEXTE DES SYSTÈMES HOMME-MACHINE.

Billings [1991] énonce une liste de principes à prendre en compte pour la conception de systèmes d'automatismes centrés sur l'OH. Ces principes peuvent être considérés comme des caractéristiques que les outils d'aide doivent avoir. Debernard [2006, Billings 1991] considère les caractéristiques suivantes de ces systèmes d'aide, comme les plus importantes :

- **Si l'OH est responsable, il doit commander**. Si l'on part du principe que les automatismes ne sont pas infaillibles, il est nécessaire que les OHs puissent détecter les problèmes et corriger leur manifestation, donc avoir toute autorité sur les commandes.
- **Pour commander efficacement, l'OH doit être impliqué**. Il doit donc être actif et soit commander directement le procédé, soit gérer les systèmes auxquels le contrôle a été délégué.
- **Pour être impliqué, l'OH doit être informé**. Pour que le système soit commandable, il doit être observable. Il faut donc présenter les informations nécessaires pour soutenir et

renforcer la conscience de la situation des OHs, sans toutefois tomber dans l'excès inverse et le surcharger d'informations, parfois incompréhensibles.

- **L'OH doit pouvoir surveiller les automatismes**. Il doit disposer ou accéder facilement aux informations lui indiquant en temps réel le fonctionnement du système.
- **Le système doit être prévisible**. l'OH doit être capable de prédire le comportement du système. Il doit comprendre le système pour pouvoir détecter d'éventuels dysfonctionnements.
- **Les systèmes doivent être capables de surveiller les OHs**. Les OHs ne sont pas infaillibles non plus. Le système doit donc être capable de détecter une erreur, de la diagnostiquer et de la corriger. Il y a donc redondance.
- **Chaque élément du système doit être au courant des intentions de l'autre**. La surveillance mutuelle des agents (humains ou artificiels) ne peut se faire que si chacun de ces agents a connaissance des buts des autres agents.
- **Les fonctions ne doivent être automatisées ou soutenues que s'il y a une bonne raison de le faire**. Il faut veiller à conserver les OHs dans la boucle de contrôle et surtout maintenir une bonne conscience de la situation. L'automatisation systématique n'est pas favorable, elle doit être judicieusement mise en place afin de réellement aider l'opérateur et non le remplacer.
- **Les outils doivent être conçus de manière à être simples d'utilisation et d'un apprentissage aisé**. Les outils qui sont proposés peuvent fonctionner dans des domaines difficiles, fortement contraints. Les OHs peuvent être surchargés, fatigués, stressés… Les outils doivent donc être simples, clairs et rapides d'utilisation.

Pour concevoir un bon système coopératif, intégrant des outils d'aide efficaces et utiles pour l'OH, il semble important de suivre au maximum ces règles, ce qui pose de nombreux problèmes conceptuels et/ou techniques. En second lieu, il faut penser à bien intégrer les outils d'aide dans l'environnement de l'OH et dans son activité.

4.3 INTÉGRATION DES OUTILS D'AIDE

L'intégration des outils d'aide est une chose primordiale. Ces outils doivent venir s'intégrer dans les habitudes des OHs. Ils doivent donc posséder plusieurs qualités :

- **Facilité d'utilisation**. Dans la majorité des cas, les décisions devront être prises rapidement. Il est donc important que l'outil d'aide soit rapide à utiliser, que l'OH trouve rapidement comment obtenir la réponse qu'il recherche.
- **Clarté de l'information**. Dans la même idée, l'outil d'aide doit apporter une solution claire, précise, facilement compréhensible et exploitable par l'opérateur.

- **Cohérence de l'aide, de la solution**. Dans l'idéal, la solution proposée par l'outil d'aide à la décision doit être en adéquation avec les habitudes de travail des OHs. Ainsi, cela aura deux avantages : (*i*) faciliter la compréhension de la solution par les OHs, qui n'auront pas de longues (et coûteuses) analyses à faire pour comprendre ; (*ii*) éviter les conflits décisionnels entre les agents humains et le système.
- **Prise en compte de l'environnement**. Le ou les OH(s) n'ont pas que l'outil d'aide à gérer, et ont souvent de nombreuses tâches à exécuter. L'aide doit donc venir s'intégrer dans les habitudes de travail, dans la planification de l'activité... De plus, l'aide doit proposer des solutions cohérentes avec l'environnement de travail et le contexte du problème. Ainsi, si la situation est urgente et demande une intervention rapide, l'aide ne doit pas proposer une solution trop longue à mettre en œuvre.
- **Prise en compte de la dynamique de l'activité**. Les procédés, les systèmes ont une dynamique, un temps de réponse et il est important d'en tenir compte. Cette notion est fortement liée avec la notion précédente. La notion de « timing » du système doit être intégrée dans l'outil d'aide, tout comme la notion de risque (tant pour l'OH, que pour le système lui-même ou encore l'environnement)…
- **Prise en compte de la hiérarchie**. Cette notion peut paraître surprenante, mais à notre sens importante. En effet, les OHs sont soumis à une hiérarchie qui impose des règles, des protocoles, des performances et des rendements. L'outil d'aide à la décision doit, autant que possible et sans aller à l'encontre de la sécurité, prendre en compte ces points pour proposer une solution.

Ces différents aspects mettent en valeur l'importance d'une compréhension du métier des OHs que l'on souhaite aider, par les concepteurs, mais également tout l'environnement de l'entreprise, les règles de travail, les contraintes diverses, les autres utilisateurs… Toutes ces informations sont très importantes pour proposer un système d'aide mais ne sont pas toujours facilement accessibles et il convient de mettre en place une démarche cohérente et efficace pour recueillir ces informations.

5 DISCUSSIONS SUR L'AIDE À LA DÉCISION

5.1 OBJECTIFS

Ce chapitre a présenté les deux approches classiques de l'aide à la décision. Comme dans le premier chapitre, nous proposons une discussion sur les hypothèses prises par l'aide à la décision.

L'action est, en effet, souvent très étroitement liée à la décision : par exemple choisir sa direction à un carrefour et emprunter cette direction. Parfois même la décision et l'action se confondent,

quand la décision devient un acte à part entière comme par exemple dans le domaine de la justice, la décision d'un juge est un acte à part entière. Cependant, cette approche n'est pas toujours valable, pour tout un ensemble de raisons l'action ne peut pas toujours faire suite à une décision. Par exemple, le carrefour est encombré, il est impossible de tourner immédiatement, une voiture s'interpose je dois freiner… Tout un ensemble d'événements imprévus, ou nouveaux empêchent la mise en application de la décision et nécessitent souvent de repenser la décision, avant d'agir à nouveau. Cette partie s'intéresse à la place de l'action dans le cadre de la décision puis, en réintégrant la notion de conscience de la situation qui a fait l'objet de la discussion du chapitre 1, pour envisager une séparation plus franche entre décision et action.

5.2 ACTION ET AIDE À LA DÉCISION

L'aide à la décision ne s'intéresse qu'à un problème précis et unique, extrait de son contexte. Les paramètres, qui interviennent dans la décision, sont donc connus et définis, (par exemple : des durées opératoires, des temps de transit…).

Le modèle de décision qui concerne ce problème fait appel à ces paramètres qui sont directement liés à l'action, à la situation. Ces paramètres imposent donc un contexte précis dans lequel la décision est applicable et valable. Si le contexte change, les paramètres seront différents et la décision n'aura plus de sens. On peut parler de garantie nécessaire sur les paramètres, c'est-à-dire que dans ce contexte, les paramètres ne changeront pas. En dehors, il n'est plus possible de le garantir.

L'action est donc déterminée par la décision. Cependant, agir réclame des ressources, des compétences et de définir qui agit et sur quoi, mais les OHs peuvent ne pas être dans les bonnes dispositions pour y arriver. Le modèle de décision doit donc prendre en compte l'incertain, le risque, le danger, afin de permettre de maîtriser l'ensemble de la situation d'application de la décision, de prendre en compte les risques liées à la présence d'un OH. On parle ici de risques non pas en terme de danger nécessairement, mais en terme d'aléas possibles, comme la difficulté de compréhension, le temps nécessaire pour agir, le fait que l'OH soit occupé à autre chose…

L'autre problème est de savoir si l'action proposée par le système d'aide est réalisable, d'abord en termes de faisabilité technique, mais aussi en termes de temps à investir pour répondre au problème, de coût financier, humains, matériaux… L'action proposée doit aussi tenir compte de la dynamique de la tâche. L'action et la décision sont donc déterministes. Ils ne fonctionnent que dans un cadre déterminé et précis, avec des paramètres garantis, un contexte stable et connu.

Une autre façon de voir l'action dans l'aide à la décision serait de concevoir la décision comme une norme. Ainsi, on fixe un certain nombre de paramètres, de conditions d'applicabilité de la décision. La prévisibilité du résultat que la décision va fournir est ainsi accrue. Il est même possible de ce fait, de vérifier la normalité, la conformité de la solution en vérifiant que le

résultat produit est pertinent vis-à-vis des normes imposées par la décision. En termes d'action, ces normes, contraintes en quelque sorte, permettent de bien fixer les besoins pour mener à bien une action. Il est donc ainsi plus facile de dimensionner les besoins en termes de temps, de coûts, de matériels…

5.3 ACTION, AIDE À LA DÉCISION ET CONSCIENCE DE LA SITUATION

La notion de situation n'est pas toujours très bien définie dans le cadre de la CS, comme le montre la discussion du chapitre 1. La CS ne précise pas si la situation est globale ou focalisée sur le problème comme cela est le cas pour l'aide à la décision. S'il y a plusieurs situations, se pose le problème de bien positionner cette situation par rapport aux autres situations et au contexte. De ce point de vue, comment insérer la décision qui est unique et sur un contexte défini dans le cadre de la CS qui tend plutôt à étudier une situation plus large et plus vague ? Il faut donc bien définir, autant que possible, le cadre d'application (la situation) de la CS.

La conscience de la situation permet d'obtenir une projection : c'est le niveau 3 du modèle linéaire d'Endsley. Mais selon nous, la projection ne peut être l'étape finale de la CS. Rien ne garantit que la projection soit fidèle à la réalité. Il faut pouvoir prévoir cet aspect pour évaluer l'impact de la décision, prendre en compte les variations possibles entre la projection et la réalité. Il faut se placer après le niveau 3 et étudier la différence entre la projection et la situation qui se passe, pour pouvoir mesurer et prédire les écarts. Dans le contrôle aérien, par exemple, la projection que fait un contrôleur sur la position future d'un avion n'est valide que sous certaines conditions : si la météo change, si l'avion a un problème, cette projection ne se produira pas. Pour prendre en compte ces aléas, les contrôleurs évitent, d'une part de se projeter à trop long terme et d'autre part, introduisent dans leur modèle de décision une part d'incertitude qui va leur permettre d'anticiper ces possibles perturbations ou modification de la route prévue, projetée.

Un autre point concerne l'intelligibilité d'une décision. Si l'OH est le décideur, la décision sera probablement claire pour lui mais pas nécessairement pour un autre utilisateur. Cet aspect fait partie de la conception du modèle de décision qui doit tenir compte de ce point et de la clarté des informations transmises. Tsoukias [2006] évoque ce point dans le cadre de son processus d'aide à la décision dans la dernière étape. Ensuite, une fois la décision comprise, il faut évaluer si cette décision peut mener à une action réalisable. Il ne suffit pas que l'OH puisse la comprendre, il faut aussi qu'il puisse la mettre en œuvre et cela dans des conditions cohérentes avec le système et l'environnement. C'est le problème d'adapter la décision aux capacités et aux compétences de l'OH. Il faut intégrer les contraintes des OHs : le temps d'action, la charge de travail… Enfin, la décision doit aussi être cohérente avec la projection évoquée précédemment, d'où l'importance de pouvoir évaluer l'écart entre cette projection et la réalité. La décision doit

reprendre les mêmes contraintes que la projection en termes de temps, de précision, de zones d'action…

Si on se place dans le cas du contrôle aérien et d'une aide pour la résolution de conflit tel que le système STAR, les contrôleurs ne peuvent se projeter de manière exacte qu'à environ 3 minutes. Au-delà, ils sont difficilement capables d'évaluer, avec certitude, ce que sera la situation, car il y a trop de paramètres et trop d'incertitudes sur ces paramètres. Si STAR propose une solution qui a un horizon temporel de la longueur du conflit, c'est-à-dire la déviation initiale d'un vol et sa remise sur route (soit environ 15 minutes), celle-ci peut être inadaptée avec la projection que font les contrôleurs. Ils ne sont pas capables d'évaluer de manière exacte si la séparation est assurée et si la remise sur la route est fiable ou cohérente avec le trafic global.

Pour que l'action soit déterministe, et donc que de la décision découle une action, cela entraine beaucoup de contraintes pour assurer le respect des conditions prises en compte dans le processus de décision. Une autre idée pourrait donc consister à séparer volontairement la décision de l'action. C'est ce que propose la partie suivante.

5.4 VERS UNE SÉPARATION ENTRE DÉCISION ET ACTION

Les deux précédents points de vue considèrent que la décision conduit à l'action : l'action est le produit de la décision. Les parties précédentes montrent que cela n'est vrai que sous beaucoup d'hypothèses et de contraintes. Un autre point de vue pourrait être de séparer la décision de l'action, de considérer que l'action n'est plus déterministe. Séparer les deux permettrait de mieux étudier ce qui les relie, ce qu'il faut pour passer de la décision à l'action et ainsi mieux intervenir auprès des OHs, voire aussi pour éventuellement établir des marges permettant la mise en œuvre de l'action plus tardivement si le contexte évolue légèrement.

Dans cette hypothèse, l'OH devient donc la norme. L'OH sait faire des choses, il a des compétences, il sait gérer des situations imprévues mieux qu'un système automatisé. L'OH, par sa faculté d'adaptation et de réflexion, arrive à conserver le fonctionnement d'un système dans des normes acceptables. Il semble donc plus cohérent de concevoir des systèmes d'aide simples agissant d'une manière simple ou au moins parfaitement compréhensible et cohérente pour l'OH, sur des tâches courantes, répétitives, dans des situations normales de fonctionnement et, non nécessairement, essayer de produire un système d'aide complexe pour répondre à toutes les situations possibles (normales et anormales).

Ainsi, l'idée consiste donc à voir le système d'aide comme un ensemble d'outils simples, déterministes, fiables, compréhensibles et prévisibles. Ces outils vont agir sur des situations acceptables et répondant à des normes, des conditions de fonctionnement, garanties par l'OH. De cette manière l'outil d'aide va fournir également des solutions acceptables et compréhensibles. L'outil d'aide à la décision devient donc un outil de maîtrise, les autres tâches étant dédiées à

l'OH. De cette manière, l'OH sait que dans certaines situations l'outil va venir l'assister, il sait comment le système va réagir et il maîtrise la situation. L'OH a une bonne conscience des fonctions et des possibilités du système. Le système d'aide ne gère plus ce qui est indéterminé, variable ou imprévisible.

5.5 AIDE À LA DÉCISION ET MAÎTRISE DE LA SITUATION

Un exemple illustre facilement la notion et le besoin de maîtrise de la situation. Dans le cadre de la détection de conflit, dans le contrôle aérien, les contrôleurs sont demandeurs d'un outil de confirmation de présence d'un conflit (cela se retrouve dans les conclusions d'AMANDA V2). Il faut voir et ils voient cet outil comme une confirmation de l'idée qu'ils ont. Ainsi, ils continuent d'effectuer la détection, ce qu'ils savent très bien faire. Ils garantissent les conditions de validité du système d'aide en lui donnant les données à manipuler (les deux avions potentiellement en conflit). Le système vient confirmer, ou infirmer, le conflit en indiquant la distance de séparation minimale entre les deux avions (ce que le système sait assez bien faire). L'information transmise par le système d'aide est donc claire, compréhensible et prévisible. Ils vont avoir une distance de séparation entre les deux avions. Voilà un exemple typique d'outil d'aide simple qui va améliorer la maîtrise des contrôleurs sur le trafic. Ils vont avoir rapidement une confirmation de la présence ou non d'un conflit, ce qui va réduire considérablement leur temps de surveillance et d'analyse.

Les contrôleurs aériens sont donc un bon exemple de ce besoin de maîtrise. Un autre exemple concret réside dans leurs pratiques actuelles, ils mènent des actions afin de conserver cette maîtrise de la situation. Ainsi, par exemple, les contrôleurs vont donner des caps à deux avions qui se croiseraient avec une distance minimale de séparation comprise entre 5 et 15 NM, et donc au-dessus de la norme de séparation. Mais à cause des incertitudes sur la position future des avions, ils préfèrent se « rassurer », maîtriser la situation, en donnant un ordre en cap aux deux avions et ainsi garantir/fiabiliser la séparation. L'outil d'aide doit agir de cette manière : il doit fiabiliser des situations pour faciliter la maîtrise des contrôleurs.

6 CONCLUSIONS

Ce chapitre met en avant les liens entre la coopération Homme-machine et l'aide à la décision. La coopération Homme-machine donne des modèles, des formalismes, notamment pour définir la répartition des tâches entre les opérateurs ou le partage des informations entre les acteurs… L'aide à la décision intervient ici plutôt comme un guide pour la conception des aides qui seront fournies aux OHs.

Dans une première partie, une présentation est faite des modèles de la coopération Homme-machine qui aborde la notion de décision et d'aide à la décision. Le modèle de Rasmussen puis

celui de Hoc-Amalberti se basent tous les deux sur le niveau d'automatisation du système et la répartition des tâches entre les différents agents. La partie suivante expose les principes de la décision et du processus de décision. Deux approches sont développées dans ce document : la première, qui se base sur la notion de rationalité procédurale, concerne le processus de décision et la seconde, qui se base sur la reconnaissance de cas, s'intéresse aux systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD).

La partie suivante propose de faire le lien entre les modèles de la coopération Homme-machine et les approches de l'aide à la décision. Des similitudes apparaissent entre ces deux domaines. Ensuite, une liste de principes est donnée pour la conception des systèmes coopératifs intégrant un outil d'aide.

Enfin, la dernière partie fait écho à la discussion du chapitre 1 en présentant différents points de vue de la décision et de l'action. Un premier point de vue concerne le lien étroit entre la décision et l'action dans le cadre de l'aide à la décision telle que décrite dans ce chapitre. La deuxième s'intéresse à la place de l'action et de la décision dans le contexte de la conscience de la situation. Un troisième point propose de séparer décision et action afin de fournir des outils d'aide plus cohérents avec les pratiques des OHs. Le dernier point concerne le besoin de maîtrise de la situation, qui peut être amélioré grâce aux outils d'aide.

Ces deux derniers points montrent l'importance de focaliser l'aide sur des tâches facilement identifiables et où l'OH est capable de garantir la plage de fonctionnement du système et donc, où le système va répondre un résultat prévisible par l'OH. Ainsi, l'OH est conforté dans sa décision et augmente sa maîtrise sur le système et sur l'aide. Cette partie met en valeur le fait que des petites aides, parfaitement maîtrisables et compréhensibles par l'OH, peuvent être une façon très efficace de l'assister.

Ces deux premiers chapitres ont présenté les méthodes et outils qui existent dans le cadre à la fois de la coopération Homme-machine et de la conscience de la situation, mais aussi en termes d'outil d'aide et de prise de décision. Nous allons présenter dans le chapitre suivant une démarche qui doit permettre de recueillir un maximum d'informations afin de bien comprendre le travail des opérateurs que l'on souhaite aider. À la suite de cette étude, il sera possible de modéliser et développer ces outils d'aide.

CHAPITRE 3

PROPOSITION D'UNE DÉMARCHE POUR L'ANALYSE ET LA CONCEPTION DE SYSTÈMES D'AIDE À LA DÉCISION COOPÉRATIFS

1 INTRODUCTION

Les deux précédents chapitres ont présenté les outils et méthodes existants concernant la coopération Homme-machine et les outils d'aide à la décision et à la prise de décision. Une des conclusions principales de ces chapitres est l'importance de bien prendre en compte l'activité des opérateurs que l'on souhaite aider mais aussi l'environnement de ce dernier correspondant au système, aux autres opérateurs, à la pression temporelle, aux contraintes… Toutes ces informations ne sont pas toujours facilement accessibles, tout comme les fondements des décisions prises par les opérateurs. Certaines de ces décisions deviennent « automatiques » avec l'habitude et l'expérience et il est alors plus difficile d'expliquer pourquoi une action est réalisée. Pour ces raisons, une démarche visant à accéder à ces bases de la décision, tout en considérant l'environnement des OHs, est présentée. Cette démarche se compose de trois étapes :

- L'analyse du processus décisionnel pour identifier, globalement, comment l'opérateur prend ses décisions et ainsi permettre d'en construire un modèle.
- L'analyse des différentes décisions et étapes du processus décisionnel en utilisant notamment une méthodologie multicritère, permettant de prendre en compte différents paramètres et différents acteurs n'ayant pas nécessairement les mêmes façons de faire.
- Une méthode pour mener les entretiens nécessaires à l'acquisition des informations auprès des opérateurs et, ce, à partir du champ de questions proposé par la méthodologie. Cette méthode intègre un processus itératif visant à obtenir un maximum d'informations, tout en les capitalisant, au moyen d'un processus de revue et en opérant une validation, par le décideur, à chaque itération.

La démarche globale est présentée dans la première partie de ce chapitre.

2 PROPOSITION D'UNE DÉMARCHE D'IDENTIFICATION DE LA DÉCISION

La démarche présentée a pour objectif d'obtenir un maximum d'informations sur la manière dont les opérateurs décident, les différentes contraintes auxquelles ils sont soumis, l'environnement de travail… Accéder à toutes ces informations doit permettre de produire des systèmes d'aide à la décision plus performants, c'est-à-dire s'intégrant mieux dans l'activité des opérateurs, produisant des solutions en adéquation avec les pratiques de travail de ces derniers et évitant ainsi les conflits décisionnels entre agents. Répondre à ces critères permettra implicitement d'augmenter l'acceptation de l'outil par les opérateurs.

La démarche se compose de trois étapes (Figure 28). La première (a, Figure 28) concerne l'identification du processus décisionnel du ou des décideur(s)/OH(s). Il est fondamental de

comprendre la manière dont ils raisonnent et prennent des décisions pour pouvoir les aider. Cette première étape permet d'obtenir un modèle global de l'activité de décision des opérateurs.

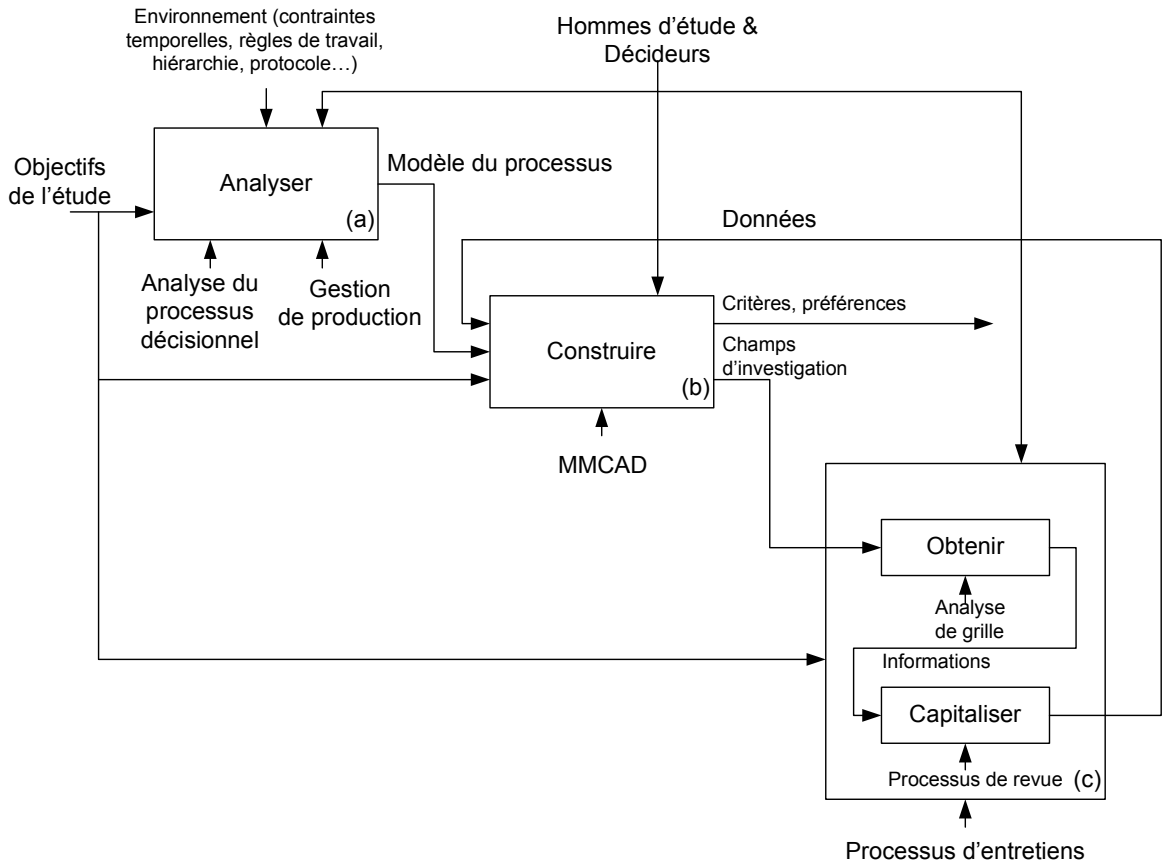


FIGURE 28 : SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA DÉMARCHE PROPOSÉE

À partir de ce processus décisionnel, on peut construire les différentes actions possibles pour répondre au problème, les critères permettant d'évaluer ces actions, puis accéder aux préférences que les décideurs manipulent. Pour cela la Méthodologie MultiCritère d'Aide à la Décision, MMCAD [Roy & Bouyssou, 1993 ; Roy, 1985] est utilisée (b, Figure 28). La MMCAD propose des champs d'investigation permettant d'accéder à ces éléments, pour aboutir ensuite à un modèle de préférence globale du décideur puis définir une recommandation répondant à la problématique de départ. Cette MMCAD sera utilisée pour chacune des étapes identifiées du processus décisionnel [Annebicque *et al.,* 2008*b*].

Établir la liste des critères et des préférences nécessite des entretiens avec les décideurs professionnels. Afin d'obtenir le plus d'informations possibles et, surtout, des informations pertinentes vis-à-vis du processus de décision, nous avons fait le choix d'utiliser la technique d'analyse de grille [Kelly, 1955] (c, Figure 28). L'analyse de grille est un outil de support aux entretiens et correspond à l'aspect opérationnel de la MMCAD. L'analyse de grille est une technique d'entretien semi-guidée qui va « forcer » le sujet à s'interroger et aller plus loin que « l'évidence », à expliciter de manière plus précise sa façon de prendre des décisions et d'agir.

L'analyse de grille permet aussi de mettre en valeur des échelles de préférences en fonction des critères obtenus. Chacun de ces outils va maintenant être décrit.

3 ANALYSE SYSTÉMIQUE DU PROCESSUS DÉCISIONNEL

Quand l'objectif est d'intervenir sur un système complexe pour prendre une décision, par exemple dans le but de ramener le système dans un mode de fonctionnement normal, il n'apparaît pas raisonnable de l'aborder d'une façon monolithique, mais plutôt comme un ensemble de décisions élémentaires mises en relation. Il faut donc essayer de décomposer la décision globale en un ensemble de décisions cohérentes. Chaque décision élémentaire sera décrite du point de vue de ses objectifs et des ressources, tant humaines que matérielles, nécessaires à son accomplissement. De même, une description des relations entre les décisions élémentaires doit être détaillée.

La gestion de production s'intéresse aux entreprises et aux processus de fabrication. Trois niveaux fondamentaux sont pertinents (planification, ordonnancement et commande). Cette représentation en trois niveaux peut être suffisante pour décomposer la décision globale. Le contenu de ces trois derniers niveaux est le suivant :

- planification ou niveau stratégique, c'est la prévision à long terme de l'activité et des besoins économiques ;
- ordonnancement ou niveau tactique, c'est la prévision à court terme qui consiste à gérer et planifier les différentes tâches précédemment établies ;
- commande ou niveau opérationnel, c'est le temps réel, l'accomplissement des tâches selon l'ordonnancement précédemment établi.

Cependant il est possible de transposer ces modèles dans le cadre d'autre systèmes peut être moins industrielles, mais produisant du service. C'est par exemple le cas du contrôle aérien où la production a pour but de fournir un service aux avions et à leurs passagers, autrement dit la gestion du trajet de l'aéroport de départ à l'aéroport de destination dans les meilleures conditions possibles. Crévits [1996] a montré que la gestion de production peut très bien s'appliquer à ce domaine. Dans le cadre du contrôle aérien et pour les contrôleurs, le long terme correspond à une vingtaine de minutes avant le secteur, c'est-à-dire dès la réception du plan de vol par le CO. À partir de ce moment, le CO est en mesure de détecter un éventuel conflit. Pour être plus exact, le CO élimine les avions qui ne seront pas en conflit avec certitude, les autres avions restant sous surveillance afin d'affiner la détection. Le moyen terme, l'ordonnancement, correspond à l'arrivé à proximité du secteur de l'avion. Le CO peut affiner sa détection et éventuellement agir en amont. Enfin la commande, l'aspect opérationnel dans le secteur, soit une

dizaine de minutes avant un conflit, correspondant au laps de temps où le CR va analyser la situation, choisir une stratégie de résolution et la mettre en œuvre.

Ce modèle semble adapté, notamment, dans le cadre applicatif qui concerne ces travaux. Le découpage en trois points, stratégique, tactique et opérationnel, est retenu pour définir le processus décisionnel global. Une fois ce découpage effectué, il convient de passer à la deuxième étape de la démarche afin d'identifier chacune de ces trois décisions élémentaires avec un outil multicritère.

4 ANALYSE MULTICRITÈRE DES DÉCISIONS

4.1 DÉCISION MONOCRITÈRE OU MULTICRITÈRE

La deuxième étape s'intéresse à la structuration de chaque décision élémentaire. La grande variété des systèmes de valeurs intervenant dans les décisions a orienté l'étude vers le cadre général de la Méthodologie MultiCritère d'Aide à la Décision (MMCAD). Chaque décision élémentaire est abordée selon les concepts formalisés d'action potentielle, de critère et de préférence inhérents à cette méthodologie.

Il semble cohérent qu'une décision humaine ne soit pas systématiquement monocritère [Bouyssou, 1993 ; Vincke, 1989 ; Roy, 1985]. Comment résumer le choix d'un décideur, un Homme, à une seule caractéristique ? Comment se rendre d'un point A à un point B en voiture, sans aucune autre consigne ? Plusieurs critères sont possibles : le trajet le plus court en distance ou en temps, la fluidité, l'état de la route, les conditions climatiques… Le choix pourrait bien sûr se résumer à un seul critère : le plus rapide en temps. Mais en réalité, notre décision sera le plus souvent un compromis entre tous ces critères.

Cependant, le côté « réaliste » de l'aspect multicritère ne doit pas être le seul argument en sa faveur. Pour Bouyssou, le choix d'une démarche multicritère relève plus d'un « acte de foi » consistant à croire que l'emploi de plusieurs critères aura un rôle positif dans la modélisation du processus de décision. Il cite trois arguments qui doivent, selon lui, permettre de se forger une conviction [Bouyssou, 1993].

- Dans la majorité des processus de décision, il est possible d'extraire plusieurs axes de signification concrets et communs aux différents intervenants, permettant de définir leurs préférences [Roy, 1985]. Les critères peuvent être bâtis à partir de ces axes de signification. Ils correspondent à une modélisation de la partie stable de la perception du problème par les différents intervenants.
- Construire plusieurs critères va permettre d'introduire les notions d'incertitude, d'imprécision, de mauvaise définition. Il est possible de mettre en place des techniques

plus simples et plus efficaces pour prendre en compte ces phénomènes que dans le cadre d'une méthodologie monocritère.

- Enfin, construire plusieurs critères, c'est admettre que la décision peut n'être qu'un compromis entre plusieurs objectifs et entre les préférences de plusieurs intervenants.

En effet, une décision est rarement l'acte isolé d'une seule personne ; par exemple, le chef de l'état décide avec ses conseillers, le patron d'une usine consulte ses différents directeurs de service, le chef de famille interroge sa famille pour prendre la « bonne » décision. La décision devient donc multicritère et multi-individu [Bouyssou, 1993 ; Vincke, 1989]. Le problème consiste donc à trouver la solution qui va répondre à l'ensemble des critères et des préférences de l'ensemble des participants à la décision, prendre en compte leurs avis, souvent différents, parfois complémentaires, parfois contradictoires. Il faut donc trouver un **compromis** et pour le modéliser, il est nécessaire de définir comment chaque critère sera modélisé et comment les préférences de chacun des intervenants face à chacun de ces critères vont influencer la décision. Enfin, il faut choisir une méthode d'agrégation des préférences qui va permettre d'établir le modèle de préférences et d'établir le compromis.

4.2 MÉTHODOLOGIE MULTICRITÈRE D'AIDE À LA DÉCISION - MMCAD

Il existe de nombreuses méthodes pour répondre à un problème de choix multicritère. L'objectif de ce mémoire n'est pas d'évaluer si telle ou telle méthode est meilleure mais de proposer une démarche permettant d'accéder aux éléments manipulés par des décideurs. Le choix s'est donc porté sur la Méthodologie MultiCritère d'Aide à la Décision (MMCAD) de Roy, en se basant sur la notoriété de cette méthode et l'expérience que nous en avons au sein de l'équipe [Roy & Bouyssou, 1993 ; Roy, 1985]. Les décideurs sont appelés« intervenants ou acteurs », car ils interviennent de façon plus ou moins importante et jouent un rôle dans la décision finale.

La MMCAD se décompose en quatre niveaux (Figure 29, Annebicque *et al.*, 2007*a* d'après Roy, 1985). Chaque niveau est composé d'une série d'interrogations, poussant le concepteur d'une aide à la décision à approfondir chaque point et à essayer d'extraire le maximum d'informations pertinentes. Chaque niveau est maintenant détaillé.

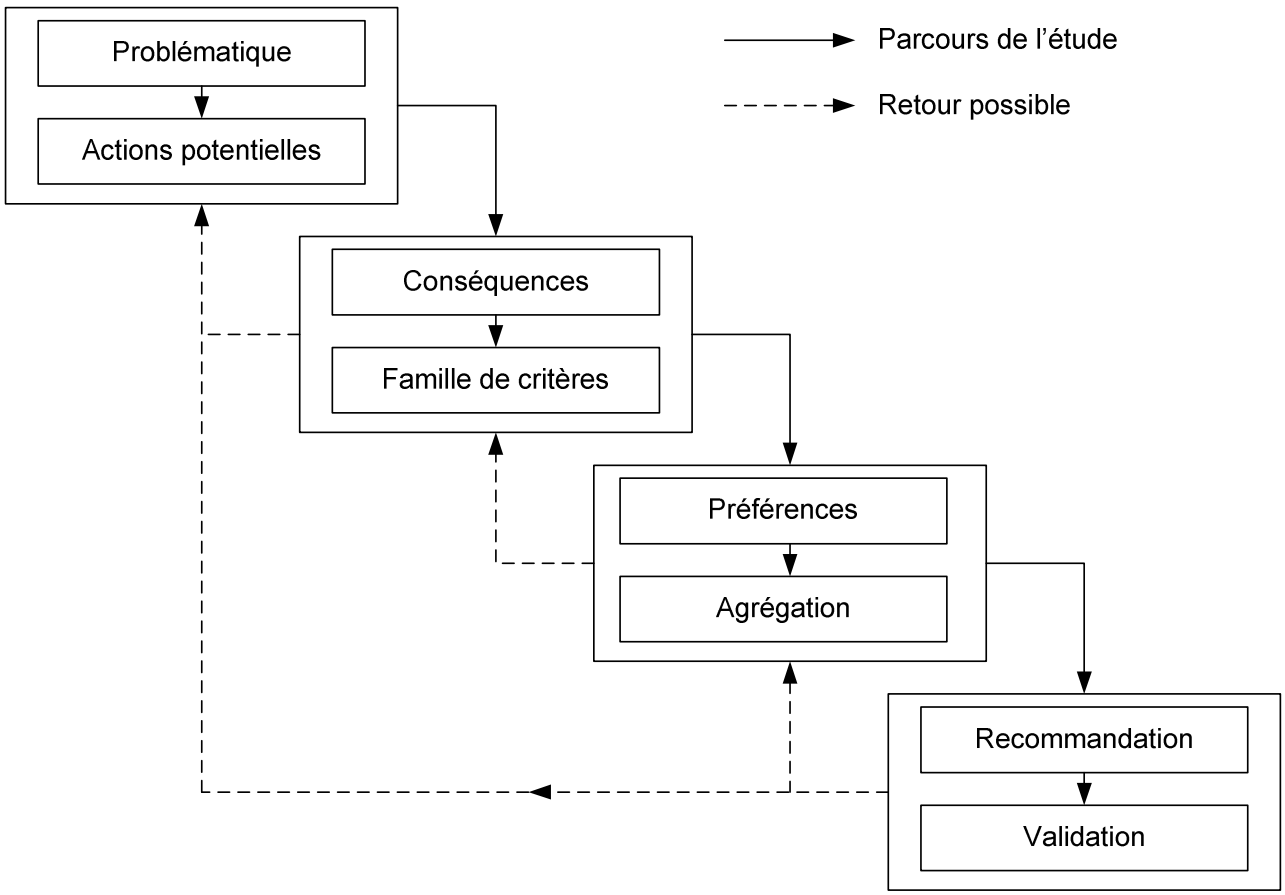


FIGURE 29 : SCHÉMA DE SYNTHÈSE DE LA MÉTHODOLOGIE MULTICRITÈRE D'AIDE À LA DÉCISION [ANNEBICQUE *ET AL.*, 2007*A* D'APRÈS ROY, 1985].

4.2.1 NIVEAU 1 : OBJET DE LA DÉCISION ET ESPRIT DE LA RECOMMANDATION

> « Sous quelle forme convient-il de modéliser la décision ? Comment différencier les diverses possibilités d'action ? Où placer la frontière entre ce qui est possible et ce qui ne l'est pas ? Dans quel esprit élaborer les modèles ? »[8]

L'objectif de ce niveau est de bien positionner et identifier le problème. Ceci va permettre d'identifier et de construire les possibles manipulés par les acteurs. Ces possibles, aussi appelés **actions**, sont toutes les possibilités d'agir, de répondre aux problèmes. De cet ensemble d'actions sera extrait l'ensemble des **actions potentielles** qui sont une vision partagée par tous les acteurs de la décision. Une fois cet ensemble d'actions potentielles construit, la **problématique** doit être étudiée. Cette étude consiste à choisir une des quatre problématiques possibles : le choix (choisir la « meilleure » action potentielle), le tri (trier les actions potentielles en fonction de groupes non hiérarchisés), le classement (classer les actions potentielles en fonction de catégories ayant un ordre) et, enfin, la description (décrire la problématique). Le choix de la problématique va orienter la recherche de la « meilleure » action potentielle répondant au problème.

[8] Exemple d'interrogation à avoir [Roy & Bouyssou, 1993]

4.2.1.1 La notion d'action

Le décideur, utilisant un système d'aide à la décision, attend, de la part de cet outil, une ou plusieurs actions. L'action est la concrétisation de la solution du système d'aide, c'est une éventualité d'agir sur la décision globale. Par exemple une action peut être un site de construction, le tracé d'une autoroute, l'acceptation d'un dossier, un plan.... Une action est définie dans la MMCAD par :

---

*Une action (notée **a**) est la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale susceptible d'être envisagée, en fonction de l'état d'avancement du processus de décision. Cette action peut être envisagée de façon autonome et servir de point d'application de l'aide à la décision [Roy, 1985].*

La notion d'autonomie de l'action abordée dans cette définition signifie que l'action peut être vue de manière isolée des autres. Il convient d'essayer de déterminer, pour l'Homme d'étude, quand une action sera applicable ou non. Pour cela, il est donc important d'identifier une action de manière indépendante des autres afin de mettre en valeur tous les aspects qui la différencient des autres.

Rien ne contraint dans cette définition l'applicabilité ou la faisabilité d'une action. À ce stade, la MMCAD se veut suffisamment permissive pour permettre de définir des actions irréalistes et irréalisables. En effet, il semble intéressant de les évoquer afin de cerner l'intégralité du problème. Évoquer tous les cas de figure, même les plus improbables, n'est pas inutile afin de bien prendre conscience de l'ampleur de la problématique. À partir de cette idée, Roy distingue plusieurs types d'actions [Roy, 1985] :

- les actions **réelles** sont issues d'un projet totalement défini et sont susceptibles d'être mises en application ;
- les actions **fictives**, opposées aux actions réelles, sont des actions qui sont idéales dans le cadre d'un projet non encore totalement défini ;
- les actions **réalistes** sont des actions dont il est tout à fait possible d'imaginer une mise en application ;
- les actions **irréalistes** sont, *a priori*, impossibles à réaliser. Elles sont l'objet de compromis impossibles ou improbables. Néanmoins, ces actions irréalistes sont un bon support pour la décision et la discussion qui en découle.

La construction de ces actions peut être **fragmentaire** ou **globale**. Une action est dite globale si son choix exclut toutes les autres possibilités. Par exemple, acheter une voiture neuve, exclut le fait d'acheter les autres voitures. Dans le cas contraire, si une autre action est aussi envisageable, on parle alors d'une action fragmentaire.

Ces deux notions sont importantes car elles vont définir le niveau de précision à apporter à l'étude. Il y a donc deux façons de concevoir les actions :

- Conception globalisée dans laquelle chaque action est globale. Dans ce cas de figure, l'action porte souvent le nom d'alternative, car le choix d'une action exclut les autres.
- Conception fragmentaire dans laquelle chaque action est fragmentaire ; l'action n'est qu'un fragment d'alternative non formalisée.

4.2.1.2 Construction de l'ensemble des actions potentielles

Une fois les actions réelles ou fictives, réalistes ou irréalistes, construites, il faut établir la liste des actions potentielles. La définition d'une action potentielle est la suivante :

Une action potentielle est une action réelle ou fictive provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins ou présumée telle par l'homme d'étude en vue de l'aide à la décision ; l'ensemble des actions potentielles sur lequel l'aide à la décision prend appui au cours d'une phase d'étude est noté $\mathcal{A}$ [Roy, 1985].

L'ensemble des actions potentielles est donc un sous ensemble des actions possibles. Les actions sont des possibilités d'agir propres à chacun des acteurs de la MMCAD en fonction de la problématique. Les actions potentielles sont construites de telle manière qu'elles soient valables et envisageables par tous les acteurs. Les actions potentielles représentent donc une vision collective des intervenants à l'étude.

C'est à partir de ces actions potentielles que l'aide à la décision va pouvoir s'appliquer. L'ensemble $\mathcal{A}$ des actions potentielles n'est considéré comme définitivement délimité, c'est-à-dire fixe ne variant plus, que s'il répond aux deux conditions de stabilités suivantes :

- Stabilité interne : la phase d'étude, compte-tenu de sa conception interne, n'est pas de nature à remettre en cause la définition de l'ensemble $\mathcal{A}$. La MMCAD peut donc s'appuyer sur un ensemble $\mathcal{A}$ considéré comme imposé et n'a donc pas à prendre en compte d'éventuelles révisions.
- Stabilité externe : L'ensemble $\mathcal{A}$, compte-tenu du contexte extérieur, est relativement stable. De ce fait, la MMCAD peut prendre appui sur un ensemble $\mathcal{A}$ susceptible d'une définition exhaustive durable. La MMCAD ne doit donc pas prendre en compte un éventuel caractère transitoire de $\mathcal{A}$.

Il existe cependant des motifs de révision de l'ensemble $\mathcal{A}$:

- La frontière entre les actions retenues pour former $\mathcal{A}$ et les autres est déterminée avec une part arbitraire qui justifie une révision. Cette révision, si elle est systématique, peut même être un trait dominant de la MMCAD.

- ❖ L'ensemble $\mathcal{A}$ choisi se révèle insuffisant ou incomplet et il est nécessaire de rechercher d'autres actions. Il faut donc revenir au processus de création des actions.

La MMCAD permet donc, sous certaines conditions, de revenir sur l'ensemble des actions potentielles. Ce retour est également possible pour chaque phase de la méthodologie. Il permet de refléter plus précisément les données manipulées par le décideur. La MMCAD offrant un champ de questions peut déceler et faire déceler de nouveaux aspects que le décideur ou l'Homme d'étude n'auraient pas envisagés dans un premier temps. Dans le cadre des actions potentielles, ces « nouveautés », si elles correspondent à une des deux conditions ci-dessus, peuvent être intégrées dans l'étude pour une évaluation.

4.2.1.3 Les problématiques de l'aide à la décision

La MMCAD propose quatre types de problématiques. Chaque problématique oriente l'aide vers une direction précise. Le choix de la problématique doit guider les recherches et le questionnement de l'Homme d'étude. Les quatre problématiques sont : le **choix** (noté α), le **tri** (β), le **rangement** (γ) et la **description** (δ). Le Tableau 4 synthétise ces quatre problématiques [Roy, 1985].

TABLEAU 4 : SYNTHÈSE DES QUATRE PROBLÉMATIQUES DE LA MMCAD [ROY, 1985]

Problématique	Objectif	Résultat
α	Éclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final d'une seule action, ce sous-ensemble contenant les « meilleures » actions (*optimums*) ou, à défaut, des actions « satisfaisantes » (*satisfecums*).	Un choix ou une procédure de sélection
β	Éclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie ; les catégories étant définies *a priori* en fonction de normes ayant trait à la suite à donner, aux actions qu'elles sont destinées à recevoir.	Un tri ou une procédure d'affectation
γ	Éclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie (les « plus satisfaisantes ») des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément aux préférences.	Un rangement ou une procédure de classement
δ	Éclairer la décision par une description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences.	Une description ou une procédure cognitive

- **Problématique de choix P.α**

La décision consiste à choisir la « meilleure » solution parmi un ensemble de solutions possibles. La notion de « meilleure » dépend des préférences et critères de chacun et ne correspond pas nécessairement à une solution optimale d'un point de vue mathématique.

Le but de cette recherche est d'arriver à un sous ensemble $\mathcal{A}'$, de l'ensemble $\mathcal{A}$, très réduit et dans le cas idéal, un ensemble composé d'une seule action. Ce seul élément s'appelle l'*optimum*. Dans le cas contraire où $\mathcal{A}'$ contient plus d'un élément, ces éléments sont appelés *satisfecums*, tous ces éléments satisfaisant le problème.

- **Problématique de tri P.β**

Le but de cette problématique consiste à trier les actions potentielles en fonction de catégories. Il y a situation de tri quand, par exemple, plusieurs dossiers pour un appel d'offre sont analysés (les plus rentables, les plus écologiques, les plus rapides…). Il y a aussi une situation de tri, quand des étudiants passent un examen, le critère étant les notes obtenues…

Le tri consiste donc à affecter chacune des actions potentielles de $\mathcal{A}$ dans une et une seule catégorie en fonction des caractéristiques des actions potentielles et des spécificités des catégories. Chaque catégorie est clairement définie et sa définition n'est pas nécessairement liée aux autres catégories, mais dépend du problème. En fonction de la catégorie retenue pour répondre à la problématique, le décideur aura accès aux actions potentielles correspondantes.

- **Problématique de rangement P.γ**

La problématique de rangement ou de classement, consiste à ranger les éléments avec un ordre décroissant. Chaque élément de $\mathcal{A}$ se voit attribuer un rang. Les éléments sont ainsi classés du plus favorable au moins favorable. En d'autres termes, la problématique de classement peut s'apparenter à une problématique de tri, dans laquelle les catégories auraient toutes un ordre précis.

Il n'est pas nécessaire de classer tous les éléments de l'ensemble $\mathcal{A}$, dans la mesure où seul le premier groupe (le plus favorable) sera considéré comme satisfaisant. Il peut être intéressant de ne chercher que les actions potentielles entrant dans la première catégorie. Deux actions peuvent bien sûr avoir le même rang, si aucune donnée ou information ne permet de les départager.

- **Problématique de description P.δ**

Cette problématique est un peu particulière car elle ne vise pas explicitement à apporter une solution à un problème mais à décrire un problème, afin que le demandeur puisse comprendre et appréhender les actions possibles sur un système par exemple, avec toutes les conséquences

qu'elles pourraient avoir. La description doit donc être aussi complète et rigoureuse que possible.

La problématique de description est souvent intégrée dans les trois premières problématiques. Une bonne description du problème, des actions potentielles et de leurs conséquences est un point de départ important pour mener à bien une étude complète visant à apporter un résultat. Toutefois, distinguer la description des trois autres est préférable car une bonne description est une partie de la réponse attendue par le décideur.

4.2.2 NIVEAU 2 : ANALYSE DES CONSÉQUENCES ET ÉLABORATION DES CRITÈRES

> « En quoi, sous la forme où elle a été modélisée, la décision conditionne-t-elle l'évolution du processus ? Quelles sont les conséquences des décisions possibles susceptibles d'interférer avec les objectifs et systèmes de valeurs d'un intervenant quel qu'il soit ?...» [Roy & Bouyssou 1993]

Le deuxième niveau vise à définir les éléments par lesquels les décideurs évaluent les actions potentielles. Les actions sont vues en termes de **conséquences élémentaires** dans l'hypothèse qu'elles soient mises en œuvre. Autrement dit, pour chacune des actions potentielles identifiées dans le premier niveau, l'ensemble des **conséquences** qu'elles pourraient avoir sur la problématique et l'environnement de l'étude, est déterminé. Cet ensemble de conséquences doit être le plus complet possible. Le système de valeur mis en place par les acteurs n'étant pas directement accessible et appréhendable, la notion de **dimension** est introduite. Les dimensions permettent de formaliser l'impact des conséquences sur le problème selon les différents décideurs. Pour chaque conséquence élémentaire, un ensemble de dimensions est construit. Enfin, en se basant sur cet ensemble de dimensions, les **critères** sont construits afin d'évaluer les actions potentielles. Ces critères synthétisent, pour toutes les conséquences élémentaires, les ensembles de dimensions définis par les acteurs.

4.2.2.1 Conséquences élémentaires

Les actions potentielles sont évaluées en fonction des conséquences qu'elles peuvent induire sur le problème et les objectifs, si elles sont mises à exécution. La définition de la conséquence dans le cadre de la décision multicritère est la suivante :

Tout effet ou attribut de l'action a *susceptible d'interférer avec les objectifs (ou la stratégie) ou avec le système de valeurs d'un acteur du processus de décision en tant qu'élément primaire à partir duquel il élabore, justifie ou transforme ses préférences, est appelé une conséquence de l'action* a. *[Roy, 1985]*

Notons que les effets évoqués dans cette définition peuvent être différents en fonction de l'acteur considéré. Pour une personne, ces effets peuvent être négligeables, pour une autre

personne les effets seront importants. De ce fait, Roy [1985] préfère parler de nuage de conséquences plutôt que d'un ensemble de conséquences, pour bien signifier le flou relatif qu'il peut y avoir dans l'énumération des conséquences, noté par la suite $g(a)$ pour une action a de l'ensemble A.

Il est donc difficile d'établir ce nuage $g(a)$ pour chacune des actions potentielles. L'Homme d'étude doit mettre en place des modèles afin de pouvoir appréhender les conséquences, le nuage de conséquences pour toutes les actions de l'ensemble A, mais aussi pour tous les intervenants dans le problème, que ces conséquences soient minimes ou majeures. Cependant de cette étude résulte généralement des conséquences dites élémentaires [Roy, 1985].

Lorsque l'ensemble des acteurs sont d'accord sur la signification d'une conséquence et sur le résultat qui en découle après l'exécution de l'action a attachée à cette conséquence, celle-ci est dite conséquence élémentaire et notée c. Les conséquences élémentaires sont un sous ensemble du nuage de conséquences $g(a)$. L'objectif de l'Homme d'étude est d'obtenir un maximum de conséquences élémentaires et donc de conduire une investigation supplémentaire afin de :

- Préciser exactement le sens de la conséquence ;
- Définir les termes (ou états) dans lesquels « on » parle de cette conséquence.

Une fois la liste des conséquences construite, il faut les évaluer avec un système de valeurs, appelé dimension.

4.2.2.2 Dimensions

Les conséquences des actions de A sont donc vues selon un ensemble de dimensions. La définition de la notion de dimension est la suivante :

Une dimension est une conséquence élémentaire c telle que l'ensemble des états qui lui est associé soit doté d'un pré-ordre complet (au sens mathématique), qui est en fait une échelle. [Roy, 1985]

Pour chaque conséquence élémentaire construite précédemment, une dimension est définie. Cette dimension est un ensemble d'états, de valeurs, qui sont classés. L'ensemble des dimensions des conséquences élémentaires forme l'ensemble des dimensions qui répond aux quatre caractéristiques suivantes :

- Chacune des dimensions est bien identifiée et les acteurs en comprennent la signification ;
- Chacune des dimensions se voit associer une **échelle de préférence**. Les différents échelons de l'échelle sont choisis de manière à refléter un ordre complet pour tous les acteurs ;

- Chacune des dimensions se voit associer un **indicateur d'état**, qui associe à chaque action a de A, un sous ensemble de l'échelle de préférence associée. Ce sous ensemble contient les échelons de l'échelle de préférence qui se réaliseront si l'action a est exécutée ;
- Chacune des dimensions d'une action a se voit associer un **indicateur de dispersion**, permettant d'apprécier la vraisemblance des échelons si a est exécutée.

Les conséquences de l'exécution d'une action a sont donc définies par ces dimensions. Un modèle, $T(a)$, permet de caractériser ces conséquences. Ce modèle se compose pour chaque dimension d'une action a de l'indicateur d'état et de l'indicateur de dispersion. La construction de ce modèle répond à trois principes :

- Le principe **d'intelligibilité**. Les composantes de $T(A)$ cernent de façon directe les conséquences telles que les acteurs les conçoivent ou sont aptes à les comprendre, en relation avec leurs préférences.
- Le principe **d'universalité** implique que les composantes de $T(A)$ soient rattachées à des dimensions reflétant ce qu'il y a de fondamental et d'unanime dans les jugements de préférence ayant trait aux actions de A.
- Le principe **de fiabilité** $T(A)$ fait explicitement apparaître le degré de fiabilité (précision, signification, zone de valeur…) de ses composantes principales, en fonction de l'action a considérée.

Maintenant que l'ensemble des dimensions des conséquences élémentaires est défini, il est possible de construire les critères qui sont une synthèse de ces dimensions, permettant de différencier les actions.

4.2.2.3 Critères

Un critère est un élément sur lequel, le modèle/l'aide se base pour évaluer, apprécier, trier ou encore choisir une action (au sens large de la notion). Pour choisir une voiture, il est possible, par exemple, d'utiliser un critère de performance, de prix, de style…

Le critère se base sur le modèle $T(a)$ défini précédemment et qui prend en compte les conséquences d'une action et son ensemble de dimensions. Mais ce modèle et les conséquences ne trouvent pas nécessairement le même écho chez l'ensemble des décideurs/acteurs. Le critère est donc une fonction qui va permettre de synthétiser les conséquences et les dimensions selon le point de vue d'un acteur.

Pour chaque action de A, le but est de définir une fonction réelle g de telle manière que deux actions de A puissent être comparées. Roy [1985] introduit la notation S, qui est une relation

binaire permettant d'évaluer les dimensions des deux actions. Il existe donc une relation S qui permet de modéliser la comparaison entre deux actions a et a' de telle manière que :

$$g(a') > g(a) \Rightarrow a' S_g a.$$

L'enjeu est donc de construire les critères de telle manière qu'ils représentent, aussi fidèlement que possible, les préférences d'un acteur, en fonction des conséquences, des dimensions et des actions établies. Au final, un critère correspond à une catégorie de conséquences, relativement homogènes entre elles.

4.2.3 NIVEAU 3 : MODÉLISATION DES PRÉFÉRENCES, AGRÉGATION DES PERFORMANCES

> « Parmi la variété (généralement grande) qui s'offre pour définir des critères, comment sélectionner celui (analyse monocritère) ou ceux (analyse multicritère) qui permettent d'appréhender « au mieux », en vue d'une aide à la décision, la totalité des conséquences ? Comment convient-il, dans le cas d'une analyse multicritère, d'agréger les performances d'une action sur les divers critères pour la déclarer bonne ou mauvaise, meilleure ou pire qu'une autre ?...» [Roy & Bouyssou, 1993]

À ce niveau, les actions potentielles sont vues par l'intermédiaire de l'ensemble des critères construits. Ces derniers étant des fonctions numériques, le terme de performance désigne la valeur de l'action sur l'ensemble des critères. L'objectif est ici de structurer l'organisation des critères entre eux. La signification individuelle de chacun des critères ou de chacune des valeurs au sein d'un critère est abandonnée pour faciliter la structuration de la signification globale. La décision est vue comme le respect d'un ensemble de préférences du décideur. L'idée d'agrégation doit être ici entendue dans son acceptation la plus large. Les techniques de sommes pondérées sont, par exemple, une forme d'agrégation ramenant l'ensemble des préférences à un critère unique de synthèse.

4.2.3.1 Préférences

De la comparaison des actions potentielles vont naître des préférences. Ces préférences proviennent des acteurs de l'étude qui ont des attentes, des exigences et qui vont les formuler sous la forme d'une série de préférences vis-à-vis des actions potentielles. Roy [1985] propose de modéliser ces préférences par des relations binaires, Tableau 5, et distingue quatre situations de préférence : les notions d'**indifférence (I)** ou d'**incomparabilité (R)**, et la décomposition de la notion de préférence en **préférence stricte (P)** et **préférence faible (Q)**.

TABLEAU 5 : MODÉLISATION DES 4 SITUATIONS DE PRÉFÉRENCES DANS LA COMPARAISON DE DEUX ACTIONS POTENTIELLES [ROY & BOUYSSOU, 1993 ; ROY, 1985].

Situation	**Définition**	**Relation binaire**
Indifférence	Correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une équivalence entre les deux actions.	I : relation symétrique réflexive
Préférence stricte	Correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une préférence significative en faveur de l'une (identifiée) des deux actions	P : relation asymétrique (irréflexive)
Préférence faible	Correspond à l'existence de raisons claires et positives qui infirment une **préférence stricte** en faveur de l'une (identifiée) des deux actions mais ces raisons sont insuffisantes pour en déduire soit une **préférence stricte** en faveur de l'autre, soit une **indifférence** entre ces deux actions (ces raisons ne permettent donc pas d'isoler l'une des deux situations précédentes comme étant la seule appropriée).	Q : relation asymétrique (irréflexive)
Incomparabilité	Correspond à l'absence de raisons claires et positives justifiant l'une des trois situations précédentes.	R : relation symétrique irréflexive

L'acteur va donc comparer les actions de $\mathcal{A}$ deux à deux et définir pour chaque paire d'actions une relation de préférence. Ainsi à la fin de cette phase de comparaison, chaque action sera évaluée par rapport aux autres, grâce à une relation de préférence issue du Tableau 5.

4.2.3.2 Agrégation des performances

La dernière étape avant la recommandation est l'agrégation des préférences. À partir de l'ensemble des préférences restreintes (dépendantes d'un seul critère) défini précédemment, l'objectif est ici de déterminer un modèle de préférence globale en relation avec l'ensemble $\mathcal{A}$ des actions potentielles et de la problématique définie (tri, rangement, choix ou description).

La première étape de l'agrégation des préférences consiste souvent à établir le tableau des performances [Bouyssou & Roy, 1993]. Ce tableau est une matrice comprenant en colonne les actions $\mathcal{A}$ et en ligne les critères g. A chaque intersection est inscrite la valeur de $g_j(a_i)$: la valeur du critère g pour l'action a de $\mathcal{A}$. Les seuils de cette fonction peuvent aussi être précisés dans le tableau de performance.

L'étape suivante consiste à interpréter ce tableau de performances et à agréger ces performances. Il existe deux approches majeures pour cette agrégation : résumer les critères en un critère unique de synthèse ou par des méthodes de surclassement.

- **Critère unique de synthèse** :

Une première façon de faire consiste à agréger les performances à l'aide d'une fonction mathématique qui va résumer ces performances en un seul critère. Cette approche implique que toutes les performances soient comparables selon une même échelle de valeur. Vincke nomme cette approche **théorie de l'utilité multi-attribut**. Il existe une bibliographie complète de cette théorie dans les ouvrages de [Vincke, 1989 ; Roy, 1985]. Les reproches majeurs faits à ces méthodes sont la suppression de toutes les nuances des différentes performances ainsi que la compensation induite par certaines méthodes (sommes pondérées notamment) [Bouyssou & Roy, 1993 ; Roy, 1985]. Cependant ces méthodes sont parfois utiles, suffisantes, voire les seules applicables [Schärlig, 1985].

Il existe, par exemple, la méthode MAUT (*Multiple Attribute Utility Theory*) qui présente la particularité de considérer d'abord chaque critère comme une fonction d'utilité pour ensuite les intégrer dans une fonction d'utilité plus globale [Abdellaoui & Gonzales, 2006].

- **Méthode de surclassement** :

Les méthodes de surclassement présentent des avantages lorsque les critères sont hétérogènes et qu'il est difficile de les ramener à une même échelle de valeur. Cette méthode va permettre de plus, d'éviter l'effet de compensation comme peut l'induire l'agrégation par un critère unique, tout en permettant une incomparabilité entre des performances/préférences. Les méthodes de surclassement introduisent les notions de seuil et de véto. Une relation de surclassement :

- n'est pas forcément complète ;
- n'est pas forcément transitive ;
- ne fournit pas un rangement, ou un ordre de toutes les actions ;
- est réflexive.

Il y a généralement deux étapes dans les méthodes de surclassement. La première étape est la création de la relation de surclassement et la seconde étape est son exploitation par rapport à la problématique choisie.

La relation $a \, S \, b$ est valable si [Roy, 1985] :

- Il y a concordance, c'est-à-dire qu'il y a une majorité des critères qui sont concordants avec $a \, S \, b$, c'est-à-dire que a est au moins aussi bonne que b.
- Il n'y a pas de discordance (des raisons importantes de refuser l'affirmation). Autrement dit, aucun des critères non concordants ne permet de réfuter $a \, S \, b$.

Ces deux notions permettent de prendre en compte les seuils des différents critères, ces seuils pouvant être incertains ou imprécis. Le principe d'incomparabilité est aussi pris en compte, ainsi que la notion de véto. Le véto est un écart maximum entre l'appréciation de a et de b au-dessus duquel la relation $a\ S\ b$ n'est plus valable. Citons quelques-unes de ces méthodes : PROMETHEE, ELECTRE [Bouyssou, Marchant, Perny, 2006 ; Roy, Bouyssou, 1993], qui se basent sur le surclassement.

4.2.4 NIVEAU 4: PROCÉDURES D'INVESTIGATION, ÉLABORATION DE LA RECOMMANDATION

> « Comment tirer parti du travail qui a été fait aux niveaux précédents pour fournir des réponses, voire élaborer une recommandation ? Quelles procédures de traitement mettre en œuvre ? Comment analyser les résultats pour en tirer des conclusions ?...» [Roy & Bouyssou, 1993]

Il se peut que les résultats des niveaux précédents soient suffisants pour permettre une conclusion définitive. Dans le cas contraire, le niveau quatre concerne la conception et la mise en œuvre de procédures d'acquisition et de traitement de l'information. Lorsque ces procédures sont automatisables, le niveau quatre se rapproche des concepts du logiciel. Ainsi, des aspects algorithmiques peuvent être évoqués. Il faut ici entendre cette notion plus largement que dans le secteur du logiciel. Les références ne sont pas ici que les techniques d'analyse et les langages informatiques mais également les formalismes utilisés en mathématique de la décision. Ainsi, le choix de la programmation linéaire peut s'imposer sur un aspect du processus décisionnel, tout comme une base de données peut s'imposer dans la conception d'une application informatique. Les questions relatives à la communication des résultats aux décideurs humains sont également abordées dans ce niveau. Cette question est particulièrement importante dans le contexte décisionnel car les décideurs ne sont pas en mesure de comprendre les procédures automatiques. Dès lors, il convient de se pencher sur l'insertion des procédures automatiques dans le processus de décision en vue de favoriser une appropriation des outils par les utilisateurs. L'ajustement de procédures humaines peut être alors nécessaire. Mais cette problématique peut être vue comme la définition de modalités d'utilisation des outils. Le champ des réflexions de la coopération Homme-machine constitue un complément indispensable au quatrième niveau de la MMCAD, en vue d'une bonne intégration des résultats dans un référentiel commun par exemple.

4.3 RELATION ENTRE PROCESSUS DÉCISIONNEL ET MMCAD

La décomposition du processus décisionnel en trois niveaux conduit à étudier trois décisions. La MMCAD est donc appliquée à chaque niveau, pour définir trois familles de critères et trois systèmes de préférences, ainsi que la façon dont ces systèmes se combinent entre eux.

La structuration des relations entre les niveaux s'appuie sur ces familles de critères et ces systèmes de préférences. Les décisions s'affinent depuis le niveau stratégique jusqu'au niveau opérationnel. Cet affinement s'exprime dans les critères et préférences mis en œuvre au sein de chaque niveau. Les familles de critères et les systèmes de préférences doivent être mis en correspondance afin d'identifier les relations. Afin d'améliorer l'exhaustivité de la définition des critères et des préférences, il est judicieux d'étudier les niveaux indépendamment les uns des autres et de les structurer au moyen de la MMCAD, puis d'étudier les relations entre les niveaux d'abstraction.

Les conclusions de chacune des décisions élémentaires doivent également faire l'objet d'une synthèse globale. En effet, les décisions élémentaires doivent être communiquées sous une forme cohérente afin d'être parfaitement interprétées par les personnes impliquées. Cette mise en cohérence tire avantage des réflexions des niveaux 4 et ce niveau 4 pourra être global aux trois niveaux de l'étude.

5 ANALYSE DE GRILLE

5.1 INTRODUCTION

La MMCAD fournit un champ de questions et d'investigations qui doit servir de guide pour la recherche d'informations mais la MMCAD ne précise pas comment obtenir ces informations et comment exploiter le champ de questions. Nous proposons donc, dans le cadre de notre démarche, l'utilisation d'une analyse de grille qui va être le support pour le recueil d'informations.

Cette troisième étape s'intéresse donc aux décisions opérationnelles prises par les décideurs. Les notions structurantes de la MMCAD sont identifiées auprès d'opérateurs/décideurs par l'intermédiaire d'entretiens. Il existe généralement plusieurs personnes aptes à répondre aux questions. Le cadre général de ces entretiens est donné par la technique d'analyse de grille qui s'avère donc particulièrement adaptée dans le contexte des décisions multicritères.

5.2 OBJECTIFS

Afin d'améliorer l'insertion des outils proposés dans les décisions des opérateurs, l'étude doit nécessairement s'intéresser à la réalité de la pratique des décisions prises par ces opérateurs. Pour ce faire, les critères et les préférences des opérateurs doivent être identifiés dans les différentes étapes du processus décisionnel. Du point de vue de la MMCAD, cette identification émerge d'une réflexion poussée concernant les actions potentielles.

A cette fin, nous avons fait le choix de recourir à la technique de l'analyse de grille. Cette technique est issue de la théorie des « construits personnels » développée par le psychologue Georges Kelly dans les années 50 [Kelly, 1955]. Elle permet d'identifier la représentation

mentale d'une personne, représentation qui se construit au cours du temps et qui détermine la vision du « monde » et le comportement de cette personne. Cette représentation est aussi appelée « construit ». Pour arriver à cela, Kelly fait l'hypothèse que tous les Hommes sont des scientifiques et il définit un scientifique comme un observateur capable d'élaborer des concepts ou des plans, ce qu'il nomme **construit**. Ces construits sont utilisés pour effectuer des projections. Dans la théorie de Kelly, les construits sont en constante évolution. En effet, la liste est donnée par l'individu de manière assez libre, ce qui lui laisse le choix de ne choisir que certains construits. De plus, l'interprétation des construits peut évoluer dans le temps. Néanmoins Kelly précise que l'étude des construits se rattache toujours à un contexte, un environnement et que dans ce cas-là, les sens possibles et la liste des construits, sont des paramètres avec une plage de variation relativement faible et maîtrisable.

L'analyse de ces construits permet de cerner la personnalité de l'individu. Les construits choisis, l'ordre dans lequel ils sont donnés, les attributs et les pondérations permettent d'établir une « carte » du construit décisionnel du sujet. Pour faciliter l'obtention de ces construits, Kelly propose une représentation graphique. Celle-ci prend la forme d'une matrice et porte le nom d'analyse de grille (*repertory grid* ou encore grille répertoire). Cette grille permet d'évaluer le poids des construits, la distance entre deux construits, par rapport à des éléments définis.

Cette technique s'avère bien adaptée au contexte de l'aide multicritère à la décision centrée sur l'homme, car elle manipule des notions similaires et produit un résultat aisément transférable en modèles formels.

5.3 PRINCIPE DE L'ANALYSE DE GRILLE

Cette partie décrit comment, en pratique, se passe un entretien avec une analyse de grille comme support. Cette méthode amène à comparer des « éléments » (différents événements, actions, états ou entités). Pour ce faire, la méthode va « forcer » le sujet à s'interroger et ainsi à établir une liste de construits, encore appelés **attributs**, aussi exhaustive que possible. Les construits sont divisés en deux groupes : les **similarités** et les **contrastes**. Chacun des couples de construits (similarités/contrastes) sera ensuite évalué, pondéré, en fonction des différents éléments de la grille. Les éléments, les construits et les pondérations vont ainsi représenter la carte de la « représentation du monde » du sujet.

5.3.1 LES ÉLÉMENTS

La forme standard manipulée par une analyse de grille est une matrice (Grille 1). Les colonnes regroupent les éléments. Ces éléments peuvent provenir soit de l'étude et sont alors les mêmes pour tous les individus, soit le sujet propose ou complète la liste. Dans tous les cas, une fois la grille complétée, il est possible d'évaluer un élément supplémentaire avec les construits définis.

La contrainte est que le nouvel élément soit de même nature que ceux pour lesquels les construits sont déjà définis.

Pour un exemple classique comme l'achat d'une maison, les éléments sont définis par le futur acheteur qui dresse une liste des biens potentiellement intéressants, mais cette liste peut aussi être fournie par une agence immobilière. Dans tous les cas, à la fin de sa démarche, l'acheteur ou l'agence peut proposer d'autres biens et les évaluer par l'intermédiaire de la même grille et des mêmes attributs.

GRILLE 1 : FORME CLASSIQUE POUR LA REPRÉSENTATION D'UNE ANALYSE DE GRILLE

	Element 1	Element 2	Element 3	…	Element n	
Similarité 1	1	2	3			Contraste 1
Similarité 2	4	5	1	Pondérations		Contraste 2
…	…	…	…			…
Similarité n	3	2	4			Contraste n

Attributs (gauche) — Attributs (droite)

5.3.2 LES ATTRIBUTS

Les lignes portent les attributs. Les attributs sont divisés en deux pôles. Le premier pôle correspond aux attributs de similarité et le second aux attributs de contraste, généralement placés respectivement à gauche et à droite. Les attributs sont obtenus en interrogeant le sujet. Il existe deux façons de procéder. Soit le sujet établit d'abord toutes les similarités (la colonne de gauche) puis les contrastes. Il est aussi possible de procéder ligne par ligne, c'est-à-dire la similarité, puis son contraste et ensuite la ligne suivante... Les deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients. La première permet de se détacher de la proposition et de ne pas donner systématiquement un contraire. La seconde présente l'avantage de rester sur le même sujet, sans trop s'en éloigner. La difficulté de cette méthode est d'obtenir le contraste. La logique veut que le sujet donne spontanément le contraire de sa proposition. Or le contraste n'est pas (forcément) le contraire, mais une nuance négative/opposée de la proposition.

Pour établir la liste des construits, il existe plusieurs méthodes. La plus courante est la méthode des « triades » qui consiste à prendre les éléments par trois et à se demander ce que deux éléments ont en commun que le troisième n'a pas. La liste des similarités et des contrastes est ainsi obtenue en bouclant sur tous les éléments, jusqu'à ce que le sujet n'ait plus d'information à apporter à l'analyse

Ainsi, pour l'exemple de l'achat d'une maison, une liste d'attributs pourrait être le prix, le confort… Ces termes n'ont pas de sens précis. Ils sont trop flous et il faut donc les faire préciser par le sujet ce qui est du ressort de l'interviewer. Le prix pourrait devenir une fourchette de prix acceptables, le confort pourrait être un certain nombre d'options indispensables (garage, proximité des commerces…). La liste des construits augmente donc de cette manière, mais elle devient aussi plus précise et pertinente. Pour obtenir le contraste, les réponses vont être par exemple trop cher, inconfortable… Là aussi, l'interviewer ne doit pas se contenter de ces réponses, mais les faire préciser. Un prix trop élevé n'a pas réellement de sens non plus, si les services ne sont pas les mêmes ; de même pour l'inconfort. Mais pour le sujet, l'inconfort peut être la distance de l'école, le bruit de la rue, etc.

C'est à l'Homme d'étude de relancer le questionnement du sujet pour obtenir autant de précisions que possible (et nécessaire). C'est un exercice qui demande beaucoup de spontanéité pour l'interviewer et une bonne connaissance du domaine pour pouvoir relancer le sujet, qui dans un cas d'application industriel sera un expert du domaine.

5.3.3 LES PONDÉRATIONS

Enfin, la dernière étape consiste à définir les pondérations. À l'intersection d'une ligne (construits) et d'une colonne (éléments) se trouve la pondération donnée par le sujet qui représente comment le sujet applique ou évalue un construit par rapport à un élément. Le rôle de l'interviewer est de faire expliciter le choix par le sujet sans l'influencer. Les pondérations doivent vraiment représenter ce qu'il ressent quand il compare un élément avec les deux construits.

Il est possible d'utiliser 5 pondérations : 1, 2, 3, 4 et 5, ou bien 9 (Figure 30). Utiliser une pondération en 5 états évite une trop grande dispersion, alors qu'une pondération en 9 états permet une plus grande finesse dans le jugement, mais provoque une plus grande dispersion, donc des réponses plus nuancées. Il peut être d'usage de reconsidérer les pondérations et les attributs par la suite pour vérifier qu'elles correspondent toujours à ce que le sujet veut exprimer. Dans le cas de 5 pondérations, les niveaux sont les suivants :

- « 1 » si l'élément est proche de la notion évoquée par l'attribut de similarité, « 5 » s'il est proche de l'attribut de contraste ;
- « 2 » si l'élément est proche de la notion évoquée par l'attribut de similarité, mais d'une façon moins prononcée que pour la valeur « 1 », « 4 » pour le contraste ;
- « 3 » si l'élément n'est proche d'aucun des deux attributs. Un « 3 » signifie que le sujet ne peut pas ou ne sait pas évaluer l'élément en fonction des deux attributs.

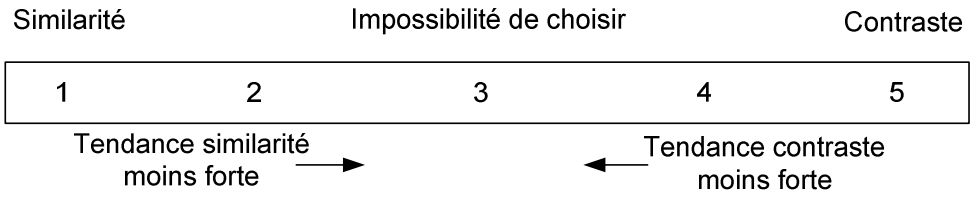


FIGURE 30 : EXEMPLE D'ORGANISATION D'UNE PONDÉRATION À 5 NIVEAUX

5.4 EXEMPLE D'APPLICATION ET D'INTERPRÉTATION

Cette partie présente un exemple de grille. Cette grille est traduite d'un exemple d'utilisation fourni avec le site et le logiciel *Webgrid 5*[9]. Il est possible de trouver de nombreux exemples dans des domaines variés, comme par exemple un cas d'application chez Boeing par [Gaines & Shaw, 1993], ou dans le domaine du web [Gaines & Shaw, 1997], ou encore pour évaluer les connaissances des enseignants [Björklund, 2005].

La grille présentée Grille 2 concerne le choix d'une voiture[10]. La première remarque sur l'utilisation de la grille est que les éléments comparés (les colonnes) doivent être de même nature. Dans cet exemple, toutes les voitures sont sensiblement de la même catégorie. Il n'est pas question de comparer une petite berline avec une sportive de luxe, la grille ne fournirait pas des résultats pertinents.

Ensuite les attributs sont donnés par le client (celui qui cherche à acheter la « meilleure » voiture), selon la technique des triades (comparaison de deux éléments par rapport à un troisième). Les similarités sont établies, puis les contrastes.

Ensuite, les pondérations sont établies. Une échelle de 5 est utilisée. Une huitième voiture est ajoutée, correspondant à la voiture idéale selon le client. Assez logiquement, les pondérations ne sont que des 1 ou des 5, c'est-à-dire que la préférence est très clairement soit du côté du contraste, soit du côté de la similarité.

[9] Logiciel et exemple disponible : http://gigi.cpsc.ucalgary.ca [Valide en novembre 2009]

[10] Le choix de l'exemple est volontairement très simple et parlant pour une grande majorité des personnes. Rares sont ceux qui utiliseront une grille pour choisir une voiture, néanmoins, il est possible d'identifier des similitudes avec « notre » façon de choisir.

GRILLE 2 : EXEMPLE DE GRILLE "CHOIX D'UNE VOITURE" [WEBGRID 5]

	Ford Festiva	Honda Civic	Volkswagen Golf	Subaru Justy	Toyota Tercel	Nissan Sentra	Hyundai Excel	Voiture idéale	
Consommation importante	5	1	3	3	4	1	2	5	Faible consommation
Fort coût d'utilisation	3	2	4	3	5	4	1	5	Faible coût d'utilisation
Faible fiabilité du moteur	5	5	4	3	3	1	2	5	Grande fiabilité du moteur
Grande usure des freins	3	3	5	5	1	3	2	5	Faible usure des freins
Terne et ennuyeuse	4	1	3	5	5	3	4	5	Chic et élégante
Confortable	2	3	5	1	4	4	1	1	« Cahoteuse »
Bruyante	4	4	3	5	2	1	3	5	Silencieuse
Grande gamme de couleurs	1	2	2	3	5	1	4	1	Peu de couleurs disponibles

L'étape suivante correspond à l'analyse de la grille. Il existe des méthodes graphiques pour l'analyser. Le logiciel *Webgrid* en propose deux principales : la représentation à base de dendrogramme (ou regroupement en cluster) et l'Analyse en Composante Principale (ACP).

Le dendrogramme, ou cluster (Figure 31), consiste à regrouper ensemble des éléments ayant des pondérations similaires ou relativement proches. Le meilleur choix est l'élément ou le cluster d'éléments qui a le plus haut score. Dans le cas présent, la *voiture idéale* et la *Ford Festiva*, sont regroupées. Viennent ensuite la *Subaru Justy*, puis *la Honda Civic*… La *Hyundai* et la *Toyota* sont regroupées ensemble et sont les moins bonnes selon les critères présents.

Cette représentation permet aussi de mettre en valeur les attributs importants pour le choix, selon les réponses du sujet. Sur le même principe que pour les éléments, les attributs sont regroupés en cluster. Les éléments importants sont donc le confort et le silence de la voiture, ainsi que, dans un degré un peu moindre, la qualité du moteur et la faible consommation. Le choix des couleurs ou le style sont les moins importants avec la qualité des freins, qui ne semblent pas pertinents ou non appréhendables par le sujet. L'analyse met en valeur que le style passe avant le prix de revient kilométrique de la voiture. L'analyse des attributs peut être pertinente pour sélectionner un modèle, ou pour un vendeur, conseiller les clients.

La seconde représentation possible est l'Analyse en Composantes Principales (ACP), Figure 32. Ce graphique permet de regrouper les éléments et les attributs ensembles. Chaque quart du graphique présente un groupe (attributs, éléments) qui sont liés (selon les pondérations de la grille). Ainsi par exemple, la *voiture idéale* ou la *Subaru Justy* sont considérées comme peu

consommatrices de carburant, avec un style agréable, un coût kilométrique raisonnable et un bon confort de conduite…

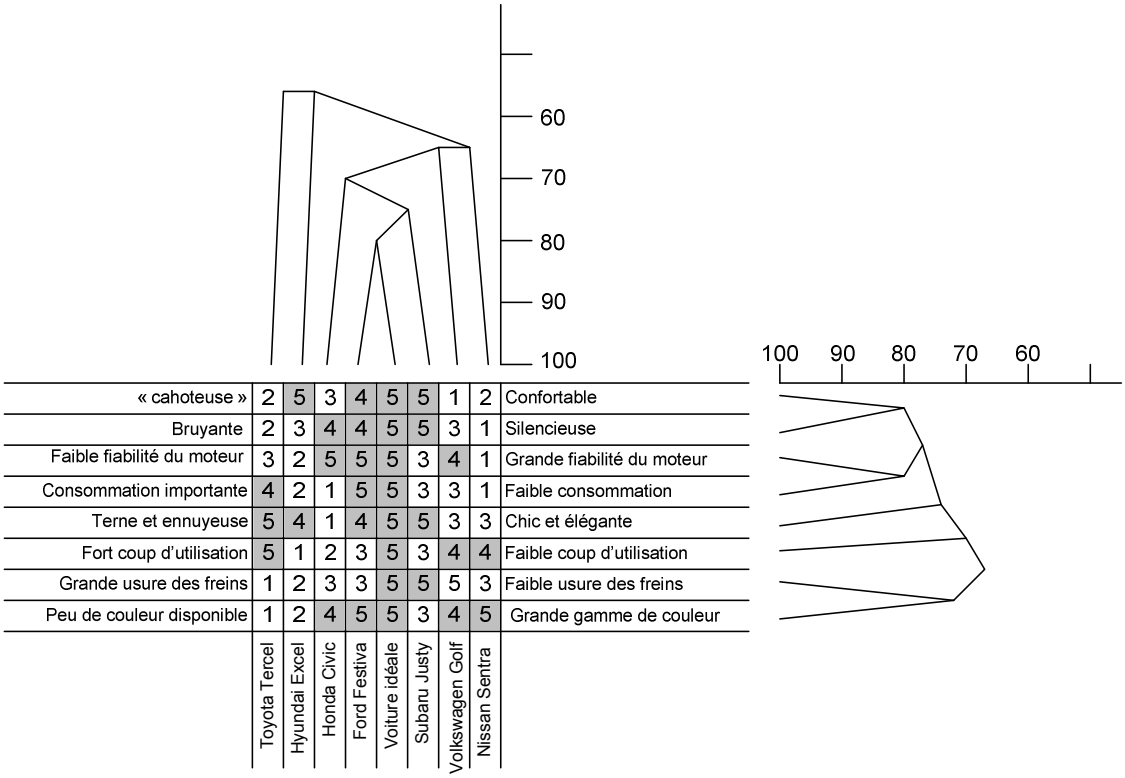


FIGURE 31 : REPRÉSENTATION SOUS FORME DE DENDROGRAMME OU CLUSTER (D'APRÈS WEBGRID 5)

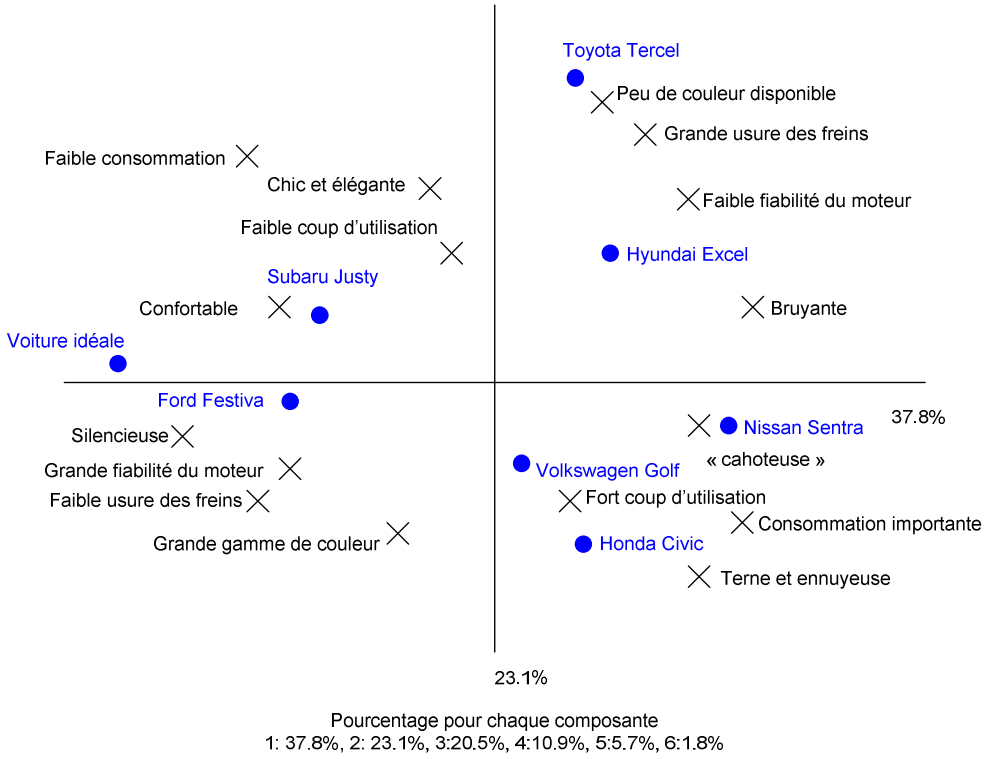


FIGURE 32 : REPRÉSENTATION GRAPHIQUE UTILISANT L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (D'APRÈS *WEBGRID 5*)

Ces deux représentations permettent donc de mettre en valeur les préférences du futur acheteur. La première représentation permet même un classement par ordre d'importance des critères, les attributs. Il est ainsi possible d'identifier les points importants que la voiture ou un système doit comporter pour répondre aux attentes du sujet ou de l'opérateur. La seconde représentation permet un regroupement entre critères et éléments. Cette représentation permet l'identification rapide des éléments qui répondent à tels ou tels critères en fonction du regroupement affiché.

5.5 RELATION ENTRE ANALYSE DE GRILLE ET MMCAD

Cette partie présente comment s'imbrique la méthode d'analyse de grille, avec la méthodologie de Roy et le processus décisionnel. La partie 4.3 expose le fait qu'il doit y avoir autant de MMCAD que de niveaux dans le processus décisionnel, donc trois MMCAD. L'analyse de grille qui se positionne comme un support opérationnel à la MMCAD sera donc dans le même cas, et il y aura donc au moins une grille par niveau du processus décisionnel. Il peut éventuellement y avoir plus de grilles si le problème le justifie et s'il y a plusieurs types d'éléments manipulés pour un niveau du processus décisionnel. Il faut donc établir comment la MMCAD et l'analyse de grille peuvent s'imbriquer et si les objets[11] manipulés sont de même ordre entre les deux méthodologies. Deux questions se posent dans les relations entre l'analyse de grille et la MMCAD.

La première question porte sur les notions structurantes inhérentes à ces deux orientations. Il s'agit d'établir des relations entre éléments, construits et pondérations d'une part, et actions potentielles, critères et préférences d'autre part. Dans le contexte de l'analyse de grille, les éléments constituent un ensemble de représentants du monde dans lequel l'individu évolue dans le contexte de l'étude qui est menée sur lui. Ces éléments vont être qualifiés au moyen des attributs de similarité et de contraste. Pour la MMCAD, les actions potentielles représentent des projets sur lesquelles un jugement est porté dans l'objectif de les utiliser dans une décision, c'est-à-dire dans une action future. Les actions potentielles sont caractérisées par les critères. Plus précisément, ces derniers constituent le système par lequel les actions potentielles sont évaluées. Il est donc possible d'établir un lien entre élément et action potentielle, ainsi qu'entre construit et critère. Les pondérations, quant à elles, permettent dans l'analyse de grille de caractériser, selon différents degrés, un élément relativement à l'un ou l'autre des attributs de similarité et de contraste. Pour la MMCAD, les préférences témoignent de l'importance accordée aux actions potentielles en vue d'en retenir un nombre réduit, lesquels constitueront la décision. Les actions sont ici représentées par les critères. Les préférences constituent donc la façon dont les critères, pris individuellement ou collectivement, permettent de départager les actions

[11]Objets au sens d'actions potentielles, critères et préférences pour la MMCAD, et éléments, attributs et pondérations pour l'analyse de grille.

potentielles. La MMCAD semble donc plus profonde que l'analyse de grille sur ce point. Cependant, l'analyse de grille compare les éléments pour construire une cartographie, alors que la MMCAD construit un modèle pour comparer des actions potentielles. La grille, une fois élaborée, peut donc tout à fait être utilisée comme outil de décision. Ainsi, un attribut peut être utile pour départager deux éléments. Le principe fondamental commun aux deux démarches est la comparaison. Du point de vue de la différenciation, les échelles de valeurs utilisées comme pondération permettent de différencier les degrés de caractérisation des éléments. Cette différenciation réside également dans la MMCAD qui manipule deux niveaux de préférence, appelés stricte et faible, ainsi que l'indifférence.

La seconde question est d'ordre méthodologique, c'est-à-dire la façon dont les notions sont prises en considération à l'intérieur de chaque orientation. La construction d'une grille n'impose pas d'ordre pour utiliser les notions. La technique des triades valorise la comparaison des éléments. Mais le principe de comparaison peut être utilisé pour faire exprimer des éléments sur la base des attributs. La MMCAD par contre aborde ses notions dans un ordre précis, même si des aller-retour sont possibles. Le point de départ de la MMCAD concerne les actions potentielles. Sur la base des actions potentielles, les critères sont ensuite élaborés. Enfin, les préférences sont exprimées.

La MMCAD offre un niveau de précision plus important que l'analyse de grille. Ainsi, les actions potentielles peuvent être qualifiées de plusieurs façons. Lorsqu'elles correspondent à un projet directement applicable, elles sont dites réelles, dans le cas contraire elles sont dites fictives. De telles actions fictives, bien qu'exclues du champ des possibles, sont utiles pour souligner un aspect de la décision. Ainsi, il est possible que des actions potentielles ne puissent être suffisamment différenciées. L'introduction d'actions fictives peut amener de nouveaux points de vue par lesquels les actions potentielles peuvent être caractérisées. Notons que, dans la MMCAD, la différenciation des actions relève des critères et non des préférences. Les actions fictives, en permettant d'affiner ou de compléter l'étude des possibles, constituent alors un moyen de stimuler l'analyse du problème pour lequel une décision est produite. Il en va de même pour la différenciation entre action réaliste et action irréaliste. Ces types d'action, en sortant du champ de l'applicable, offrent une possibilité de porter un jugement sur l'application des actions. Par ailleurs, les critères représentent la forme finalisée par laquelle les actions potentielles sont évaluées. Les actions potentielles sont caractérisées par leurs conséquences. Ces conséquences deviennent des dimensions lorsqu'une échelle de valeurs leur est ajoutée. Enfin, un critère est une forme synthétique appréhendant un sous-ensemble de conséquences. Par ailleurs, la MMCAD offre une liberté dans le choix des échelles de valeurs. Celles-ci peuvent être différentes, alors que les pondérations de l'analyse de grille ont toutes la même échelle de valeurs.

En conclusion, au regard des similitudes et des différences, la MMCAD et l'analyse de grilles constituent deux démarches proches. La différence réside donc ailleurs. En effet, la MMCAD relève d'une démarche de production d'un résultat orienté vers l'action car elle vise à produire un modèle opérationnalisable et exploitable de façon automatique par une machine. Aucune place ne peut donc être laissée à l'ambiguïté. La MMCAD s'inscrit dans le contexte des sciences pour l'ingénieur. Par sa forte orientation mathématique, ce contexte s'appuie sur une expression formelle dans un souci de précision et d'universalité. La MMCAD n'est pas associée à un guide méthodologique. Cependant, la précision des notions qu'elle manipule introduit un ordre dans lequel le problème est abordé.

Pour sa part, l'analyse de grille relève d'une démarche de description (d'un état mental). Elle s'inscrit dans le contexte des sciences humaines. Le langage naturel est utilisé, ce qui ne permet pas d'éliminer toute ambiguïté. L'analyse de grille dispose de guides méthodologiques stimulant l'émergence et l'explicitation (la technique des triades notamment). Dans le contexte de l'aide à la décision, les deux approches ne s'opposent pas. Au contraire, une utilisation conjointe est profitable à l'étude des décisions. C'est particulièrement pertinent dans le contexte du contrôle de trafic aérien qui constitue un univers où cohabitent déjà considérations humaines et techniques.

L'analyse de grille est donc adaptée pour obtenir les informations nécessaires pour exploiter la MMCAD. Cependant il convient d'intégrer les grilles dans un protocole d'entretien bien défini. Pour cela nous proposons un processus itératif d'entretien, composé donc de plusieurs entretiens et d'un processus de revue afin de capitaliser et de valider les données et les grilles obtenues.

6 PROCESSUS ITÉRATIF D'ENTRETIEN

6.1 OBJECTIFS

Le processus d'entretien a deux objectifs : définir les critères et éliciter les préférences. La méthode de Kelly et les grilles semblent bien adaptées à cette problématique et, comme l'a montrée la partie précédente, de fortes ressemblances existent entre la MMCAD de Roy et les grilles. Nous faisons donc le choix d'opter pour un processus d'entretiens. Le but est de décomposer l'élicitation des préférences car il y a plusieurs notions à aborder et à identifier : les actions potentielles, les critères, les préférences. De plus, ces notions sont à relier entre elles afin de pouvoir les appliquer sur la MMCAD. Enfin, utiliser un processus d'entretiens va permettre aux participants de pouvoir reconsidérer, éventuellement, leurs déclarations et réponses et, ainsi, de s'engager sur les données apportées. Cet engagement sera renforcé par le processus de revue qui va capitaliser les entretiens et les données obtenues. Enfin, mettre en place plusieurs

entretiens plutôt qu'un seul permet de réaliser des entretiens plus courts, favorables à une bonne attention et participation de l'interlocuteur.

6.2 LES ENTRETIENS

Les entretiens visent à obtenir des informations de la part des décideurs, des sujets, afin de comprendre comment ils prennent des décisions, comment ils travaillent et ainsi pouvoir proposer des outils d'aide qui vont correspondre au mieux à leurs attentes, à leurs pratiques.

Les entretiens peuvent prendre diverses formes. La partie précédente présente la méthode d'analyse de grille, qui est une forme d'entretien semi-guidé, laissant la part libre au sujet, tout en le guidant à l'aide de la grille afin de converger vers les objectifs fixés. Il est aussi possible d'utiliser une technique d'entretien classique, questions/réponses. Mais il faut toujours veiller aux objectifs et à l'exploitation des données obtenues. L'analyse de grille propose une structure et un guide qui permettra par la suite une exploitation plus simple et plus efficace des résultats. A l'inverse, une technique d'entretien classique va offrir une très grande liberté mais les réponses seront très nombreuses, de natures très différentes et ne permettront pas une analyse simple. La capacité de l'expert à comprendre rapidement les informations est donc fondamentale afin de relancer son interlocuteur si la réponse n'est pas assez précise, claire.

Les entretiens sont réalisés en co-élucidation, c'est-à-dire que le sujet et l'interviewer travaillent ensemble pour arriver à l'objectif fixé. Des hypothèses sont apportées par l'Homme d'étude qui doit produire un outil et qui cherche à modéliser les actions, les dires du décideur. L'objectif est donc que l'Homme d'étude et le décideur travaillent ensemble pour aboutir à un ensemble d'informations pertinentes et modélisables. La position des deux participants est donc importante. L'interviewé et l'interviewer se trouvent côte à côte, avec tous les documents utiles pour la bonne compréhension (carte, schéma, ordinateur, diaporama…). Ainsi, tous les supports de l'entretien sont facilement accessibles, pour la consultation de la part de l'intervieweur et pour des explications de la part de l'interviewé. Les grilles et ce type d'entretiens nécessitent des relances rapides, afin d'approfondir les idées, les attributs, les pondérations, et donc cette proximité est favorable.

Enfin, plusieurs étapes, plusieurs entretiens sont nécessaires afin de pouvoir accéder à plus d'informations. Lors du premier entretien, le sujet donne une vaste série d'informations et il remplit les grilles. Ensuite, l'entretien se termine. Il ne doit pas être trop long, afin de ne pas saturer le participant de questions ou d'éviter qu'il ne réponde plus de manière aussi pertinente. Quelques jours plus tard, un second entretien est prévu. Les deux participants, l'Homme d'étude et le sujet, ont eu le temps de réfléchir l'un aux réponses, l'autre aux questions et ils peuvent ainsi tous les deux revoir le premier entretien et y apporter des informations complémentaires. Ce retour est favorisé par le processus de revue.

6.3 LE PROCESSUS DE REVUE

Le processus de revue est une méthode qui permet de capitaliser l'ensemble des interventions et des données sur un projet, un entretien, un document… Le processus de revue a pour but de converger vers l'objectif avec plusieurs itérations. Un processus de revue est établi pour chaque nouvelle itération sur le document (ou le projet, l'entretien). Tous les processus de revue sont conservés et permettent donc une traçabilité de toutes les interventions sur le document principal. Le processus de revue a donc, dans notre démarche, plusieurs objectifs :

- capitaliser l'ensemble des entretiens avec les sujets rencontrés. Le processus de revue sera établi après chaque entretien. Il comportera donc le modèle de présentation défini, puis la retranscription des entretiens, une synthèse des données obtenues. Au début de chaque entretien suivant, le processus de revue sera validé, modifié ou complété ;
- garantir une validité des réponses. Les intervenants s'engagent et certifient l'exactitude des informations données en validant ce document ;
- permettre une convergence vers les objectifs fixés, à savoir l'élicitation des préférences des décideurs et la modélisation du processus décisionnel.

Le nouvel entretien donnera lieu à une nouvelle version du processus de revue, contenant les remarques faites et les nouvelles informations obtenues. Le processus se répète jusqu'à l'obtention d'un document qui correspond exactement à ce que souhaitait dire le sujet en adéquation avec les objectifs fixés.

6.4 LES ITÉRATIONS

Le processus de recueil des informations va nécessiter plusieurs entretiens et donc plusieurs itérations du processus de revue afin d'aboutir, avec le sujet, aux objectifs fixés. Il s'agit donc d'un processus itératif (Figure 33). Le processus itératif se compose donc d'un entretien et d'un processus de revue. Ces deux éléments sont répétés jusqu'à la condition d'arrêt définie. Le but de chaque itération est d'approfondir les informations obtenues précédemment, afin de progresser, au fur et à mesure vers l'objectif fixé, vers les informations souhaitées.

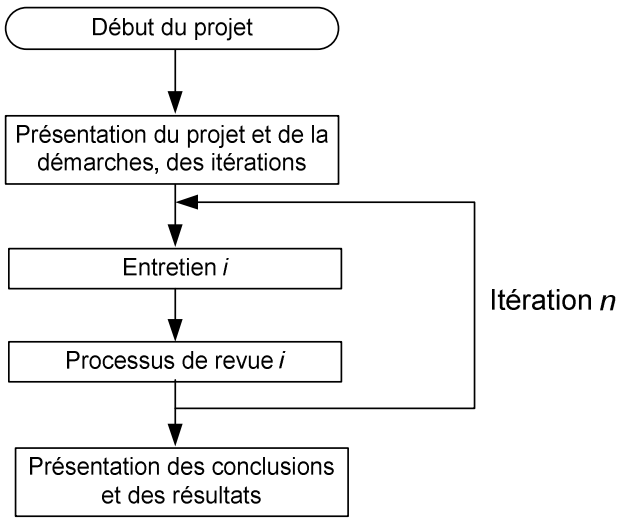


FIGURE 33 : SYNTHÈSE DU PROCESSUS ITÉRATIF

Il est important dans ce cadre de définir une condition d'arrêt à ce processus. Cette condition d'arrêt peut être l'obtention de toutes les informations souhaitées, la réalisation des objectifs, mais cela peut nécessiter un nombre important d'entretiens. La condition d'arrêt peut aussi être une contrainte de temps tant en terme de délais pour le projet que de disponibilité des sujets ou des « experts » en décision. Une fois cette contrainte établie, il faut définir un calendrier qui précisera le rythme, en tenant compte du temps de rédaction et de relecture du processus de revue. Ce calendrier devra également contenir des objectifs précis pour chaque entretien afin de bien positionner le questionnement.

Dans le cadre de ce processus itératif et une fois l'ensemble de ces paramètres définis, il est de bon usage de prévoir un entretien de lancement pour présenter le projet, la démarche, le calendrier et les objectifs visés. Une réunion de synthèse sera aussi prévue afin de maintenir les sujets dans la boucle, de montrer les gains de l'étude et des rencontres.

Toutes ces informations sont exposées aux participants, afin qu'ils aient connaissance du temps et de l'implication qui leur sera demandé durant l'étude.

7 CONCLUSIONS

Ce chapitre a présenté la démarche mise en place afin d'accéder au processus décisionnel des opérateurs et à l'ensemble des objets (critères, préférences) qu'ils manipulent. Cette démarche se compose de trois étapes.

- La première étape est la modélisation du processus décisionnel des opérateurs, dans le but de comprendre comment ils prennent des décisions et comment ils les appliquent. Cette première phase est importante pour identifier les possibilités d'aider les opérateurs.

- La seconde étape est l'application d'une MMCAD qui sera un guide à la démarche de recueil d'informations et de modélisation des futurs outils d'aide. Le grand intérêt de la MMCAD est de proposer tout un champ d'investigations pour obtenir un maximum d'informations auprès des décideurs. Ensuite, la MMCAD propose une modélisation en critères et préférences intéressante et pertinente pour des outils d'aide et pour prendre en compte les préférences, les pratiques des opérateurs. Cependant, la MMCAD suggère ce champ d'investigation, une orientation pour les questions mais ne précise pas comment mener à bien, de manière opérationnelle, les entretiens avec les sujets. C'est le but de la troisième étape.
- Cette troisième étape est l'analyse de grille qui va être un guide pour mener des entretiens. La grille impose un cadre précis et un formalisme qui permet de bien garder à l'esprit les objectifs tout en laissant aux sujets la liberté d'aller un peu plus loin, d'expliquer leur métier, leurs activités.

Une fois cette démarche présentée, les liens entre les différentes méthodes employées sont également détaillés. Ces liens révèlent des ressemblances entre la MMCAD et l'analyse de grille. Sous des termes différents, les mêmes notions (critères, préférences) sont abordées. Les grilles sont donc très appropriées pour accéder aux informations et permettre d'obtenir des critères et des préférences pour ensuite concevoir et modéliser les outils d'aide.

Une dernière partie de ce chapitre s'attarde sur le processus d'entretien qui est indispensable à cette démarche. Les entretiens vont s'appuyer en grande partie sur la technique d'analyse de grille. Le processus sera itératif et complété par un processus de revue afin de capitaliser et de valider l'ensemble des données obtenues.

Maintenant que la démarche et le processus d'entretiens sont décrits, le chapitre suivant va s'intéresser à leur application dans le cadre du contrôle de trafic aérien.

CHAPITRE 4

APPLICATION DE LA DÉMARCHE AU CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN

1 INTRODUCTION

Le chapitre précédent a proposé une démarche permettant d'obtenir le processus décisionnel d'un opérateur. La connaissance de ce processus décisionnel doit permettre de proposer des outils d'aide, notamment d'aide à la décision. Ce chapitre présente donc une application de cette démarche dans un contexte précis, celui du contrôle du trafic aérien.

Ce chapitre débute par un complément du prologue sur le contrôle aérien et plus particulièrement sur les coordinations entre secteurs. En effet, dans la nouvelle version du projet AMANDA, l'objectif est de fournir des systèmes d'aide à la décision dans le cadre de la résolution de conflit mais aussi dans le cadre des coordinations.

Le projet AMANDA V3 est réalisé dans le cadre d'une convention de recherche avec la DGAC. Les objectifs de cette nouvelle version sont présentés dans la seconde partie de ce chapitre et se résument en deux points :

- L'extension des principes de l'Espace de Travail Commun (appelé ETC-Étendu). Ce nouvel espace doit permettre de faire coopérer efficacement deux contrôleurs de secteurs différents et distants, mais aussi les aider dans leurs prises de décisions.
- Le second point consiste à mieux prendre en compte les habitudes des contrôleurs dans la phase de résolution de conflit. Ainsi le module de calcul de trajectoire STAR sera amélioré. Cette modification va réduire le temps passé à gérer un conflit et implicitement permettre une augmentation du trafic, mais aussi améliorer la confiance des contrôleurs dans l'outil.

Pour cela, la démarche précédente est appliquée afin de recueillir un maximum d'informations sur les pratiques des contrôleurs et sur leur façon de prendre des décisions.

La troisième partie de ce chapitre concerne l'application des trois étapes de la démarche. La dernière partie décrit le processus d'entretiens, les documents, les intervenants. Cette partie se termine sur le détail du protocole d'observation en salle qui a permis d'observer les contrôleurs aérien en situation réelle et de compléter l'analyse avec, notamment, des relevés d'activités.

2 LE CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN

2.1 LES COORDINATIONS

Cette partie présente, tout d'abord, une analyse de la tâche de coordination réalisée avec les contrôleurs de Reims. Les coordinations sont étudiées dans le but d'être intégrées dans la nouvelle plateforme AMANDA V3. Ensuite, les outils déjà existants, visant à assister ou à réduire

les coordinations sont présentés. Enfin, le dernier point de cette partie présente la problématique du contrôle de trafic aérien.

2.1.1 DÉFINITION ET INTERVENANTS

La notion de coordination est définie officiellement dans le MANuel d'EXploitation (MANEX[12]) par :

> *L'ensemble des procédures et des actions qui permettent de préparer et de réaliser le transfert de contrôle d'un aéronef d'un secteur à un autre ou d'un organisme à un autre. La coordination aboutit à un contrat liant les contrôleurs donnant et recevant pour chaque aéronef concerné. [MANEX 2008]*

Une coordination peut être assimilée à une négociation entre deux hommes, deux COs (contrôleur organique), ce qui peut impliquer un certain nombre de problèmes liés aux rapports humains. L'objectif de ces coordinations est de trouver une solution, un compromis qui satisfasse pleinement les deux parties, sans aucune ambiguïté, pour un problème précis, par exemple le transfert d'un vol d'un secteur (sortant) au secteur adjacent (entrant).

Les interlocuteurs possibles d'un CO sont les COs adjacents d'un secteur voisin du même centre, d'un secteur d'un autre centre français ou d'un centre de contrôle étranger, le chef de salle (CDS), la FMP *(Flight Management Position)* qui s'occupe de la régulation de la charge (nombre d'avions) sur les différents niveaux du centre et les contrôleurs militaires (la DIRCAM, DIRection de la Circulation Aérienne Militaire). Les interlocuteurs sont donc nombreux et variés et occupent tous une fonction bien précise dans la gestion du trafic aérien. Chaque interlocuteur est détenteur de certaines informations et d'autorisations nécessaires pour mener à bien l'activité globale de gestion du trafic. Les coordinations peuvent aborder de nombreux sujets, mais il y a toujours le trafic, les avions, comme dénominateur commun.

2.1.2 OBJECTIFS ET CAS DE COORDINATIONS

Le but d'une coordination est généralement d'informer ou de demander une trajectoire au sens large du terme, pour un avion, différente de celle inscrite et prévue sur son plan de vol. Cette modification du plan de vol peut présenter plusieurs intérêts pour le contrôleur : garder plus longtemps un vol sous contrôle afin de terminer une résolution de conflit ; anticiper la résolution d'un conflit pour ne pas surcharger son secteur ; modifier une trajectoire suite à une demande d'un pilote ou à cause de conditions climatiques par exemple.

[12] Le MANEX, ou MANuel d'EXploitation, est un document officiel décrivant l'ensemble des outils, des fonctions, des procédures que les contrôleurs doivent suivre. Le MANEX est édité et adapté pour chaque CRNA

Le nombre de coordinations, les cas de coordinations sont très nombreux et établir une liste exhaustive des situations est difficile. Toutefois, il est possible de distinguer deux classes de coordinations : les coordinations pour informer et les coordinations pour demander.

Les coordinations **pour informer** consistent à prévenir un secteur adjacent d'un changement de route d'un avion et, cela, indépendamment de la volonté de l'interlocuteur sinon il y aurait une négociation pour effectuer cette modification. Par exemple, un avion peut ne plus passer par un secteur : soit, pour cause de « directe », c'est-à-dire sur une trajectoire directe ne passant plus par tous les points prévus sur le plan de vol, soit, des conditions météorologiques défavorables, ou encore un changement de niveau non prévu.

Les coordinations **pour demander** sont à l'initiative d'un des deux contrôleurs du secteur qui a besoin d'une action sur un vol, pour réduire la charge du trafic, pour résoudre un conflit, pour anticiper un avion ou pour apporter du confort aux pilotes. Il est fréquent de voir le CR demander à son CO de lancer une négociation, principalement en sortie de secteur, pour terminer une résolution, mais aussi en amont de son secteur, afin d'éviter un conflit ou d'anticiper une résolution. De la même manière, le CO anticipe souvent une coordination pour alléger son CR, pour faciliter une résolution, voire « tuer dans l'œuf » un conflit potentiel. Le CO a une très bonne lecture du trafic et il est donc à même d'agir et d'anticiper pour préparer le trafic de « son » CR, en gérant les vols entrants. Il passe beaucoup de temps à analyser les situations et à se « coordonner » avec lui. Ces coordinations vont conduire à une modification de la route (niveau ou cap) d'un (ou plusieurs) avion(s). Elles vont aussi conduire à une négociation entre deux COs pour savoir si la demande est réalisable et dans quelles conditions qui sont souvent des compromis pour une ou les deux parties. Cette négociation va aboutir à un accord entre les deux COs et à une modification de la route de l'avion ou à une autorisation de garder l'avion en fréquence ou encore à un accord pour emprunter l'espace adjacent pour terminer une résolution par exemple (délégation de niveau, fin de résolution…).

Établir une liste exhaustive des cas de coordinations dans ces deux classes est tout aussi difficile. Néanmoins, il existe un nombre de cas récurrents et fréquents sur lesquels il doit être possible d'assister les contrôleurs. Voici quelques-uns de ces cas.

- **Les « sortantes »** sont des modifications des conditions de sortie des avions, c'est-à-dire un changement de niveau de sortie, de cap ou de balise.
- **Les changements de niveaux** sont effectués pour éviter ou pour résoudre un conflit, ou bien à la demande du pilote.
- **Les mises en directes** consistent à demander à un pilote de se diriger vers une balise de sa route, c'est-à-dire qu'un avion ne passe plus temporairement par toutes les balises de son plan de vol. « Mettre une directe » a pour effet de raccourcir la route ou de clarifier la

situation, les avions volant alors en ligne droite. Une directe peut faire éviter un secteur prévu sur la route de l'avion. Il faut donc prévenir le contrôleur qu'il n'aura pas l'avion sous son contrôle.

- **Le non-respect des Lettres d'Accord** (LOA, *Letter Of Accord*). Les LOA sont des documents officiels qui contiennent toutes les règles et conditions de transfert d'un centre à un autre, par exemple les transferts vers le « centre A » doivent se faire avec un niveau de vol supérieur à FL350. Ces LOA évitent les coordinations systématiques mais si un avion ne peut pas être transféré selon les règles de la LOA, il y a nécessairement coordination.

Ces modifications vont conduire à une mise à jour du strip, seule trace du résultat de la coordination. S'il s'agit d'une modification de niveau cette modification peut se faire par l'intermédiaire du CAUTRA (calculateur de Coordination Automatique du Trafic Aérien, voir annexe 1) et de la fonction *mode-S* (Modification Simplifiée, annexe 1) qui vont permettre de modifier le niveau de l'avion et de faire suivre cette modification sur tous les secteurs suivants. Dans les autres cas, il y aura une coordination pour informer les autres secteurs de la nouvelle trajectoire de l'avion, dans le cas d'une directe par exemple. Éventuellement une *mode*-complète, c'est-à-dire une modification de tous les paramètres du strip, peut être faite si les écarts sont trop importants (cas des directes) et si le CO a le temps de la réaliser.

2.2 OUTILS DISPONIBLES SUR UNE POSITION DE CONTRÔLE

En plus du strip qui contient la route de l'avion et du téléphone qui permet de joindre les autres intervenants, les contrôleurs disposent déjà de quelques outils informatisés pour les assister dans les coordinations[13] : le *Shoot Request* (SHRQ) permet de demander un avion plus tôt en fréquence ; la *mode-S* permet la modification du niveau de sortie d'un avion ; la fonction *FL ?* (*flight level*) permet de demander une délégation de niveau pour les secteurs en couche ; *le montrer* permet de mettre en surbrillance un avion sur la vue radar d'un autre secteur. Ces outils sont à présent détaillés.

2.2.1 LE SHOOT REQUEST OU SHRQ

Cet outil a été mis en place pour réduire l'utilisation du téléphone dans le cadre d'une coordination fréquente. Cette coordination consiste à demander un avion en fréquence plus tôt ou éventuellement, en cas d'oubli de transfert, pour pouvoir agir dessus plus tôt. Le terme *shoot* est un terme du jargon des contrôleurs : *shooter* un avion, signifie transférer un avion, sous-entendu en fréquence. Le CR informe le pilote qu'il a terminé avec lui et qu'il doit contacter le centre suivant à la fréquence qu'il lui communique.

[13] On trouvera en annexe 1, une description détaillée de l'ensemble des outils disponibles sur une position de contrôle.

Le *Shoot-request,* déclenché à partir de la vue radar, à l'initiative du CR ou du CO, s'affiche sur le secteur possédant l'avion et informe donc les contrôleurs du souhait du secteur suivant d'avoir l'avion plus tôt ou dès que possible. En cas d'impossibilité de transférer l'avion, il y a une coordination téléphonique.

2.2.2 LE FL?

Pour réduire une autre coordination récurrente, il existe un outil appelé « *FL ?* ». Cet outil sert à informer un secteur du souhait d'utiliser un niveau d'un secteur adjacent en couche afin de résoudre un conflit. La réponse à une telle demande se fait obligatoirement par téléphone. La Figure 34 présente un cas de figure où la demande d'un niveau est nécessaire.

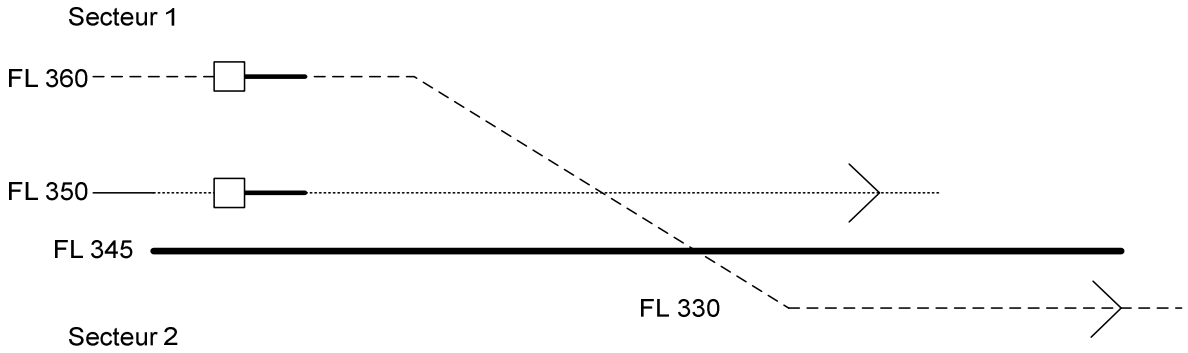


FIGURE 34 : EXEMPLE DE CAS OU LA DÉLÉGATION D'UN NIVEAU EST NÉCESSAIRE.

Dans ce cas de figure, le secteur 1 doit faire croiser l'avion qui est au niveau 360 et qui va au niveau 330 (ou moins) avec un avion au niveau 350. Le secteur 1 a donc la responsabilité du croisement et ne peut transférer l'avion qu'une fois le croisement terminé. S'il n'y avait pas d'avion au niveau 350, la procédure serait de faire descendre l'avion qui est au FL360 aussi bas que possible dans le secteur 1, c'est-à-dire 350, puis de le transférer en évolution vers le secteur 2. Ici, il faut demander au secteur 2 l'autorisation d'utiliser son espace le temps du croisement par une délégation de niveau. Le secteur 2 délègue donc un (ou plusieurs niveaux) au secteur 1 qui peut descendre son avion. Une fois le croisement terminé et l'avion stabilisé dans le secteur 2, la délégation prend implicitement fin.

La description de ces deux outils dresse un état des lieux des aides disponibles pour les contrôleurs. Il convient maintenant de rappeler la problématique du contrôle de trafic aérien avant de poursuivre les objectifs de notre plateforme AMANDA V3.

2.3 PROBLÉMATIQUE DU CONTRÔLE DE TRAFIC AÉRIEN

La problématique du contrôle aérien réside principalement dans l'augmentation incessante du trafic aérien. Le trafic aérien a augmenté de près de 250% sur 25ans (de 1977 à 2002) et cette tendance, même si elle est moins importante, ne change pas. Le trafic aérien est en constante

augmentation chaque année, de l'ordre de 4 à 5% par an (5,8% en 2007[14]). La DGAC estime que dans les 10 à 20 prochaines années, le trafic va doubler, voire tripler. Plus de 2,9 millions d'avions ont transité dans le ciel français en 2008, ce qui donne une moyenne de presque 8 000 avions par jour à gérer par les 5 centres français. En fonction des secteurs, de leur géographie, du trafic ou de l'espace disponible, les contrôleurs peuvent gérer un certain nombre d'avions par heure, dans des conditions optimales de sécurité. Les secteurs du centre de Reims peuvent voir transiter jusqu'à 100 avions par heure. La limite gérable par un contrôleur de ces secteurs est d'environ 14 à 20 avions simultanément. Au-delà de cette limite, il est nécessaire de dégrouper le secteur.

Le dégroupage d'un secteur consiste à le diviser dans le plan vertical ou horizontal. Pour le découpage vertical, plusieurs binômes de contrôleurs gèrent une même zone, mais chaque binôme sur des niveaux différents. Ce système permet de réduire le nombre d'avions à gérer simultanément par le binôme de contrôleurs. Mais même si le nombre d'avions diminue de ce fait et offre ainsi une charge de travail acceptable pour le CR, le CO peut voir son nombre de coordinations avec les autres secteurs augmenter.

De nombreux projets ont essayé d'automatiser tout ou partie du trafic aérien et de sa gestion [Durand, 1996] :

- Le projet AERA (*Automated En-route Air Traffic Control*) financé par la FAA (Fédération de l'aviation américaine, équivalente à la DGAC française) consiste à prévoir les trajectoires des avions, proposer des résolutions de conflit et garantir la séparation des avions. Ce projet a connu trois phases.
    - La première phase, AERA 1, consiste à prévoir les trajectoires des avions en fonction des intentions des pilotes et détecter des pertes de séparations.
    - La seconde phase, AERA 2 propose une liste de résolutions recommandées pour un conflit détecté pendant la première phase ainsi qu'un outil d'aide à la coordination. Dans cette phase la séparation est toujours du ressort du contrôleur.
    - Enfin, dans la dernière phase, AERA 3, la machine a la responsabilité d'assurer la séparation entre les avions. Cette phase comprend quatre niveaux hiérarchiques pour la détection, le choix d'une stratégie et l'application de la résolution. Seul, le niveau de résolution est décrit dans le projet. Le module ASF (*Automated Separation Function*) ne peut séparer que des paires d'avions [Durand, 1996].

[14] Les chiffres sur le trafic aérien proviennent des rapports d'activités de la DGAC, librement consultables sur leur site internet.

- Le Projet ARC2000, lancé par Eurocontrol, organisme européen pour la sécurité du trafic aérien, devait à l'origine automatiser entièrement la gestion du trafic aérien en se basant sur la notion de tube-4D. Un tube-4D ou une trajectoire 4D est la route planifiée de l'avion de son aéroport de départ jusqu'à sa destination, avec le temps de passage sur chacun des points formant la route, cette prévision devant être respectée scrupuleusement afin de garantir le fonctionnement du système automatique. Pour planifier ces trajectoires, il faut être en mesure de prédire avec une très grande précision la position des avions en tenant compte de toutes les incertitudes possibles (météo notamment). Cette prédiction est aujourd'hui impossible ; le projet a donc revu ses hypothèses de départ et prévoit de prédire une trajectoire sans conflit pour un horizon de « seulement » 20 à 30 minutes.
- Les applications ASAS (*Airborne Separation Assistance System*) consistent à déléguer à l'équipage une ou plusieurs tâches dévolues aux services de contrôle de la circulation aérienne, le cas échéant sous réserve de l'accord réciproque des deux parties. Le projet ASAS est composé de quatre catégories d'applications :
  - Applications relatives à la conscience de la situation, en affichant, aux pilotes, sur un nouvel écran le trafic avoisinant l'aéronef ;
  - Applications d'espacement embarquées permettant à l'équipage d'un aéronef de maintenir un espacement en temps ou en distance avec un avion cible, et aux contrôleurs de donner de nouvelles instructions de séquencement dans les zones d'approche notamment, et ce de manière plus sûre ;
  - Application de séparations embarquées, dans lesquelles les contrôleurs délèguent aux pilotes une « clearance » relativement à un appareil cible ;
  - Applications de type auto séparation embarquée, le pilote devant assurer sa séparation vis-à-vis de l'ensemble des aéronefs avoisinants.
- Le projet ERATO, développé par le CENA, est un ensemble d'outils destinés aux contrôleurs du trafic aérien. Deux outils majeurs composent ce projet : le filtrage et l'agenda. Le filtrage permet, à la demande du contrôleur de mettre en sous-brillance les avions inutiles à l'analyse d'une situation. L'agenda permet une planification des conflits en fonction des routes du plan de vol des avions. L'agenda est un support à la mémorisation des tâches à faire par le contrôleur.

Le projet AMANDA se place dans une optique différente. L'idée est ici d'essayer de répartir entre un contrôleur et un système les tâches à effectuer en fonction du niveau de compétence des deux agents.

3 OBJECTIFS AMANDA V3

3.1 INTRODUCTION

Nos recherches s'inscrivent dans un projet avec la DGAC et plus particulièrement la DSNA/DTI (Direction des Services de la Navigation Aérienne / Direction de la Technique et de l'Innovation), ex CENA.

Les expérimentations d'AMANDA V2 ont permis de tester les principes d'Espace de Travail Commun (ETC), de délégation de tâches et de calcul de trajectoires mais aussi d'étudier l'accueil que des contrôleurs professionnels pouvaient réserver à ces nouveaux concepts et à ces nouveaux modes de travail. Le résultat est clairement positif et encourageant. Malgré les quelques problèmes de STAR ou le manque d'ergonomie de la plateforme, les contrôleurs ont apprécié les outils mis à leur disposition et les résultats des analyses le confirme [Guiost, 2006].

Les objectifs de nos travaux sont de deux ordres [Annebicque *et al.*, 2007*b*]. Premièrement étendre les principes de l'ETC à la coopération entre plusieurs secteurs de contrôle afin que les contrôleurs, principalement les COs des différents secteurs, puissent échanger et partager des informations plus rapidement grâce à une interface dédiée. Deuxièmement, modifier l'outil de calcul STAR afin qu'il corresponde mieux aux pratiques des contrôleurs dans la proposition d'une trajectoire [Annebicque *et al.* 2008*a*].

3.2 AMÉLIORER LE MODULE DE CALCUL DE TRAJECTOIRES, STAR

Le module de calcul et de délégation de tâche STAR a montré des limites pendant les expérimentations d'AMANDA V2 [Guiost, 2006]. STAR a en effet proposé des solutions parfois assez éloignées de ce que les contrôleurs aériens ont l'habitude de faire.

La Figure 35 montre un exemple typique d'une résolution proposée par STAR. Cette résolution se caractérise par une déviation très tôt, puis une remise sur la route très rapide à l'aide d'une directe sur une balise du plan de vol. La trajectoire que propose STAR est mathématiquement optimale. Mais cette optimalité n'est pas une donnée manipulée par les contrôleurs aériens, qui ont eu besoin de plus de temps pour analyser la solution proposée.

La remise sur la route a perturbé les contrôleurs qui ont eu l'impression que l'avion visait l'avion à éviter : « quand vous croisez (remettre sur la route) vous visez l'autre avion […] nous on passe une fois dans les midis de l'avion à éviter » (binôme 1 lors des expérimentations AMANDA V2). Les contrôleurs ne savent pas, au moment de résoudre un conflit, quand ils vont le remettre le vol dévié sur sa route : « je ne sais jamais quand je vais résumer » (binôme 1). Par conséquent, ces solutions ont nécessité une analyse plus longue de la part des contrôleurs afin qu'ils soient sûrs de la « capacité » de la solution à résoudre le conflit.

STAR a été aussi, dans certains cas, incapable de proposer une solution.

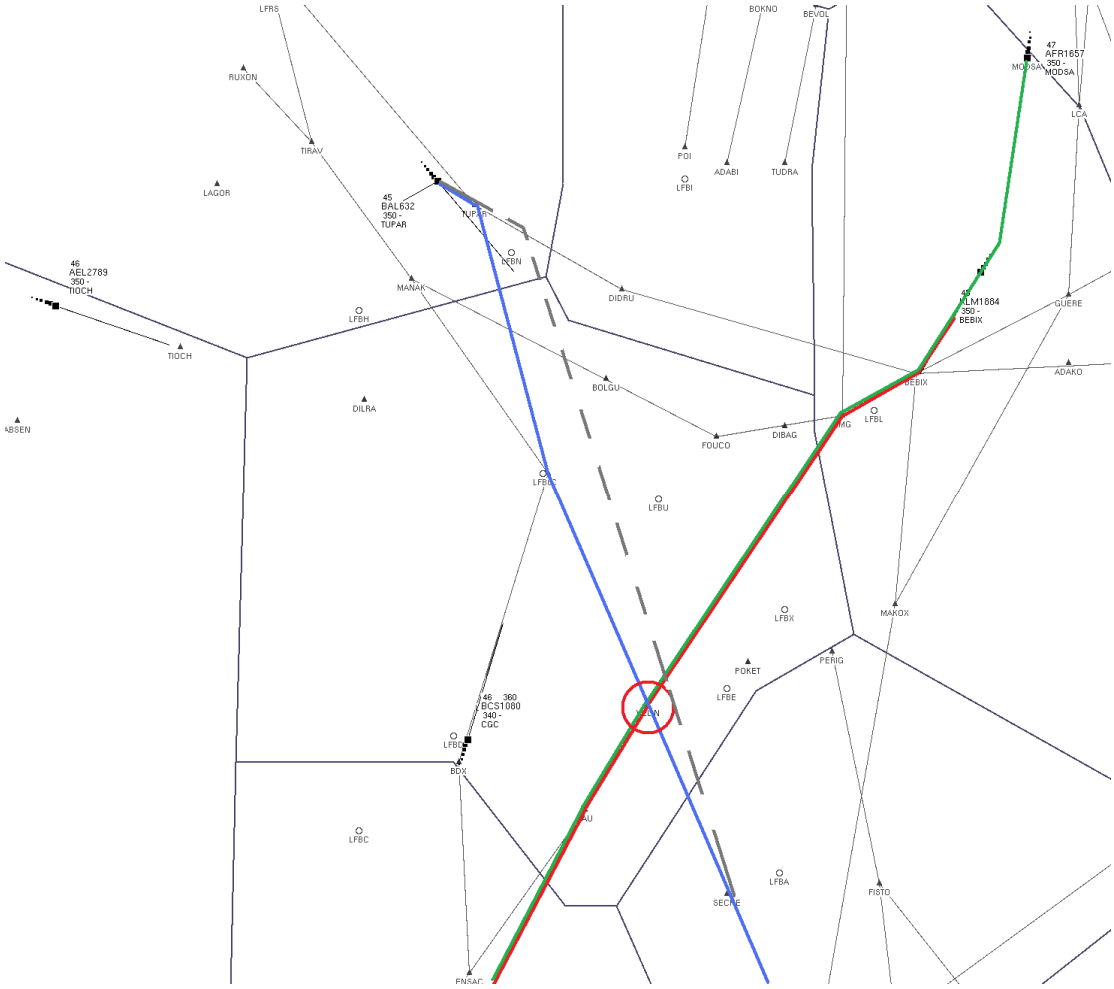


FIGURE 35 : RÉSOLUTION CARACTÉRISTIQUE DE STAR

Un autre point concerne la liste des directives proposées dans AMANDA V2. Ces directives sont divisées en deux groupes : les directives implicites et les directives explicites. Dans le cadre d'une directive implicite (DI), le contrôleur sélectionne l'avion qu'il souhaite dévier puis la directive, le système se charge de déterminer l'avion qu'il souhaite éviter. Dans le cadre d'une directive explicite (DE), l'avion à dévier ainsi que l'avion à éviter sont sélectionnés par le contrôleur. Les directives possibles dans AMANDA V2 sont :

- Passer derrière (DE) ;
- Passer devant (DE) ;
- Descendre/monter (DI) ;
- Tourner droite/gauche (DI) ;
- Éviter droite/gauche (DI).

Cette liste ne se révèle pas parfaitement adaptée aux pratiques des contrôleurs. En effet, les analyses des données enregistrées pendant les expérimentations d'AMANDA V2 ont donné les taux d'utilisation suivant (Tableau 6 ; Guiost, 2006).

TABLEAU 6 : UTILISATIONS DES DIRECTIVES PENDANT LES EXPÉRIMENTATIONS D'AMANDA V2 [GUIOST, 2006].

Binôme	Situation	Directives explicites			Directives implicites		
		Passer Derrière	Passer Devant	Descendre	Tourner droite	Tourner Gauche	Directe
B1	B	42	12				
	C	52	16	6			
B2	B	20	5		2	4	
	C	8	3		2	4	
B3	B	18	3				
	C	10	2				
B4	B	6	15				
	C	2					2

Les situations B et C (Tableau 6) sont deux des situations testées dans les expérimentations d'AMANDA V2. Dans la situation B, le CO avait en charge la détection des conflits, la création des clusters et la saisie de la directive, le CR devait vérifier la solution proposée et choisir de déléguer ou non son application. Dans la situation C, le CO ne devait que détecter le conflit et créer le cluster. Le CR devait cette fois choisir la directive et décider de déléguer ou non la solution proposée par STAR.

Ce tableau montre qu'une grande majorité des directives est *PASSER DERRIÈRE*, vient ensuite *PASSER DEVANT,* puis les autres. Lors des entretiens réalisés suite à ces expérimentations avec les contrôleurs, les conclusions sur cette gamme de directives possibles ont été les suivantes :

- Le binôme 1 affirme qu'ils ne passent jamais devant, même si les résultats montrent qu'ils ont utilisé cette directive. *PASSER DEVANT* ne semble pas être une pratique utilisée dans le cadre du contrôle en situation réelle ;
- Les directives *TOURNER DROITE/GAUCHE* sont trop imprécises, ils ne savent pas de combien de degré (binôme 1 et 4) ;
- Pour la directive *PASSER DERRIÈRE*, le contrat est clair et défini (Binôme 1 et 3) d'où une bonne acceptation et une utilisation plus importante ;
- Les directives implicites sont jugées trop imprécises, car présentant trop d'incertitudes sur le résultat (Binôme 1 et 2) ;

Pour toutes ces raisons, une étude de la pratique des contrôleurs doit être menée afin d'adapter l'outil à leurs façons de travailler, de décider, d'agir. Autrement dit, rendre l'outil capable de fournir des solutions, dans tous les cas de figure et, surtout, de proposer un outil qui fournira des solutions proches de ce que font habituellement les contrôleurs. Ainsi, les contrôleurs n'auront

plus besoin d'une longue analyse pour vérifier l'efficacité d'une solution et la confiance dans l'outil STAR sera améliorée.

3.3 ÉTENDRE LES PRINCIPES DE L'ESPACE DE TRAVAIL COMMUN À LA COOPÉRATION À DISTANCE

Le second objectif est de faciliter les échanges entre les contrôleurs de deux secteurs adjacents, sur le même principe que l'ETC déjà existant dans AMANDA V2.

La coopération entre deux agents distants entraine des mécanismes différents. En effet, deux agents côte à côte peuvent bien évidement communiquer entre eux mais ils peuvent également utiliser des signes, des mimiques, voire même intervenir sur la position de l'autre pour lui montrer/expliquer. Toutes ces « aides à la communication » ont généralement pour effet de faciliter la coopération, le partage de l'information et de réduire les échanges verbaux. Lors d'une coopération à distance entre deux agents, seuls les mécanismes d'échanges verbaux existent. Ainsi, un agent doit passer par toute une série de questions et d'échanges pour contrôler que son interlocuteur reçoit et comprend bien les informations [Dumazeau, 2005].

L'ETC d'AMANDA V2, qui opère sur un seul secteur et entre deux contrôleurs (CO et CR) côte à côte, a été très bien accueilli par les contrôleurs. Cet espace a rempli son rôle de facilitation du partage d'informations entre les deux opérateurs, avec pour preuve l'absence de communication verbale pendant la durée de ces expérimentations [Guiost, 2006]. L'objectif est donc ici de fournir un espace de partage et de mise en commun des informations nécessaires pour mener à bien les coordinations et les négociations entre secteurs (Figure 36).

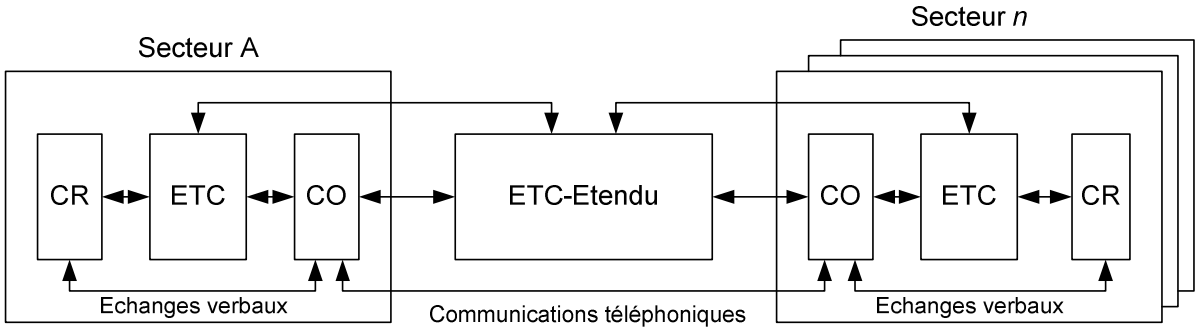


FIGURE 36 : INTÉGRATION DU NOUVEL ETC-ÉTENDU DANS LA PLATEFORME AMANDA V3.

Dans le contexte du contrôle aérien, introduire un ETC entre deux COs distants, permettra un partage plus rapide des informations, les plans de vols principalement, ainsi que la réduction des incertitudes, par un transfert des modifications sur la route des avions. Ces incertitudes étant très coûteuses en temps d'analyse et de surveillance pour les contrôleurs, leurs réductions devraient leur permettre de disposer de plus de temps pour la surveillance du trafic.

Le nouvel ETC-Étendu (Figure 36) sera principalement utilisé par les COs des différents secteurs afin d'éviter l'utilisation du téléphone ou, au moins, de partager rapidement des

informations utiles pour la négociation. Cet ETC-Étendu sera connecté aux ETC des secteurs pour maintenir à jour leurs informations sur le secteur (création de clusters, directives, délégations…).

Le Tableau 7 dresse une synthèse des conclusions des expérimentations d'AMANDA V2, vis-à-vis des outils disponibles, présentées sur une première colonne. Sur la seconde colonne sont présentées les réponses à apporter dans AMANDA V3.

TABLEAU 7 : MODIFICATIONS À APPORTER SUR AMANDA V3, EN FONCTION DES CONCLUSIONS D'AMANDA V2

Fonctionnalités	*AMANDA V2*	*AMANDA V3*
STAR – Méthode de calcul	Déviation très tôt, et remise sur la route très tôt. Les contrôleurs avaient parfois la crainte que la solution proposée n'assure pas la séparation.	Prendre en compte les pratiques des contrôleurs pour fournir des trajectoires plus proches de ce qu'ils font et donc moins coûteuses en analyse.
STAR – Directives	Très large choix de directives et ordres différés. Des problèmes de vocabulaire, et confusion par les contrôleurs (« éviter » par exemple) sont apparus.	La gamme de directive que les contrôleurs utilisent n'est pas aussi vaste que celle d'AMANDA V2. Il est possible de réduire la liste des directives à : *PASSER DERRIÈRE*, *MONTER*, et *DESCENDRE* ou encore la *DOUBLE DIRECTES* (Solution qui donne une directe à chacun des avions du conflit. Cette stratégie a permis de résoudre de nombreux conflits sur le secteur de Bordeaux pendant les expérimentations d'AMANDA V2.).
ETC – Espace résolution de problème	Interface un peu lourde à utiliser, trop coûteuse dans un contexte opérationnel.	Améliorer l'ergonomie et la rapidité d'utilisation de cet espace. Prise en compte de l'aspect coordination/négociation entre secteurs
ETC - Clusters	Notion assez bien admise et utilisée pendant les expérimentations. Tous les clusters attendus ont été créés mais avec moins d'avions que prévu.	Extension du principe de cluster pour prendre en compte l'aspect coordination. La notion d'interférent (c'est-à-dire des avions qui peuvent venir gêner la résolution d'un conflit) n'a pas d'écho dans les pratiques des contrôleurs.

4 APPLICATION DE NOTRE DÉMARCHE

4.1 INTRODUCTION

Le contexte applicatif et sa problématique étant présentés, l'étape suivante est l'application de la démarche du chapitre précédent pour produire les spécifications de la nouvelle plateforme.

L'objectif est de recueillir des informations et des données qui permettront d'établir des critères et des préférences au sens de la MMCAD.

Rappelons que cette démarche se compose de trois étapes :

- Structurer les étapes du processus décisionnel des opérateurs, ici des contrôleurs ;
- Identifier les critères et les préférences pour chacun des niveaux du processus décisionnel conformément à la MMCAD ;
- Analyser et structurer les préférences au moyen d'une analyse de grille.

4.2 LE PROCESSUS DÉCISIONNEL DES CONTRÔLEURS AÉRIENS

4.2.1 LES NIVEAUX

Selon les principes évoqués dans le chapitre précédent, le « découpage » d'un conflit se compose de trois niveaux d'abstraction qui ont des espaces temporels différents (Figure 37) et dont les données vont s'affiner au cours du temps.

- Le niveau d'abstraction stratégique correspond à l'organisation du trafic et, plus particulièrement, à la détection du conflit.
- Le niveau d'abstraction tactique correspond à la définition de la tactique de résolution des conflits par la définition de directives.
- Enfin le niveau d'abstraction opérationnel consiste à définir de manière exacte la trajectoire permettant la résolution effective du conflit.

Le **premier niveau d'abstraction** porte donc sur un aspect stratégique. Ce niveau a une portée sur plusieurs secteurs, *a priori* le secteur amont et le secteur concerné. Ce niveau concerne essentiellement la coopération entre les COs des deux secteurs, notamment pour les transferts d'avion. C'est principalement à ce niveau que le nouvel ETC-Étendu devrait être utile.

Le **deuxième niveau** est en quelque sorte un zoom du premier niveau d'abstraction et se focalise sur le secteur proprement dit et sur le choix d'une ou plusieurs directives pour résoudre les conflits précédemment détectés. C'est dans ce niveau que le CO va coopérer avec STAR et son CR pour déterminer une (ou plusieurs) directive(s) appropriée(s) en fonction de la charge du secteur et de la charge de travail du CR.

Le **troisième niveau** peut aussi être vu comme un zoom du niveau précédent ; la focalisation se fait sur le cluster en cours de résolution, plus particulièrement sur le choix de la solution, de la trajectoire à donner aux avions. Cette partie s'intéresse donc à la coopération entre le CR et STAR.

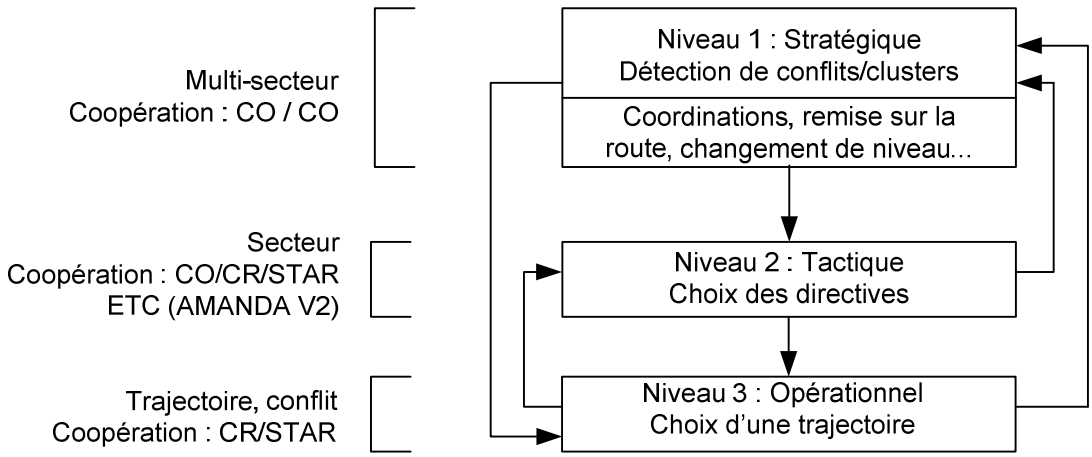


FIGURE 37 : PROCESSUS DÉCISIONNEL DES CONTRÔLEURS [ANNEBICQUE *ET AL.* 2007*A*]

AMANDA V2 intervenait sur les niveaux 2 et 3 avec l'outil STAR et l'ETC. AMANDA V3 intégrera, d'une part des outils qui assisteront principalement les COs dans le niveau 1 par la mise en place d'un ETC-Étendu, et d'autre part une amélioration de STAR pour déterminer une trajectoire plus en accord avec les attentes des contrôleurs et ce sur le niveau 3.

Dans l'étude MMCAD, les trois niveaux sont étudiés indépendamment les uns des autres dans le but d'essayer de récolter un maximum d'informations sur des points bien précis. Procéder de cette manière évite de trop se disperser et de risquer de ne pas obtenir des informations pertinentes.

4.2.2 RELATIONS ENTRE LES NIVEAUX D'ABSTRACTION

Malgré une étude indépendante des niveaux, il est évident qu'il existe des liens plus ou moins forts entre chacun de ces niveaux. Certains de ces liens apparaissent très logiquement, comme le fait de ne pouvoir choisir une directive (niveau 2) qu'une fois un conflit détecté (niveau 1). D'autres sont un peu plus flous comme l'existence de liens directs entre le niveau 1 et le niveau 3 par exemple, qui correspondrait au *simple match* du modèle de Klein [1997], c'est-à-dire que la situation est reconnue et qu'une action, évidente, est mise en œuvre immédiatement, sans une analyse préalable de toutes les actions possibles. Un tel lien direct consiste à appliquer une solution immédiatement une fois le problème détecté sans passer par la phase de choix d'une stratégie. Ce comportement peut aussi être assimilé au raisonnement basé sur les habiletés de Rasmussen (1983). Les études MMCAD ont donc également comme objectif de mettre en exergue ces liens entre les niveaux ainsi que les informations/données nécessaires et échangées entre chaque niveau d'abstraction.

4.3 APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE MULTICRITÈRE D'AIDE À LA DÉCISION

4.3.1 LE CONTRÔLE AÉRIEN : UN PROBLÈME MULTICRITÈRE

Le contrôle du trafic aérien est une activité très complexe qui fait intervenir de nombreux acteurs et qui demande aussi la prise en compte de très nombreux paramètres (position des avions, destinations, type d'avion, météorologie, trafic, charge de travail…). De plus, certains de ces paramètres sont imprécis (la position exacte des avions, les estimés horaires de passage…) et difficilement prédictibles (météorologie ou charge de travail). Les contrôleurs cherchent donc en permanence un compromis entre tous ces critères.

Il semblerait très surprenant d'essayer de réduire le rôle des contrôleurs à un problème monocritère. Le contrôle aérien ne se résume pas uniquement à réduire les délais ou assurer la sécurité ou encore satisfaire les pilotes. Bien sûr, la sécurité reste l'objectif principal des contrôleurs et ils essayent de prendre en compte tous les autres facteurs, de faciliter le travail des pilotes, de réduire les retards, d'éviter les zones de turbulences, *etc*.

Pour toutes ces raisons, le contrôle du trafic aérien est donc typiquement de nature multicritère. De plus, plusieurs intervenants sont impliqués dans la décision, ce qui renforce l'aspect multicritère. Le choix d'appliquer la MMCAD se justifie donc pour notre domaine d'application [Annebicque *et al.* 2008*c*].

4.3.2 CHOIX DES ACTIONS POTENTIELLES

Pour notre domaine d'application, les actions potentielles dépendent de la situation. Il est donc difficile de les énumérer sans se baser sur un cas précis. Néanmoins, il est possible de déterminer la nature des actions potentielles pour chaque niveau.

Concernant le niveau 1, les actions potentielles sont les avions à prendre en compte dans un conflit. Outre les deux avions en conflit, il est intéressant de considérer les avions venant contraindre la résolution future, avions qualifiés d'**interférents** dans AMANDA V2. Les actions potentielles de ce niveau seront donc les différents avions.

Pour le niveau 2, c'est l'ensemble des directives possibles, permettant de résoudre un conflit, en fonction du cluster défini. Les avions restent propres à la situation et les directives sont : *PASSER DERRIÈRE*, *PASSER DEVANT* et *DOUBLE DIRECTES.* Cette liste devra être validée par les contrôleurs.

Enfin, pour le niveau 3, pour un cluster donné et une directive précise, les actions potentielles sont les trajectoires, c'est-à-dire les instructions exactes comme des angles de déviations, des lieux d'application, *etc.*, répondant à la directive et résolvant le conflit.

Les critères et les préférences seront obtenus, quant à eux, grâce à l'analyse de grille.

4.4 ANALYSE DE GRILLE

L'objectif de l'analyse de grille est de servir de support aux entretiens avec les différents participants. Les grilles seront donc un guide pour le questionnement des contrôleurs. De plus, elles permettront d'obtenir des critères et des préférences pour chacun des trois niveaux d'abstraction du processus décisionnel. Les participants vont donc énumérer ces caractéristiques en analysant la grille, puis pondérer et ainsi fournir une carte de leur représentation de chacun des niveaux. En parallèle, ils pourront apporter toutes les informations qu'ils jugeront nécessaires pour permettre de comprendre comment ils travaillent, comment ils utilisent les informations, celles dont ils ont besoin ou non, celles qui manquent…

Notons ici que les contrôleurs ne sont pas les seuls détenteurs de tous ces éléments. Les personnels de la navigation aérienne chargés de l'instruction des contrôleurs disposent de prédispositions favorables pour expliquer leur métier. Il en va de même des concepteurs des outils présents au sein d'AMANDA. Par contre, les contrôleurs aériens sont les seuls à pouvoir porter un jugement de validation des modèles, au travers du résultat qu'ils produisent.

4.4.1 UN PREMIER EXEMPLE

Avant de rencontrer les contrôleurs, nous avons réalisé une première grille, [Annebicque *et al.*, 2008*d*]. Celle-ci présente plusieurs intérêts : (*i*) valider la démarche et l'utilisation de la grille ; (*ii*) définir et répéter le discours pour la présenter et définir la technique pour conduire l'interview ; (*iii*) enfin évaluer les résultats que la grille peut apporter. Cette grille est réalisée avec un membre de notre équipe qui possède des bonnes connaissances sur le contrôle aérien et est donc capable, dans une certaine mesure, de commenter les actes des contrôleurs. La grille obtenue est présentée dans la Grille 3.

Les éléments sont les clusters (niveau 1) créés par les contrôleurs pendant les expérimentations d'AMANDA V2. Dans une première ligne, les deux avions réellement en conflit sont distingués. Dans la seconde ligne, sont indiqués les autres avions que les contrôleurs avaient choisi de prendre en compte pendant dans leurs clusters pendant les expérimentations d'AMANDA V2.

Selon la technique des « triades », la grille est remplie. Des questions du type « qu'est-ce que les deux premiers clusters ont en commun et que le troisième n'a pas » sont posées. En permutant l'ensemble des combinaisons ou jusqu'à ce que le sujet n'apporte rien de nouveau, les similarités de la grille sont obtenues. Par questionnement, la liste des contrastes est établie (la colonne de droite).

GRILLE 3 : RETRANSCRIPTION DE LA PREMIÈRE GRILLE OBTENUE AVEC UN MEMBRE DE NOTRE ÉQUIPE

Similarités	BAL632 KLM1884 BCS1080	BAL632 KLM1884 AFR1657 BCS1080	BAL632 KLM1884 AFR1657 AEL2789	BAL632 KLM1884 AFR1657	BAL632 KLM1884	Contrastes
BAL632-KLM1884 Conflit de base	1	1	1	1	1	Absence du BAL632-KLM1884 => conflit annulé par des doubles directes par exemple
AFR1657 contraint le BAL632	5	1	1	1	5	AFR1657 pris en compte pour la résolution, mais pas représenté ??
BCS1080 contrainte sur la trajectoire du BAL632 => Anticipation	1	1	5	5	5	BCS1080 est un autre conflit, ne pose pas de problème.
AEL2789 en conflit uniquement si action sur AFR1657	5	5	1	5	5	AEL2789 ne pose pas de problème particulier, pas dans le cluster.

Enfin, la dernière étape consiste à donner les pondérations. De nouveau apparait une difficulté. Il faut bien faire percevoir au sujet les nuances entre les pondérations possibles et, parfois, le questionner pour lui faire clarifier une réponse ou une valeur de pondération.

Suite à l'analyse des résultats obtenus à partir de cette première grille, il est possible de tirer quelques conclusions. La présentation de la démarche, des différentes étapes, des notions abordées sont fondamentales au succès de l'entretien. La maîtrise du problème et du domaine par l'interviewer est également importante pour pouvoir comprendre les réponses et relancer le sujet afin de faire éclaircir ou approfondir les réponses.

En ce qui concerne la grille en elle-même, les éléments ne sont pas judicieux dans notre exemple. Comparer deux clusters entiers est assez difficile. Il parait plus astucieux de proposer les différents avions de manière isolée et d'évaluer leur impact sur la résolution du conflit. Les éléments seront donc différents pour les grilles avec les contrôleurs.

5 PROCESSUS D'ENTRETIENS

5.1 LE PROTOCOLE

5.1.1 LA SITUATION

Pour cette étude exploratoire, une situation conflictuelle est extraite des expérimentations d'AMANDA V2 (Figure 38). Cette situation est favorable par la richesse observée dans la création des clusters et des directives possibles.

Le fait de présenter à des contrôleurs de Reims, une situation ayant eu lieu dans un secteur du centre de Bordeaux peut sembler surprenant, dans le sens où les contrôleurs de Reims n'ont pas

les repères, les habitudes pour travailler sur ce secteur. Cependant, en procédant ainsi, l'objectif est d'accéder aux fondements du contrôle aérien qui sont les mêmes quel que soit le centre et le secteur. Cette démarche présente donc plusieurs intérêts, qui sont :

- ❖ un accès aux fondements du contrôle de trafic aérien pour généraliser les concepts,
- ❖ un recul de la part des contrôleurs qui vont se questionner pour répondre et non pas agir par « reflexe » comme ils le font sur un secteur qu'ils connaissent bien,
- ❖ éviter les réponses triviales et obtenir une réelle explication de leurs choix, de leurs actes,
- ❖ enfin, nous possédons déjà une expertise sur ce secteur et de nombreux cas de résolution, qui vont nous permettre de comparer les réponses de Reims et les actions des contrôleurs de Bordeaux.

La situation présentée aux contrôleurs implique deux avions principaux, d'indicatif respectif BAL632 et KLM1884 (respectivement en bleu et en rouge sur la vue radar, Figure 38). Ces deux avions suivent deux routes nord-sud différentes au niveau 350. Dans l'état et sans intervention des contrôleurs, ces deux avions vont se croiser sur la même balise, VELIN, avec moins d'une minute d'écart (les contrôleurs détectent ce temps en utilisant les strips, Figure 39).

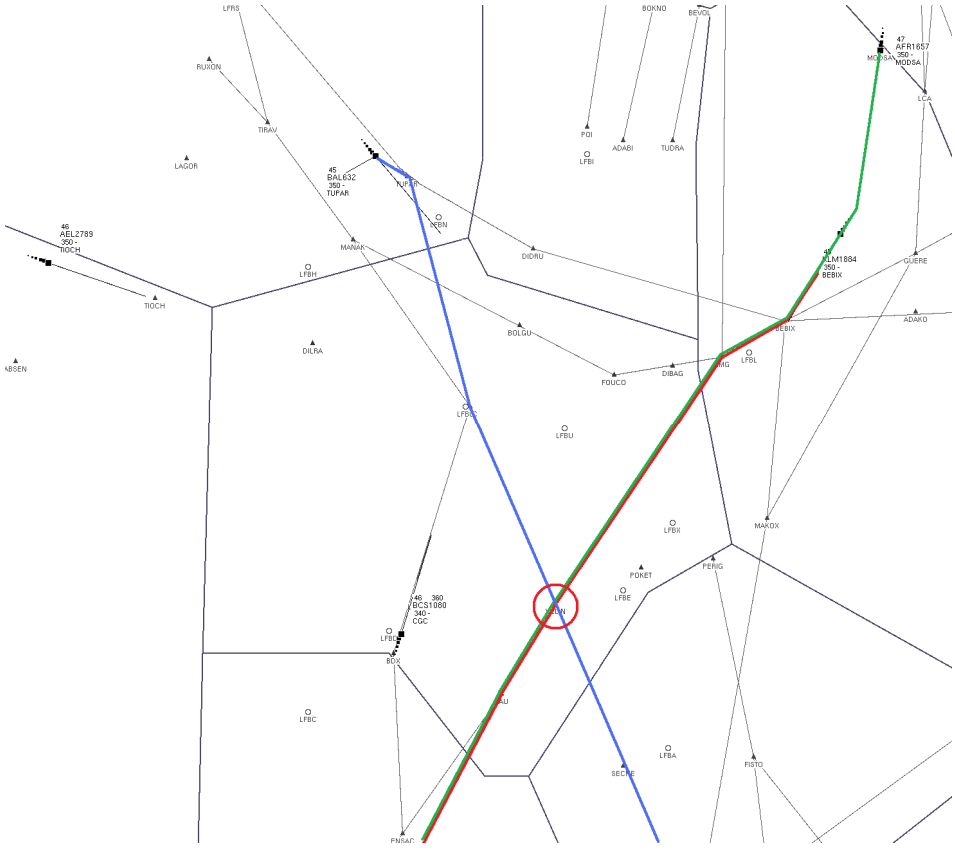


FIGURE 38 : VUE RADAR DU CONFLIT. VUE FILTRÉE, AVEC UNIQUEMENT LES AVIONS POSANT PROBLÈMES, OU À PRENDRE EN COMPTE POUR LA RÉSOLUTION.

Trois autres avions peuvent réduire les degrés de liberté et d'actions des avions principaux. Tout d'abord, AFR1657 (en vert) suit KLM1884 à cinq minutes au même niveau 350. BCS1080 suit une route sud-nord croisant la route du BAL632 au niveau 340. *A priori*, n'étant pas au même niveau, cet avion n'est pas problématique, mais son strip indique qu'il doit quitter le secteur au niveau 360 et par conséquent venir croiser le niveau 350. Enfin, AEL2789 suit une route ouest-est croisant les routes des avions principaux. Dans cette configuration, AEL2789 passe sans problème derrière les deux avions, mais il faut en tenir compte éventuellement si une action retardant un des deux avions principaux est entreprise. Cette situation a été retenue par l'équipe d'étude pour les différences observées dans le choix des avions à prendre en compte dans le cluster par les contrôleurs, durant les expérimentations antérieures. De plus, cette situation présente des caractéristiques intéressantes :

- une relative charge du niveau 350. Il y a 4 avions au même niveau, transitant presque en même temps dans le secteur,
- un avion évolutif qui a été pris en compte de manière différente des attentes des concepteurs d'AMANDA V2, et il serait donc intéressant d'avoir l'avis des contrôleurs sur la gestion de cet avion.

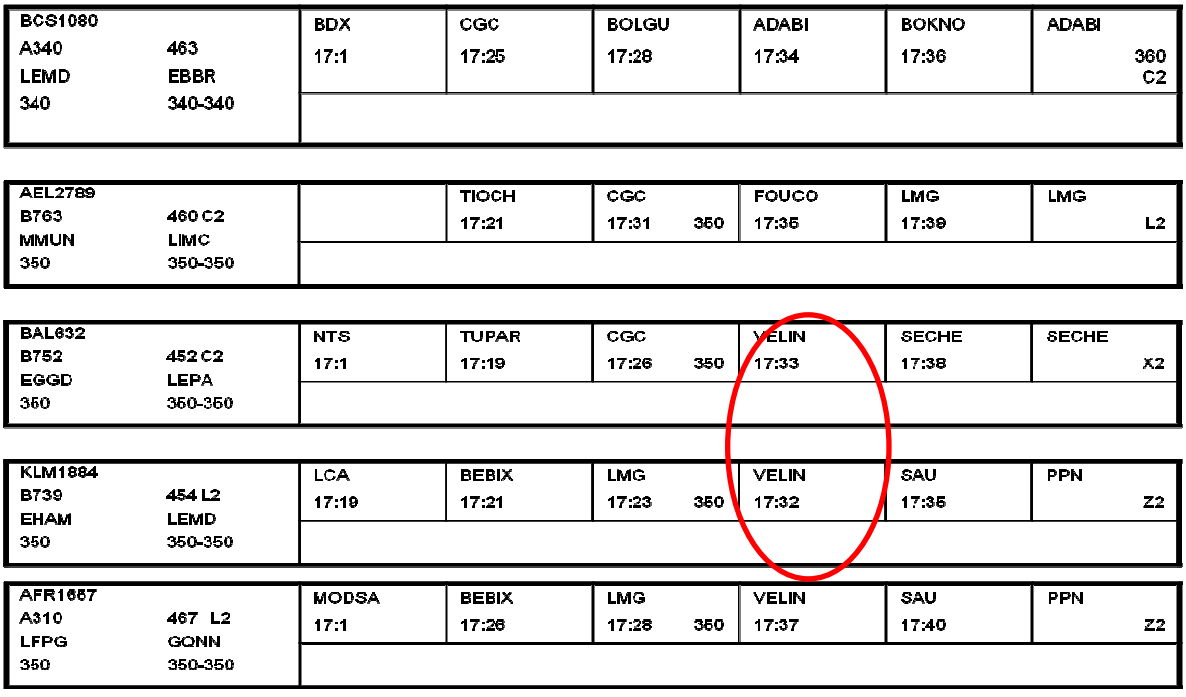


FIGURE 39 : LES STRIPS DES DIFFÉRENTS AVIONS DE LA SITUATION

5.1.2 *LES GRILLES*

Cette partie présente les trois grilles qui sont soumises aux contrôleurs. Les grilles sont pré-remplies avec des éléments issus de la situation décrite précédemment.

5.1.2.1 Niveau 1 : grille pour la détection de conflit, et le choix des avions du cluster.

Il y a donc 5 avions potentiellement en conflit dans cette situation. Le cluster « attendu » par les concepteurs des scénarios expérimentaux était : « KLM1884-BAL632-AFR1657 », avec l'AFR1657 comme interférent, étant donné qu'il n'est pas directement en conflit mais qu'il est à prendre en compte pour la résolution du conflit entre les deux autres. Suite à la première grille, les éléments sont revus et correspondent maintenant aux différents avions possibles en plus du conflit entre BAL632 et KLM1884 (Tableau 8).

TABLEAU 8 : LES ÉLÉMENTS DE LA GRILLE, POUR LE PREMIER NIVEAU DU PROCESSUS DÉCISIONNEL

BAL632 KLM1884	BAL632 KLM1884	BAL632 KLM1884	BAL632 KLM1884
--	BCS1080	AFR1657	AEL2789

5.1.2.2 Niveau 2 : Grille pour le choix d'une directive.

La deuxième grille, qui concerne les directives, se base sur la même situation. Elle présente les directives proposées pendant les expérimentations, auxquelles sont ajoutés, comme le suggère la MMCAD, des cas réalistes, irréalistes ou fictifs (Tableau 9).

Les solutions 1 et 2 sont des directives choisies dans cette situation par les binômes, pendant les expérimentations d'AMANDA V2. La solution 3, n'est pas réellement une directive, mais une façon de faire des contrôleurs pendant les expérimentations. Bien que cette solution semble être propre au secteur de Bordeaux car elle a été régulièrement utilisée, nous en faisons ici une directive. La solution 4 est une solution non choisie dans cette situation, mais choisie à un autre moment de l'expérimentation dans un cas de figure très proche de celui-ci. Cette directive est aussi ajoutée parce que des contrôleurs des expérimentations d'AMANDA V2 ont dit qu'il était dangereux de passer devant, d'autres non rien signalé, et nous voulons donc confirmer ou infirmer cette action. Enfin la dernière solution N°5, est irréaliste : *a priori* aucun contrôleur ne choisirait cette solution, car elle imposerait un trop long déroutement du BAL 632 pour le faire passer derrière l'AFR1657, sans compter le nombre de secteurs non prévus traversés et les coordinations qui en découleraient. Cependant, la méthodologie de Roy nous incitant à étudier le fictif, nous proposons cette solution afin d'obtenir des commentaires de la part des contrôleurs.

TABLEAU 9 : LES ÉLÉMENTS DE LA GRILLE, POUR LE DEUXIÈME NIVEAU DU PROCESSUS DÉCISIONNEL

1	2	3	4	5
BAL632 Passer derrière KLM1884	KLM1884 Passer derrière BAL632	BAL632 Directe KLM1884 Directe	BAL632 Passer devant KLM1884	BAL632 Passer derrière AFR1657
Solution utilisée pendant les expérimentations			Solution réaliste	Solution irréaliste

5.1.2.3 Niveau 3 : Grille pour le choix d'une trajectoire en rapport avec une directive.

Enfin, le dernier niveau concerne le choix d'une trajectoire. Ce cas de figure se place dans un cluster précis et pour une directive donnée (faire passer BAL632 derrière KLM1884) et les trajectoires possibles sont étudiées. Malheureusement, dans cette configuration, une seule directive a été appliquée et donc le système STAR n'a produit qu'une seule solution. Cette grille comprend donc une étape supplémentaire qui va consister à faire exprimer d'autres trajectoires possibles par les contrôleurs. Ces trajectoires seront insérées dans la grille, puis le processus d'entretien pourra commencer, comme pour les grilles précédentes.

5.1.3 LES PERSONNES RENCONTRÉES

Les contrôleurs que nous avons rencontrés sont tous volontaires. La contrainte du trafic, de leurs horaires, fait que nous n'avons pas forcément pu rencontrer autant de personnes que nous le désirions. Néanmoins, le niveau de formation et de compétences des contrôleurs permet de prendre en compte leurs réponses sans le moindre doute sur leurs validités. Le Tableau 10 présente une synthèse des personnes rencontrées avec leurs activités au sein du contrôle aérien.

TABLEAU 10 : DÉTAILS DES ACTIVITÉS DES DIFFÉRENTES PARTICIPANT À L'ÉTUDE.

Désignation dans l'étude	*Poste(s)*
Contrôleur 1 [C1][15]	Contrôleur[16], détaché à la division étude (projet Erato et Datalink), et instructeur
Contrôleur 2 [C2]	Contrôleur, détaché à la division étude (projet Erato)
Contrôleur 3 [C3]	Contrôleur, détaché à l'instruction

5.1.4 LES SUPPORTS

Divers supports sont fournis aux contrôleurs afin qu'ils puissent se représenter correctement la situation à analyser :

[15] Les notations [C1], [C2] et [C3] feront référence aux propos de ces 3 contrôleurs tout au long de ce document. Une retranscription des entretiens est fournie en annexe 2, 3 et 4.
[16] On parle de contrôleur au sens de contrôleur radariste et contrôleur organique, ils peuvent prendre les deux positions indifféremment.

- une vue radar, imprimée à différents moments, permettant de voir l'évolution des avions et du conflit. Les routes sont matérialisées sur certaines vues,
- les 5 strips des 5 avions potentiellement en conflits (Figure 39),
- un diaporama, présentant les trois niveaux d'études. Pour chaque niveau, les situations sont présentées. Ces situations sont en fait les éléments des trois grilles. Ce diaporama offre une interactivité sur la vue radar qui permet aux contrôleurs de consulter toutes les informations sur les vols, les trajectoires, les directives,
- une fiche récapitulant le principe des pondérations pour les grilles,
- du papier brouillon, un tableau blanc et des feutres pour des croquis explicatifs, si nécessaire.

5.2 LES ENTRETIENS

Les objectifs sont de collecter des informations sur la détection et la résolution de conflit ainsi que les coordinations entre CO. Cette session se compose de trois entretiens, espacés chacun de 15 jours. Un entretien dure environ 2 heures. Il se compose :

- d'un retour sur l'entretien précédent (une présentation du projet dans le cas du premier entretien),
- de l'entretien en lui-même,
- puis d'une conclusion/synthèse des données recueillies durant cet entretien.

5.2.1 ENTRETIEN 1 : LES GRILLES

Ce premier entretien vise à établir une grille pour chaque niveau du processus décisionnel (Figure 37). Pour établir les grilles, une situation, extraite des expérimentations d'AMANDA V2, est présentée aux contrôleurs (*cf.* 5.1.1 et 5.1.2). L'objectif est donc de faire énumérer par les contrôleurs les attributs pour les différentes grilles puis d'établir les pondérations [Annebicque *et al.* 2008*e, pp. 23-25*]. La création de ces grilles est donc propice à de nombreuses informations de la part des contrôleurs.

5.2.2 ENTRETIEN 2 : RETOUR SUR LES GRILLES

Le deuxième entretien se base sur les grilles remplies pendant le premier entretien et après une première analyse. Il convient d'éclaircir certains points (voir annexe 5), notamment de vocabulaire pour éviter toute ambiguïté dans l'analyse comme, par exemple, les termes « élégance » et « énergie », mais aussi au niveau des pondérations données. L'objectif étant de définir un système informatique, la nuance des pondérations n'est pas forcement adaptée, alors que cette nuance fait partie entière des contrôleurs et des Hommes en général. Il est intéressant d'essayer de comprendre ce qui pourrait faire basculer un « 2 » ou un « 4 » (préférence faible)

vers un « 1 » ou un « 5 » (préférence forte). De la même manière, les « 3 » (incomparabilité, indifférence) sont explicités. Les explications des contrôleurs nous permettent de mieux comprendre ce qui les pousse à choisir telle ou telle solution. Un certain nombre de questions, découlant directement du premier entretien, sont aussi abordées.

5.2.3 ENTRETIEN 3 : LES COORDINATIONS

Ce troisième entretien, après un retour sur le deuxième, aborde le sujet des coordinations. Une forme d'interview plus classique est utilisée et se compose d'une série de questions établie à l'avance (annexe 6), en fonction de nos connaissances sur le contrôle, des premières analyses des deux premiers entretiens et des objectifs d'AMANDA V3, à savoir aider les contrôleurs à coopérer efficacement, à réduire leurs incertitudes sur la position des avions et les estimés de passage. Ces questions permettront de lancer une discussion avec les contrôleurs et de réagir en fonction de leurs réponses.

5.3 PROCESSUS DE REVUE

Après chaque entretien, le processus de revue est rédigé. Il retranscrit l'ensemble de l'entretien. Il est transmis aux contrôleurs afin qu'ils puissent le lire et l'annoter en conséquence. L'entretien suivant débute par la lecture de ce processus de revue et sa validation. Si cela est nécessaire, des points sont éclaircis (voir par exemple [Annebicque *et al.* 2008*e*], ou annexe 2, 3 et 4 pour les processus de revue des trois participants). Dans notre cadre applicatif, le processus de revue se compose de 6 parties :

- **le niveau 1 : les clusters,** concerne le choix des avions à intégrer dans le cluster,
- **le niveau 2 : les directives,** concerne ce qui permet de choisir une directive en fonction de la situation,
- **le niveau 3 : les trajectoires**, concerne la façon de dévier un avion, les caps à donner…,
- les **autres observations**, c'est-à-dire toutes les réponses que les contrôleurs ont apportées, mais qui ne rentrent dans aucune des catégories précédentes, comme par exemple : des remarques sur leur métier, des exemples ou des situations, des « conseils » vis-à-vis de ce qu'ils attendent d'un outil d'aide…,
- les **coordinations**. La majorité des informations de cette partie a été apportée pendant le dernier entretien. Ce point concerne tout ce qui est en rapport avec les coordinations : quand coordonner, comment coordonner, les cas de coordinations, les informations nécessaires…,
- **premières conclusions pour la plateforme**. Cette partie regroupe les premières conclusions qu'il est possible de tirer, à chaud des entretiens, vis-à-vis de la plateforme

AMANDA. Les demandes faites directement par les contrôleurs, c'est-à-dire la demande explicite d'un outil pour faciliter leur travail quotidien, sont inscrites dans cette partie.

Toutes les interventions sont numérotées afin d'être facilement référencées dans d'autres documents.

En plus de ces parties, le processus de revue inclut au début du document un tableau reprenant les modifications apportées au fil des rencontres avec les contrôleurs (Tableau 11). Ce tableau permet de conserver une trace des actions telles que les ajouts, les suppressions et les modifications. À chaque intervention sur le processus de revue, celui-ci est enregistré sous un nouveau nom et le tableau est mis à jour en fonction des changements par rapport à la version précédente.

TABLEAU 11 : EXEMPLE DE TABLEAU DE SUIVI DU PROCESSUS DE REVUE (EXTRAIT DE L'ANNEXE 2)

Paragraphes validés	**1.[1], 1.[2], 1.[3], 1.[4], 1.[5], 1.[7], 2.[1], 2.[1].(i), 2.[1].(iv), 2.[2], 2.[3], 2.[4], […]**
Paragraphes modifiés, annotés ou complétés	**1.[6], 2.[4].(iii), 2.[5], 2.[8].(ii), 3.[2], 3.[3], 3.[6], 4.[5]**
Paragraphes supprimés	**2.[8].(iv), 2.[8].(v), 3.[5], 3.[7], 3.[8]**
Paragraphes ajoutés	**3.[2].(i), 3.[2].(ii), 3.[2].(iii), 3.[2].(iv), 3.[2].(v), 4.[9], […]**
Paragraphes en attente	

5.4 OBSERVATIONS EN SALLE.

En complément de ces entretiens nous avons pu, pendant trois jours, observer les contrôleurs directement dans la salle de contrôle, selon leurs conditions réelles de travail. Il est bien évident qu'il n'était pas possible de les déranger directement pour des questions dans ces conditions, et un contrôleur « conseil » était donc présent. Ce contrôleur, connaissant parfaitement le centre et ses collègues, était à même d'expliquer ce qui se passait et, en particulier, les phases de coordinations. Les observations en salle avaient donc plusieurs objectifs :

- identifier, analyser et décrire l'ensemble des outils que les contrôleurs ont à leur disposition,
- identifier des cas de coordinations, essayer d'identifier des points communs entre ces coordinations, en vue de développer le nouvel ETC,
- identifier les cas de résolution, les façons de faire, pour améliorer l'outil STAR,
- observer les difficultés, les problèmes que les contrôleurs peuvent rencontrer,
- essayer d'établir la répartition des différentes tâches du CO.

De nombreux relevés ont été effectués comme l'activité des contrôleurs et les cas de coordinations, et une description précise des outils à disposition des contrôleurs a été réalisée (*cf*. annexe 1). Des enregistrements des passations observées ont été fournis par le CRNA-Est.

6 CONCLUSIONS

Ce chapitre présente une application de la démarche d'acquisition d'informations et de modélisation du processus décisionnel décrite dans le chapitre précédent et, ce, dans le contexte opérationnel du trafic aérien. Ce chapitre commence par un approfondissement du métier en présentant les coordinations entre secteurs. Le chapitre se poursuit par une présentation des objectifs de la plateforme AMANDA V3 et des enjeux scientifiques. Ces objectifs sont de deux ordres : (*i*) améliorer l'outil de calcul de trajectoires, STAR, afin de proposer des solutions qui correspondent mieux aux pratiques des contrôleurs ; (*ii*) étendre les principes de l'ETC fonctionnant sur un seul secteur, à la coopération entre plusieurs secteurs distants.

La troisième partie concerne l'application de la démarche. Après avoir montré que le contrôle aérien est un domaine qui se prête bien à l'application de cette démarche de par sa nature multicritère et le haut niveau d'expertise des opérateurs, la démarche en trois étapes est détaillée en fonction du domaine d'étude. Un exemple d'un entretien réalisé avec la méthode d'analyse de grille termine cette partie.

La partie suivante présente le protocole mis en place afin de rencontrer les contrôleurs. Cette partie présente notamment la situation, les différentes grilles, les contenus des trois entretiens et enfin le processus de revue. Ce dernier est utilisé pour capitaliser l'ensemble des données apportées par les contrôleurs durant les entretiens mais aussi pour permettre une validation des informations. Enfin, des observations en salle de contrôle ont été menées et la démarche ainsi que les objectifs de ces observations sont décrits à la fin de cette partie.

Le chapitre suivant va présenter l'analyse des entretiens, des grilles et des observations en salle en vue d'établir une liste de critères et de préférences afin de pouvoir modéliser le processus décisionnel des contrôleurs en situation de détection/résolution de conflit et de coordinations.

CHAPITRE 5

ANALYSE DES ENTRETIENS, DES GRILLES ET DES OBSERVATIONS EN SALLE

1 INTRODUCTION

Le chapitre précédent a présenté la démarche mise en place pour accéder à un maximum d'informations visant à développer la nouvelle version de la plateforme AMANDA V3. Cette démarche repose principalement sur trois entretiens par contrôleur. Ces entretiens, appuyés par une méthode d'analyse de grille, ont permis de recueillir beaucoup d'informations, que ce soit sur le métier de contrôleur, mais aussi sur leurs méthodes de travail.

Ce chapitre se compose de trois grandes parties. La première détaille l'analyse des entretiens, sans tenir compte, dans un premier temps, des analyses de grille. La seconde partie s'intéresse aux grilles et en propose une lecture et une analyse. Cette lecture conforte les premiers résultats des entretiens et vient les renforcer par des notions de pondérations et de préférences. Enfin la troisième partie expose les résultats des observations en salle de contrôle.

2 ANALYSE DES ENTRETIENS

2.1 PRINCIPES D'ANALYSES

Cette première partie présente une synthèse[17] des analyses des entretiens effectués avec les contrôleurs de Reims sur une situation de contrôle définie et présentée dans le chapitre précédent [Annebicque *et al.*, 2009*b*]. L'analyse se divise en cinq parties. Les trois premières correspondent aux trois niveaux du processus décisionnel : détection du conflit, choix d'une directive et choix d'une trajectoire. Lors des entretiens, les contrôleurs ont aussi apporté d'autres observations et informations, ne pouvant être classées dans les trois niveaux précédents. Celles-ci feront l'objet d'une quatrième partie. Enfin, la dernière partie concerne l'aspect coordination. Seule l'analyse générale, qui se détache d'une situation particulière afin de généraliser les méthodes de travail, est ici décrite.

2.2 NIVEAU 1 : DÉTECTION DU CONFLIT

La notion de cluster introduite avec AMANDA (un regroupement d'avions à prendre en compte pour la résolution d'un conflit) ne trouve pas de réel écho chez les contrôleurs, dans les conditions de travail actuelles. En effet, elle implique une trop longue analyse de la situation pour choisir, d'une part les avions en conflit (ce que les contrôleurs font, par exemple BAL632 et KLM1884) et d'autre part les avions interférents (AFR1657, BAL632 ou AEL2789). Ce second point est d'autant plus délicat que STAR pouvait venir ajouter automatiquement ces avions, ce qui impliquait une analyse de la part des contrôleurs pour évaluer l'impact de ce nouvel avion. Actuellement, et en partie à cause de la répartition des tâches, les contrôleurs vont fortement dissocier la détection du conflit (dévolue au CO), de sa résolution (dévolue au CR). De ce fait, le

[17] Le lecteur pourra consulter [Annebicque *et al.* 2009*a*] pour avoir une analyse détaillée.

CO va tendre à simplifier au maximum le problème et ne prendre que les avions directement en conflit. Ces avions sont choisis en fonction principalement des instants estimés de passage au-dessus des balises. Éventuellement, si la situation est un peu plus complexe, le CO pourra signaler à son CR une surveillance accrue sur un troisième avion. Le CR aura ensuite la tâche de résoudre ce conflit. Il est important de préciser que dans le cadre des expérimentations d'AMANDA V2, les contrôleurs ont eu une formation sur les clusters et la plateforme dans son ensemble. De plus, l'objectif de ces expérimentations était d'évaluer les concepts apportés. Les contrôleurs se sont donc pliés à l'exercice et ont assimilé et exploité les clusters.

Dans la phase de détection, dédiée au CO, il n'y a donc pas de comparaison ou d'analyse de plusieurs cas de figure et seul le conflit « évident » est repéré. Cependant, les contrôleurs ne rejettent pas catégoriquement la notion de cluster. Eux aussi regroupent les avions par l'intermédiaire de signes, d'annotations, de classement sur le tableau de strips… En cela, dans un contexte sans strip, le cluster est intéressant. Mais il semble évident que la définition des clusters doit rester de la maîtrise du contrôleur et que le système ne doit pas venir influencer le choix des avions, ce qui impliquerait une analyse supplémentaire pour le contrôleur.

2.3 NIVEAU 2 : CHOIX D'UNE (OU PLUSIEURS) DIRECTIVE(S)

En synthétisant l'analyse des contrôleurs sur les directives présentées, un certain nombre de « critères » ont été obtenus pour choisir et établir une bonne stratégie de résolution. La première notion que les contrôleurs abordent (C1[18] en particulier) est le **côté naturel d'une solution,** c'est-à-dire la résolution la plus logique, celle qui va dans le sens naturel de l'évolution de la situation. Ainsi, dans la situation présentée, naturellement le BAL632 passe légèrement derrière le KLM1884, donc si le contrôleur accentue la déviation du BAL632, celui-ci passera derrière le KLM1884 : c'est la résolution naturelle. La seconde notion est le **cap faible** (précisons que la valeur d'un cap faible reste assez floue, pour certains c'est 5-10°, pour d'autres c'est inférieur à 30°). Ces deux notions, qui semblent relativement évidentes, sont toutefois nuancées par le fait que la configuration de la situation peut ne pas permettre ce type de solution.

Une autre notion concerne le fait que la résolution se fasse, autant que possible, à **l'intérieur du secteur**. Ceci se comprend dans le sens où une résolution qui devrait « déborder » du secteur impliquerait une phase de coordination avec l'autre secteur.

Les contrôleurs essayent aussi d'appliquer trois autres critères importants quand ils choisissent une stratégie. Ils veillent, tout d'abord, à ce que la situation soit **stable**, c'est-à-dire que les avions aient une route relativement « droite » et prévisible. Ils vont veiller à ne pas trop dégrader cette stabilité avec la résolution. Ensuite, ils cherchent à **simplifier** autant que possible

[18] Désigne le contrôleur 1, 2 ou 3 ayant participé à l'étude. Les comptes rendus sont en annexe.

la résolution, tant en termes d'ordres à envoyer, qu'en temps de surveillance. Enfin, ils se préoccupent aussi du **confort des pilotes** et indirectement des passagers en facilitant l'application des instructions et en minimisant le nombre de changements.

La notion de directive est fortement liée à la notion de résolution/trajectoire (qui correspond au niveau 3). Ainsi, dans cette analyse, les contrôleurs évoquent plusieurs critères en rapport avec l'aspect trajectoire, notamment le fait que la résolution doit être la **plus courte** possible et ne **pas prendre trop de temps**. Cette notion de temps intègre en fait le temps de surveillance pour le contrôleur qui génère une charge de travail. Un second point important concerne **l'écart de l'avion par rapport à sa route initiale,** le plan de vol. Cette notion est directement reliée à la notion de cap faible. Elle est compréhensible car les routes sont formatées, les contrôleurs les connaissent et ils ont des repères. Un avion qui s'éloigne va nécessiter plus de surveillance. De plus, s'écarter de la route peut venir créer des conflits non « habituels », ce qui serait très coûteux pour les contrôleurs d'un point de vue cognitif.

2.4 NIVEAU 3 : CHOIX ET APPLICATION D'UNE TRAJECTOIRE

Ce troisième niveau a pour but d'identifier les critères d'une trajectoire permettant une résolution, notamment dans le but d'améliorer l'outil de calcul de trajectoire STAR.

Pour les contrôleurs, la recherche d'un instant précis pour appliquer un ordre est incompatible avec la prévisibilité du trafic et leurs activités. Cela pourrait de plus les désynchroniser de leur processus décisionnel.

Les contrôleurs ont recours à des règles relativement simples et standardisées pour résoudre un conflit. Ceci explique la tendance qu'ils ont à stabiliser des situations et à se ramener à des situations connues afin de pouvoir appliquer ces règles et résoudre ainsi rapidement le conflit avec une grande certitude.

C1 précise qu'il préfère envoyer peu d'ordres pour gérer une situation. Ainsi, il va préférer donner un grand cap plutôt que deux petits. Cela lui permet d'économiser des ressources et de gagner en « énergie ». C1 évoque aussi les normes. La norme de séparation minimale dans le contrôle est de 5NM mais il indique se baser plutôt sur 6-7NM pour séparer deux vols (C3 va même jusqu'à appliquer 7-10NM de séparation). Il évoque également le fait de donner un cap à deux avions se croisant entre 5 et 15NM. Cette résolution semble *a priori* superflue car les avions passent au-delà de la norme, mais il argumente son choix par la stabilisation de la situation et une augmentation de la certitude. Ainsi, le contrôleur se libère d'une tâche de surveillance supplémentaire en garantissant la séparation. Cette action a un second avantage qui est d'informer le CO de la bonne prise en compte d'une situation quelque peu fragile.

C1 et C3 parlent de la possibilité de résoudre le conflit en utilisant un changement de niveau. C1 précise que ce choix se ferait plutôt pour un avion devant évoluer. C3 propose ce type de résolution comme un nouveau mode de résolution rapide et fiable.

C2 et C3 abordent la notion de prévisibilité des ordres. C2 parle notamment de la plus grande fiabilité et du faible risque d'ambiguïté en employant des ordres en cap. Les directes présentent selon lui un plus grand risque d'incompréhension et d'erreur de la part des pilotes. De plus, visualiser sur la vue radar l'application d'une directe peut demander plus de surveillance que l'application d'un cap. En outre, C3 évoque la difficulté de prévoir une route ou une modification de route, si celle-ci est « coudée », c'est-à-dire si la route de l'avion comprend de nombreux caps, ce qui est fréquent dans l'espace aérien géré par le centre de Reims. Il est donc préférable d'attendre ou de stabiliser la situation avant d'agir. Il précise également qu'au-delà de trois minutes, une situation devient difficilement prévisible de manière précise.

La remise sur la route est clairement dissociée de la résolution du conflit. D'ailleurs, seul C2 évoque la remise sur la route et plutôt en termes de surveillance. Par conséquent, proposer en même temps que la résolution la remise sur la route peut paraître déstabilisant pour les contrôleurs et risque, à nouveau, de les désynchroniser de leur processus décisionnel. Les contrôleurs n'ont pas et ne peuvent pas avoir la projection de la remise sur la route après la résolution. Toutefois, C2 précise que la remise sur la route ne se fera qu'une fois le conflit terminé, *i.e.* une fois que les avions se sont croisés et ce pour des raisons de fiabilité. Il se base sur la vue radar pour évaluer le bon moment. C1 et C3 n'évoquent pas la remise sur route.

Les contrôleurs ont eu du mal à dissocier les niveaux : « choix d'une stratégie » et « application d'un ordre ». Ainsi, de nombreuses informations glissent du niveau 3 vers le niveau 2 ou inversement.

2.5 LES AUTRES INFORMATIONS

Dans cette partie sont rassemblées toutes les informations apportées par les contrôleurs mais n'entrant pas dans le cadre des trois niveaux précédents. Ces informations proviennent en partie du deuxième entretien qui avait pour objectifs d'approfondir certains points évoqués lors du premier entretien.

Le premier complément demandé et apporté par les contrôleurs concerne les notions d'élégance et d'énergie. Pour C1 et C3, l'**élégance** est le respect de la route des avions, des trajectoires prévues au plan de vol. C3 précise qu'il faut respecter les bonnes distances de séparation. C2 a une définition légèrement différente. Pour être élégante, la résolution doit pénaliser le moins possible l'avion, c'est-à-dire ne pas le dévier trop par rapport à sa route. Il considère donc que l'élégance est la non-pénalisation infligée à un avion dans le cadre d'une résolution. Bien que

cette notion soit introduite spontanément par C1, les autres contrôleurs trouvent une définition à cette notion, qui plus est très similaire.

En faisant le lien entre les diverses réponses sur les niveaux et les éclaircissements apportés sur la notion d'élégance, il devient possible de statuer sur ce qu'est une résolution élégante :

- une accentuation de la tendance naturelle d'un vol, d'une situation, avec une faible modification du cap (5-10°),
- une action préférée sur le deuxième avion arrivant au point de conflit.

Sans qu'elle soit évoquée clairement, la remise sur la route essayera de suivre cette notion d'élégance, avec notamment une remise sur la route avec un cap faible.

La seconde notion abordée est l'**énergie**. Cette notion une nouvelle fois introduite par C1 lors du premier entretien, est soumise aux deux autres participants. Chacun des trois contrôleurs a sa propre définition. D'ailleurs plus qu'une définition, ce sont des règles qu'ils s'appliquent ou des situations qu'ils estiment coûteuses en énergie. C1 aborde par exemple la notion d'énergie comme une réduction du temps passé à gérer un problème ; C2 parle de simplicité en termes de surveillance et de nombre d'opérations ; C3 estime qu'il est préférable de passer un peu plus de temps pour établir une solution plutôt que de devoir revenir sur une première solution. D'une manière plus globale, un temps de surveillance trop long est coûteux en énergie. C2 précise que pour lui, une surveillance ne devrait pas excéder 15 minutes.

L'énergie peut donc, semble-t-il, être définie comme l'effort nécessaire pour la réalisation d'une tâche de contrôle. Cependant, les contrôleurs établissent une relation forte entre économie et énergie. Plusieurs façons d'arriver à cette économie d'énergie sont concevables, certaines étant moins coûteuses que d'autres. C3 précise que cette économie est faite afin de rester disponible pour d'autres événements ou de nouveaux problèmes qu'il n'aurait pas anticipés. Il ajoute même la nécessité de savoir gérer ses propres ressources. Cette gestion inclut l'estimation de l'activité à venir et le classement par ordre de priorité des diverses tâches à accomplir.

Durant les entretiens, nous avons essayé d'établir un lien entre la notion d'énergie et la charge de travail, ces deux idées nous semblant proches. C1 et C3 ont répondu à cette question. C1 associe la notion de charge de travail à une tâche précise. De plus, pour lui, la charge de travail est ponctuelle alors que l'énergie se gère sur un plus long terme. Il associe plutôt la charge de travail au nombre d'avions dans le secteur, ce qui implique plus de surveillance et de tâches de contrôle. C3 a une vision de la charge de travail comme une gestion anticipative des ressources, une économie de ces ressources. Pour lui, les deux notions semblent proches.

2.6 SYNTHÈSE RELATIVE À LA GESTION DE CONFLIT

Cette partie dresse les conclusions pour chacun des niveaux dans le cadre d'une résolution de conflit [Annebicque *et al.*, 2009*b*].

Concernant le niveau 1, la détection du conflit et la création du cluster, il ressort que seuls les avions directement en conflit (c'est-à-dire se croisant sous la norme de séparation) sont pris en compte, les avions pouvant contraindre le conflit étant exclus à ce stade par les contrôleurs. Les résultats issus d'AMANDA V2 avaient déjà montré ce fait. En effet, les contrôleurs lors de la création des clusters n'intégraient pas les avions interférents alors qu'ils en avaient la possibilité, ce qui confirme donc ici ce résultat.

Pour le niveau 2, le choix de la stratégie va essayer d'accentuer la tendance naturelle de la trajectoire des avions. C'est éventuellement à ce niveau que les avions potentiellement contraignant sont pris en compte dans le choix de la directive mais sans être exprimés dans les clusters. Les possibilités d'actions sont relativement réduites car imposées par la situation et son environnement.

Enfin, concernant le niveau 3 et le choix de la trajectoire, l'ordre va avoir tendance à modifier aussi légèrement que possible la trajectoire d'un des deux avions. Des activités secondaires peuvent être entreprises afin d'éviter l'apparition d'un problème avec un avion contraignant, comme par exemple une activité de surveillance ou de légers ajustements par une modification légère de cap.

Ces entretiens révèlent deux notions très importantes pour les contrôleurs : l'élégance et l'énergie. L'élégance est une notion attachée aux avions et détermine la majorité des choix d'actions. L'élégance correspond à une modification mineure mais suffisante de la route d'un avion afin de résoudre le conflit. Cette modification permet de rester très proche de la route initiale de l'avion ce qui permet aux contrôleurs d'appliquer des solutions de résolution habituelles. L'énergie est une notion attachée aux contrôleurs eux même et ne semble pas être liée particulièrement à un contexte. L'énergie semble être une réserve des ressources des contrôleurs afin de pouvoir gérer le futur et les imprévus.

Ces notions sont initialement apportées pendant le niveau 2 mais trouvent écho lors de l'étude du niveau 3. De plus, il existe un lien entre la solution élégante, qui permet de conserver les repères pour agir rapidement et de manière fiable, avec le souci d'économie d'énergie des contrôleurs. Même si l'élégance est un souci majeur pour les contrôleurs, l'énergie est plus prédominante et les contrôleurs auront tendance à appliquer des solutions moins élégantes plutôt que risquer de ne plus avoir de ressources.

Si ces deux notions sont transposées à un système de résolution automatisé tel que STAR, l'élégance peut être vue comme une caractéristique clé du système. En effet, dans le cadre d'un système automatisé, la notion d'énergie est inexistante et la solution proposée pourrait et devrait être élégante systématiquement. Pour aboutir à cela, il faut bien appréhender les données que manipulent les contrôleurs dans les situations conflictuelles. Ces données peuvent

faire l'objet de procédures de travail que le système pourrait appliquer. Ainsi le système présenterait des trajectoires en adéquation avec les habitudes de travail des contrôleurs. Les contrôleurs ne perdraient donc pas de temps à comprendre la solution et ils seraient en confiance quant à la bonne résolution du conflit. De plus, l'application d'une telle solution ne viendrait pas perturber la globalité du trafic du secteur et les contrôleurs ne seraient donc pas surpris par les trajectoires adoptées par le système automatique dans leur phase de surveillance.

Enfin, ces deux notions, élégance et énergie, ne peuvent pas décrire l'ensemble du contrôle de trafic aérien et les différentes tâches qui sont associées. L'élégance trouve sa place dans la résolution d'un conflit ou, d'une manière générale, dans une action sur un avion. L'énergie quant à elle, liée à la notion d'économie des ressources cognitives, ne justifie pas complètement l'intérêt des contrôleurs à se ramener à des situations stables, connues, ou à appliquer des règles de déviation sur des avions qui ne sont pas en conflit (cas des avions qui se croisent entre 5 et 15NM par exemple). De ce fait, un cadre plus global prenant en compte toutes ces notions doit être proposé.

2.7 ANALYSE DES ENTRETIENS - LES COORDINATIONS

Le troisième et dernier entretien avait pour objectif d'étudier les activités de coordination. Il n'y avait pas de support pour cet entretien et la discussion était donc relativement libre, guidée par une série de points à aborder (Annexe 6). Les thèmes abordés sont les différents cas de coordination, le temps passé à coordonner, les solutions possibles et l'impact d'un fort trafic sur ces différentes tâches. Cette partie dresse une synthèse des réponses des contrôleurs, qui seront principalement exploitées pour la conception de l'ETC-Étendu.

Le premier point concerne la très grande diversité des cas de coordinations. C1 parle des coordinations liées au transfert, en entrée ou en sortie de secteur, d'un avion : gestion des modifications d'entrée et/ou de sortie, modification du plan de vol, gestion d'un vol non prévu, et tous les cas non prévus et réglementés par les LOA (lettres d'accord, qui est un document contenant un ensemble de règles que doivent respecter les contrôleurs lors d'un transfert d'un avion d'un centre à un autre). C2 confirme ces cas de figure et insiste sur les cas qui ne sont pas dans les LOA et qui doivent faire l'objet de coordinations explicites par téléphone. C3 parle plus précisément des cas de coordination induits par l'étroitesse des secteurs, c'est-à-dire lorsque le CR résout un conflit et qu'il n'a pas la possibilité de terminer cette résolution dans son secteur. Il évoque d'une manière plus générale des interventions en début ou en fin de résolution. Il précise que, dans le cas idéal, une résolution à l'intérieur du secteur est favorable pour le CO. Dans tous les cas, le transfert d'un avion ne peut se faire qu'une fois la séparation garantie ou que la résolution est engagée et en passe de garantir cette séparation. C2 précise qu'en dessous de 10NM d'écart par rapport à la route initiale, il n'y a pas forcément de coordination. C1 parle également de coordination dans le cadre de conflit en limite de secteur afin de choisir quel

secteur va résoudre le conflit. C1 et C2 évoquent l'aspect délégation de niveau[19] et l'implication du CO dans ces cas-là.

D'une manière générale, la tâche de coordination est une tâche générant une charge de travail importante pour le CO. Même si les contrôleurs affirment que cette tâche n'est pas perturbante car faisant partie intégrante du métier, elle demande beaucoup de ressources.

De ces entretiens et de cette analyse, il apparaît que le déroulement d'une coordination suit quatre phases.

- La première concerne une pré-analyse de la situation visant à juger de l'éventualité d'une issue positive. Aucune information sur la durée de cette phase n'est disponible. Il est probable qu'elle soit très courte. Cette phase termine le processus de gestion d'une coordination si le contrôleur estime qu'elle présente peu ou pas de chances d'aboutir. Dans le cas contraire, le CO cherche à entrer en contact avec le CO du secteur concerné. Le processus entre alors dans la phase suivante.
- La deuxième phase correspond à l'attente de la réponse du CO du secteur concerné. La coordination sera abandonnée au-delà d'un délai de 30 à 40 secondes. Si le contrôleur répond, le processus entre dans la phase suivante.
- La troisième phase représente un premier niveau de gestion immédiate de la coordination. À l'exposé du problème, le CO adjacent acceptera ou refusera d'accéder à la requête du contrôleur qui le contacte. Le processus de coordination se termine alors. Dans le cas contraire, le processus se poursuit à l'étape suivante.
- La quatrième et dernière étape concerne la négociation entre les contrôleurs pour répondre à la requête émise. Cette étape dure une quinzaine de secondes. Elle aboutira à un accord satisfaisant les deux parties ou à un échec. Le processus de gestion de la coordination est alors terminé.

Une coordination constitue une manière de gérer un problème avec l'éventualité d'un abandon ou d'un échec. Les coordinations correspondent en fait à une estimation d'une situation par le contrôleur et s'appuient sur la rationalité interne du contrôleur qui exprime un besoin pour un problème donné. La possibilité d'un refus, le principe de négociation, l'aptitude à convaincre et l'éventualité du rapport de force montrent pour leur part qu'une coordination se situe à la jonction des deux points de vue rationnels des deux contrôleurs qui tentent de s'harmoniser.

En plus d'une gestion de chaque coordination, les contrôleurs doivent assurer la gestion globale de l'ensemble. En effet, les CO répondent à des sollicitations extérieures émises par le CR ou les autres COs. Le CO a donc la charge d'assurer la cohérence globale de toutes ces sollicitations.

[19] Voir en annexe 1 pour une explication de cette notion.

Elles relèvent d'une fonction organisationnelle et non d'une fonction opérationnelle. Mais, en l'absence de références concrètes, cette organisation ne constitue pas une référence suffisamment dure pour assurer cette cohérence. Soumis à la forte pression de la simultanéité des problèmes, sans références extérieures, les COs s'appuient sur une seconde rationalité interne, d'un niveau plus stratégique et concernant la gestion des ressources, qui doit s'articuler avec la première.

La surveillance du trafic et du CR par le CO, abordée sans sollicitation directe, apparait importante, sans être détaillée par les contrôleurs rencontrés. Cette surveillance est en effet fondamentale. Elle permet d'identifier les problèmes à traiter, elle est nécessaire à la gestion globale et elle permet d'offrir un appui au CR, en pré-détectant les conflits, en anticipant une coordination pour résoudre le conflit ou encore en préparant une stratégie de résolution. Les fonctions de contrôle organique associées au trafic apparaissent donc plus importantes que les fonctions organisationnelles. Les COs sont donc confrontés à une difficulté supplémentaire de gérer simultanément des tâches de nature tactique (appui au CR), stratégique (coordination) et organisationnelle (priorité entre les coordinations).

2.8 ANALYSE DES ENTRETIENS – CONCLUSIONS

2.8.1 CONCLUSIONS SUR LES ENTRETIENS

Le protocole d'entretien aborde les trois niveaux de détection, choix d'une stratégie et résolution de façon séparée. Le Tableau 12 montre la répartition du volume des propos des contrôleurs sur les trois niveaux, en nombre de paragraphes. L'analyse des entretiens a fait apparaître que certains propos des contrôleurs ne concernaient pas le niveau recueilli. Il a été constaté des glissements du niveau 1 vers le niveau 2, du niveau 2 vers le niveau 3 et une remontée du niveau 3 vers le niveau 2. Cet aspect nous a amené à reventiler le volume des propos des contrôleurs et à montrer que le niveau 2 reste le plus commenté. Les glissements attestent du resserrement temporel des phases de gestion des conflits. Les contrôleurs ont tendance alors à se focaliser sur l'essentiel pour gérer la situation. Ils répondent à l'échéance qui se rapproche en fermant les décisions vers l'action, sans ouvrir leur analyse vers des problèmes connexes. Les contrôleurs ne semblent pas accorder de plus value à une gestion optimale de la situation.

TABLEAU 12 RÉPARTITION DES PARAGRAPHES DU PROCESSUS DE REVUE EN FONCTION DES NIVEAUX.

	C1	***Après Ventilation***	***C2***	***Après Ventilation***	***C3***	***Après Ventilation***
Niv. 1	7 (11,67%)	4 (6,67%)	5 (27,78%)	2 (11,11%)	6 (22,22%)	2 (7,41%)
Niv. 2	28 (46,66%)	29 (48,33%)	8 (44,44%)	9 (50%)	17 (62,96%)	22 (81,48%)
Niv. 3	25 (41,67%)	27 (45%)	5 (27,78%)	7 (38,89%)	4 (14,82%)	3 (11,11%)

Le niveau 2, qui a suscité le plus d'interventions, témoigne d'un certain basculement dans l'action une fois le problème identifié. L'amélioration de l'appréciation de l'effet des actions sur le trafic apporterait une réelle plus-value au contrôleur. Il s'agit en fait d'accentuer la redondance déjà opérée entre les contrôleurs d'une position. Cette redondance prend la forme d'une surveillance mutuelle entre les contrôleurs, du collationnement quand le CR envoie des ordres aux pilotes… Cette redondance est importante pour les contrôleurs car elle permet une vérification et ainsi une plus grande sécurité. La redondance doit être vue comme critique des actions entreprises et non simplement confirmatoire. La redondance permet un examen détaillé de la solution par le contrôleur dans le cadre de la surveillance, par le pilote lors de l'envoi d'ordres... D'un point de vue décisionnel, cette redondance permet d'accentuer le resserrement de la décision vers l'action et de fermer plus rapidement la décision.

Les contrôleurs essayent de traiter rapidement les conflits. En effet, attendre qu'un conflit évolue ne garantit pas que la solution soit plus favorable. Cela peut même provoquer le contraire, car au moment d'appliquer la solution, le contrôleur peut être surchargé par d'autres conflits. Pour éviter cela, ils agissent donc dès qu'ils ont choisi/décidé une méthode de résolution. Les contrôleurs ne sont pas en mesure de prédire ce qu'ils vont faire, ou ce qu'il faudra faire dans quelques minutes et ils doivent donc garder des ressources pour gérer le futur : c'est l'économie d'énergie.

Les conclusions précédentes ne constituent pas pour autant une remise en cause des principes sous-jacents à AMANDA. La validité expérimentale ne permettait pas de vérifier la validité pratique. Les conditions d'une telle validité sont désormais acquises. Les situations proposées ont permis aux contrôleurs d'exprimer leur pratique professionnelle. En donnant des illustrations de situations qui ne se retrouvent pas dans la réalité, le protocole a par ailleurs permis de susciter des commentaires de cette pratique. Ainsi, la manipulation de plusieurs variantes d'un même problème lors de la détection de conflit n'apparaît pas conforme à la pratique des contrôleurs. Cependant, ils parviennent sans aucune difficulté à commenter les différentes possibilités et à apporter une conclusion. Il en va de même plus largement pour les différentes étapes de gestion d'un conflit, bien que ces étapes ne présentent pas une réalité de la pratique. Le cadre d'AMANDA peut donc côtoyer le cadre de la pratique professionnelle des contrôleurs sans difficulté. Les principes d'AMANDA présentent donc une légitimité vis-à-vis de la pratique.

Le protocole s'appuie sur des situations du contexte de Bordeaux. Pourtant, l'ensemble des contrôleurs a utilisé le contexte propre à Reims pour analyser et commenter les situations. En particulier, tous les contrôleurs ont évoqué l'étroitesse des secteurs, ce qui n'était pas une caractéristique des situations proposées. Le nombre réduit d'entretiens, associé à une limitation de leur durée, montre que la pratique opérationnelle des contrôleurs est immédiatement

décrite. Malgré un cadre de départ clairement défini et illustré, la liberté dont disposaient les contrôleurs dans les commentaires qu'ils apportent montre que les fondements de leur pratique sont utilisés de façon stable. Le faible taux de modifications des propos, attesté par le processus de revue, en apporte le témoignage par ailleurs. En effet, seul le contrôleur C1 effectue 8 modifications et 5 suppressions sur 60 points (annexe 2). Enfin, bien que les propos des contrôleurs présentent de nombreuses différences, il est possible de les mettre en relation au sein d'un cadre cohérent. L'élégance et l'énergie constituent une partie de ce cadre qui sera complété par la suite.

2.8.2 VERS UN CADRE GLOBAL : LA NOTION DE MAÎTRISE

Comme l'explique la synthèse de la gestion du conflit précédente, certains comportements des contrôleurs ne trouvent pas de justifications solidement argumentées. Ainsi, dans le contexte de la résolution de conflit, la notion d'énergie est fortement reliée à l'économie. Une grande partie de l'activité des contrôleurs est appréciée vis-à-vis de l'effort que le contrôleur doit déployer pour la mettre en place. Les contrôleurs tendent à valoriser les activités réclamant l'effort le plus réduit sans qu'une estimation précise ne soit pour autant menée ni que l'ensemble des possibilités soit envisagé. On notera d'ailleurs que cette précision et cette exhaustivité pourraient présenter un tel coût qu'elles deviendraient contradictoires avec leur raison d'être. La première économie réside déjà dans cette limitation.

L'élégance, par contre, est parfaitement justifiée dans la situation gérée. Elle n'est donc pas attachée au contrôleur. Une relation entre l'élégance et l'énergie peut être établie car une solution élégante réclame une énergie réduite. Mais cette relation est insuffisante à fournir un argument à l'économie car elle est restreinte aux conflits. La fiabilité présente des similitudes avec l'élégance. En effet, une solution fiable, ne nécessitant pas d'ajustements, s'avère économique. L'intérêt des contrôleurs pour les situations prévisibles ou stables, qui peuvent les conduire à agir dans cet objectif, peut également être relié à l'économie. De telles situations favorisent un règlement rapide des problèmes, évoqués explicitement par les contrôleurs dans le cas des conflits.

Le seul argument justifiant les raisons d'une économie d'effort réside dans le maintien de capacités à faire face aux situations futures. Mais l'idée n'est pas suffisamment détaillée pour savoir ce qu'elle recouvre. Elle semble attachée à la gestion des conflits donc aux actions sur les avions.

Dans le contexte des coordinations, la question est plus large. On retrouve ces notions d'énergie et d'économie, sans que les termes soient explicitement utilisés. C'est en particulier le cas dans le contexte du regroupement de coordinations ou de la définition de priorités dans les contacts aux secteurs. Cependant, les motivations de cette économie ne sont pas évoquées directement.

Deux autres notions demeurent également incomplètes dans leurs justifications. La première concerne l'abandon d'une coordination. Ce qui découle de cet abandon n'est d'ailleurs pas évoqué. L'abandon n'est ni un échec, ni une pré-analyse montrant l'absence d'intérêt pour une coordination. Les propos des contrôleurs ne montrent aucune justification directe à l'abandon d'une coordination. La seconde notion ne présentant aucune justification est la négociation d'une coordination. Elle s'engage lorsque la requête n'est ni acceptée, ni refusée et qu'une solution alternative doit être élaborée. Les valeurs prévalant à cette négociation ne sont pas évoquées.

La vision plus globale du trafic devant laquelle se trouve le CO met en évidence deux types de rationalité. Le trafic fournit au CR une rationalité exogène sur laquelle il s'appuie pour gérer les situations, en particulier les conflits. Le CO, pour sa part, s'appuie sur une rationalité endogène pour gérer son activité, laquelle provient de sollicitations extérieures. Cependant, le très fort attachement au trafic de l'activité du CR masque l'existence d'une rationalité endogène dans laquelle réside son comportement économique.

L'idée sous-jacente à l'investigation qui suit s'inspire de la notion d'incomplétude. Il n'apparaît pas possible d'exhiber la totalité du système de valeurs des contrôleurs en interrogeant uniquement la pratique associée aux objectifs du contrôle. Les contours du système de valeurs peuvent être plus complètement délimités lorsqu'on s'intéresse également à l'opposé des objectifs du contrôle. Un autre point de vue permettrait également de compléter les conclusions obtenues. Cependant, l'opposé des objectifs du contrôle permet, notamment parce qu'il y a une relation directe avec les objectifs, un meilleur contraste qui sera plus révélateur.

L'objectif du contrôle en-route est d'assurer la sécurité des vols en transit. La notion opposée est donc le danger. Assurer la sécurité, c'est donc également éliminer le danger. Bien évidemment, un conflit est une situation dangereuse. Cependant, il ne s'agit pas des seules situations où un danger est présent. De plus, il existe plusieurs points de repères contribuant à une bonne gestion de ces situations. Une situation instable, un manque de fiabilité dans les décisions ou une estimation insuffisamment précise sont autant de sources potentielles de danger plus insidieuses. Le manque d'un caractère objectif de telles situations les rend difficilement explicitables. Ce faisant, il apparaît inapproprié de les considérer comme un objectif à atteindre, pour plutôt les considérer comme un désordre à éviter. D'où, les objectifs du contrôle du trafic aérien sont d'assurer la sécurité et d'éliminer le danger.

C2 a explicitement évoqué le danger. Mais, il est plus intéressant de constater qu'il l'a relié à la notion de maîtrise (plus précisément de non maîtrise). Le danger a également été évoqué par C3 dans le contexte des coordinations pour y voir une relation au doute et à l'ambiguïté. Le doute et l'ambiguïté constituent deux facteurs intermédiaires entre maîtrise et danger. L'évocation du danger, comme il a déjà été souligné, est donc anecdotique. Néanmoins, ce nouveau concept

permet à lui seul de proposer une argumentation aux comportements que les contrôleurs n'ont pas expliqués. Au-delà, ce concept fournit un cadre fédérateur à l'ensemble du contrôle, tant organique que radar.

La maîtrise concerne bien évidemment le secteur et le trafic, la maîtrise du trafic étant prioritaire. Mais, ces deux aspects ont déjà été évoqués et la maîtrise fournit un argument plus large. Sous cet éclairage, on notera que la surveillance constitue le moyen fondamental favorisant cette maîtrise. Le rôle du CO le souligne particulièrement. L'action se situe au second plan. En effet, lorsqu'elle est envisagée, c'est pour en limiter les conséquences. L'élégance exprime parfaitement ce principe. Les contrôleurs sont donc plutôt surveillants. Entre la surveillance et l'action se situe un principe de redondance, plus large que la vérification. On trouve dans ce principe le rôle de surveillance du CR opéré par le CO, ou le principe de collationnement. On peut également y placer l'intérêt pour la détection de conflit exprimé (sans être capitalisé) par un contrôleur lors d'un entretien. Dès lors, le principe de redondance propose une piste prometteuse en termes d'aide. La redondance et la maîtrise sont deux notions qui vont favoriser une bonne conscience de la situation, sa mise à jour et la vérification de sa concordance avec l'environnement.

Le nouvel éclairage de la maîtrise permet de combler les incomplétudes relevées. La maîtrise s'applique également au contrôleur lui-même. La maîtrise de ses propres efforts améliore la garantie de maîtrise du trafic et du secteur. Dans cette portée, la maîtrise fournit un argument à l'économie d'énergie du CR et la gestion globale des coordinations du CO.

On note plusieurs niveaux de maîtrise dans les propos des contrôleurs. Le premier niveau porte sur une nécessaire perception de la situation, laquelle résulte de la surveillance. La détection de conflit est un élément phare de cette perception. Mais cette seule perception est insuffisante. Maîtriser la situation peut nécessiter d'agir. Il en résulte une nécessaire conscience des actions à entreprendre, constituant un deuxième niveau de maîtrise. Ces deux niveaux de maîtrise portent sur la résolution de problèmes. Ils constituent la conscience de la situation qui a déjà prévalu dans la conception d'AMANDA. On trouve dans les comparaisons implicites ou explicites dans la résolution des conflits les actions de protection des résolutions, la prise en compte de facteurs environnementaux ou des caractéristiques des avions, les pré-analyses des coordinations, un comportement rationnel témoignant de l'existence de cette maîtrise de l'action. Au troisième niveau se place une emprise sur la maîtrise de l'action, la maîtrise de la maîtrise en quelque sorte. Ce troisième niveau est dissocié de la résolution de problèmes. La rationalisation globale des contrôleurs, détachée de la résolution de problèmes concrets, témoigne de ce troisième niveau de maîtrise. Cette rationalisation globale se traduit par l'économie d'action ou de surveillance, les actions de stabilisation ou l'appropriation des normes. Ce troisième niveau de la maîtrise constitue un lien fort avec les principes d'AMANDA.

3 ANALYSE DES GRILLES

3.1 PRINCIPES D'ANALYSE

Cette partie s'intéresse à l'analyse des grilles à partir des attributs et des pondérations que les contrôleurs ont donnés. Les grilles confirment les premiers résultats obtenus par l'analyse des entretiens et apportent une notion d'échelle de préférences des contrôleurs.

Les grilles obtenues à la suite des entretiens sont présentées dans la Grille 4. Par la suite, les attributs sont nommés par une lettre et un chiffre, S pour les similarités et C pour les contrastes. Ils seront précédés de la référence au contrôleur. Ainsi, à titre d'exemple, le troisième attribut de contraste évoqué par le contrôleur C1 et intitulé '*Rapprochement BCS1080*[20]*'*, sera nommé par la référence 'C1.C3'. De même le troisième attribut de similarité *'plus d'espace pour le BCS1080'* sera noté 'C1.S3'.

L'analyse des grilles consiste en une série de mises en relation. Le premier niveau de mise en relation est effectué entre l'ensemble des contrôleurs et les résultats de l'analyse des comptes-rendus d'entretiens, par l'intermédiaire des attributs. Plus globalement, l'analyse est séparée en deux en utilisant la notion de solution naturelle (la solution qui respecte la route du plan de vol) et la notion de solution non-naturelle.

GRILLE 4 : GRILLES DES CONTRÔLEURS

C1

	BAL632 derrière KLM1884	KLM1884 derrière BAL632	Double directes	BAL632 devantKLM1884	BAL632 derrière AFR1657	Niveau	
Directive naturelle - S1	1	2	1	4	5	4	C1 – Pas solution évidente
Respect route - S2	1	2	1	2	5	1	C2 - Écart route
Plus d'espace pour BCS1080 - S3	1	2	3	4	1	3	C3 - Rapprochement BCS1080
Cap faible - S4	2	3	1	2	5	3	C4 – Cap plus important
Début secteur - S5	3	3	3	5	2	1	C5 - Fin secteur
Solution précoce - S6	3	3	2	4	4	1	C6 - Solution tardive
Résolution rapide - S7	2	3	1	5	5	2	C7 - Résolution trop longue

[20] BCS1080, puis AFR1657, BAL632, KLM1884 sont les indicatifs de vol des avions présents dans la situation présentée aux contrôleurs.

	BAL632 derrière KLM1884	KLM1884 derrière BAL632	Double directes	BAL632 devantKLM1884	BAL632 derrière AFR1657	Niveau	
Résolution garantie - S1	1	1	4	2	1	1	C1 - Prise de risque
Simple - S2	2	2	5	1	5	1	C2 – Complexe
Dangereux - S3	5	5	2	1	5	1	C3 – Fiable
Bonne visu. conflit – S4	1	1	1	1	1	1	C4 - Mauvaise visu. Conflit
Coordination - S5	5	5	5	5	1	5	C5 - Dans secteur
Cap fort - S6	5	5	2	2	1	3	C6 – Cap faible
Peu de surveillance - S7	5	5	5	5	5	1	C7 - Forte surveillance

C2

C3

Résolution longue - S1	5	5	1	5	1	5	C1 - Résolution raisonnable
Transfert tardif - S2	5	5	1	5	1	5	C2 - Transfert normal
Coordination nécessaire - S3	5	5	1	5	1	1	C3 – Pas de coordination
Dans secteur - S4	1	1	1	1	5	1	C4 – Coordination
1 cap - S5	1	1	4	3	5	3	C5 - Plusieurs caps

Le deuxième niveau de mise en relation s'effectue au sein des grilles en établissant des liens sémantiques entre attributs. La connaissance du contrôle de l'équipe d'étude est un préalable important à ce type d'exercice. Les relations sont établies par contrôleurs et entre les contrôleurs. Les mises en relation laissent des attributs isolés que l'analyse aborde par la suite.

Une fois les relations établies, l'analyse se focalise sur les concordances et discordances des pondérations associées aux attributs. L'analyse s'oriente ensuite vers les éléments et se focalise plus particulièrement sur les solutions naturelles et la solution en niveau. À l'issue de ces premiers résultats, des conclusions relatives au modèle de préférences des contrôleurs sont établies.

3.2 ANALYSE DE L'ENSEMBLE DES CONTRÔLEURS

3.2.1 RELATIONS AUX NIVEAUX

Pour l'ensemble des contrôleurs, les attributs de contraste sont les contraires des attributs de similarité. Les attributs rappellent l'essentiel des principes évoqués par les contrôleurs lors des entretiens et capitalisés dans les comptes-rendus d'entretiens (*cf.* annexes 2, 3 et 4).

3.2.2 DIFFÉRENCIATION DES ÉLÉMENTS

Le Tableau 13 présente sur les colonnes les valeurs de pondération possible. Sur chaque ligne sont indiqués les dénombrements de chaque pondération et cela pour chaque contrôleur séparément. Les solutions naturelles (KLM1884 *PASSER DERRIÈRE* BAL632, BAL632 *PASSER DERRIÈRE* KLM1884, BAL632 *DIRECTE* et KLM1884 *DIRECTE*) et les solutions non-naturelles (BAL632 *PASSER DEVANT* KLM1884, BAL632 *PASSER DERRIÈRE* AFR1657, solution en *NIVEAU*) sont distinguées. Pour ces deux catégories de solution le cumul, c'est-à-dire le nombre de fois que la pondération est choisie par le contrôleur est calculé. De la même manière, le cumul similarité (pondération 1 et 2), incomparabilité ou indifférence (3), contraste (4 et 5) est aussi réalisé. Un cumul global, solution naturelle et non naturelle, est également présenté.

TABLEAU 13 : CUMULS DES PONDÉRATIONS

		Valeurs de pondération				
		1	2	3	4	5
C1	Naturel	7	6	8	0	0
	Cumul S C	13		8	0	
	Non naturel	4	4	2	5	6
	Cumul S C	8		2	11	
	Cumul S C grille	21		10	11	
C2	Naturel	5	4	0	1	11
	Cumul S C	9		0	12	
	Non naturel	12	2	1	0	6
	Cumul S C	14		1	6	
	Cumul S C grille	23		1	18	
C3	Naturel	8	0	0	1	6
	Cumul S C	8		0	7	
	Non naturel	6	0	2	0	7
	Cumul S C	6		2	7	
	Cumul S C grille	14		2	14	

L'examen des pondérations révèle des différences entre les contrôleurs. En effet, C2 et C3 pondèrent de façon plus marquée les attributs en leur attribuant de manière importante les valeurs 1 et 5. Par ailleurs, ils utilisent très peu la valeur 3. C1, pour sa part, est plus nuancé dans ses pondérations en utilisant de façon plus importante les valeurs 2, 3 et 4.

C1 montre une proximité plus marquée avec les attributs de similarité. En particulier, pour les solutions naturelles, C1 ne les pondère que par les valeurs 1, 2 et 3. C1 est le seul à différencier le plus fortement les solutions naturelles et non naturelles. Par contre, la proximité aux attributs de similarité et de contraste est globalement équilibrée pour C2 et C3. La répartition des pondérations pour les solutions naturelles et non naturelles demeure équilibrée pour C3. Par

contre, pour C2, les solutions naturelles sont plus fortement marquées par le contraste et les solutions non naturelles par la similarité.

Pour rappel, la technique utilisée consiste à établir d'abord la liste des attributs de similarité, puis les attributs de contraste. Il apparaît donc que C1 est entré dans la construction des grilles par le principe de résolution naturelle, principe qu'il énonce par le premier attribut. C2 semble exprimer en premier ce qu'il faut éviter dans la gestion des conflits. C3 n'exprime pas une importance particulière pour un concept du métier.

Par ailleurs, C1 est le seul à différencier les deux solutions naturelles de déviation d'un seul des deux vols derrière l'autre. Les trois contrôleurs différencient ces deux solutions du principe de résolution par une directe sur les deux vols en conflit.

Il apparaît que les trois contrôleurs abordent la construction des grilles selon deux niveaux de détail différents. C1 exprime plus en détail les aspects de gestion des conflits, alors que C2 et C3 les évoquent plus globalement. D'ailleurs, C1 est le seul à recourir au terme solution, les deux autres contrôleurs, n'utilisant que le terme plus global de résolution.

3.3 ANALYSE DES ATTRIBUTS

3.3.1 RELATIONS D'IDENTITÉ SÉMANTIQUE

Certains attributs présentent la même signification. Cette identité de sens s'exprime par l'utilisation du même terme. Lorsque les relations s'établissent entre un attribut de similarité et un attribut de contraste, les pondérations seront inversées pour l'attribut de contraste. L'analyse consiste alors à identifier les concordances et les discordances dans les pondérations, en séparant les directives naturelles et non naturelles.

Des identités sémantiques sont présentes chez les trois contrôleurs. Deux sont relevées chez C1, une chez C2 et C3. L'identité entre C1.S1 *'directive naturelle'* et C1.S2 *'respect route'* (Grille 5) est vérifiée par les pondérations pour les solutions naturelles. Lorsqu'on quitte le groupe des solutions naturelles, l'écart à la route, même lorsqu'il est faible apparaît secondaire.

La solution en niveau, autre forme de résolution, présente un caractère particulier. Selon C1, le respect de la route ne suffit pas à en faire une solution naturelle. La résolution par modification du cap demeure une valeur forte du contrôle. Dans l'analyse des comptes-rendus d'entretiens, une relation était établie par les contrôleurs entre la faiblesse du cap et le respect de la route.

GRILLE 5 : RELATION ENTRE C1.S1 ET C1.S2

Directive naturelle - S1	1	2	1	4	5	4	C1 - Pas solution évidente
Respect route - S2	1	2	1	2	5	1	C2 – Écart route

L'identité entre C1.S5 *'début de secteur'* et C1.S6 *'solution précoce'* (Grille 6) présente une discordance dans le groupe des solutions naturelles pour la solution à deux directes (3ème colonne). Cependant, les autres pondérations, pour les solutions naturelles, ont toutes la valeur 3, montrant une indifférence. Une solution appliquant deux directes est donc jugée plus précoce, sans pour autant que cela ait une influence sur le jugement du positionnement vis-à-vis du début du secteur. En effet, ainsi qu'il est apparu dans l'analyse des entretiens, le report de la résolution sur les deux vols, qui plus est par des directes, permet d'agir plus tôt qu'une solution n'impliquant qu'un vol. Cependant, le facteur fondamental de la précocité n'est pas le début de secteur.

GRILLE 6 : RELATION ENTRE C1.S5 ET C1.S6

Début secteur - S5	3	3	3	5	2	1	C5 - Fin secteur
Solution précoce - S6	3	3	2	4	4	1	C6 - Solution tardive

L'identité entre C2.S3 *'dangereux'* et C2.C1 *'prise de risque'* (Grille 7) nécessite une inversion de la grille. Les solutions naturelles sont jugées de la même façon par les deux attributs. Les solutions non naturelles présentent deux discordances fortes. La directive *PASSER DEVANT* et la solution en *NIVEAU* présentent un aspect dangereux. L'analyse des entretiens a effectivement mis en évidence que la résolution de type *PASSER DEVANT* ne correspond pas aux principes habituels de résolution. Cependant, le caractère dangereux n'est pas apparu dans les entretiens. Une certaine fragilité de jugement de la solution en *NIVEAU* a été remarquée dans l'analyse des comptes-rendus d'entretiens et celle-ci se retrouve dans la grille. L'apparente nouveauté de ce type de solution peut probablement expliquer le manque de structure du jugement. Il pourrait être intéressant d'étudier plus précisément ce type de résolution.

GRILLE 7 : RELATION ENTRE C2.S3 ET C2.C1

Prise de risque – C1	5	5	2	4	5	5	S1 - Résolution garantie
Dangereux - S3	5	5	2	1	5	1	C3 – Fiable

L'identité entre C3.S3 *'coordination nécessaire'* et C3.C4 *'coordination'* (Grille 8) nécessite une inversion de la grille. L'appréciation de C3 diverge fortement pour la solution naturelle de *DEUX DIRECTES* (pondérations 1 et 5) et pour la solution en *NIVEAU* (1 et 5). Dans le cadre de l'utilisation des directes C3 estime qu'il faudra coordonner pour la remise sur la route des avions. En ce qui concerne la solution en niveau, la nouveauté de ce type de résolution peut expliquer de nouveau cette différence.

GRILLE 8 : RELATION ENTRE C3.S3 ET C3.C4

Coordination nécessaire - S3	5	5	1	5	1	1	C3 - Pas de coordination
Coordination – C4	5	5	5	5	1	5	S4 - Dans secteur

Une relation peut être établie entre le temps nécessaire à la résolution, un transfert tardif et une nécessité de coordonner. C3 établit ce lien à l'identique entre les attributs C3.S1 *'résolution longue'*, C3.S2 *'transfert tardif'* et C3.S3 *'coordination nécessaire'* (Grille 9). La seule discordance vient de la solution en niveau qui pourrait nécessiter une coordination.

GRILLE 9 : RELATION ENTRE C3.S1, C3.S2 ET C3.S3

Résolution longue - S1	5	5	1	5	1	5	C1 - Résolution raisonnable
Transfert tardif - S2	5	5	1	5	1	5	C2 - Transfert normal
Coordination nécessaire - S3	5	5	1	5	1	1	C3 - Pas de coordination

Dans l'établissement de cette dernière relation, les pondérations sont prédominantes. Cependant, des pondérations identiques ne conduisent pas forcement à une identité sémantique. Ainsi, l'identité des pondérations pour le couple d'attributs C2.S5 *'coordination'* et C2.S7 *'peu de surveillance'*, pour les solutions naturelles ne permet pas de conclure à une identité sémantique.

Des relations d'identité sémantique peuvent aussi être relevées entre les contrôleurs. Ainsi, C1 et C2 expriment une valeur faible de cap comme attribut. Cette relation nécessite une inversion car C1 exprime une similarité, alors que C2 un contraste (Grille 10).

Ici, la pondération 3 a été affectée à la solution en niveau pour traduire que les attributs de contraste et de similarité ne permettent pas de caractériser cette solution. Les deux contrôleurs estiment de la même façon l'importance du cap pour la solution consistant à faire passer *BAL632 DERRIÈRE AFR1657*. Pour les autres directives, l'attribut n'apparaît pas identique dans la différenciation pour les deux contrôleurs.

GRILLE 10 : RELATION ENTRE C1.S4 ET C2.C6

[C1] => Cap faible - S4	2	3	1	2	5	3	C4 - Cap plus important
[C2] => Cap faible – C6	1	1	4	4	5	3	S6 - Cap fort

C2 et C3 caractérisent tous deux la nécessité éventuelle de recourir à une coordination. Cette relation nécessite une inversion (Grille 11). Les deux contrôleurs estiment de la même façon l'impact des directives sur cet aspect.

GRILLE 11 : RELATION ENTRE C1.S4 ET C2.C6

[C2] => Coordination - S5	5	5	5	5	1	5	C5 - Dans secteur
[C3] => Coordination – C4	5	5	5	5	1	5	S4 - Dans secteur

C1 et C3 différencient les directives par l'attribut relatif à la durée de la résolution. Cette relation nécessite aussi une inversion (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les deux contrôleurs estiment de la même façon la durée de la résolution pour la solution consistant à faire passer *BAL632 DERRIÈRE AFR1657*. Pour les autres directives, les pondérations sont différentes.

GRILLE 12 : RELATION ENTRE C1.S4 ET C2.C6

[C1] => Résolution rapide - S7	2	3	1	5	5	2	C7 - Résolution trop longue
[C3] => Résolution raisonnable – C1	1	1	5	1	5	1	S1 - Résolution longue

Il apparaît que les attributs ont une signification différente pour les contrôleurs dès lors que la résolution est considérée de façon globale ou de façon opérationnelle.

3.3.2 RELATIONS DE CAUSALITÉ SÉMANTIQUE

L'analyse des comptes-rendus d'entretiens montre des relations de cause à effet entre les notions liées à la résolution de conflits manipulées par les contrôleurs. Ce paragraphe exploite ces relations pour analyser les grilles par une mise en relation des attributs. Trois relations ont été identifiées : un cap faible conduit à une résolution rapide, une solution simple conduit à un minimum d'ordres en cap, une résolution longue conduit à un transfert tardif.

La relation entre valeur faible de cap et résolution rapide (Grille 13) montre une identité dans le cas des solutions naturelles, ainsi que pour la directive *BAL632 PASSER DERRIÈRE AFR1657*. La directive en *NIVEAU* n'est pas concernée par cette relation. Par contre, la directive consistant à faire passer *BAL632 DEVANT KLM1884* est différenciée par les deux attributs. Bien que le cap soit reconnu comme étant relativement faible (pondération 2), la résolution est considérée comme trop longue. Ceci s'explique par le fait qu'une résolution doit être complétée par une remise sur sa route de l'avion. Notons qu'une déviation du second avion devant l'autre avion impliqué, au point de conflit, produit le même effet qu'une résolution naturelle en termes de séparation. Par contre, la remise sur route est beaucoup plus délicate car elle prend plus de temps.

GRILLE 13 : RELATION ENTRE C1.S4 ET C1.S7

Cap faible - S4	2	3	1	2	5	3	C4 - Cap plus important
Résolution rapide - S7	2	3	1	5	5	2	C7 - Résolution trop longue

La relation entre une solution simple et un minimum d'ordres en cap (Grille 14) montre une corrélation pour les solutions naturelles. Les deux attributs sont différenciés de la même façon. Cette relation tend à montrer que l'unicité du cap est un facteur de simplicité, ainsi que nous l'avons vu dans la précédente relation. La solution en niveau n'est pas concernée par cette relation. Pour les deux autres solutions non naturelles, la solution impliquant les deux vols en conflit (*DEUX DIRECTES*) est différenciée par les attributs. Bien que jugée très simple, elle est incertaine du point de vue du nombre d'ordres. Par contre, la solution consistant à faire passer *BAL632 DERRIÈRE AFR1657* est jugée complexe car nécessitant plusieurs caps. La simplicité des solutions naturelles apparait garantir un nombre minimal d'ordres en cap. La différenciation des directives par les deux attributs pour les deux contrôleurs montre que l'unicité du cap est un élément de simplicité.

GRILLE 14 : RELATION ENTRE C2.S2 ET C3.S5

[C2] => Simple - S2	2	2	5	1	5	1	C2 – Complexe
[C3] => 1 cap - S5	1	1	4	3	5	3	C5 - Plusieurs caps

La relation entre résolution longue et transfert tardif (Grille 15) montre une identité complète, donc une résolution qui prend trop de temps pour être réalisée va induire un transfert en fréquence tardif de l'avion au secteur suivant.

GRILLE 15 : RELATION ENTRE C3.S1 ET C3.S2

Résolution longue - S1	5	5	1	5	1	5	C1 - Résolution raisonnable
Transfert tardif - S2	5	5	1	5	1	5	C2 - Transfert normal

3.3.3 ATTRIBUTS ISOLÉS

Les mises en relation laissent C2.S4 et C2.S7 comme attributs isolés. Ces deux attributs portent sur deux aspects généraux du contrôle. En effet, la visualisation du conflit est un aspect de la représentation du trafic par les contrôleurs. Il en va de même pour la surveillance du trafic. Il a été évoqué dans les analyses des comptes-rendus d'entretiens que l'association de la gestion des conflits à de nombreux points de repères du trafic s'appuie fortement sur la surveillance. Mais ces points de repères stimulent également la surveillance en précisant les éléments sur lesquels le contrôleur doit porter son attention.

3.4 ANALYSE DES ÉLÉMENTS

3.4.1 PRÉAMBULE

L'analyse des entretiens a mis en évidence trois catégories dans lesquelles les directives proposées aux contrôleurs peuvent s'inscrire. La première catégorie, qualifiée de naturelle car respectueuse de la route des vols, consiste soit à détourner l'un des vols en conflit derrière l'autre, soit à donner une directe aux deux vols (double directe). La deuxième catégorie consiste à résoudre le conflit en niveau. Enfin, la troisième catégorie regroupe les deux directives qui ne respectent pas les principes d'une résolution naturelle.

L'analyse qui suit s'appuie sur ces catégories. Parmi les trois contrôleurs, seul C1 différencie les deux solutions naturelles *PASSER DERRIÈRE*. Seule la grille de C1 servira de support à cette analyse. Les deux autres contrôleurs ont une vision globale de la résolution et leurs grilles n'apportent pas de différenciation suffisamment fine des solutions.

L'analyse des entretiens a montré une préférence de C1 pour la solution consistant à dévier le second vol au point de conflit ainsi que l'importance d'une déviation de faible cap appliquée tôt. Les liens présents dans la grille entre ces différents paramètres sont étudiés.

Dans la suite, une directive sera dite :

- **Faiblement préférée** (au sens de Roy, chapitre 3) à une seconde lorsqu'un écart de pondération de 1 est observé ;
- **Fortement préférée** dans le cas d'un écart de 2 ;
- Lorsqu'aucun écart de pondération n'est observé, les deux directives sont dites en **situation d'indifférence**.

3.4.2 ANALYSE DES SOLUTIONS NATURELLES

Pour les trois directives naturelles, l'attribut C1.S5 relatif à la position de la résolution par rapport au début du secteur n'est pas discriminant puisque la seule pondération est 3. Par ailleurs, les attributs C1.S1, caractère naturel de la directive, et C1.S2, respect de la route, différencient les trois directives de la même manière. Il en va de même pour les attributs C1.S4, faible valeur de cap, et C1.S7, rapidité de résolution. Quatre attributs différencient donc les directives.

Dans un premier temps, les relations entre les deux directives déviant un vol derrière l'autre sont abordées. La directive consistant à dévier BAL632 est faiblement préférée pour son *'caractère naturel'* (C1.S1), la *'faible valeur de cap'* (C1.S4) et *'l'impact sur BCS1080'* (C1.S3). Par ailleurs, les deux directives sont en situation d'indifférence pour la *'précocité de la solution'* (C1.S6). Globalement, la déviation de BAL632 est donc faiblement préférée.

Dans un second temps, les relations entre la directive préférée précédente et la directive à deux directes sont abordées. Les deux directives montrent une situation d'indifférence pour le *'caractère naturel'* C1.S1 (*DOUBLE DIRECTE* faiblement préférée pour la déviation de KLM1884). La *DOUBLE DIRECTE* est faiblement préférée pour la *'faible valeur de cap'* C1.S4 (fortement préférée pour la déviation de KLM1884) et la *'précocité de la solution'* C1.S6 (faiblement préférée pour la déviation de KLM1884). Globalement, la double directe est faiblement préférée à la déviation de BAL632 (et fortement à la déviation de KLM1884) sur les trois attributs C1.S1, C1.S4 et C1.S6. Cependant, la déviation de BAL632 est fortement préférée à la *DOUBLE DIRECTE* quant à l'impact sur BCS1080.

Les attributs, faible cap et précocité de la solution représentent le caractère élégant d'une résolution de conflit. Du point de vue de l'élégance, la *DOUBLE DIRECTE* est donc faiblement préférée à la déviation du second avion au point de conflit. L'impact sur les autres vols représente le caractère énergétique lié à l'environnement d'une résolution de conflit, sachant que, abstraction faite des avions environnant le conflit, la résolution la plus élégante est la moins énergétique. De ce point de vue, la déviation d'un seul vol est donc fortement préférée. Faible gain d'élégance et forte perte énergétique s'opposent donc ici. Les entretiens ont montré que les contrôleurs vont favoriser l'économie d'énergie. Les contrôleurs prennent en compte en effet la charge du secteur en considérant le nombre d'avions et les distances de séparation.

3.4.3 ANALYSE DE LA SOLUTION EN NIVEAU

La solution en niveau présente des similitudes avec la *DOUBLE DIRECTE*, dans la comparaison avec la solution naturelle consistant à dévier BAL632. Alors qu'il y a une préférence faible pour les directes, on trouve une situation d'indifférence pour le niveau. Pour l'attribut C1.S6 *'solution précoce'*, les directes montrent une préférence faible avec la solution naturelle alors que les niveaux trouvent une préférence forte. Pour la solution en niveau, les attributs C1.S1 *'directive naturelle'* et C1.S2 *'respect route'* sont différenciés. Concernant l'attribut *'respect route'* il y a même une indifférence. Cependant, pour l'attribut naturel, la préférence est très nettement accordée à la solution en cap. L'attribut C1.S3 accorde une préférence forte par rapport à la solution en cap comme pour la *DOUBLE DIRECTE*.

L'opposition est donc ici plus tranchée. Fort gain du point de vue de l'élégance et forte perte du point de vue énergétique s'opposent ici. Une différence importante réside dans le caractère naturel de la solution en cap qui n'est pas reconnu pour la solution en niveau. La grille montre ici clairement que la nouveauté de cette directive ne conduit pas encore à une décision bien structurée. Bien qu'une efficacité soit reconnue, elle n'est pas déterminante dans le choix de cette directive.

3.4.4 ANALYSE DES AUTRES SOLUTIONS

L'analyse des préférences entre les deux dernières directives et les solutions naturelles n'est pas pertinente pour exhiber le système de préférences des contrôleurs. Par contre, elle est intéressante lorsqu'il s'agit d'estimer l'impact d'une dégradation d'une solution naturelle. En effet, lorsqu'une solution naturelle ne peut être mise en œuvre par l'effet d'une charge trop importante du contrôleur ou par un environnement de trafic trop contraignant, il est utile d'envisager la façon dont se reporte l'effet d'un non-respect de la précocité d'une solution ou de la route de l'avion sur les autres attributs. Les deux dernières directives représentent deux situations extrêmes d'une directive naturelle. La directive *BAL632 PASSER DERRIÈRE AFR1657* qui va impliquer un fort cap pour BAL632 et la directive *BAL632 PASSER DEVANT KLM1884* correspond à une déviation de BAL632 dans le sens opposé à la directive naturelle.

La directive *BAL632 PASSER DEVANT KLM1884* présente un intérêt similaire aux directives naturelles du point de vue des attributs de respect de la route C1.S2 et de faible valeur de cap C1.S4. Cependant, l'impact du changement de sens de déviation de l'avion se ressent très défavorablement sur les autres attributs. Ainsi, cette manœuvre rapproche la résolution de la fin du secteur, C1.S5, augmentant ainsi la probabilité d'impliquer le secteur suivant. De plus, elle a pour conséquence de retarder la mise en œuvre de la résolution, C1.S6. Le contrôleur C3 a évoqué durant les entretiens un manque de certitude des effets d'une telle manœuvre qui peut expliquer cette attente qui devient alors une nécessité. Enfin, cette manœuvre allonge la

résolution, C1.S7. On notera ici que l'allongement ne concerne pas la phase de séparation car la valeur de cap peut être aussi faible qu'une résolution naturelle et l'application de l'ordre retardé. L'allongement considéré dans cette directive concerne donc la phase de remise sur route. En tout dernier lieu, cette directive est fortement pénalisante du point de vue de l'environnement de trafic puisqu'elle rapproche le BAL632 du BCS1080, ce qui suffit à la rendre rédhibitoire.

La directive *BAL632 PASSER DERRIÈRE AFR1657* impose un fort cap, C1.S4, un écart important de la route, C1.S2, mais cette forte valeur de cap permet de retarder l'ordre, C1.S6. Le sens de déviation rapproche la résolution du début du secteur, C1.S5. Pour les raisons évoquées pour la précédente directive, le temps nécessaire avant la séparation conduit à un allongement de la remise sur route et donc globalement de la résolution, C1.S7.

3.5 CONCLUSION SUR LES GRILLES

Le résultat de l'analyse des grilles montre l'intérêt de l'investigation conduite. L'analyse des grilles aboutit à des conclusions similaires aux résultats obtenus par l'analyse des entretiens. Les formes prises par chacune des investigations renforcent les résultats produits.

L'analyse des grilles permet de mettre en lumière les relations entre les facteurs intervenant dans la résolution de conflits. Les éléments du système de préférences sont ainsi identifiés. De surcroît, la réalité des situations de contrôle ne permettant pas toujours de respecter les préférences des contrôleurs, l'analyse des grilles permet d'en mesurer l'impact.

L'analyse des grilles fait apparaître quelques situations discordantes et quelques différences entre contrôleurs. Cette investigation mérite donc quelques compléments visant à affiner puis à globaliser les résultats.

3.6 CONCLUSIONS SUR LE RESSENTI DES PARTICIPANTS

Certaines phrases ou interventions de la part des contrôleurs ont attiré notre attention. Ces phrases témoignent de l'effet de l'entretien, de la stimulation qu'il provoque chez les contrôleurs. Ces phrases sont des pistes de validation de la démarche employée. Cette partie présente certaines de ces interventions en les replaçant dans le contexte. L'étude n'a pas été poussée plus loin par manque de temps.

Les contrôleurs font appel aux bases, aux fondements de leur métier, ce qui prouve la capacité de cette méthode (entretiens et grilles) à accéder à ces informations. C1, par exemple, évoque deux aspects essentiels dans la formation des contrôleurs. Tout d'abord son parcours à l'ENAC (École Nationale de l'Aviation Civile, école de formation de tous les contrôleurs) : « *On se croirait à l'ENAC là, sur un nouveau secteur* ». Ensuite, il évoque l'aspect instruction dans un centre, en salle de contrôle, pour les nouveaux contrôleurs diplômés de l'ENAC ou changeant de centre. À ce stade, ce n'est plus le contrôleur qui parle mais l'instructeur-contrôleur et il retrouve des similitudes avec la démarche employée : « *Ressemble beaucoup à ce que l'on fait en instruction* »

quand on lui demande d'analyser des situations. Il ajoute « *qu'est-ce que tu vas faire après* » pour citer un exemple d'interrogation qu'il soumet aux futurs contrôleurs du centre.

Les grilles permettent aussi une forme de remise en question de leur pratique du métier ou, plus précisément, une réflexion sur leur façon de travailler. C1 dit « *ça m'a fait réfléchir sur quelques points* » quand on lui pose explicitement la question. Alors que C3 répond spontanément à la fin du dernier entretien : « *Merci pour l'entretien, on parle, on discute, on réfléchit et on se découvre soit même finalement, c'est très enrichissant* ».

4 ANALYSE DES OBSERVATIONS EN SALLE

4.1 L'ACTIVITÉ DU CONTRÔLEUR ORGANIQUE

Comme nous l'avions évoqué dans le protocole (chapitre 4), nous avons pu observer les contrôleurs en situation réelle de contrôle. Divers relevés ont été effectués et une analyse a été faite. Ces observations se sont déroulées sur un total de 3 jours et ont permis d'observer différentes configurations, tant au niveau de la charge de trafic que des secteurs observés.

Ces différents relevés vont permettre d'identifier à la fois la durée des différentes tâches des Contrôleurs Organiques (COs) mais aussi les données qu'ils s'échangent en fonction des différents cas de coordinations. Les parties suivantes présentent ces analyses.

Pendant ces observations, le temps passé sur les différentes tâches par le CO a été mesuré. En plus de ce chronométrage, les différentes situations et les données échangées sont notées. Le Tableau 14 montre un exemple de tableau de relevé ainsi obtenu. À partir de ces tableaux, les tâches suivantes sont extraites :

- **Réception du strip** : c'est le moment à partir duquel le CO prend possession du strip qui vient d'être imprimé, qu'il le lit et l'intègre au trafic après une analyse dans le but de repérer si ce nouvel avion risque d'être problématique avec le trafic du secteur.
- **Appel reçu (coordination entrante)** : le CO répond à un appel, une demande provenant d'un autre secteur.
- **Appel émis (coordination sortante)** : le CO téléphone à un secteur adjacent pour effectuer une coordination : changement de route d'un avion, besoin d'un niveau différent…
- **Surveillance** : cette tâche n'apparaît pas explicitement dans le tableau et est très difficile à évaluer. C'est théoriquement le reste du temps disponible pour le CO. Pendant la surveillance, le CO va continuer de détecter les conflits, prévenir son CR, le « surveiller » également, afin d'éviter tout oubli ou erreur.

Ces relevés sont effectués sur deux passations d'environ deux heures chacune, dans des conditions de trafics différentes : pour la première séance (Figure 40, gauche) un trafic normal et pour la seconde séance avec un trafic relativement chargé, (Figure 40, droite). Il est ainsi possible d'obtenir des informations sur l'activité du CO et l'influence du trafic sur ces activités.

En comparant les deux graphiques (Figure 40) la part de surveillance diminue de prés de 20% dans le cas d'un fort trafic. Le temps qui n'est plus consacré à la surveillance se retrouve presque à parts égales dans les trois autres classes d'activités : réceptions de strip, appels émis et réponses aux appels. L'augmentation de ces trois tâches est cohérente avec l'augmentation du trafic.

TABLEAU 14 : EXEMPLE D'UN RELEVÉ D'ACTIVITÉ PENDANT UNE PHASE D'OBSERVATION

Début Tâche	***Fin Tâche***	***Tâche***	***Commentaires***	***Durée***
10 :15.10	10 :15.20	Réception Strip		10s
10 :16.40	10 :16.58	Appel reçu	Information sur un avion en descente	18s
…				
10 :27 .40	10 :27.47	Réception Strip	Suite *mode-S*, changement de strip.	7s
10 :29.15	10 :29.35	Appel émis	Demande si un avion peut être descendu au niveau 350	20s
…				

De l'avis de certains contrôleurs, (C3) par exemple, il faudrait réduire autant que possible ce temps de coordination pour que le CO puisse assister son CR un maximum de temps, surtout dans un contexte où le trafic augmente de plus en plus. La tâche de coordination est très perturbante, (C3), mais fait aussi partie du métier, (C1 et C2). Elle est perturbante dans le sens où il faut quitter le trafic pour se plonger dans un problème en limite ou hors du secteur. Une fois la coordination terminée, il faut réapprendre le trafic, et cela peut prendre un peu de temps, ce qui explique en partie l'écart entre le ressenti et le temps réellement passé à coordonner. Le temps pour se replacer dans le contexte du trafic n'apparaît pas dans la mesure du temps passé au téléphone. Selon C3, le CO devrait avoir une position de pseudo-radariste, principalement dans des cas de fort trafic.

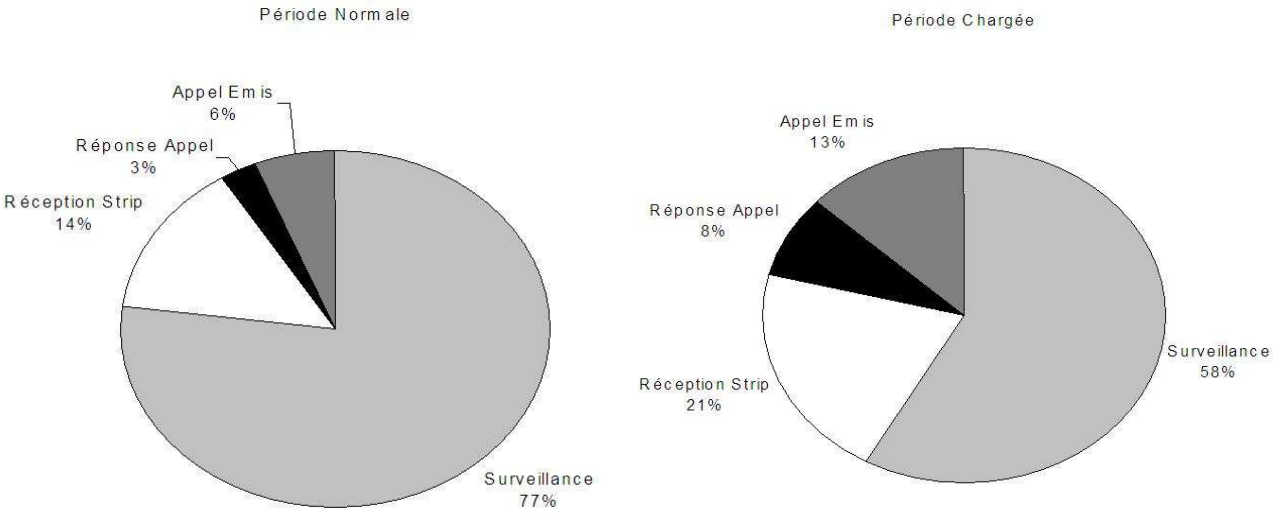


FIGURE 40 : RÉPARTITION DES TÂCHES SUR UNE PÉRIODE DE TRAFIC NORMAL ET UNE PÉRIODE CHARGÉE.

Toutes ces remarques se vérifient très bien pendant les observations en salle. Pendant un trafic normal, le CO passe beaucoup de temps à analyser le trafic, « penché » sur le tableau de strip, il communique avec son CR, présente les résultats de son analyse. Dès que le trafic augmente, le CO a plus de coordinations à effectuer, plus d'avions à réceptionner et donc moins de temps pour communiquer avec le CR et analyser le trafic.

Enfin, dans des cas de charge trop forte, il est possible qu'un troisième contrôleur vienne assister le CO. Le contrôleur s'occupe alors des coordinations ou de la réception des strips. Il y a donc une forme de délégation d'une partie de l'activité du premier CO vers le second.

Le graphique de la Figure 41 représente le ressenti des contrôleurs. Ces valeurs sont données dans le cadre des entretiens et trouvent une correspondance dans les mesures. Les contrôleurs rencontrés estiment qu'ils passent en moyenne 45% de leur temps à coordonner, 30% à assister le CR, 20% pour la prédiction et la détection et 5% pour la réception des strips. Au vu des observations, cette estimation du ressenti est assez cohérente avec la réalité du travail ce qui montre que les contrôleurs ont une bonne conscience de leurs différentes tâches et du temps qu'elles peuvent prendre.

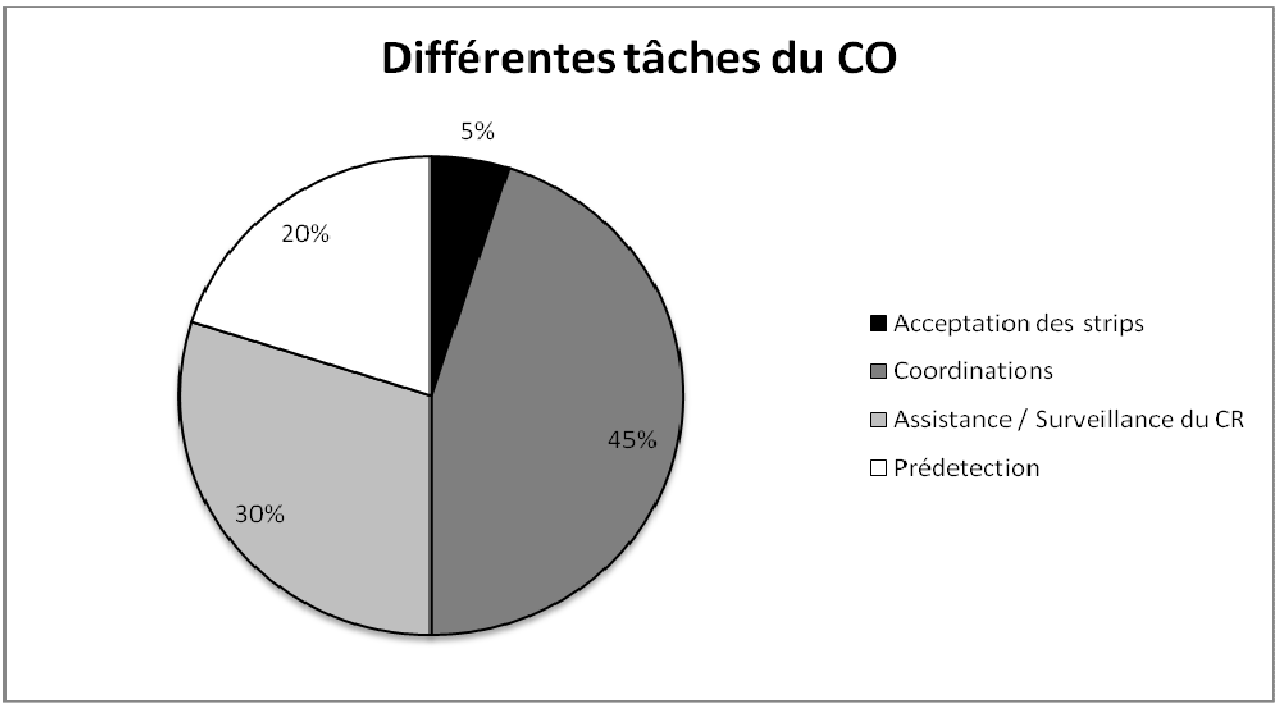


FIGURE 41 : RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ DU CO, BASÉE SUR LES ENTRETIENS.

En comparaison des valeurs obtenues par observations (Figure 40), les contrôleurs estiment passer un peu plus de temps à coordonner qu'ils ne le font réellement. Cela montre combien cette tâche de coordination est coûteuse dans leur activité. De plus, cette différence s'explique aussi par la difficulté d'accéder, pendant les observations, au temps de réapprentissage du trafic et au temps de réflexion avant de coordonner. Ces deux points entrent dans le ressenti des contrôleurs. De même, dans le graphique de la Figure 41 les tâches de pré-détection et d'acceptation des strips sont distinguées. Dans le contexte d'observations, ces deux tâches sont difficilement distinguables. Dans les observations, une partie de la surveillance et de l'aide au CR est en fait de la pré-détection.

Enfin en guise de conclusion sur l'activité des contrôleurs, notons cette idée qui revient chez les trois contrôleurs :

> *Pas d'incertitude, de doute, d'ambiguïté. C'est très mauvais, dangereux. S'il y a doute, ambiguïté sur une coordination, un ordre… l'attention se focalise sur ce doute et le reste du trafic est oublié. La pression est énorme dans ces cas-là.*

Cette phrase peut résumer à elle seule la philosophie des contrôleurs. Ils essayent en permanence de stabiliser une situation, de la rendre maîtrisable. Ils agissent en étant persuadés que la solution est bonne. Ils s'assurent une marge de sécurité suffisante pour pouvoir éventuellement ré-intervenir sur une solution. Ils doivent éviter de se mettre une pression inutile afin de pouvoir gérer au mieux le trafic.

4.2 ANALYSE DES COORDINATIONS

Ces tous premiers résultats, suite aux observations, vont être enrichis et confirmés par une analyse plus précise des communications entre les COs. En effet, le CRNA de Reims a mis à notre disposition des communications enregistrées sur des positions de contrôle.

Les échanges entre les contrôleurs ont été retranscrits sous forme de tableau (voir extrait Tableau 15). Ce tableau comprend les informations suivantes :

- l'heure de l'appel,
- l'heure de la réponse qui peut correspondre à l'heure de l'appel dans le cas d'une réponse immédiate,
- une retranscription précise de la négociation,
- l'heure de fin de la coordination.

Les premières informations disponibles sont donc d'ordre temporel : le temps d'attente et la durée de coordination. Ensuite, en face de chaque intervention d'un contrôleur est précisé le type d'échange dont il s'agit. Ce codage s'inspire de celui utilisé par Guiost [2006] pour identifier le contenu de l'ETC dans AMANDA V1 :

- un apport d'information,
- une demande (un niveau, un cap…),
- une acceptation d'un apport,
- une négociation éventuellement.

TABLEAU 15 : EXEMPLE D'ANALYSE DES ENREGISTREMENTS DES COORDINATIONS

	10:21:57	Appel	
	10:21:59	Réponse	
C2*		Oui	
C1		on a monté l'Air India --- au 3-30, un départ	APPORT
C2		l'Air India il est où ?	DEMANDE
C1		c'est un départ Paris, près de…	APPORT
C2		… oué oué pas de soucis	ACCEPTATION
C1		je te remercie	
	10:22:11	Fin communication	

C1 correspond au secteur étudié, et C2 représente un secteur adjacent. Ici C1 appelle C2 pour le prévenir d'un mouvement sur un avion

4.2.1 ANALYSE TEMPORELLE DE L'ACTIVITÉ DE COORDINATION

À partir de ces tableaux, il est facile d'obtenir une vision précise du temps passé dans chaque action de coordination. Sur l'ensemble des sessions, il est possible d'établir un temps moyen

pour les différentes étapes de la tâche de coordination (Figure 42). Sur ce graphique, les six passations étudiées ainsi que la courbe moyenne des différentes durées mesurées sont représentées. Ces six passations représentent des densités de trafic différentes (calme, normale et dense) sur des secteurs différents (3E, 2F, KHR, XKE et UXR). Malgré ces différences, le temps d'attente et la durée d'une coordination sont relativement similaires. Seul, le nombre de coordinations par heure (Figure 43) change en fonction du trafic. Il y a en effet plus de coordination quand le trafic est fort.

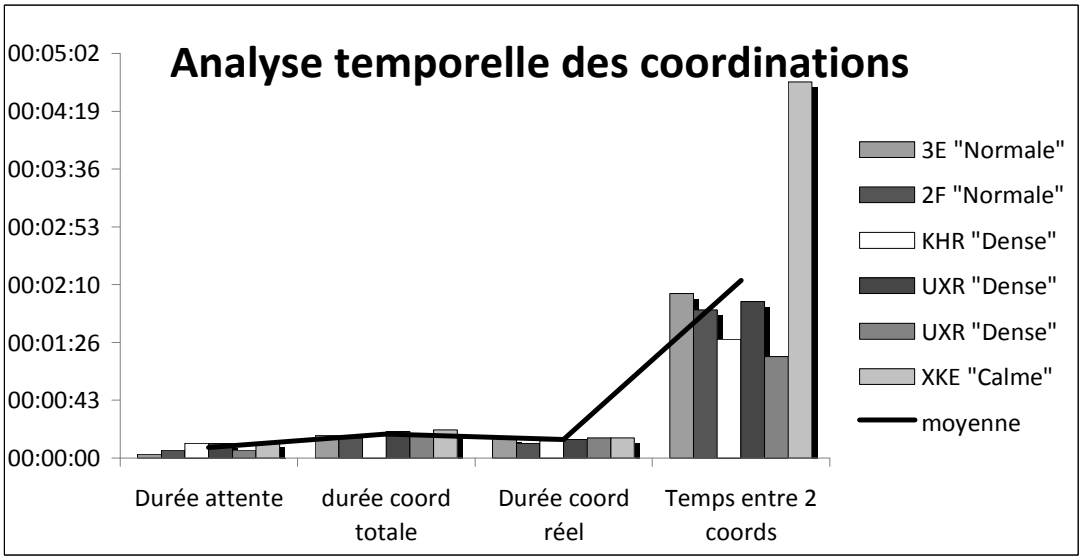


FIGURE 42 : ANALYSE TEMPORELLE DES COORDINATIONS
(3E, 2F, KHR, UXR, XKE DÉSIGNENT LES SECTEURS DU CENTRE DE REIMS)

Ces informations temporelles sont importantes car nous allons proposer, dans le cadre d'AMANDA V3, des outils pour assister les coordinations. Il semble donc judicieux d'essayer de les intégrer dans un séquencement temporel proche de l'actuel afin de ne pas surcharger les contrôleurs.

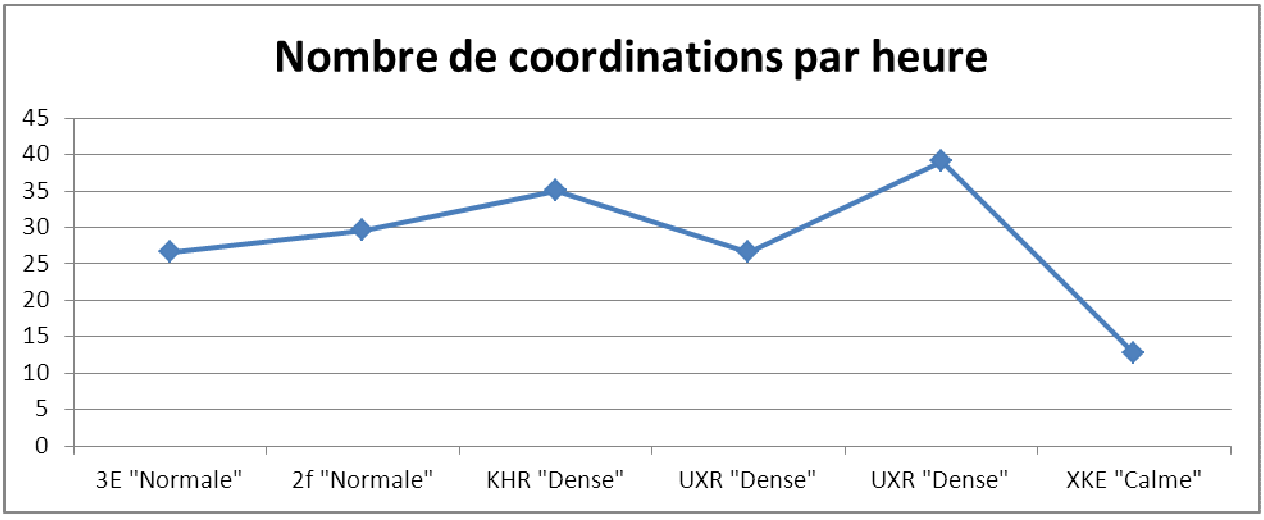


FIGURE 43 : NOMBRE DE COORDINATIONS PAR HEURE, EN FONCTION DE LA CHARGE DE TRAFIC

Une question dans les entretiens a porté sur le temps estimé pour la durée de l'activité de coordination. Tous les contrôleurs nous ont répondu (Tableau 16). Ce tableau fait apparaître que les contrôleurs ont une bonne conscience du temps passé à coordonner alors qu'ils ont moins conscience de la répartition globale des tâches. Les contrôleurs ont eu tendance à surestimer la part des coordinations sur l'ensemble des tâches à accomplir alors qu'ils ont une bonne vision du temps passé à chaque « sous-tâche » de l'activité de coordination.

TABLEAU 16 : DIFFÉRENCE ENTRE LE TEMPS RESSENTI ET LE TEMPS MESURÉ POUR LES COORDINATIONS

	Le ressenti des contrôleurs pendant les entretiens	La réalité, mesurée pendant les observations
Durée moyenne d'une coordination	5 à 20 secondes	Moins de 20 secondes
Durée moyenne de l'attente d'un correspondant	Moins de 15 secondes	Rarement plus de 10 secondes
Nombre moyen de coordinations par heure	60	30 pour un trafic faible, et près d'une à la minute dans un trafic chargé

De plus, les contrôleurs précisent notamment qu'une coordination qui dure plus d'une minute est trop longue et est très rare, ce qui se vérifie aussi sur les observations (une coordination de 51 secondes et une dizaine de plus de 30 secondes, sur les trois jours d'observations). D'autre part, une attente de plus d'une minute rendrait une coordination obsolète ou incohérente avec l'évolution du trafic et provoquerait, de plus, un décalage dans la gestion du trafic par le CO.

4.2.2 ANALYSE DES CAS DE COORDINATIONS

Cette seconde partie de l'analyse se base de nouveau sur les tableaux des retranscriptions des enregistrements fournis par le CRNA de Reims. Ici, l'analyse porte sur les cas de coordinations et les données échangées entre les contrôleurs.

Il existe en fait une multitude de cas possibles mais 5 grandes « familles » de coordinations[21], que l'on retrouve sur le graphique de la Figure 44, peuvent être distinguées :

- **La mise en directe ou le transfert en cap (30%),** concerne tous les avions qui ne vont pas franchir la limite du secteur au point prévu. Il s'agit d'une directe si la sortie se fait vers une balise précise, en général pour raccourcir la route, à la demande du pilote ou pour éclaircir la situation. Il s'agira d'un cap, si l'instruction est un cap ou un angle de déviation, suite à une résolution de conflit ou une anticipation de résolution de conflit par exemple.

[21] Reims est un centre particulier, le nombre d'action en niveau (transfert en évolution, demande de niveau) est plus important que dans la plupart des centres.

- **Le transfert en évolution (27%)** quand un avion change de secteur sans être stable car transitant entre deux niveaux. Une coordination a lieu pour demander si ce transfert est possible, sous-entendu qu'il n'y ait pas de conflit potentiel au niveau visé.
- **Transmission ou demande d'informations d'ordre général (24%)**. Les cas sont ici nombreux. Les contrôleurs peuvent demander le niveau de sortie prévu d'un avion, la destination d'un avion, des informations sur le dégroupage, sur la météo, sur l'activité militaire… Ces informations visent principalement à mettre à jour le référentiel des contrôleurs.
- **La demande de niveau (14%)**, lorsqu'un avion stable change de secteur, mais à un niveau différent de celui initialement prévu sur le plan de vol. La coordination sert soit à demander s'il n'y a pas de conflit potentiel dans le secteur suivant dans le cas d'un transfert, soit à anticiper un risque de surcharge, dans ce cas, le secteur demande au secteur précédent de modifier le niveau d'entrée de l'avion.
- **La demande de « relâché » (5%)**. Un avion « relâché » est un avion sur lequel il n'y a plus de contraintes, c'est-à-dire pas de conflit, pas d'action du CR. En général un contrôleur qui demande un relâché précise s'il désire « relâché pour monter », c'est-à-dire pas d'avion gênant pour monter (pas d'avion gênant au dessus) ou pour tourner (pas d'avion gênant sur le même plan). Si rien n'est précisé pendant la demande, le contrôleur qui répond peut préciser pour quelle action il est relâché (monter, descendre, tourner), c'est-à-dire ajouter une contrainte. Parfois rien n'est précisé, par aucun des deux contrôleurs, c'est un cas typique de doute qu'il peut y avoir. C3 précise d'ailleurs que le terme relâché seul n'a aucun sens et qu'il est même dangereux. Pour lui, un avion est forcément relâché pour quelque chose de précis.

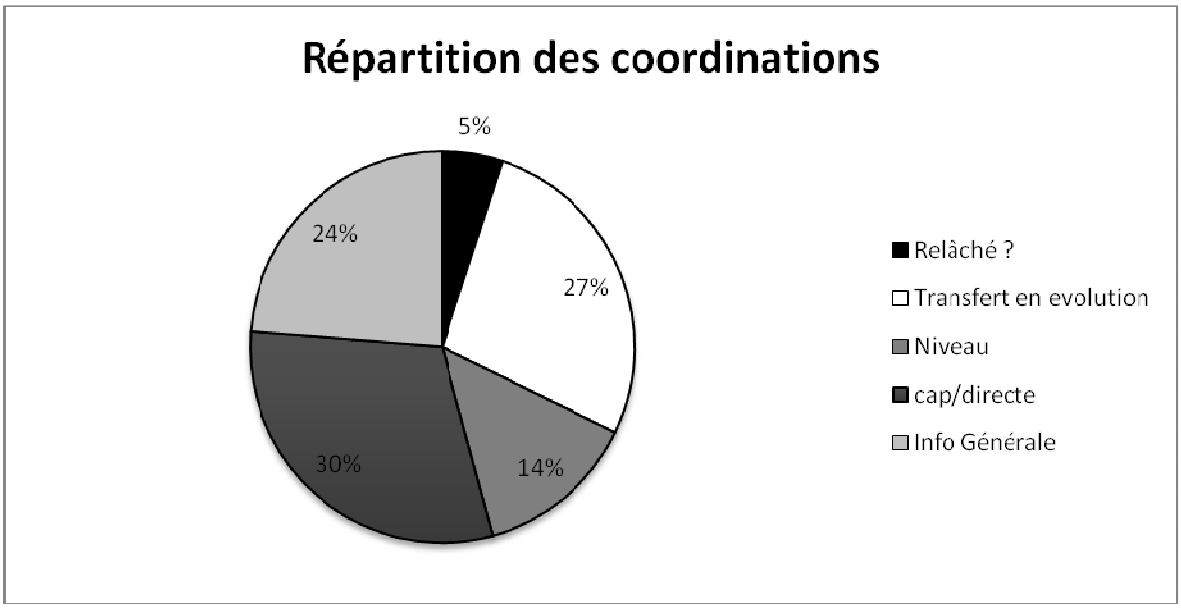


FIGURE 44 : GRAPHIQUE DÉTAILLANT CHAQUE « GRAND TYPE » DE COORDINATIONS

La deuxième partie de l'analyse concerne les données échangées pendant les coordinations. Le codage mis en place a pour objectif de caractériser chaque action verbale d'un contrôleur et permet de savoir s'il s'agit d'une demande d'informations, d'un apport d'informations, d'une collation, d'une acceptation, ou d'une intégration d'informations. Ces échanges servent en fait à négocier et obtenir une solution à un problème précis, en consultant le référentiel du contrôleur distant pour mettre à jour son propre référentiel.

Les échanges codés sont les suivants :

- **DEMANDE** : correspond à un besoin : avoir sous contrôle un avion plus tôt, obtenir un niveau différent, confirmer une route… ou encore correspond à une recherche d'informations dans le but de supprimer un doute existant.
- **APPORT** : consiste à transmettre une information (d'ordre général, une route, des informations sur un vol…) pour maintenir à jour le référentiel du contrôleur appelé ou pour répondre à une demande.
- **COLLATION** : c'est une forme d'acceptation qui consiste, en plus, à répéter les apports reçus.
- **ACCEPTATION** : une acceptation peut être dans le sens positif ou négatif (refus). Une acceptation fait généralement suite à une demande.
- **INTEGRATION** : c'est la prise en compte d'un apport par le contrôleur. Le contrôleur effectue un simple accusé de réception de l'information par des mots cours « ok », « merci ». L'intégration peut éventuellement conduire à une nouvelle demande si l'information reçue n'est pas jugée suffisamment claire ou précise.

La Figure 45 représente pour chaque secteur et passation, le nombre d'échanges de chaque type. Une grande majorité des échanges correspond à des demandes (changement des conditions d'entrée ou de sortie d'un avion, information sur son niveau d'entrée par exemple). Une grande partie des apports sont des informations apportées spontanément par les contrôleurs afin d'informer un secteur adjacent. Le reste des apports sont les réponses aux demandes. Les apports spontanés sont généralement suivis d'une collation ou d'une intégration de l'information. Une demande, qui entraine un apport d'information est généralement suivie par une acceptation de la proposition, ou de l'information apportée.

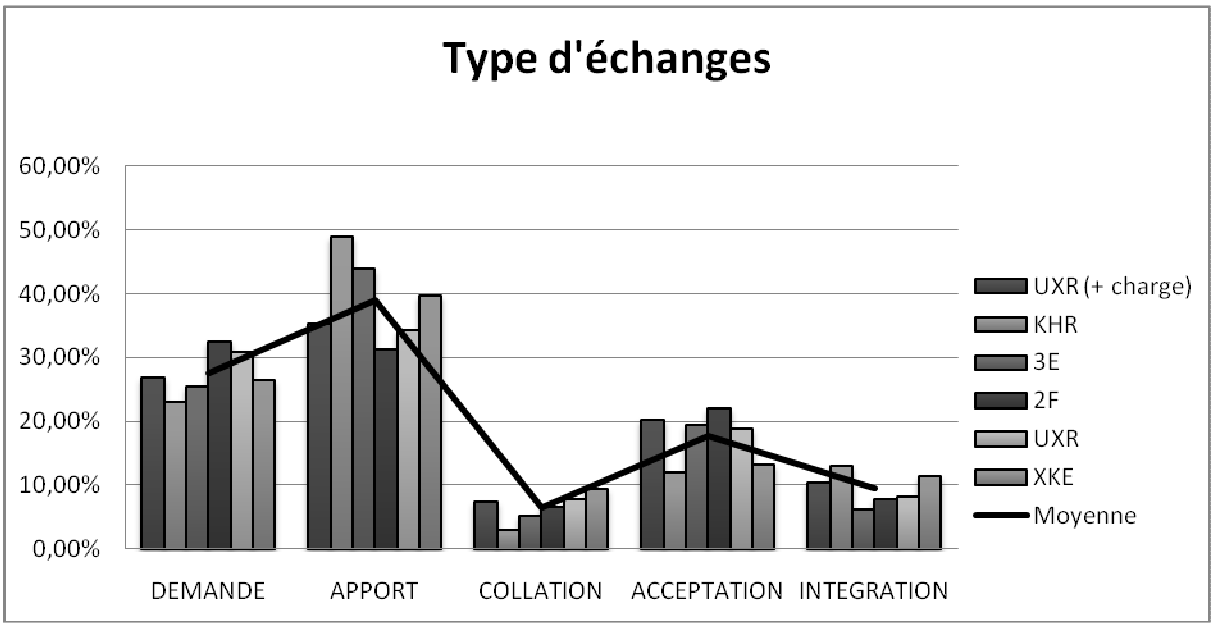


FIGURE 45 : TYPE D'ÉCHANGE ENTRE LES CONTRÔLEURS

4.3 CONCLUSIONS SUR LES OBSERVATIONS

D'une part, ces observations ont permis d'accéder à des données difficilement exprimables au cours d'un simple entretien et, d'autre part, nous ont permis de recouper les données issues des entretiens avec les contrôleurs. Cette analyse met en évidence que le ressenti des contrôleurs reste très cohérent avec la réalité et montre bien que les contrôleurs ont une très bonne conscience de leurs différentes tâches.

Le fait d'obtenir une représentation temporelle de l'activité de coordination, les informations et les données échangées va permettre d'optimiser les outils d'aide afin qu'ils s'intègrent au mieux dans l'activité des opérateurs tout en fournissant des informations pertinentes et cohérentes avec les pratiques des contrôleurs. Ce point était révélé comme important dans les discussions du chapitre 2 et il trouve écho dans cette analyse.

5 CONCLUSIONS

Ce chapitre a présenté l'analyse des données obtenues à la suite de l'application de la démarche et des observations en salle. Ces analyses sont décomposées en trois points : l'analyse des entretiens, l'analyse des grilles et l'analyse des observations en salle.

Ces analyses sont très riches. Il est possible d'en extraire des règles, des critères de choix pour les directives par exemple, ou encore des préférences, grâce aux grilles notamment. Les observations apportent beaucoup d'informations concernant les coordinations.

Le protocole mis en place et l'utilisation des grilles montrent bien leur intérêt au vu des résultats obtenus. L'analyse des grilles et des pondérations permet de revenir sur les principes de la MMCAD et d'en extraire des préférences, principalement pour le niveau 2, choix d'une directive.

Cette étude permet d'accéder aux pratiques des contrôleurs. Il convient de différencier les pratiques observées en fonction des méthodes employées. En effet, les pratiques observées en salle de contrôle ou pendant les entretiens sur une situation, certes réelle mais extraite d'un autre centre, ne sont pas du même ordre. Il existe deux façons d'exprimer la pratique : délibérative ou réactive [Pearl, 2000[22]]. La pratique s'exprime de manière délibérative lorsqu'elle correspond à un choix parmi plusieurs options en mesurant les conséquences de chacune d'elle. C'est typiquement ce que font les contrôleurs pendant les entretiens où ils évaluent l'ensemble des possibilités pour nous expliquer leur raisonnement. La pratique s'exprime de manière réactive lorsqu'elle est une conséquence de l'environnement, des croyances, des préférences des agents face à une situation. En d'autres termes, les agents agissent d'une manière plutôt que d'une autre parce que celle-ci est imposée ou contrainte par l'environnement. C'est typiquement la pratique mis en œuvre dans le cadre des observations en salle.

Le chapitre suivant va tenir compte de ces analyses pour proposer des spécifications puis, dans un deuxième temps, proposer des pistes pour évaluer le futur système.

[22] Le livre est également disponible en consultation sur internet : http://bayes.cs.ucla.edu/BOOK-99/book-toc.html (valide en novembre 2009).

CHAPITRE 6

SPÉCIFICATIONS, ÉVALUATIONS, PERSPECTIVES

1 INTRODUCTION

Les trois chapitres précédents ont présenté les aspects méthodologiques d'une démarche de recueil d'informations, l'application de cette démarche à un domaine précis, le contrôle de trafic aérien et enfin l'analyse des résultats. En s'appuyant sur l'analyse précédente, ce chapitre propose les spécifications de la nouvelle plateforme expérimentale AMANDA V3, en vue de fournir des aides aux contrôleurs aériens, notamment en cas de fort trafic, et ce pour les deux objectifs fixés : l'extension des principes de l'Espace de Travail Commun à la coopération entre deux secteurs distants et l'amélioration de l'outil de calcul STAR. Ceci fait donc l'objet de la première partie de ce chapitre.

Même si, à ce niveau de l'étude, la plateforme n'est pas encore pleinement spécifiée ni opérationnelle, il est déjà envisageable de prévoir quels seraient les critères intéressants pour évaluer cette future plateforme. Les valeurs et les données à mesurer ou obtenir sont donc décrites dans la deuxième partie de ce chapitre.

Enfin, la troisième partie de ce chapitre présente une série de perspectives en vue de poursuivre les travaux présentés dans ce mémoire.

2 SPÉCIFICATIONS POUR AMANDA V3

2.1 INTRODUCTION

Le Tableau 17 dresse une synthèse des analyses par rapport aux deux objectifs d'AMANDA V3. Ces analyses sont riches en informations concernant les méthodes de travail, les procédures ou les anecdotes de chacun pour gérer son trafic efficacement. Ce tableau liste les points qu'il nous semble important de prendre en compte pour la nouvelle plateforme, afin de répondre aux attentes des contrôleurs et de leur proposer des outils cohérents avec leurs pratiques.

L'analyse des entretiens, les discussions avec les contrôleurs, les observations et la synthèse effectuée mettent en valeur la spécificité du centre de Reims vis-à-vis des coordinations. En effet, il apparaît, et les contrôleurs rencontrés ont insisté sur ce point, que les coordinations ont une place prépondérante dans l'activité de contrôle. Cette importance se justifie, notamment par rapport aux secteurs de Bordeaux, par l'étroitesse des secteurs de l'espace contrôlé par Reims. Reims est composé de nombreux secteurs de taille plus petite que la majorité des autres secteurs. Les conflits impliquent plus souvent des résolutions avec des coordinations. Cette remarque met donc en valeur l'importance de partager les informations des conflits entre les secteurs afin que les contrôleurs puissent évaluer comment résoudre le plus efficacement le conflit. Ce dernier point valide donc l'intérêt d'AMANDA V3 de proposer ce partage entre les

COs. La partie suivante va présenter les spécifications des outils afin de répondre à ces deux objectifs.

TABLEAU 17 : SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES ANALYSES EN FONCTION DES OBJECTIFS

Objectifs		Apport des entretiens
STAR	Détection	• Uniquement les deux avions (ou plus) directement en conflit • Confirmation de la distance de séparation entre deux avions • Stabiliser les situations

	Directives	• Privilégier la solution naturelle
		  o Respect de la route de l'avion
		  o Faible écart par rapport à son plan de vol
		  o Déviation faible (5-10°)
		• Action dans le secteur
		• Résolution simple et rapide
		• Confort pour le pilote (simplicité d'application, peu d'ordres)
		• Préférer dévier le second avion au point de conflit
		• Liste des directives pertinentes
		  o Passer derrière
		  o Double directe
		  o Niveau

	Trajectoires	• Règles pour le choix du cap • Remise sur la route après croisement • Changement de niveau si en accord avec la destination de l'avion

COORDINATION		• Identification et explication des cas de coordinations
		  o Modifications des conditions d'entrée ou de sortie
		  o Mise en directe d'un vol
		  o Non-respect des LOA (lettres d'accord)
		  o Résolution de conflit sur deux secteurs (début de résolution, ou remise sur la route)
		  o Anticipation des problèmes pour réguler la charge du CR, modification des conditions d'entrée pour éviter le conflit
		• Estimation des chances de succès d'une coordination par les contrôleurs
		• Identification du timing des coordinations
		• Identification des données échangées

2.2 SPÉCIFICATIONS DES INTERFACES GRAPHIQUES

2.2.1 STRUCTURATION DES INTERFACES

La structure de la plateforme AMANDA V3 reprend globalement la même organisation que celle d'AMANDA V2. Une position de contrôle se compose de deux espaces, un pour chaque contrôleur (CO et CR). Un espace est lui-même composé de deux écrans. Le premier comporte la vue radar, les outils des contrôleurs (alidade[23], zoom, zone pour envoyer les ordres aux avions…) et l'ETC. Le second écran correspond à la vue résolution de problème introduite dans AMANDA V2 et complétée dans AMANDA V3.

2.2.1.1 Vue radar et Espace de Travail Commun

La Figure 46 montre l'organisation de ce premier écran, d'une taille de 30 pouces. Au centre, avec une taille proche de celle qu'utilisent les contrôleurs, se situe la vue radar. Cette vue est la même que celle d'AMANDA V2. Elle comporte les secteurs, les balises et les avions transitant dans le secteur. Il est possible d'afficher le strip en sélectionnant un avion, ou de visualiser sa route par la même manipulation. Sur le côté droit de cet écran se trouve l'Espace de travail Commun (ETC). Auparavant, cet ETC se trouvait sur l'écran supplémentaire, mais aujourd'hui, il nous semble plus cohérent de placer l'ETC à côté de la vue radar. En effet, les contrôleurs travaillent essentiellement sur cette vue radar et ils pourront donc consulter rapidement et sans quitter le radar des yeux cet ETC. La partie gauche comporte deux zones. Celle du haut permet de noter les instructions envoyées aux avions. La zone du bas comprend des outils tels que l'alidade pour mesurer la distance entre deux avions ou le réglage des paramètres d'affichage.

[23] L'alidade est un outil disponible sur la vue radar, qui permet aux contrôleurs de mesurer la distance entre deux avions.

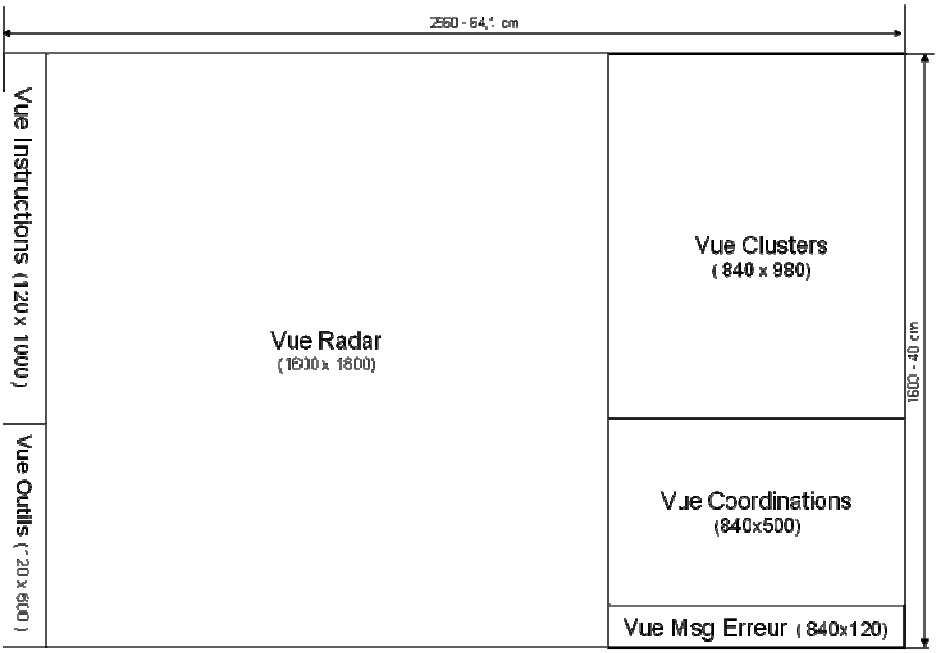


FIGURE 46 : VUE SCHÉMATIQUE DE L'ÉCRAN PRINCIPAL

L'ETC , sur la partie droite, se divise en deux blocs :

- La vue cluster correspond à ce qui existait dans AMANDA V2 et permet un partage d'une même représentation des problèmes entre les deux contrôleurs (CO et CR) de la position.
- La nouvelle vue coordination permet le partage des problèmes et des coordinations avec les CO adjacents.

Le téléphone n'est pas supprimé. Les contrôleurs ont toujours la possibilité de se coordonner grâce à ce moyen. Cependant, s'ils désirent utiliser le système et les outils proposés, il est obligatoire d'utiliser les clusters et l'ETC.

2.2.1.2 Vue résolution de problème

La vue résolution de problème (Figure 47), affichée sur un écran de 20 pouces, est elle aussi remaniée afin, d'une part, de simplifier l'utilisation de l'interface jugée trop lourde pendant les expérimentations d'AMANDA V2 et, d'autre part, d'intégrer les réponses des contrôleurs ainsi que les coordinations.

Cette vue se compose d'une vue radar filtrée en fonction du cluster examiné et d'un panneau de configuration sur le côté droit. Ce panneau permet de visualiser le cluster (1), la distance de séparation et les ordres envoyés par le système ou le CR (2), de choisir la stratégie de résolution, avec les directives (3) et, éventuellement, de contraindre cette résolution dans le secteur pour éviter les coordinations (4).

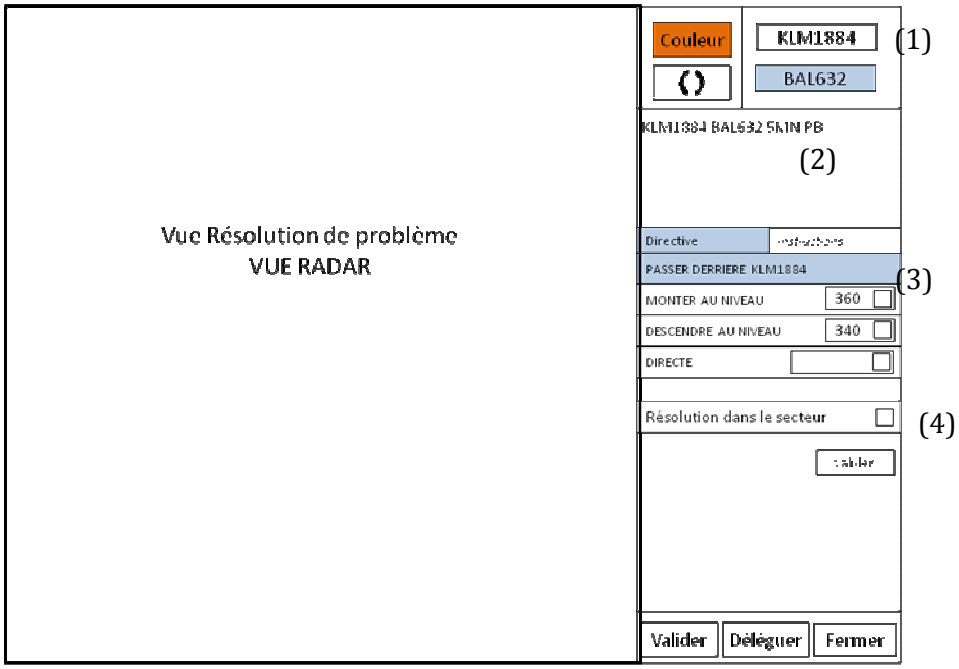


FIGURE 47 : VUE RÉSOLUTION DE PROBLÈME ET CRÉATION DE LA DIRECTIVE

Cette vue est accessible pour le CR ou le CO, par la sélection d'un cluster ou d'une coordination dans l'ETC. Pour un CO adjacent, la sélection d'une coordination, permet d'afficher cet écran et d'avoir une explication visuelle de la situation (les autres avions en conflit, au même niveau…). Cette vue permet aussi au CO ou au CR de construire une solution et de visualiser son impact sur le trafic. Enfin, cette vue est l'interface qui permet de communiquer avec le système STAR et de maintenir à jour l'ETC.

2.2.2 *PRINCIPE DE RÉSOLUTION D'UN CONFLIT*

Le premier travail a été de reconsidérer la résolution de conflit avec l'aide de l'outil STAR, dans le cadre d'une utilisation avec les secteurs adjacents. En effet, actuellement AMANDA V2 permet de résoudre un conflit sur un secteur et le problème du transfert d'un avion au secteur suivant ne se pose pas car les secteurs adjacents ne sont pas joués. Dans AMANDA V3, ces secteurs seront présents et il faut donc étudier les possibilités d'interactions engendrées entre les secteurs lors de la résolution d'un conflit.

Nous proposons un algorithme pour la gestion des conflits avec la nouvelle plateforme AMANDA V3 (Figure 48). L'utilisation de STAR pour résoudre un conflit n'est pas obligatoire, de ce fait le contrôleur a toujours la possibilité de surveiller et d'envoyer des instructions directement aux pilotes. Néanmoins, pour pouvoir utiliser l'ETC et le module STAR, le contrôleur doit créer un cluster. La création d'un cluster consiste à regrouper les deux avions en conflit et entraine une évaluation de la distance minimale de séparation par STAR. À partir de là, le contrôleur a trois possibilités :

1. Demander à STAR, en sélectionnant une directive de lui fournir une solution ;

2. Détailler lui-même la solution par l'introduction des ordres différés, c'est-à-dire que le contrôleur va définir une série d'ordres avec leur point d'application correspondant à une nouvelle trajectoire ;

3. Envoyer au moment voulu les instructions au pilote (résolution manuelle).

Dans le cas où les solutions émises, soit par le contrôleur soit par STAR, sont applicables avec un impact sur les secteurs adjacents, il est impératif de soumettre les nouvelles trajectoires aux contrôleurs des secteurs voisins. Ces derniers ont le choix d'accepter la nouvelle trajectoire ou de la modifier à partir des vues résolution de problème, ce qui peut entraîner une négociation avec le secteur demandeur.

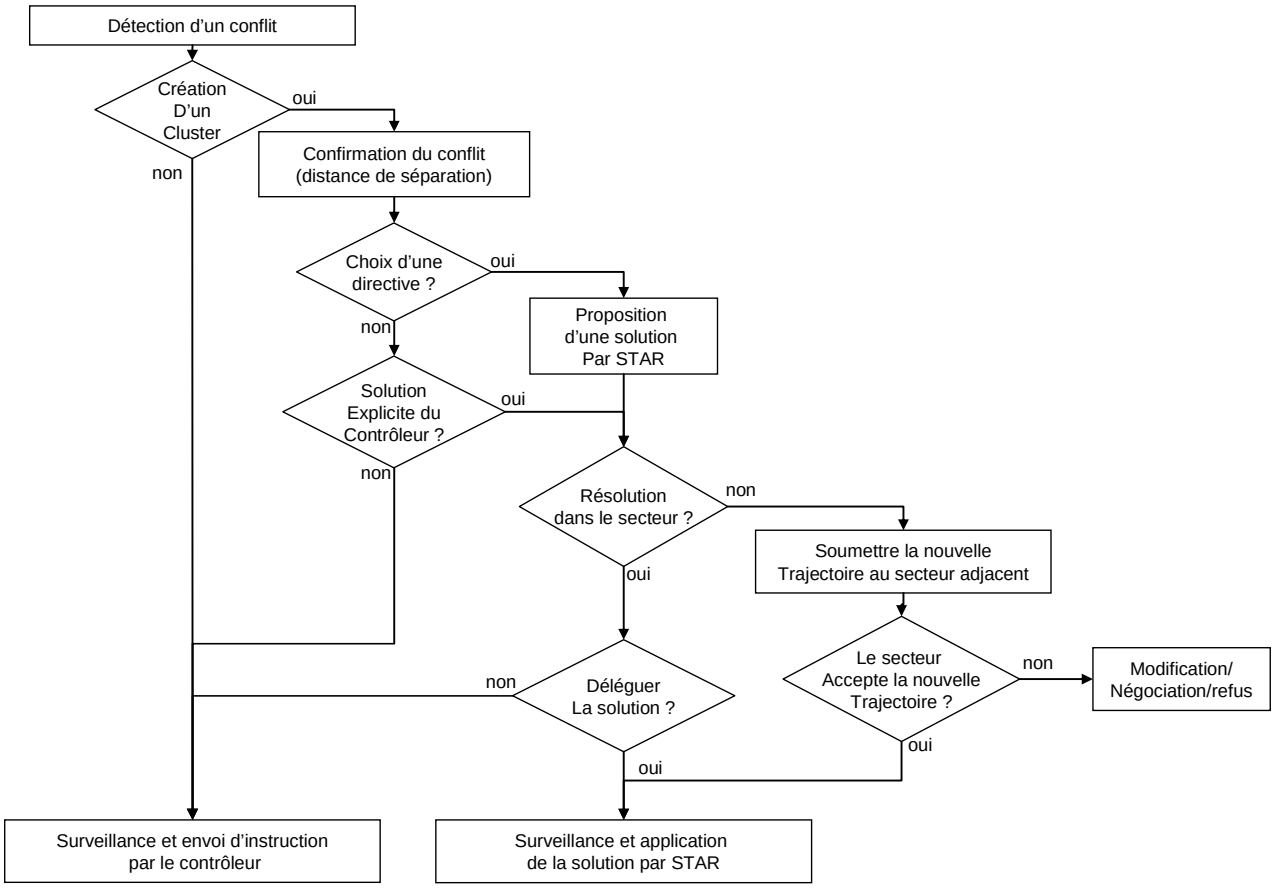


FIGURE 48 : ALGORITHME SYNTHÉTISANT LE PRINCIPE DE LA RÉSOLUTION D'UN CONFLIT

2.2.3 EXEMPLE D'APPLICATION

Cette partie présente un exemple d'utilisation de l'algorithme précédent (Figure 48). Cet exemple s'appuie sur la première définition des interfaces de la partie 2.1.1. Le nom secteur A désigne le secteur qui doit résoudre le conflit. Le nom secteur B désigne un secteur adjacent au secteur A.

2.2.3.1 Détection de conflit, création du cluster, choix de la directive

Le CO du secteur A détecte un conflit entre le CRL034 et le KLM1884 sur sa vue radar (Figure 49). Il doit, s'il désire utiliser les différents outils mis à sa disposition (partage, résolution de conflit, coordination) créer un cluster par l'intermédiaire des vues cluster et résolution de problème. Pour cela il sélectionne un des deux avions du conflit, choisit l'option « créer » et sélectionne le second avion. Ensuite, il peut définir sa stratégie de résolution, et l'introduire avec une directive.

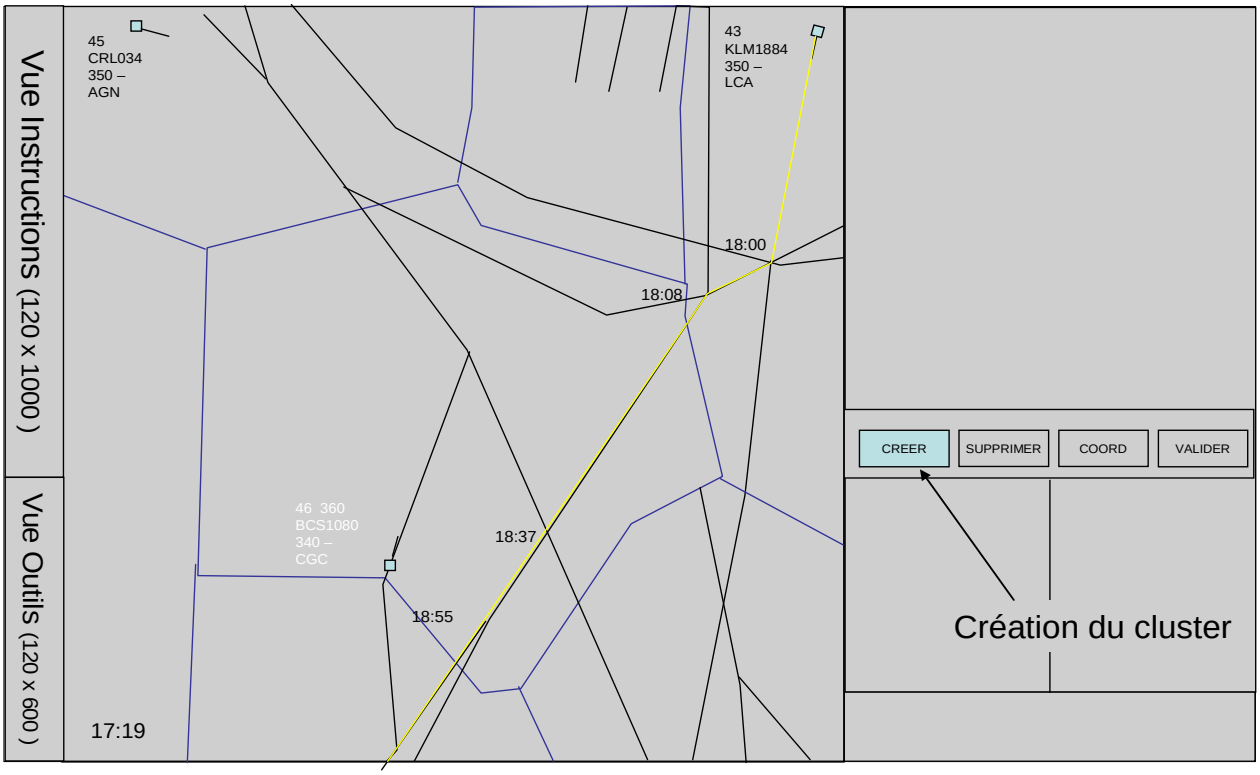


FIGURE 49 : ÉCRAN 30" : DÉTECTION DU CONFLIT – (POSTE CO - SECTEUR A)

En choisissant « créer », il accède à la vue « résolution de problème », qui lui permet de visualiser une vue filtrée (Figure 50, 1), comprenant les avions du cluster et éventuellement les avions potentiellement contraignants, c'est-à-dire changeant de niveau et passant par le niveau du conflit, ou les avions du même niveau. Il visualise également le point de conflit, où la distance minimale de séparation est matérialisée par deux plots ronds (un pour chaque avion) et un code couleur. Si les plots sont rouges la distance minimale n'est pas garantie. Dans le cas contraire, les plots seront verts (2). La distance de séparation se retrouve également clairement écrite en dessous du cluster (3).

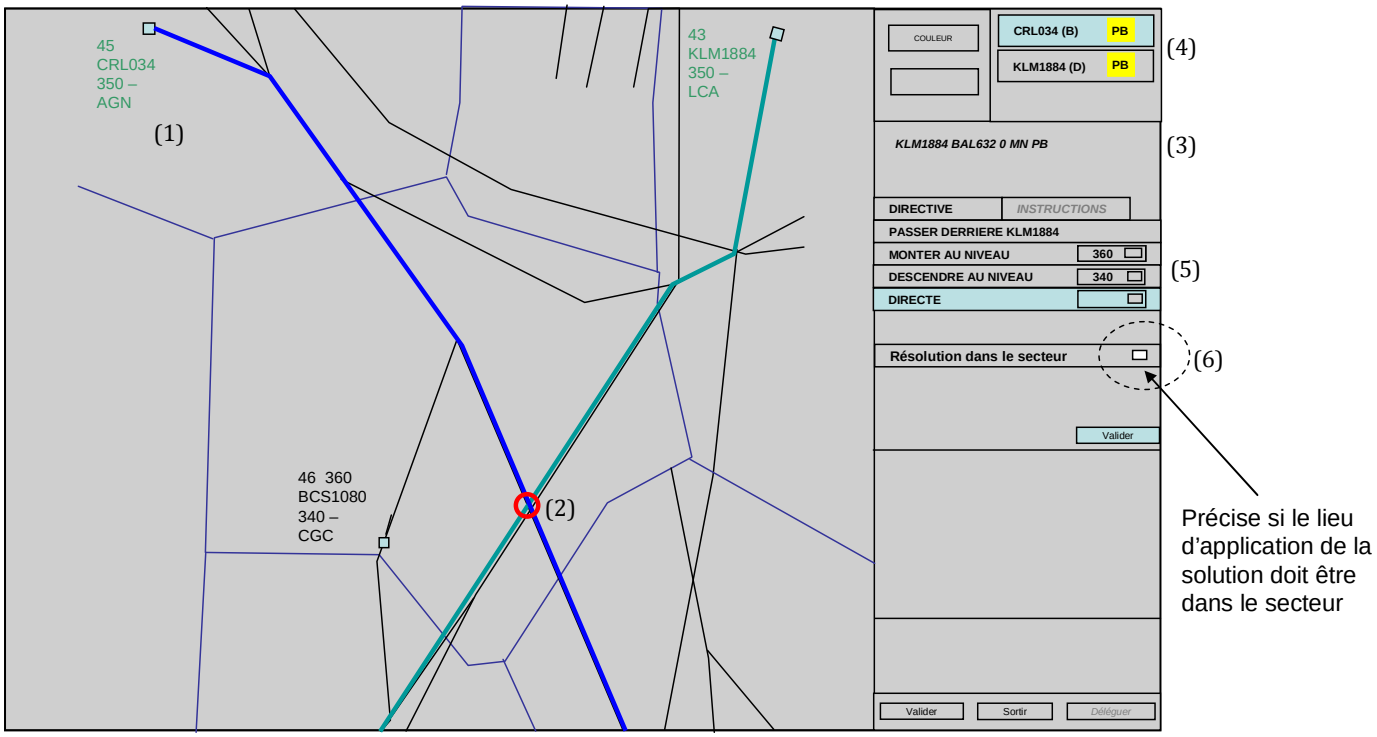


FIGURE 50 : ÉCRAN 20" : SAISIE DE LA STRATÉGIE DE RÉSOLUTION (POSTE CO - SECTEUR A)

Les deux avions du cluster apparaissent dans la partie (4). Le CO sélectionne l'avion qu'il désire dévier (en général le second sur le point de conflit), et une liste de directives, adaptées à cet avion, s'affiche (5). Les propositions faites sont logiques et en adéquations avec la route de l'avion. Le contrôleur peut, dans certains cas, sélectionner des informations supplémentaires (le niveau, la balise de la directe…). Enfin, il peut choisir de contraindre la résolution dans le secteur (ce qui sera majoritairement le cas) ou de laisser le système libre de proposer une solution impliquant éventuellement des coordinations (6).

2.2.3.2 Proposition de la solution

Dans cette deuxième étape, STAR propose la solution qui permet de résoudre le conflit et qui répond à la stratégie précédemment saisie par le contrôleur. Le fonctionnement de STAR sera décrit plus en détail par la suite. Une fois la trajectoire trouvée, celle-ci s'affiche sur la vue résolution de problème. Les plots des deux avions passent en vert, la distance de séparation étant de nouveau assurée par l'application de la solution proposée par STAR (Figure 51, (1)). Le système fournit également la confirmation écrite en affichant explicitement la nouvelle distance de séparation (2). Le système fournit en plus la liste des instructions à envoyer pour résoudre le problème, et le cas échéant les coordinations nécessaires (3). Le CO est ensuite libre de valider ou non la solution de STAR (4).

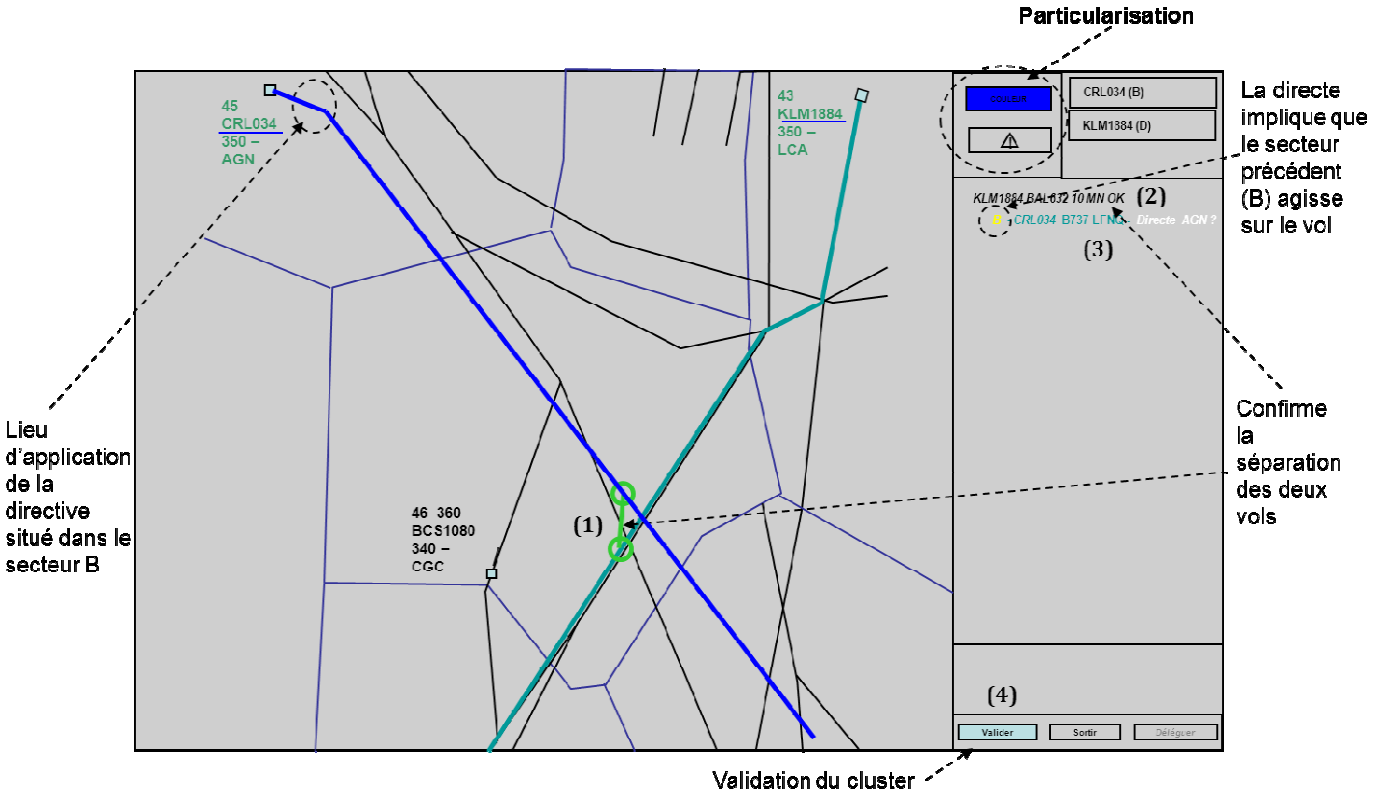


FIGURE 51 : ÉCRAN 20" : PROPOSITION D'UNE SOLUTION PAR STAR (POSTE CO - SECTEUR A).

Si le CO valide la création du cluster, celui-ci s'affiche dans la partie réservée (Figure 52, (1)). A ce stade des opérations, le cluster n'est visible que du CO. Si l'opération le satisfait, il valide le cluster (2). Dans ce cas, le cluster passe dans la colonne de gauche, c'est-à-dire la colonne commune aux deux contrôleurs de la position. Le CR est alors informé de ce nouveau cluster, et peut librement consulter les informations qui lui sont attachées : les avions du cluster, la stratégie de résolution et la solution du système.

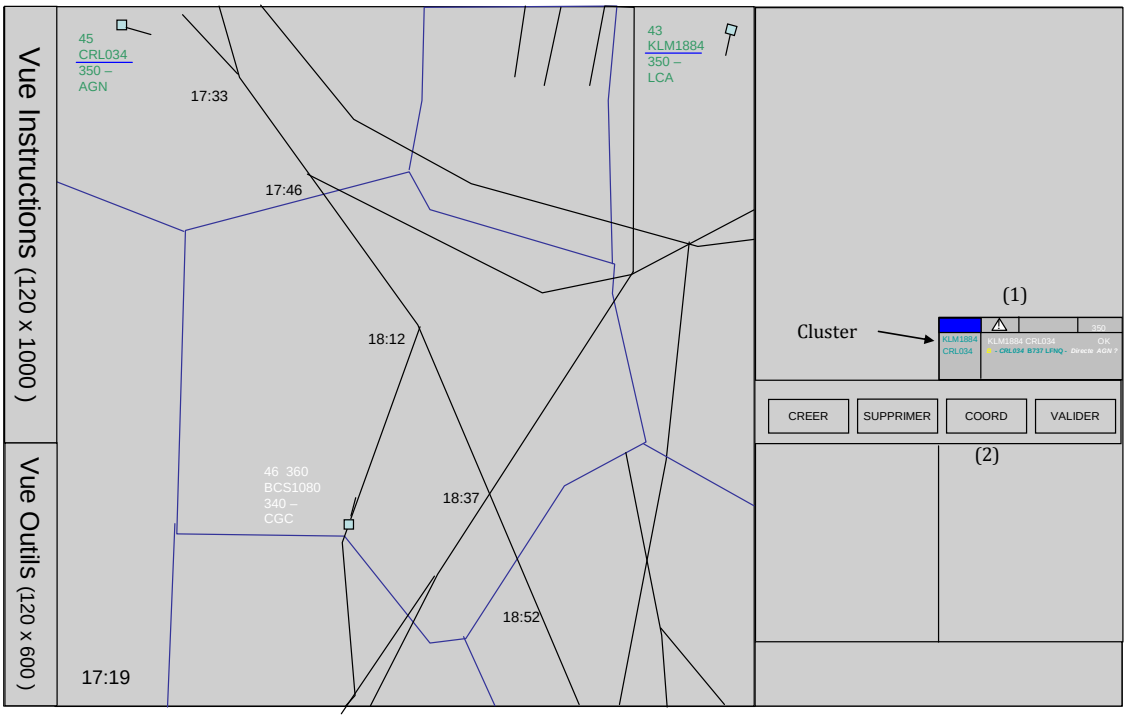


FIGURE 52 : ÉCRAN 30" : CRÉATION DU CLUSTER APRÈS VALIDATION SUR LA VUE RÉSOLUTION DE PROBLÈME (POSTE CO - SECTEUR A)

2.2.3.3 Communication avec le secteur adjacent

Dans la mesure où la solution proposée est applicable dans le secteur précédent, le contrôleur doit soumettre la nouvelle trajectoire au CO du secteur B. Le CO peut effectuer ces coordinations à l'aide du système. Dans ce cas de figure, il doit sélectionner l'option coordonner (Figure 53, (1)). Cette action a pour effet de transmettre sous une forme simplifiée et dans l'espace « coordination » la demande au(x) secteur(s) concerné(s).

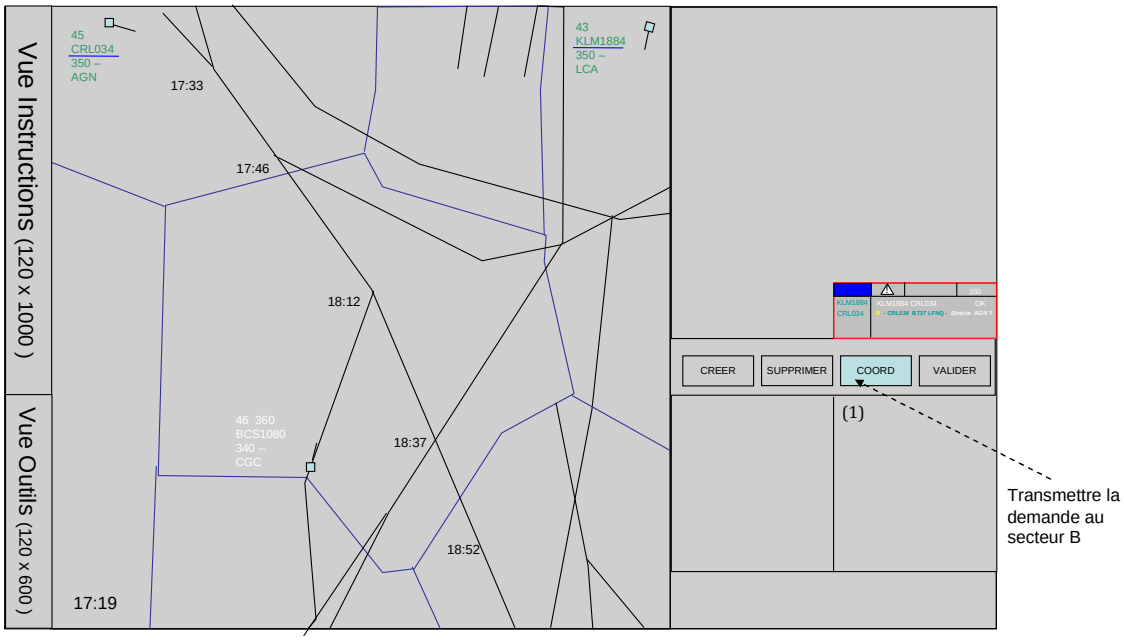


FIGURE 53 : ÉCRAN 30" : TRANSFERT DE LA DEMANDE AU SECTEUR ADJACENT (POSTE CO - SECTEUR A)

Sur la Figure 54, le secteur adjacent concerné par la coordination, vient de recevoir une demande (1). Il peut visualiser cette demande sur sa vue résolution de problème.

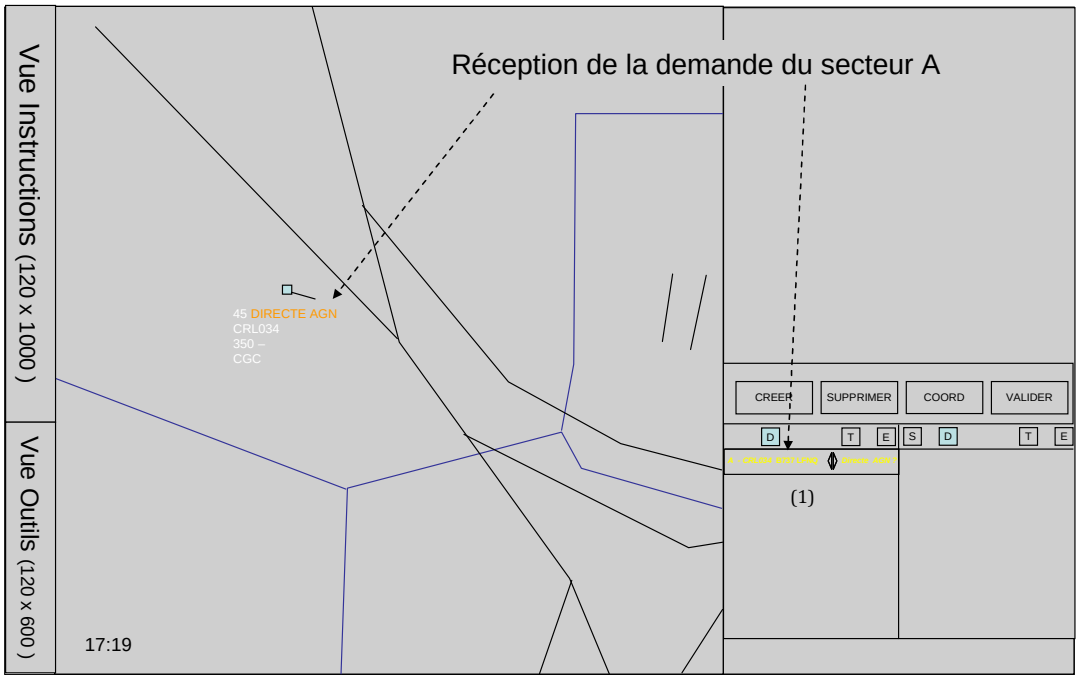


FIGURE 54 : ÉCRAN 30" : LE SECTEUR B REÇOIT LA DEMANDE ÉMISE PAR LE SECTEUR A-(POSTE CO - SECTEUR B)

2.2.3.4 Gestion de la demande par le secteur adjacent

La demande est soumise au secteur adjacent sous la forme d'une coordination : *« B - CRL034 B737 LFNQ - Directe AGN ? ».* À la réception de la demande, le CO du secteur adjacent a la possibilité, par l'intermédiaire de la vue résolution de problème, de visualiser et donc d'évaluer la nouvelle trajectoire. Il peut valider ou refuser la demande (Figure 55). Il peut aussi négocier la demande et une modification est possible à partir de la vue résolution de problème. Dans le cas où la négociation est plus complexe, le CO reste libre d'utiliser le téléphone et de négocier avec son homologue. Toutefois, le système apporte un réel avantage car les deux contrôleurs ont une bonne conscience du problème, de la demande et de son environnement car ils partagent la même représentation. La négociation va gagner en clarté et les incertitudes ou les doutes seront réduits.

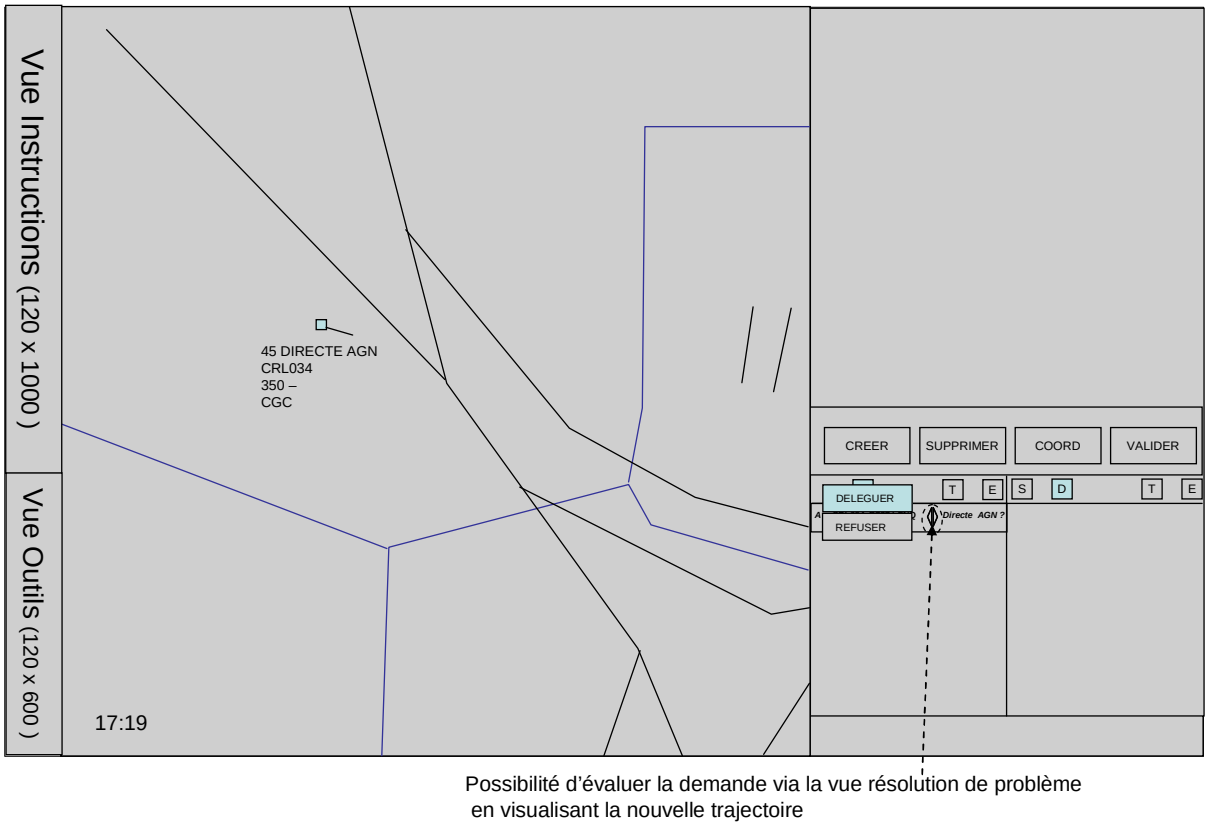


FIGURE 55 : ÉCRAN 30" : VALIDATION DE LA NOUVELLE TRAJECTOIRE - -(POSTE CO - SECTEUR B)

Dans le cas où le CO du secteur adjacent accepte la demande de coordination, l'avion est matérialisé par un encadrement (Figure 56). En effet, si le CO est d'accord (ici la demande de mise en directe), l'avion est délégué au système qui va se charger d'appliquer la solution et la mise en directe du vol concerné.

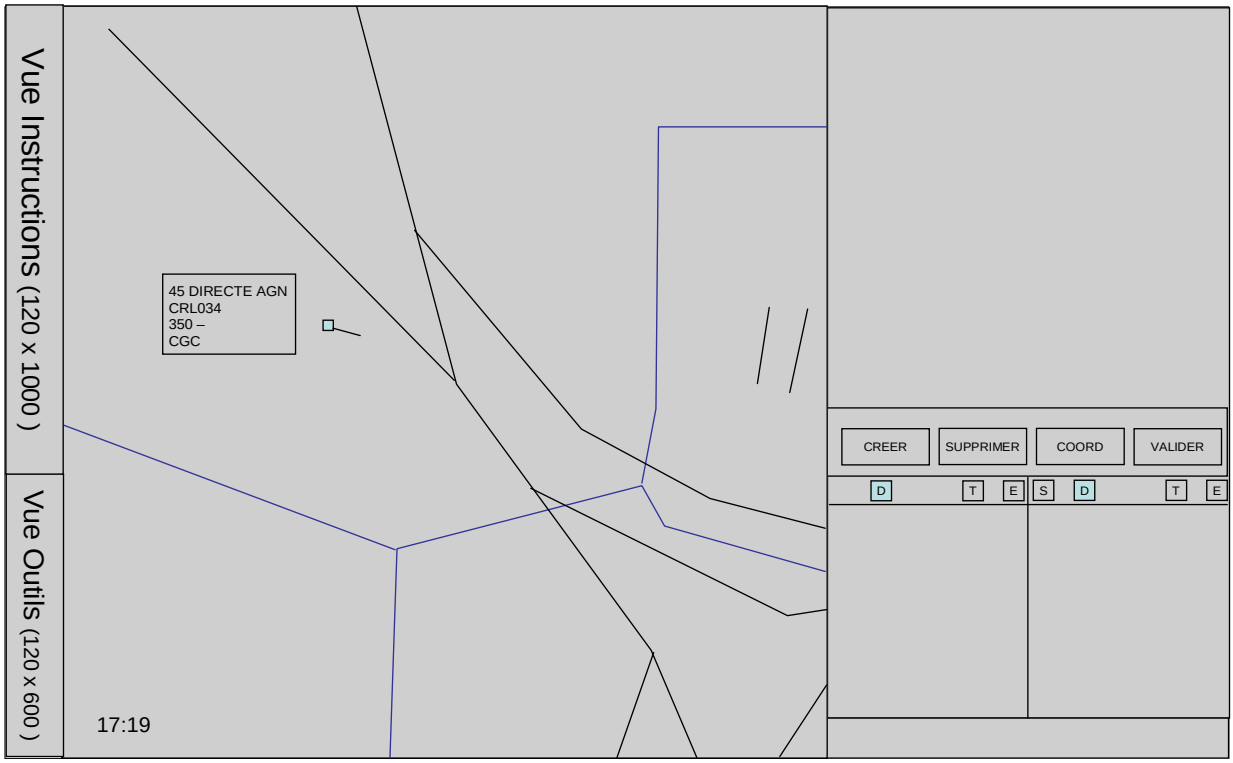


FIGURE 56 : ÉCRAN 30" : LE VOL A ÉTÉ TRANSFÉRÉ AU SECTEUR A ET STAR EST CHARGÉ DE METTRE EN ŒUVRE LA NOUVELLE TRAJECTOIRE (DÉLÉGATION) -(POSTE CO - SECTEUR B)

Le secteur qui fait la demande est averti de cet accord par trois événements (Figure 57) :

1. La coordination, puisque acceptée, disparaît du bloc coordination ;
2. Le cluster se met à jour en conséquence afin de tenir compte de l'acceptation du secteur adjacent ;
3. L'avion est encadré sur la vue radar pour matérialiser la délégation.

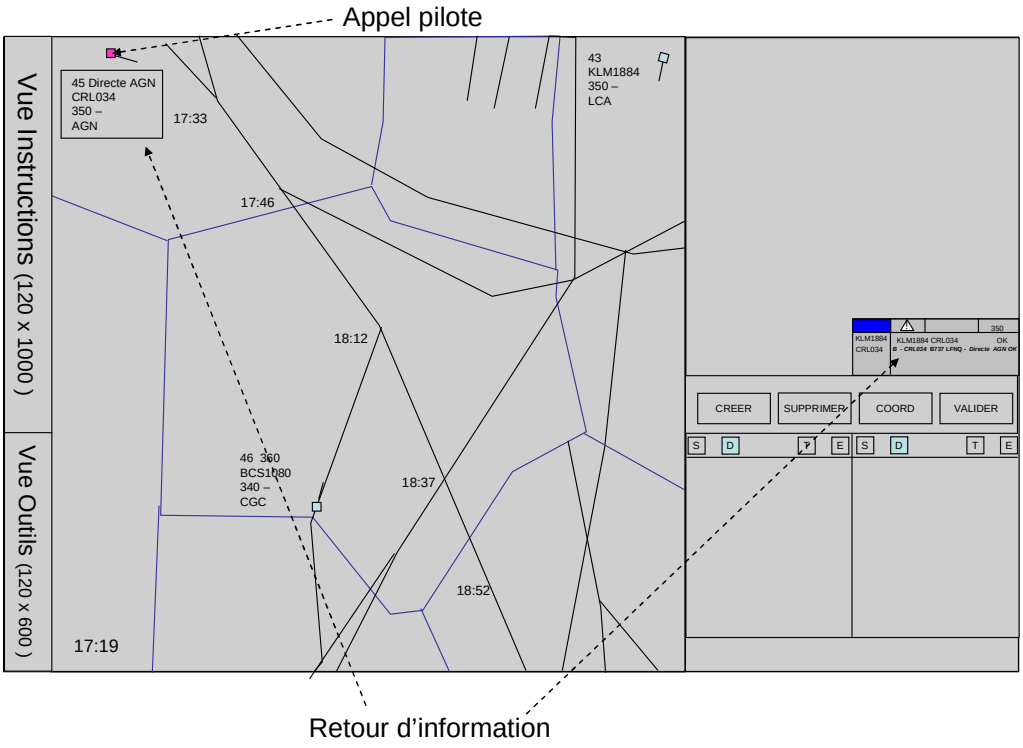


FIGURE 57 : ÉCRAN 30" : LE VOL AYANT ÉTÉ TRANSFÉRÉ, LE CONTRÔLEUR REÇOIT L'APPEL PILOTE ET PEUX DONC ASSUMER LE VOL. -(SECTEUR A)

2.2.3.5 Surveillance et application de la solution

Cette dernière étape (Figure 58) montre la gestion de l'application de la solution par le système, autrement dit la délégation. Les contrôleurs ont depuis AMANDA V2 la possibilité de déléguer la mise en œuvre à STAR, c'est-à-dire laisser le système envoyer les instructions aux avions et de surveiller leurs applications, la délégation permettant aux contrôleurs de ne pas se soucier de la bonne application de la solution. Ce principe est étendu dans le cadre d'AMANDA V3. Si cette solution implique des coordinations, les autres secteurs doivent accepter les coordinations avant que la délégation ne puisse commencer. Dans ce cas de figure, la coordination débute (ou se termine) dans le secteur adjacent. Une fois le dernier ordre du cluster appliqué et garanti, la délégation s'interrompt et le contrôleur reprend la surveillance de ce vol.

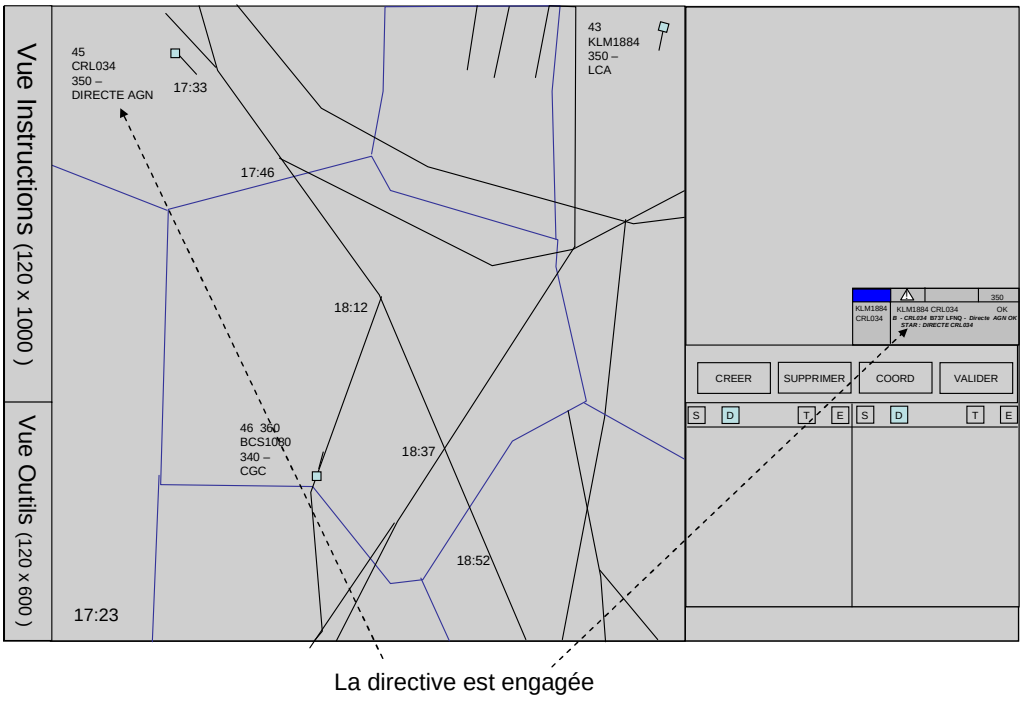


FIGURE 58 : ÉCRAN 30" : STAR A ENGAGÉ LE DIRECTE.

Évidemment, à tout moment de la délégation le contrôleur peut décider de reprendre le contrôle de l'avion.

2.3 INTÉGRATION DES COORDINATIONS – VERS L'ETC-ÉTENDU

Deux cas possibles pour les coordinations sont distingués : les coordinations résultant d'une résolution d'un conflit et les coordinations pour éviter un conflit, c'est-à-dire une action anticipée sur un avion.

Le premier type de coordination dépend donc d'un cluster et correspond au cas détaillé dans le scénario précédent. Le CR ou le CO peuvent demander une coordination pour éviter un conflit ou pour simplifier une situation.

Dans le cas où le CR doit coordonner, il peut aussi utiliser le système et l'ETC. Il va créer sa demande, puis celle-ci sera transférée à son CO, dans la partie ETC de la position. Pour ce faire, le contrôleur va créer sa demande de coordination qui va se matérialiser par le bandeau décrit sur la Figure 59. Ce bandeau contient les informations indispensables pour identifier immédiatement l'objet de la coordination :

- le secteur qui fait la demande ou à qui la demande est destinée,
- l'indicatif de l'avion, son type et sa destination,
- le type de la coordination, et éventuellement une précision (niveau, balise…),
- l'évolution de la coordination, c'est-à-dire les modifications éventuelles,
- l'état de la coordination, en cours de traitement « ? » ou validée « ok ».

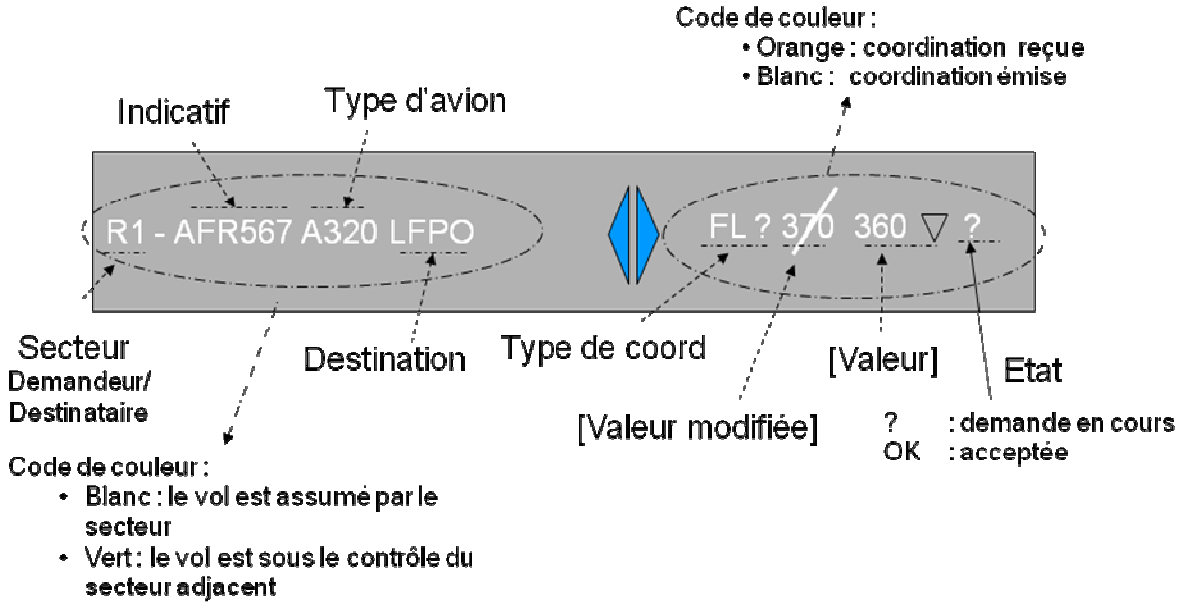
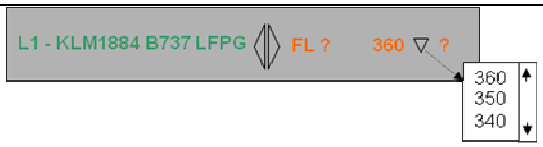


FIGURE 59 : EXEMPLE DE BANDEAU DE COORDINATION, AVEC LES DIFFÉRENTES INFORMATIONS.

Le Tableau 18 présente les cas possibles et la représentation utilisée dans l'espace de coordination. Le CO va analyser la demande, éventuellement la modifier ou la compléter puis la « coordonner » c'est-à-dire que la demande sera transférée au secteur concerné. À ce moment-là, la coordination passe dans la zone coordination de l'ETC.

TABLEAU 18: LES CAS DE COORDINATIONS QUI NE DÉPENDENT PAS D'UNE RÉSOLUTION

Fonctions	Affichage	Explications
SHRQ		L1 Souhaite avoir plus tôt le vol en fréquence, mais n'agira dessus que lorsqu'il sera suffisamment proche de son secteur.
Relâché		Idem que SHRQ mais pourra agir sur le vol dans le secteur adjacent; on doit préciser le type de relâchement (ex. en niveau, en cap, …).
Demande de niveau		L1 demande de pouvoir utiliser le niveau 360 (niveau géré par un autre secteur) pour résoudre un conflit dans son secteur.
Modification conditions entrée ou sortie		L1 demande de modifier le niveau d'entrée ou de sortie du vol.

La Figure 60 montre un exemple d'utilisation de ces coordinations informatisées. Lorsque le CO réceptionne la demande et qu'il la valide, celle-ci est transmise au secteur concerné (dans l'exemple ci-dessous, L1). L'écriture en jaune, qui signifie depuis AMANDA V2 qu'une information a changé, est conservée. Le secteur demandeur conserve le nom du secteur en jaune aussi, afin de visualiser que sa demande est transmise, et par la suite qu'elle a été vue (accusé de réception). Le secteur adjacent peut ensuite accepter la demande soit directement dans la vue de coordination de l'ETC et dans ce cas elle passe automatiquement en accepté, soit en la visualisant d'abord dans la vue résolution de problème. Dans tous les cas, quand il accepte la demande, le secteur demandeur en est informé : la demande passe en jaune avec la notation « OK ».

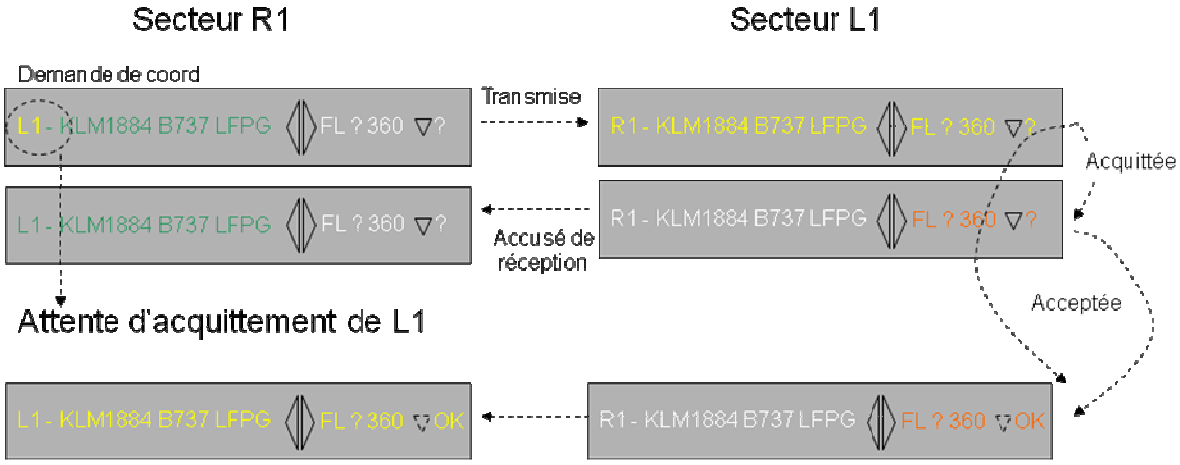


FIGURE 60 : EXEMPLE D'UN CAS DE COORDINATION EN DEHORS D'UNE RÉSOLUTION.

Toutes les demandes peuvent donc être évaluées par le CO dans un premier temps, puis par le secteur visé par la coordination. L'évaluation se passe sur la vue résolution de problème qui va fournir une vue filtrée de la vue radar. L'avion de la coordination sera matérialisé avec sa route, ainsi que les autres avions potentiellement gênants (même niveau, en conflit, dans un cluster sur l'un ou l'autre des secteurs…). L'objectif est de fournir les informations qui vont permettre au CO distant de bien mesurer l'importance de la demande et d'y répondre le plus favorablement possible.

2.4 NOUVEAU MODULE DE CALCUL DE TRAJECTOIRE STAR

L'enjeu de cette nouvelle version de STAR est donc de tendre vers la proposition de solutions proches de celles des contrôleurs. Pour cela, nous proposons une nouvelle méthode de calcul des trajectoires en nous basant sur les pratiques de travail des contrôleurs comme, par exemple : choisir le cap en fonction du temps avant conflit, changer de trajectoire en visant une autre balise du plan de vol, respecter la route de l'avion (élégance), éviter d'influencer trop sur le flux global (élégance)…. Il est donc intéressant de proposer une méthode de calcul différente qui s'appuie sur ces « règles » que les contrôleurs appliquent pour dérouter un avion.

Ainsi, plutôt que de calculer l'ensemble des trajectoires permettant de résoudre un conflit puis d'effectuer un choix multicritère, comme le fait STAR dans AMANDA V2, il parait plus judicieux de calculer directement une trajectoire prenant en compte tout ou partie des règles que les contrôleurs utilisent. Calculer une trajectoire qui réponde directement à l'ensemble des critères est, peut-être, une tâche complexe mais la puissance et la rapidité de calcul n'étant plus une contrainte d'ordre fonctionnel, il est possible de procéder par des « essais-erreurs » successifs afin de trouver une trajectoire répondant aux critères. L'algorithme de la Figure 61 montre une proposition de calcul d'une telle trajectoire.

Une fois le cluster créé et la directive choisie, le module de calcul va estimer le temps avant le conflit afin de choisir le meilleur cap à essayer, par exemple 5° si le conflit est prévu dans plus de 15 minutes. Les contrôleurs vont chercher à résoudre le conflit dès sa détection, le point d'application de la résolution sera donc relativement proche de la position actuelle de l'avion. Le système va vérifier que la déviation suffit à rétablir les distances de séparation entre les avions. Si oui, il va proposer la solution aux contrôleurs et le processus de calcul se termine. Sinon, le cap est incrémenté de 5° (les contrôleurs n'utilisent que des caps multiples de 5) et le processus de vérification reprend.

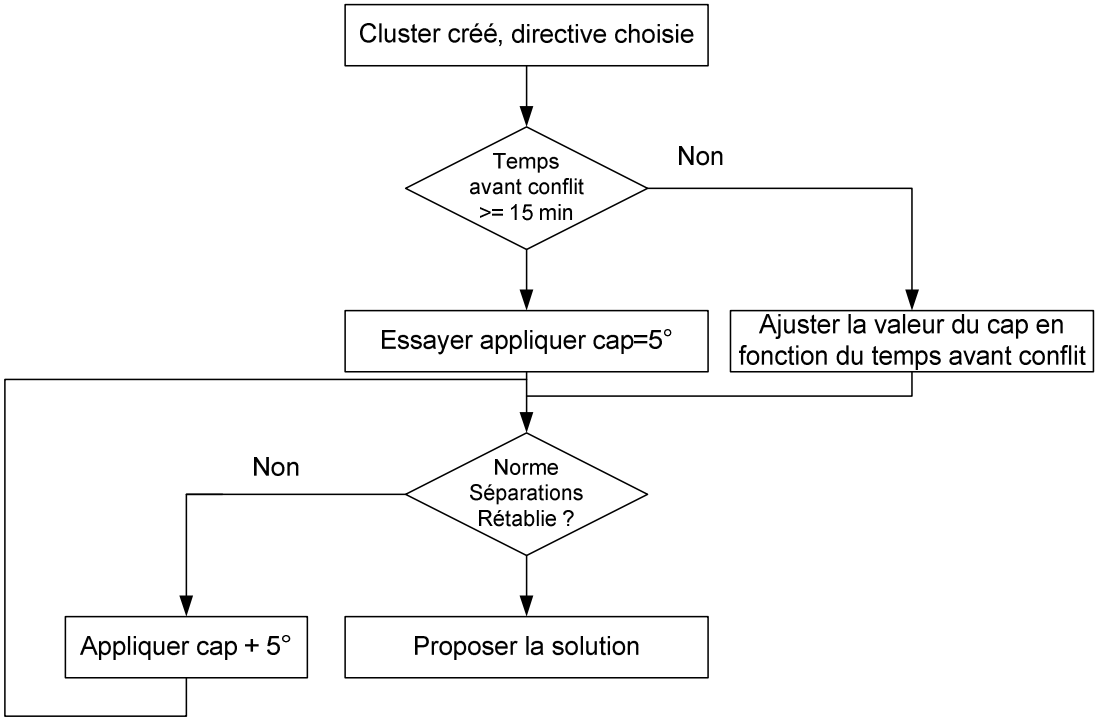


FIGURE 61 : PROPOSITION D'ALGORITHME POUR LE NOUVEL MODULE STAR

La remise sur la route de l'avion peut être calculée en même temps que la déviation, en respectant les règles appliquées par les contrôleurs (remise sur la route une fois que les avions se sont croisés notamment). Toutefois, la remise sur la route n'est pas présentée à ce niveau aux contrôleurs. Ils ne déterminent pas à ce moment de la résolution comment ils vont remettre l'avion sur sa route. Quand le conflit sera presque résolu (les avions se seront croisés), le système proposera, en cas de délégation, une trajectoire de remise sur la route. Éventuellement cette remise sur la route pourra induire des coordinations et, dans ce cas, la trajectoire sera partagée, par l'intermédiaire de l'ETC-Étendu, avec le secteur adjacent suivant.

Cette méthode présente plusieurs avantages :

- elle respecte au mieux les pratiques des contrôleurs,
- elle respecte la route de l'avion (solution élégante),
- elle est moins coûteuse en temps de calcul que de calculer un nombre de solutions important et de n'en choisir qu'une,
- il n'y a plus de problème du choix multicritère et de cohérence des critères avec les préférences des contrôleurs,
- il est plus facile d'expliquer la méthode de calcul utilisée aux contrôleurs, qui ont besoin de savoir comment fonctionne la machine pour lui faire confiance,
- la méthode de calcul sera plus facile à implémenter.

2.5 CONCLUSIONS SUR LES SPÉCIFICATIONS

La plateforme AMANDA V3 intègre l'aspect coordination, notamment en partageant une représentation commune entre deux COs adjacents. Ce partage d'informations et, plus précisément, de la nouvelle trajectoire entre les deux secteurs, devrait offrir une coordination plus efficace et plus rapide, les contrôleurs visualisant directement l'impact de la modification sur le secteur, notamment dans le cas de la remise sur la route d'un avion.

De même, le module de calcul de trajectoire STAR est modifié et amélioré afin de mieux prendre en compte les pratiques des contrôleurs. Ainsi, les trajectoires proposées seront proches de celles que ces derniers utilisent afin de réduire les temps d'analyse de la solution du système et ainsi favoriser la confiance des contrôleurs envers les outils.

AMANDA V3 doit donc au final permettre d'augmenter le trafic et de rendre plus efficaces et plus rapides les coordinations, en prenant en compte les demandes des contrôleurs rencontrés et leurs pratiques.

3 VALIDATIONS ET ÉVALUATIONS EXPÉRIMENTALES

3.1 OBJECTIFS

Les évaluations de la future plateforme AMANDA V3 ont pour objectifs de valider, avec des contrôleurs professionnels, les concepts proposés et les modifications apportées. Les concepts introduits concernent la gestion des coordinations et les modifications apportées au module STAR. Les points principaux à vérifier consistent donc à déterminer si les solutions de STAR correspondent aux attentes des contrôleurs, si les solutions sont « parlantes » pour eux et si elles ne demandent pas une longue analyse pour les comprendre et les accepter.

Pour l'aspect coordination, il convient de vérifier s'il y a un gain de temps et de fiabilité et si les contrôleurs ont confiance dans ce système d'échange. Cette partie présente d'abord des pistes pour une validation des propositions avant la phase expérimentale puis, dans le cadre de la campagne expérimentale, une série de données à mesurer ainsi que des situations à présenter aux contrôleurs.

3.2 VALIDATIONS

Un premier niveau de validation existe grâce au processus d'entretiens mis en place et, plus particulièrement, au processus de revue qui permet une validation par les contrôleurs des données qu'ils apportent. Le niveau de qualification et de professionnalisme des contrôleurs permet aussi une validation de leurs propos. Cependant, cette validation ne repose que sur les données obtenues.

Avant de procéder à des tests et même avant de lancer une longue phase de développement des outils, une validation supplémentaire est à mener. Cette validation consistera à faire évaluer et valider les spécifications auprès des contrôleurs déjà rencontrés dans un premier temps puis, par-là suite, à étendre cette validation auprès d'autres contrôleurs. Cette étape de validation est intéressante pour les concepts en rapport avec les coordinations mais aussi pour la nouvelle méthode de calcul du module STAR. En expliquant, à l'aide par exemple de scénarios, il est possible d'exposer aux contrôleurs le principe de fonctionnement de la plateforme et de recueillir leurs opinions et critiques. Ce travail de spécification peut aussi évoluer de manière itérative, c'est-à-dire qu'il est envisageable de rencontrer les contrôleurs plusieurs fois, avec des versions améliorées tenant compte de leurs remarques, jusqu'à l'obtention d'une validation des méthodes et des outils envisagés.

Une autre méthode pour valider cette étude est de reconsidérer les expérimentations faites pour AMANDA V2 en comparant les propos des contrôleurs, les actions des contrôleurs sur AMANDA V2, avec les descriptions faites pendant ces entretiens. Même si les contrôleurs ne remettent jamais en cause des choix réalisés par des collègues, il est intéressant de déterminer s'ils ont les mêmes « règles » de résolution. Il existe d'ailleurs des similitudes entre les deux études, notamment dans le choix des directives. Lors de la phase expérimentale d'AMANDA V2, le binôme 1 déclare « on ne passe jamais devant ». Dans cette étude, C3 énonce exactement la même idée. Dans AMANDA V2, le même binôme dit qu'il ne sait pas quand il va remettre l'avion sur sa route, C1 utilise le même argument. Il est possible d'extraire ainsi de nombreuses ressemblances entre les deux études. Ce qui prouve la validité des propos obtenus auprès des contrôleurs.

Une fois les outils validés de cette manière, la phase de développement peut débuter et une phase expérimentale peut être envisagée, cette dernière permettant d'évaluer principalement les gains apportés. Le fonctionnement des outils sera, à ce stade, majoritairement validé par les contrôleurs.

3.3 PLATEFORME EXPÉRIMENTALE

AMANDA V2 ne simulait qu'un seul secteur, sans interaction possible avec les secteurs adjacents. De plus, les actions sur les avions étaient uniquement informatiques et les avions suivaient un modèle qui offrait une réponse immédiate et toujours correcte avec la demande. Ces deux points ont inévitablement biaisé les expérimentations : les contrôleurs pouvaient anticiper de manière importante les actions sur les vols, bien en amont dans le secteur précédent, sachant pertinemment qu'il ne pouvait pas y avoir de modification de trajectoire de l'avion. De plus, le contrôleur n'avait pas à manipuler l'incertitude sur les actions des pilotes puisque le modèle répondait immédiatement. Enfin, la tâche du CO était réduite puisqu'il ne devait pas communiquer avec les autres secteurs.

AMANDA V3 vise à réduire ces biais, et à aider le CO dans sa phase de coopération avec les secteurs adjacents. Pour cela, nous proposons de revoir l'architecture d'AMANDA V2 pour prendre en compte ces aspects. L'architecture d'AMANDA V3 qui se base sur celle de V2 est décrite sur la Figure 62.

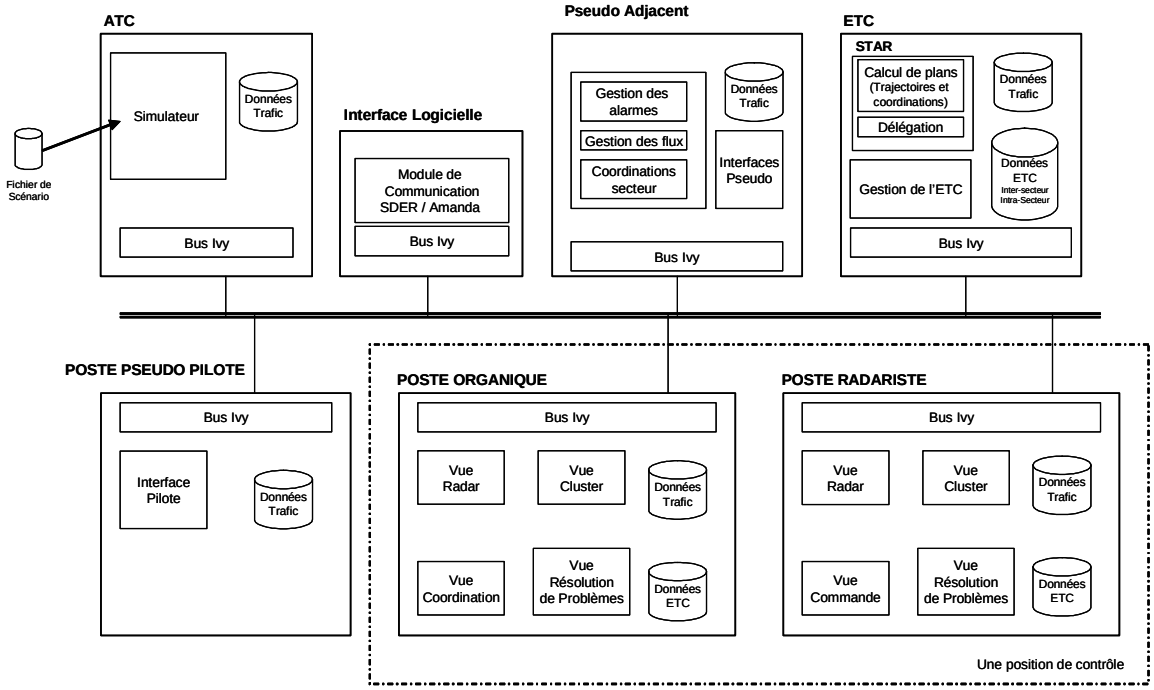


FIGURE 62 : ARCHITECTURE LOGICIELLE DE LA PLATEFORME AMANDA V3

L'objectif est donc d'essayer de reproduire fidèlement l'environnement de travail des contrôleurs afin de les mettre dans des conditions aussi réalistes que possible.

L'architecture se compose donc de deux **positions de contrôle**, une position de contrôle se composant de deux GEODE (Granule Élémentaire Organisant les Données et les Entrées). Une GEODE est l'environnement de travail d'un contrôleur. En fonction du rôle du contrôleur sur la position, les équipements ne sont pas exactement les mêmes. D'une manière générale, les deux contrôleurs vont disposer de la vue radar et de la vue ETC sur un écran 30'' et de la vue résolution de problème sur un écran 20'', en bas. Ensuite, le CO disposera d'une console de téléphone pour interagir avec les secteurs adjacents, cette possibilité étant introduite dans AMANDA V3 afin de pouvoir réaliser les coordinations.

Dans la mesure où AMANDA V3 intègre la notion de coordination, il faut introduire les autres secteurs. Comme il n'est bien sûr pas possible de jouer l'ensemble des secteurs adjacents à un secteur, les autres secteurs seront simulés par une seule et même personne, le **pseudo-adjacent**. Cette personne répondra aux demandes des contrôleurs et pourra faire des demandes ou des changements en fonction des scénarios établis.

Afin d'augmenter le réalisme en jouant les incertitudes entre le transfert des ordres aux pilotes et le moment d'application de ces ordres, un poste de **pseudo-pilote** est intégré à la plateforme. Le pseudo-pilote aura en charge de valider/appliquer (plus ou moins rapidement) les ordres reçus par les pilotes. Ainsi, comme en situation réelle, les contrôleurs devront prendre en compte cette incertitude, ce délai qui peut exister entre la transmission de l'ordre et son application.

3.4 VALIDATION EXPÉRIMENTALE

Cette partie propose les grandes lignes de la phase expérimentale de la future plateforme AMANDA V3, une fois réalisée la première validation décrite précédemment. Cette partie aborde deux points, tout d'abord les données à mesurer afin d'évaluer l'apport de la plateforme et ensuite les situations à proposer, pour mesurer ces données.

3.4.1 DONNÉES À MESURER

Cette liste, non exhaustive, présente des aspects qui nous paraissent importants à mesurer.

- **Évaluer la durée des coordinations** afin de déterminer si l'outil permet un gain de temps.
- **Évaluer si le partage d'information est pertinent et suffisant.** Est-ce que les contrôleurs retrouvent toutes les informations importantes ?
- **Évaluer si le partage des coordinations et des informations** permet et garantit une meilleure maîtrise de la part des contrôleurs. Est-ce que les contrôleurs ont l'impression, la sensation de coordonner plus efficacement et de manière plus sûre ?
- **Évaluer la charge de travail** supplémentaire induite par l'utilisation des outils, par rapport aux gains de temps, de sécurité, de fiabilité, de nombre d'avions par heure.
- **Évaluer les différences entre les solutions de STAR et celles des contrôleurs.** Sur une même situation, mesurer et identifier les écarts entre les deux solutions. Cette mesure ne se fera que si les contrôleurs valident le principe de calcul de STAR.
- **Évaluer si les solutions de STAR permettent réellement au contrôleur de déléguer sereinement un conflit à la machine.** Est-ce que les contrôleurs ont confiance dans le système et sa solution ? Est ce qu'ils surveillent toujours le conflit et la bonne résolution ?
- **Évaluer les capacités de STAR** à répondre dans toutes les situations avec des solutions cohérentes avec les habitudes des contrôleurs.
- **Évaluer le niveau de confiance des contrôleurs.** Cette évaluation n'est pas la plus évidente et va se baser essentiellement sur le ressenti des contrôleurs. Cependant, il est

possible d'avoir quelques indicateurs permettant d'estimer le niveau de confiance, notamment le temps passé à surveiller un vol délégué au système ; évaluer si les coordinations sont réalisées avec les outils d'aide ou si le contrôleur revient à l'utilisation du téléphone ; évaluer si une fois la coordination effectuée de manière informatique, le contrôleur applique immédiatement la solution obtenue. Cette phase requiert une grande part d'observation, mais nécessite aussi d'identifier où le contrôleur regarde, sur les différentes interfaces, si son attention se focalise sur une zone ou une autre en particulier, sur un avion et l'utilisation des techniques d'oculométrie serait très pertinente pour cela.

- **Évaluer le niveau de conscience de la situation des contrôleurs.** Déterminer si malgré l'utilisation d'outils informatiques, les contrôleurs gardent une bonne conscience de la situation et du trafic.

3.4.2 SITUATIONS EXPÉRIMENTALES

Cette partie propose des situations, ou des paramètres des futures situations expérimentales afin d'évaluer le système et de mesurer les données précédemment citées.

- **Comparer de manière globale la gestion du trafic avec et sans les outils AMANDA V3.** L'idée de cette situation est de proposer différentes configurations, c'est-à-dire l'utilisation ou non des différents outils d'aide afin d'évaluer s'ils apportent un gain aux contrôleurs, notamment en évaluant leur charge de travail.

- **Augmenter la charge des secteurs,** et évaluer si les contrôleurs, avec les outils d'aide arrivent à gérer correctement le secteur et les conflits ou s'ils sont surchargés. Évaluer cette charge de travail est complexe dans le cadre du contrôle de trafic aérien [Guiost, 2006]. Les méthodes « traditionnelles » comme nasa-TLX ne montrent pas de surcharge particulière chez les contrôleurs. Guiost [2006] a estimé, dans les expérimentations d'AMANDA V1, cette surcharge en replaçant de manière temporelle l'activité des contrôleurs. Cette étude montre que les contrôleurs anticipent moins les situations quand ils sont surchargés alors que dans une situation normale ils anticipent chaque situation en agissant relativement tôt.

4 PERSPECTIVES DE RECHERCHE

4.1 AMÉLIORATION DE LA DÉMARCHE

La démarche qui a consisté à rencontrer trois contrôleurs a permis d'obtenir de très nombreuses informations pertinentes. Ces trois entretiens se basent uniquement sur une seule situation présentée aux contrôleurs. Ce principe a l'intérêt de bien se focaliser sur cette situation qui est

déjà très riche. Cependant, il semble aussi intéressant de proposer d'autres situations, au regard des résultats des analyses.

En effet ces analyses font apparaître les notions de trajectoire naturelle et d'élégance chez un seul contrôleur, C1. Les autres contrôleurs n'évoquent pas ces notions spontanément mais y trouvent un écho. Pour affiner le rapport entre les différentes solutions naturelles, il serait pertinent d'étudier une situation où la solution naturelle de déviation du second avion au point de conflit est soumise à des contraintes. Dans cette situation, la solution naturelle est impossible mais la solution de déviation du second vol est possible. Une autre situation dans laquelle aucune solution naturelle ne serait applicable est aussi envisageable. Cette situation va permettre d'estimer l'évolution nécessaire du système de préférence de contrôle. Ces deux situations vont également permettre d'évaluer la notion d'élégance, l'impact de ces solutions non naturelles sur l'élégance.

Un autre aspect d'amélioration concerne la manière de conduire les grilles. Dans notre démarche chaque contrôleur a rempli ses trois grilles de manière indépendante des autres contrôleurs. Pour globaliser les résultats obtenus, les investigations pourraient se focaliser sur les pondérations en fixant les attributs. Le protocole d'entretiens nécessite une évolution vers la constitution de grilles collectives. Ainsi, il est possible d'envisager de soumettre les grilles avec les attributs pré-remplis, en s'appuyant sur l'avis d'un ou plusieurs contrôleurs « conseils ». D'autres contrôleurs vont ainsi pouvoir évaluer l'impact de ces attributs dans différentes situations en pondérant les grilles.

Dans la même idée d'exploiter différemment les grilles, une autre amélioration intéressante est envisageable. Elle consisterait à faire remplir la grille du niveau 2 (directives) sur une situation différente. La grille présentée serait pré-remplie d'éléments identiques et des attributs/construits cités sur une première situation. Les contrôleurs devront remplir les pondérations sur ces autres situations. Cette proposition va permettre d'évaluer la généricité des attributs en fonction des différentes situations, où les solutions naturelles et élégantes n'existent pas forcément.

4.2 MODÉLISATION DE L'ACTIVITÉ DES OPÉRATEURS AVEC DES MÉTHODES LOGICIELLES

Suite à la présentation des outils disponibles sur une position de contrôle, leur fonctionnement a été modélisé à l'aide d'un formalisme algorithmique, afin de bien comprendre l'utilisation qu'en font les contrôleurs. Ces algorithmes permettent de bien identifier les points où le système est incomplet et où le contrôleur doit reprendre le téléphone pour terminer une coordination, par exemple. Ces algorithmes montrent aussi le déroulement de l'activité du CO dans la surveillance d'un nouvel avion (Figure 63).

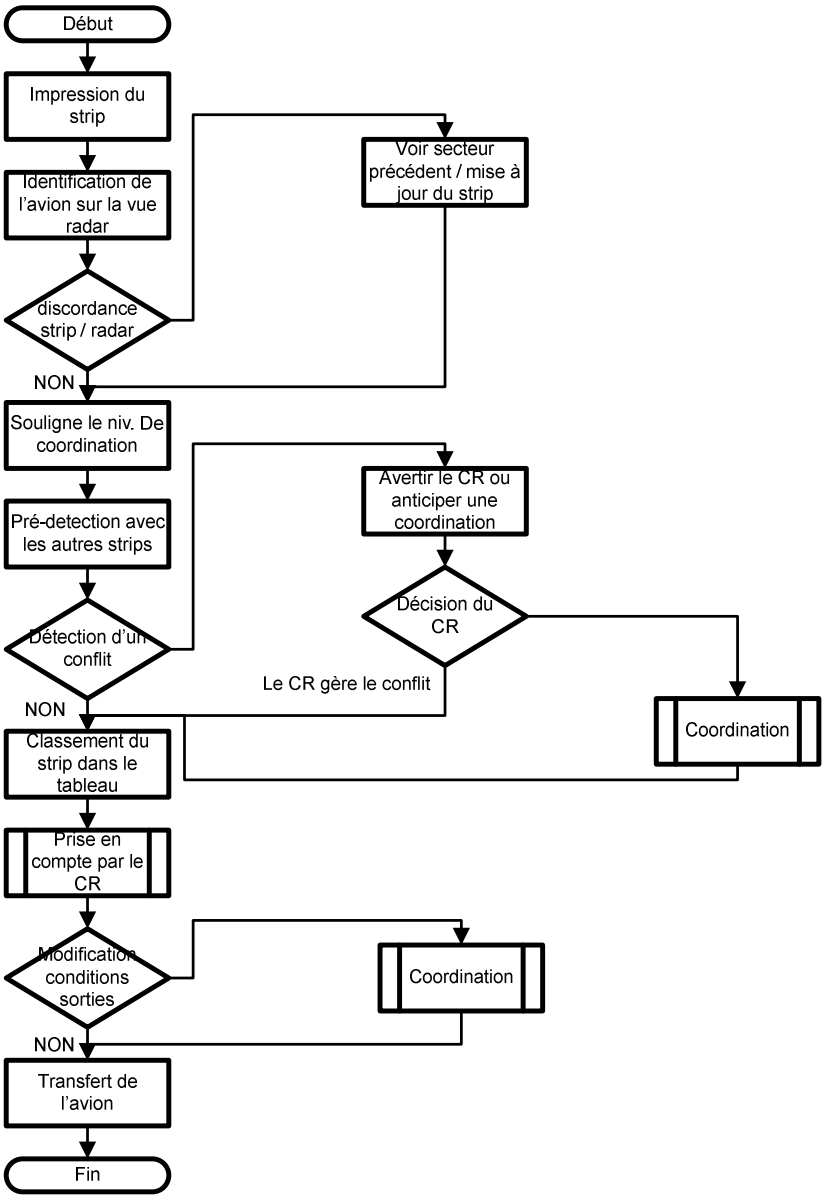


FIGURE 63 : ALGORITHME DE L'ACTIVITÉ DU CO

Ce type de modélisation permet de bien comprendre et visualiser les différentes tâches des contrôleurs, l'utilisation des différents outils disponibles. Sur cet exemple (Figure 63) qui concerne l'activité du CO, les cas où il coordonne avec les autres secteurs, où il communique avec le CR et tous les échanges qui peuvent exister sont identifiés. Les outils qui seront proposés devront essayer de s'intégrer au mieux dans cette activité globale. De la même manière, il est possible de modéliser sous ce formalisme les échanges entre le CO et le CR ou entre deux COs de deux secteurs adjacents.

Il est possible de modéliser le déroulement des activités des contrôleurs dans les différentes tâches du contrôle avec des outils tel que UML (*Unified Modeling Language*).

Le diagramme de cas d'utilisation (*use-cases diagram*) par exemple devrait permettre de modéliser les différentes interactions entre les contrôleurs (CO, CR, CO adjacent) et les différents

interfaces et outils. Le diagramme de séquence (Figure 64), permettra une représentation séquentielle du déroulement des différentes tâches, notamment dans le cadre des coordinations. Il est même possible dans le cadre des coordinations d'apporter une précision supplémentaire avec la durée moyenne pour chaque partie de l'activité. Les entretiens et les grilles apportent de nombreuses informations pertinentes pour cela. De plus, la modélisation avec UML est une tâche plus aisée dans la mesure où le métier et les tâches sont décrits précisément par les contrôleurs. Utiliser de tels outils et formalismes permet de reboucler sur les techniques du logiciel, car l'objectif final est bien de définir et de proposer des outils informatiques.

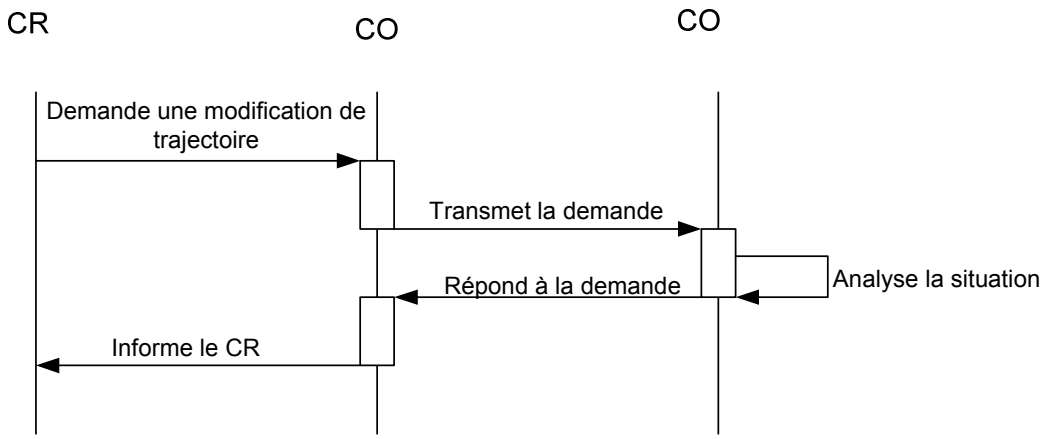


FIGURE 64 : EXEMPLE D'UNE MODÉLISATION UML – DIAGRAMME DE SÉQUENCE

4.3 EXTENSION À LA COOPÉRATION SOL-BORD

Guiost [2006], qui a travaillé sur AMANDA V2 et dont les travaux précèdent directement ce mémoire, a évoqué l'extension des principes à la délégation sol-bord, c'est-à-dire entre les contrôleurs aériens (le sol) et les pilotes et équipages (le bord). Il appuie son argumentation sur les techniques ASAS (*Airborne Separation Assistance Systems*) qui visent justement à déléguer une partie du travail dédiée aux contrôleurs, vers les pilotes des avions. Les projets liés aux applications ASAS (Loscos, 2005) comprennent quatre niveaux de délégation. Ces niveaux vont d'une amélioration de la conscience de la situation des pilotes (les informer des avions avoisinants) à la totale délégation de la séparation de l'avion du reste du trafic (concept de *free flight*). Ces nouveaux concepts vont nécessiter de nouvelles interfaces afin de partager les informations entre tous les acteurs. AMANDA propose déjà ces outils de partage, dans un premier temps entre deux contrôleurs d'une position (ETC) puis entre deux positions distantes (ETC-Étendu). Il est donc possible d'étendre encore les concepts d'AMANDA pour la délégation sol-bord. Guiost a proposé une architecture pour un tel système [Guiost 2006]. Sans remettre en cause sa proposition, nous détaillons ici l'organisation et les connexions entre les « différents ETC » (Figure 65). Les ETC sont tous interconnectés et ne sont donc pas globalement différents. Deux ETC supplémentaires apparaissent : un pour assister les deux pilotes de l'avion et un ETC pour faciliter les échanges entre le sol (*a priori* le CR) et le bord (le pilote).

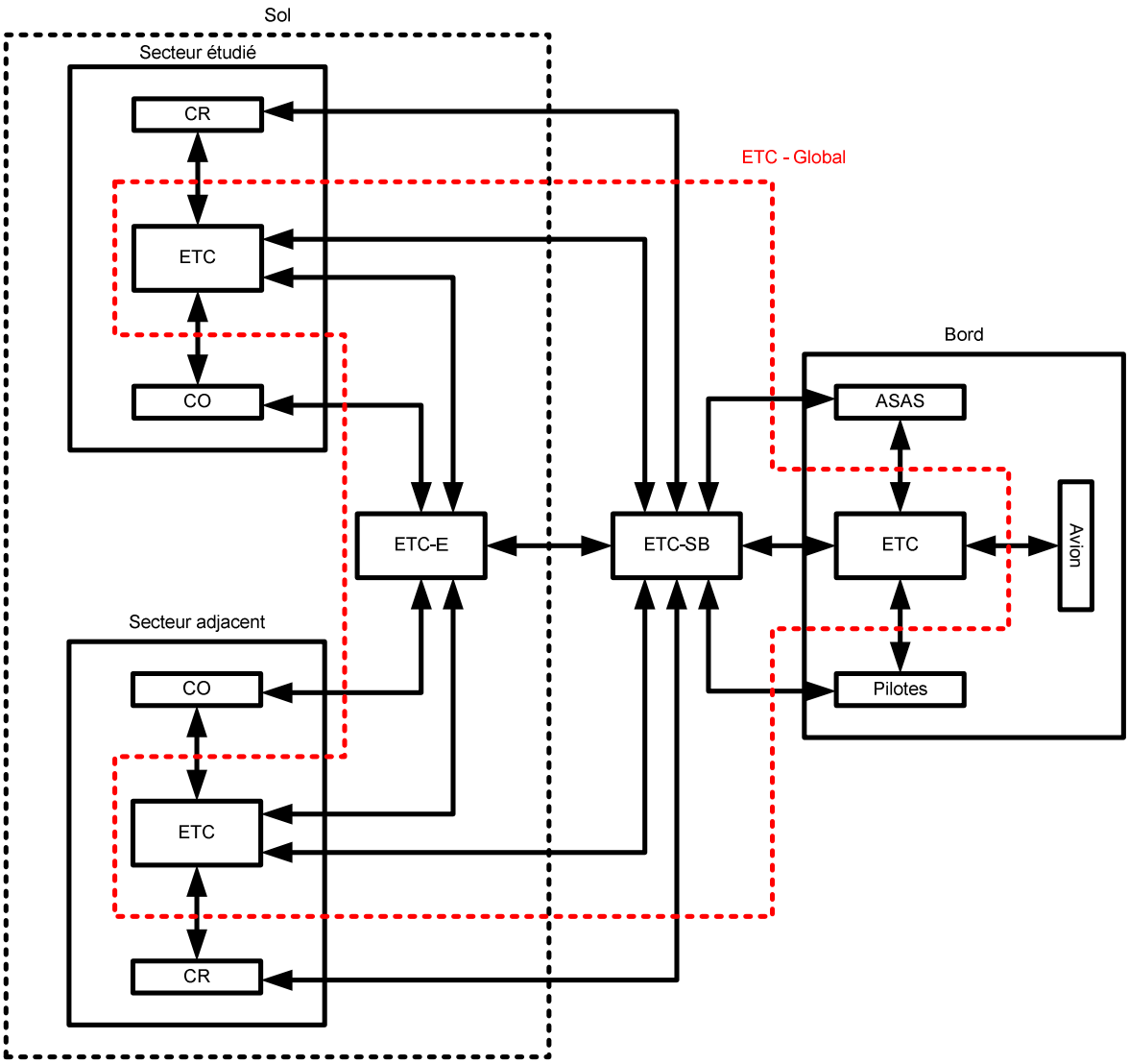


FIGURE 65 : DÉLÉGATION SOL-BORD ASSISTÉE D'UN ETC

Le schéma de la Figure 65 distingue donc les différents ETC entre les différents acteurs, mais tous ces ETC sont regroupés au sein d'un même outil, comme c'est le cas des coordinations dans AMANDA V3. Cependant, les informations partagées entre deux CO, ou un CO et un CR, ou encore un CR et un pilote ne sont pas de même nature.

À cet effet, le LAMIH va se doter d'un simulateur de cockpit d'avion afin de pouvoir étendre les principes de l'ETC à une délégation sol-bord et pouvoir ainsi évaluer l'efficacité d'un tel système et les surcharges des différents opérateurs. Le simulateur pourra être configuré et intégrer des outils développés en interne afin de tester des équipements différents et, par exemple, les délégations entre le sol et le bord.

Pour étudier les outils nécessaires dans le cadre d'une délégation sol-bord, la démarche proposée dans ces travaux peut être utilisée. Les intervenants seront des pilotes et des contrôleurs. L'objectif sera d'identifier les données qu'ils s'échangent, les règles qu'ils

appliquent… Il sera également intéressant d'identifier les liens entre le processus décisionnel des contrôleurs et celui des pilotes. Le contrôleur n'est en contact avec le pilote qu'au niveau opérationnel, mais il prend en compte l'avion, ses performances et sa route tout au long de sa recherche d'une solution à un conflit.

5 CONCLUSIONS

Ce chapitre a présenté les premières spécifications de la future plateforme AMANDA V3. Ces spécifications s'appuient sur l'analyse des entretiens, des grilles et des observations du chapitre précédent. Il conviendra de faire valider ces propositions avec les contrôleurs.

La seconde partie de ce chapitre a proposé des pistes pour la validation et les expérimentations de la future plateforme. Cette partie dresse une liste, non exhaustive, d'un certain nombre de points à vérifier, mesurer, observer, afin d'évaluer si la plateforme répond aux objectifs fixés.

La dernière partie présente une série de perspectives. Ces perspectives concernent l'amélioration de la démarche proposée dans ce mémoire, notamment en améliorant le formalisme et les liens entre les divers outils et méthodes utilisés. Le second point s'intéresse à l'application de formalisme informatique dans le cadre du développement des outils informatiques d'aide, tel que UML par exemple. Enfin, le dernier point de ces perspectives concerne l'évolution possible de la plateforme expérimentale en intégrant l'aspect communication et partage entre le sol, les contrôleurs, et le bord, les pilotes.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce mémoire fait suite à de nombreuses thèses proposant des outils pour assister les contrôleurs aériens dans la gestion du trafic aérien. Dans nos travaux, l'orientation retenue est celle de l'aide à la prise de décision. En nous appuyant sur des outils du domaine de la décision, nous avons proposé une démarche pour accéder aux objets (au sens large) manipulés par les contrôleurs aériens afin de leur proposer des outils d'aide en adéquation avec leurs pratiques.

Ce mémoire débute par un état de l'art de la coopération Homme-machine. Une présentation de l'évolution des différents concepts a été réalisée, en partant de la supervision pour arriver aux mécanismes d'échanges entre les différents agents, opérateurs humains (OHs) ou artificiels. Ces échanges permettent aux OHs de maintenir une bonne conscience de la situation (CS) et de construire un référentiel commun. Pour favoriser les activités coopératives, ces échanges peuvent être assistés par la mise en place d'un espace de travail commun entre les différents agents humains mais aussi avec un agent artificiel.

Une première discussion aborde différents points en reconsidérant les hypothèses prises par ces concepts. Tout d'abord, la notion de conflit décisionnel entre l'Homme et le système est un point essentiel et la conception d'un système coopératif doit veiller à les éviter. Pour cela, l'Homme doit comprendre ce que fait le système et pourquoi il le fait. De plus, il apparaît que dans certains domaines, comme le contrôle de trafic aérien par exemple, l'optimalité d'une solution proposée par un agent artificiel n'est pas toujours adaptée : premièrement parce qu'elle ne se justifie pas dans le contexte car une telle précision n'est pas nécessaire ; deuxièmement parce qu'elle n'est pas intégrable par les OHs qui n'ont pas l'habitude de manipuler de telles solutions. La prise en compte de l'environnement de l'OH est aussi un élément important à prendre en compte dans la conception des systèmes d'aide. Trop souvent, les modèles de la coopération ne concernent que

les OHs et le système dont ils sont responsables. Ils ne prennent pas en compte la hiérarchie qui peut imposer des règles, des protocoles, des cadences, des contraintes temporelles.

La discussion, qui termine le premier chapitre, propose d'introduire la notion de maîtrise. Les OHs doivent maîtriser tous les paramètres de leur environnement de travail. Ils doivent comprendre le système, comprendre les outils d'aide mis à leur disposition, comment ils fonctionnent et comment ils construisent des solutions. Les outils d'aide et la coopération Homme-machine doivent donc améliorer cette maîtrise.

Dans le deuxième chapitre, la place de l'Homme et de ses décisions dans les systèmes coopératifs est étudiée. L'Homme occupe une place importante en tant que garant du bon fonctionnement d'un système. Les modèles de la coopération Homme-machine et, particulièrement, les modèles de résolution de problèmes proposent des organisations entre les Hommes et les systèmes mais ils ne précisent pas le contenu opérationnel de ces outils d'aide. Le choix a donc été fait de recourir aux théories de l'aide à la décision pour essayer de modéliser et de proposer ces outils d'aide. Les modèles d'aide à la décision qui se placent donc comme l'aspect opérationnel de la coopération Homme-machine, proposent des processus d'aide à la prise de décision qui peuvent prendre en compte les paramètres de l'environnement afin de proposer une solution.

Une seconde discussion a proposé d'étudier la place de l'action dans ces différentes approches. Dans un premier temps l'action semble confondue avec la décision. En effet, une décision prise par l'OH conduit nécessairement à une action sur le système. Néanmoins, cette vision n'est pas toujours applicable. Pour diverses raisons, l'OH peut être dans l'incapacité d'appliquer immédiatement sa décision et dans ce cas que devient la validité de la décision ? L'environnement a évolué ainsi que les conditions et paramètres du système. Cette décision peut être mise à jour grâce à la conscience de la situation (CS) que l'OH tente de garder cohérente avec la situation. Dans l'approche d'Endsley, la CS permet de se projeter et de prévoir l'évolution du système mais rien ne garantit cette projection et le fait qu'elle soit cohérente avec l'évolution de la situation. L'idée serait donc de dissocier décision et action. C'est ce que l'on propose dans cette discussion. La décision est prise dans un contexte, l'action doit être conduite dans ce contexte pour qu'elle soit valide, c'est donc à l'OH d'être le garant de ces « normes » d'applications. L'OH a des facultés d'adaptation bien plus importantes que le système et des compétences élevées. Il est donc en mesure de garantir les conditions d'application nécessaires pour appliquer la décision, pour agir.

Pour répondre à ce problème de bonne intégration de l'Homme, pour lui fournir la maîtrise nécessaire pour mener à bien sa tâche en proposant des outils efficaces et adaptés, nous proposons, dans le chapitre 3, une démarche en trois points afin d'accéder au processus décisionnel des OHs. Cette démarche se base sur une modélisation du processus décisionnel de l'OH en s'appuyant sur un découpage en trois niveaux d'abstraction : stratégique, tactique et

opérationnel. Pour identifier les actions potentielles pour chacun de ces niveaux ainsi que les préférences des opérateurs pour les différentes actions potentielles, une analyse multicritère a été utilisée. La Méthodologie MultiCritère d'Aide à la Décision (MMCAD) de Roy [1985] propose en effet un champ d'investigation, un guide pour accéder aux différents éléments - actions potentielles, critères et préférences - et établit une recommandation. Néanmoins, la MMCAD ne précise pas de méthode d'investigation. Pour ce faire, nous proposons dans notre démarche l'utilisation d'une analyse de grille proposée par Kelly qui va guider le questionnement et l'obtention des informations en utilisant un formalisme précis, une grille remplie par l'OH. Cette grille permet d'établir une liste d'attributs, de critères et de les évaluer avec des pondérations. De plus, la grille permet de guider le sujet et ses réponses et de garder à l'esprit les objectifs fixés.

Un processus itératif d'entretiens est enfin nécessaire pour réussir à obtenir la famille de critères et le modèle de préférences des OHs. Ces entretiens permettent le recueil d'un maximum d'informations sur les pratiques des OHs, sur les données qu'ils manipulent, sur leurs besoins afin de leur fournir des outils qui répondront à leurs attentes, outils qui proposeront des solutions en adéquation avec leurs pratiques.

Cette démarche a été appliquée dans le cadre du contrôle de trafic aérien, ce qui fait l'objet du quatrième chapitre. Les trois niveaux du processus décisionnel correspondent respectivement à la détection de conflit et la création des clusters, au choix d'une directive et enfin au choix d'une trajectoire. Les éléments et les actions potentielles, utilisés pour les grilles, ont été définis à partir d'une situation extraite des expérimentations d'AMANDA V2. Les grilles et le déroulement du processus itératif d'entretiens ainsi que les supports de réflexions pour les contrôleurs ont été détaillés. Ces entretiens ont été complétés par des observations en salle dont les objectifs sont d'obtenir des informations plus précises sur les différentes tâches des contrôleurs, le temps nécessaire pour chacune de ces tâches mais aussi les données manipulées et échangées essentiellement pendant les coordinations.

L'analyse des données présentée dans le chapitre 5 a été effectuée selon trois orientations. La première concerne les données obtenues pendant les entretiens, en dehors des grilles. Cette première analyse permet d'obtenir une série de critères, de règles que les contrôleurs appliquent pour gérer le trafic, résoudre les conflits et coordonner les vols entre secteurs. La deuxième orientation concerne l'analyse des grilles, des attributs et des pondérations. Les grilles, de par les attributs proposés par les contrôleurs, confirment les critères. Les pondérations permettent de définir un modèle de préférences entre ces différents critères. Enfin, la dernière partie s'intéresse à l'analyse des observations en salle, des divers relevés qui ont été faits ainsi que des enregistrements fournis par le Centre de Reims. Cette

dernière analyse a apporté beaucoup d'informations sur les coordinations, les cas de coordinations, les durées des différentes tâches, etc.

Ces informations importantes nous ont permis de proposer les spécifications d'AMANDA V3 et sont présentées dans le chapitre 6. Ces spécifications concernent les deux objectifs initiaux de l'étude : l'amélioration de STAR et l'extension des principes de l'ETC à plusieurs secteurs. Après une présentation des nouvelles interfaces, un exemple de scénario est présenté. Il montre le fonctionnement du nouvel ETC dans le cadre d'une coordination avec un secteur adjacent ainsi que les différents échanges entre les contrôleurs. Le nouveau module STAR est également décrit en se basant sur les pratiques des contrôleurs.

La validation et l'évaluation des spécifications et de la future plateforme sont abordées et regroupent un ensemble de points à prendre en compte pour l'évaluation des outils qui vont être implémentés dans la nouvelle plateforme AMANDA V3. Cette évaluation doit être menée en deux temps : dans un premier temps avec les contrôleurs, avant la phase de développement, afin de valider les spécifications et les propositions d'outils puis, dans un deuxième temps, une phase expérimentale sur une plateforme.

Enfin, des perspectives de recherche terminent ce mémoire. Ces perspectives concernent tout d'abord la démarche proposée en elle-même, afin notamment d'améliorer son formalisme et notamment les liens entre les différents outils utilisés. L'utilisation des techniques propres au logiciel tel que UML pour établir le niveau 4 de la MMCAD pourrait être considérée. Ces perspectives concernent aussi l'évolution de la plateforme notamment avec la problématique de la délégation sol-bord, c'est-à-dire la délégation aux pilotes d'une partie de la tâche de contrôle dédiée aux contrôleurs. Une organisation proposant l'intégration de nouveaux ETC entre les pilotes et entre le contrôleur et le pilote est finalement proposée.

BIBLIOGRAPHIE

Abdellaoui M., Gonzales C. 2006

Théorie de l'utilité multiattribut.
Concepts et méthodes pour l'aide à la décision, vol. 3., Bouyssou D., Dubois D., Pirlot M., Prade H. (Ed.). Hermès : Paris.

Abeloos L.M., Mulder M., Van Paassen R., 2002

An introduction in the ecology of spatio-temporal affordances in airspace.
C.W. Johnson (Ed), *21st European Conference on Human Decision Making and Control,* Glasgow: university of Glasgow.

Alonso B.M., 1992

Le partage des tâches entre contrôleurs aériens et contribution à la spécification d'interfaces.
Journées de coordination des recherches, Centre d'Etude de la Navigation Aérienne, France.

Amalberti R., 2001

La maîtrise des situations dynamiques.
Psychologie Française, 46(2), pp. 107-118.

Amalberti R., 1996

La conduite des systèmes à risques.
Paris : Presses Universitaires de France.

Angerand L., Le Jeannic H., 1992

Bilan du projet SAINTEX.
Note R92009, Centre d'Etude de la Navigation Aérienne CENA.

Annebicque D., Crévits I., Poulain T., Labour M., Debernard S., 2009*a*

Projet AMANDA V3, Rapport finale 1.
Convention LAMIH/SDER/06C01, SDER N502-205, juillet 2009.

Annebicque D., Crévits I., Poulain T., Debernard S., Millot P., 2009*b*

Decision Analysis of Air Traffic Controller In Order to Propose Decision Support Systems.
CIE39, Troyes, France, Juillet 2009.

Annebicque D., Crévits I., Poulain T., Debernard S., 2008*a*

AMANDA V3: toward a Common Work Space between air traffic controllers.

ACHI'08, Saint Luce, Martinique, Février 2008.

Annebicque D., Crévits I., Poulain T., Debernard S., 2008*b*

Méthodologie multicritère pour la conception d'un espace de coopération. Application au contrôle de trafic aérien.
ROADEF'08, Clermont-Ferrand, France, Février 2008.

Annebicque D., Crévits I., Poulain T., Debernard S., 2008*c*

Analysis of Air Traffic Controllers Decisions.
HCP'2008, Delft, Pays Bas, Juin 2008.

Annebicque D., Crévits I., Poulain T., Debernard S., 2008*d*

Knowledge acquisition for the creation of assistance tools to the management of Air Traffic Control.
CDM'2008, Toulouse, France, Juillet 2008. IOS press, Zaraté P., Belaud J. P., Camilleri G., Ravat F. (Eds.).

Annebicque D., Crévits I., Debernard S., Labour M., Poulain T., 2008*e*

Projet AMANDA V3, Note intermédiaire 1.2.
Convention LAMIH/SDER/06C01, SDER N502-205, Avril 2008.

Annebicque D., Debernard S., Crévits I., Guiost B., Millot P., *2007a*

Application d'une méthodologie multicritère d'aide à la décision dans le cadre du contrôle de trafic aérien, coopération sur plusieurs secteurs.
JDMACS'07, Reims, France, Juillet 2007.

Annebicque D., Poulain T., Crévits I., Debernard S., Guiost B., 2007*b*

Projet AMANDA V3, Note intermédiaire 1.1.
Convention LAMIH/SDER/06C01, SDER N502-205, Avril 2007.

Bailly B.E., 2004

Conscience de la Situation des Conducteurs : Aspects fondamentaux, méthodes et application pour la formation des conducteurs.
Thèse de Doctorat en Psychologie Cognitive, Institut de Psychologie, Lyon.

Billings C.E., 1991

Human centered automation: A concept and guidelines.
NASA Technical Memorandum 103885. Moffett Filed, CA : NASA Ames Research Center, Moffet Filed, California, 1999.

Björklund, L. 2005

The Repertory Grid Technique. Making Tacit Knowledge Explicit: Assessing Creative work and Problem solving skills.
A.N. Other, B.N. Other (Eds.), Sense Publishers.

Blandford A., Wong W., 2004

Situation awareness in emergency medical dispatch.
International Journal of Human–Computer Studies, 61, pp. 421–452.

Bosc J.F, 1997

Techniques d'évitement réactif et simulation du trafic aérien.
Thèse de Doctorat en Informatique, Institut National Polytechnique, Toulouse, 1997.

Bouyssou D., 1993

Décision Multicritère ou Aide multicritère ?
EURO Working Group Multicriteria Decision Aiding (EWG-MCDA), 1993.

Bouyssou D., Marchant T., Perny P., 2006

Théorie du choix social et aide multicritère à la décision.

Concepts et méthodes pour l'aide à la décision, vol. 3. Bouyssou D., Dubois D., Pirlot M., Prade H. (Ed.). Hermès : Paris.

Boy G. A., 1999

Human-Computer interaction in aeronautics: A cognitive engineering perspective.
Air & Space Europe, Vol. 1, 1999

Carroll J.M., Olson J.R., 1987

Mental models in human-computer interaction.
Research issues about what the user of software needs to know. Washington D.C.: National Academy Press.

Castelfranchi C., 1998

Modelling social action for AI agents.
Artificial Intelligence, 103, pp. 157-182.

Cathelain S., 2005

Contribution à la conception des systèmes coopératifs. Application au domaine du contrôle de trafic aérien.
Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, 2005.

Caulier P., Houriez B., 1995

A case-based reasoning support system in network traffic control.
Studies in Informatics and Control Journal, 4, n° 4, pp. 403-419, ISSN 5-12844-64-67.

Chalandon X., 2007

Conscience de la situation : invariants internes et invariants externes. Contributions de l'ergonomie cognitive, et de l'ingénierie à la conception de systèmes d'aide à la gestion des environnements dynamiques.
Thèse de Doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers.

Chateauneuf A., Cohen M., Jaffray J.-Y., 2006a

Décision dans le risque : mesure du risque, aversion pour le risque, modèle classique d'utilité espérée, paradoxe, d'Allais, modèles à niveaux de sécurité et de potentiel.
Concepts et méthodes pour l'aide à la décision, vol. 2. Bouyssou D., Dubois D., Pirlot M., Prade H. (Ed.). Hermès : Paris.

Chateauneuf A., Cohen M., Jaffray J.-Y., 2006b

Décision dans l'incertain : les modèles classiques.
Concepts et méthodes pour l'aide à la décision, vol. 2. Bouyssou D., Dubois D., Pirlot M., Prade H. (Ed.). Hermès : Paris.

Colin de Verdière D., 1996

Quel optimum pour la gestion du trafic aérien ?
INFAUTOM'96, Toulouse, France, mars 1996.

Crévits I., 1996

Répartition dynamique de tâches dans les systèmes complexes. Modélisation de la répartition anticipée. Application au contrôle du trafic aérien.
Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, janvier 1996.

Crévits I., Debernard S., Millot P., 1994

Support to operator real-time actions: the point of view of the scheduling.
8th Conference on Quantitative Methods for Decision Making (ORBEL 8), Brussels, Belgium, January 20-21.

Crévits I., Lemoine M-P., Debernard S., Millot P., 1993

Étude d'un système de partage dynamique de tâches entre contrôleurs du trafic aérien et système automatisé. Évaluation d'une aide multi niveau.

Convention LAIH/CENA91/C0008, Rapport final, Novembre, 1993.

Dearden A., Harrison M., Wright P., 2000

Allocation of function: scenarios, context and the economics effort.
International Journal of Human-Computer Studies, Vol.52 (2), February, pp. 289-318.

Debbache N., Debernard S., Millot P., Planchon P. Angerand L., 1990

Toward a new architecture for ATC using dynamic task allocation between human and AI systems.
Second International conference on Human aspect of advanced Manufacturing and hybrid automation – Honolulu, Hawaii, USA.

Debernard S., 2006

Coopération Homme-Machine et répartition dynamique de tâches – Application au contrôle de trafic aérien.
Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, décembre 2006.

Debernard S., Annebicque D., Crévits I., Poulain T., 2008

Vers une modélisation des systèmes coopératifs.
CIFA 2008, Bucarest, Roumanie, Septembre 2008.

Debernard S., Hoc J.-M., 2003

Conception de la répartition dynamique d'activités entre opérateur humain et machine dans le contrôle de trafic aérien. Leçons tirées d'une collaboration pluridisciplinaire.
JESA, Analyse et commande des systèmes dynamiques, Vol. 37, N° 2/2003, pp. 187-212.

Debernard S., Cathelain S., Crévits I., Poulain T., 2002

AMANDA Project: Delegation of tasks in the air-traffic control domain.
In M. Blay-Fornarino, A-M. Pinna-Dery, K. Schmidt, P. Zaraté (Ed.), Cooperative Systems design. pp 173-190. IOS Press. (COOP'2002), 2002.

Debernard S., Vanderhaegen F. Debbache N., Millot P., 1990

Dynamic task allocation between controller and AI systems in air traffic control.
9th European annual conference on human decision making and manual control, Ispra, Italy.

Debernard S., Poulain T., Guiost B., 2004

Assister les opérateurs humains de supervision: une approche expérimentale de coopération Homme-machine dans le contrôle de trafic aérien.
REE, N°4, Avril 2004, pp. 36-42.

Delepine O., 2007

Contribution à l'intégration du pronostic en supervision Homme-machine des systèmes complexes selon l'approche Système Dynamique Hybride.
Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, 2007.

Dias L.C., Tsoukiàs A., 2004

On the constructive and other approaches in decision aiding.
In Hengeller Antunes C.A., Figueira J. Clímaco J. (dir.). *Proceedings of the Fifty-sixth Meeting of the Euro MCDA working Group, CCDRC,* Coimbra, Portugal, pp. 13-28.

Dominguez C., Vidulich M., Vogel E., McMillan G., 1994

Situation Awareness. papers and Annotated bibliography.
Armstrong Laboratory, Human System Centre, ref. AL/CF-TR-1994-0085.

Dumazeau C., 2005

Favoriser l'établissement d'un contexte mutuellement partagé dans les communications distantes.
Thèse de doctorat, Centre d'Étude et de la Navigation Aérienne et IRIT de Toulouse.

Durand N., 2004

Algorithmes génétiques et autres méthodes d'optimisation appliquées à la gestion du trafic aérien.
Thèse d'Habilitation. ENAC, Toulouse, Novembre 2004.

Durand N., 1996

Optimisation de trajectoires pour la résolution de conflits
Thèse doctorat informatique INPT, Toulouse.

Durand N., Alliot J.-M., 1999

Peut-on supprimer le contrôle air sol ?
La recherche, France, Avril 1999.

Endsley M. R., 1997

The role of situation awareness in naturalistic decision-making.
Zsambok, C. E. & Klein G. (Eds.), Naturalistic decision making, pp. 269-283, Mahwah, NJ: LEA.

Endsley M. R., 1995*a*

Measurement of situation awareness in dynamic systems.
Human Factors, 37(1), pp. 65-84.

Endsley M.R., 1995*b*

Toward a theory of situation awareness in dynamic systems.
Human factors, 37 (1), pp 32-64.

Endsley M.R., 1988*a*

Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT).
National Aerospace and Electronic Conference (NAECON), Dayton, OH.

Endsley M.R., 1988*b*

Design and evaluation for situation awareness enhancement.
Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting (Vol. 1), pp. 97-101. Santa Monica: Human Factors Society.

Fernandez A., 2008

Les Nouveaux Tableaux de Bord des Managers – Le Projet Décisionnel dans sa Totalité. 4éme Edition. ISBN 978-2-212-541-243. Eyrolles 2008.

Flin R., O'Connor P., 2001

Applying crew resource management in offshore oil platforms.
In E. Salas, C.A. Bowers, & E. Edens (Eds.), *Improving teamwork in organization: Applications of resource management training*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. pp. 217-233.

Gaines B. R., Shaw M. L. G., 1997

Knowledge acquisition, modelling and inference through the World Wide Web.
Int. J. Human-Computer Studies, 46, pp. 729-759.

Gaines B. R., Shaw M. L. G., 1993

Knowledge Acquisition Tools based on Personal Construct Psychology.
The knowledge engineering review.

Gibson J.J., 1979

The ecological approach to visual perception.
Boston : Houghton-Mifflin.

Gilboa I., Schmeidler D., 2000

Case-based decision theory.
IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 30, pp. 85-95.

Gorman J. C., Cook N. J., Winner J. L., 2006

Measuring team situation awareness in decentralized command and control environments.
Ergonomics, 49 (12-13), pp. 1312–1325.

Grislin-Le Strugeon E., Millot P., 1999

Specifying artificial cooperative agents through a synthesis of several models of cooperation.
J. M. Hoc, P. Millot, E. Hollnagel, P. C. Cacciabue (Ed.), *Proceedings of the 7th European conference on Cognitive Science Approaches to Process Control CSAPC'99*, Villeneuve D'Ascq, France, Presses Universitaires de Valenciennes, pp. 73-78.

Guiost B., Debernard S.,2007

Common Work Space or How to Support Cooperative Activities Between Human Operators and Machine: Application to Air Traffic Control. Don Harris (Ed.).
12th International Conference on Human-Computer Interaction, 13, Springer, Beijing, P.R. China, juillet, ISBN 978-3-540-73330-0.

Guiost B., 2006

Coopération Homme-machine soutenue par un espace de travail commun. Application au contrôle de trafic aérien.
Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, Novembre 2006.

Guiost B., Debernard S., Millot P., 2003

Definition of a Common Workspace.
10th International Conference of Human – Computer Interaction, Proceedings of HCI International 2003, Crete, Greece, Vol. 3. pp 442-446.

Hoc J. M., 2001

Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations.
International Journal of Human-Computer Studies, 54, pp 509-540.

Hoc J. M., 1996

Supervision et contrôle de processus – la cognition en situation dynamique.
Presse universitaire de Grenoble.

Hoc J. M., Amalberti R., 1995

Diagnosis: some theoretical questions raised by the applied research.
Current psychology of cognition, 14, pp. 73-101.

Hoc J. M., Lemoine M. P. 1998

Cognitive Evaluation of Human-Human and Human-Machine Cooperation Modes in Air Traffic Control.
The International Journal of Aviation Psychology, 8, pp. 1-32.

Johannsen G., 1982

Man-machine systems, introduction and background.
1st IFAC congress on "Analysis, Design and Evaluation of Man-machine Systems", Baden-Baden, Germany, September, 1982.

Kelly G., 1955

The psychology of personal constructs. Vol. I, II.
Norton, New York, 1955 (reedited in 1991).

Klein G. A., 1997

The recognition-Primed Decision (RPD) model: looking back, looking forward.
In C.E. Zsambok & G.A. Klein (Eds.) *Naturalistic Decision Making*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Klein G. A., 1995

Studying situation awareness in the context of decision-making incidents.

Dans D.J. Garland & M.R. Endsley (Ed.) *Experimental analysis and measurement of situation awareness*. Florida : Embry-Riddle Aeronautical University Press.

Legrand E., 1982

Exposé sur la circulation aérienne et la radionavigation.
École Nationale de l'Aviation Civile. 3ème édition. 1982.

Lemoine M-P., 1998

Coopération Hommes-Machines dans les procédés complexes : modèles techniques et cognitifs pour le contrôle de trafic aérien.
Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, Juillet 1998.

Leplat J., 1991

Organization of activity in collective tasks.
In J. Rasmussen, B. Brehmer and J. Leplat (1991). Distributed decision making: cognitive models for cooperative work. *John Wiley and Sons Ltd,* pp. 51-73.

Loiselet A., Hoc J. M., 2001

La gestion des interférences et du référentiel commun dans la coopération : implications pour la conception.
Psychologie Française, 46 (2), pp. 167-179.

Loscos J.-M., 2005

ASAS : vers une nouvelle coopération basée sur la surveillance embarquée.
Revue technique de la DSNA-DTI, N°2, Décembre 2005

MANEX, 2008

Manuel D'Exploitation du CRNA-E – Reims, 2008.

Millot P., 1999

Systèmes Homme-Machine et Automatiques.
Journées Doctorales d'Automatique JDA'99, Conférence plénière, Nancy.

Millot P., 1998

Concepts and limits for human-machine cooperation.
IEEE SMC IMACS Conference on Computational Engineering in Systems Application, CESA'98, Hammamet, Janvier.

Millot P., 1997

La supervision et la coopération Homme-Machine dans les grands systèmes industriels ou de transport.
Colloque national GIS Sciences de la cognition : Sécurité et cognition, Paris.

Millot P., 1988

Supervision des procédés automatisés.
Edition HERMES. Paris, décembre 1988

Millot P., Pacaux-Lemoine M.-P., 1998

An attempt for generic concepts toward Human Machine Cooperation.
IEEE SMC, California, San Diego, USA, Octobre.

Millot P., Hoc J. M., 1997

Human-machine cooperation: metaphor or possible reality?
Paper presented at ECCS'97. *Workshop on Human-Machine Cooperation*. Manchester, UK, Avril.

Millot P., Debernard S., 2007

An Attempt for conceptual framework for Human-Machine Cooperation.
IFAC/IFIP/IFORS/IEA Conference Analysis Design and Evaluation of Human Machine Systems, Seoul, Korea, Septembre.

Millot P., Debernard S., 1993

Men machines cooperative organizations: Methodological and Practical Attempts in air traffic control.
IEEE SMC, Le Touquet, France, octobre.

Nullmeyer R. T., Stella D., Montijo G. A., Harden S. W., 2005

Human factors in Air Force flight mishaps: Implications for change.
Proceedings of the 27th Annual *Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference* (paper no. 2260). Arlington, VA: National Training Systems Association.

Orasanu J., Fisher U., 1997

Finding decisions in natural environments: the view from the cockpit.
In C.E. Zsambok & G.A. Klein (Eds.) *Naturalistic Decision Making*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Pacaux-Lemoine M. P., Debernard S., 2002

Common work space for human-machine cooperation in air traffic control.
Control Engineering Practice, A Journal of IFAC, 10, pp. 571-576.

Parasuraman, R., Sheridan, T.B., & Wickens, C.D., 2000

A model for types and levels of human interaction with automation.
IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 30(3), pp. 286-297.

Pearl J., 2000

Causality: models, reasoning and inference.
Press syndicate of university of Cambridge. ISBN: 0521776328.

Piaget J., 1977

Études sociologiques [Sociological studies].
3ème éd. Genève : Droz.

Pomerol J.-Ch., 2006

La décision humaine : reconnaissance plus raisonnement.
Concepts et méthodes pour l'aide à la décision, vol. 1. Bouyssou D., Dubois D., Pirlot M., Prade H. (Ed.). Hermès : Paris.

Prince C., Salas, E., 1997

The role of situation assessment in the conduct of flight and in decision making.
D. Harris (Ed.) *Engineering psychology and cognitive ergonomics*, volume 1.

Rasmussen J., 1983

Skills, rules and knowledge; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models.
IEEE Transactions on systems, man cybernetics, SMC13, n°3, May/June 1983.

Roy B., 1985

Méthodologie multicritère d'aide à la décision.
Economica, Paris, France, 1985.

Roy B., Bouyssou D., 1993

Aide multicritère à la décision : méthodes et cas.
Economica, Paris, France, 1993.

Salas E., Dickinson T. L., Converse S., Tannenbaum, S. I., 1992

Toward an understanding of team performance and training.
R. W. Swezey & E. Salas (Eds.), *Teams: their training and performance*. Norwood, NJ: Ablex. pp. 3-29.

Savage L. J., 1954

The foundations of statistic.

John Wiley and Sons, New York, 1954.

Schärlig A., 1985

Décider sur plusieurs critères, panorama de l'aide à la décision multicritère.
Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse.

Schmidt K., 1991

Cooperative Work : A Conceptual Framework.
In *J. Rasmussen, B.Brehmer & J. Leplat* (Eds): *Distributed Decision Making*. *Cognitive Models for cooperative work*, pp. 75-110, Chichester, J. Wiley.

Sheridan, T.B., 1999

Human supervisory control.
Handbook of systems engineering and management, pp. 591-628, John Wiley & Sons.

Sheridan T. B., 1984

Supervisory control of remote manipulators, vehicles and dynamic processes : experiment in command and display aiding.
Advances in Man-Machine Systems Research, vol. 1

Sheridan, T. B., 1985

Forty-Five Years of Man-Machine Systems: History and Trends.
2nd IFAC Conference analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems. Varese, Italie, Septembre 1985.

Simon H.A., 1979

Rational Decision Making in Business Organisations.
American Economic Review, vol. 69, pp. 493-513, 1979.

Simon H.A., 1955

A behavioral model of rational choice.
Simon H.A. (Eds), *Models of man: social and rational; Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a social Settings*, John Wiley and Sons, N.Y. pp. 241-260.

Simon H.A., 1947

Administrative Behaviour: A study of Decision Making Processes in Administrative Organizations.
Mac Millan, New York, 1947.

Smith K., Hancock P.A., 1995

Situation awareness is adaptative, externally directed consciousness.
Human Factors, 37 (1), pp. 137-148.

Spiker A., Rogers S.P., and Cicinelli J., 1986

Selecting colour codes for a computer-generated topographic map based on perception experiments and functional requirements.
Ergonomics, 29(11), pp. 1313-1328.

Staroswiecki M., Gehin A.-L., 2000

From Control to Supervision.
IFAC Safeprocess'2000, Budapest, Hungary

Starter N.B., Woods D.D., 1991

Situation awareness: a critical but ill-defined phenomenon.
The International Journal Of Aviation Psychology, 1(1), pp. 45-47.

Tsoukiàs A., 2007

On the concept of decision aiding process
Annals of operations research, vol. 154, pp. 3-27

Tsoukiàs A., 2006

De la théorie de la décision à l'aide à la décision.
Concepts et méthodes pour l'aide à la décision, vol. 1. Bouyssou D., Dubois D., Pirlot M., Prade H. (Ed.). Hermès : Paris.

Vanderhaegen F., Crévits I., Debernard S., Millot P., 1994

Human-machine cooperation: Toward activity regulation assistance for different air traffic control levels.
International Journal on Human-computer interaction. Vol. 6 (1), January-March, 1994, pp. 65-104. Salvendy, Smith, Oshima. Abex (Ed.) Publishing Corporation, Norwood, New Jersey.

Vicente K., 1999

Cognitive Work Analysis.
New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

Vincke Ph., 1989

L'Aide Multicritère à la Décision.
Éditions de l'Université de Bruxelles-Éditions Ellipses, Bruxelles.

Zaraté P., 2005

Des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision Aux Systèmes Coopératifs d'Aide à la Décision : Contributions conceptuelles et fonctionnelles.
Habilitation à Diriger des Recherches, Institut national polytechnique de Toulouse, IRIT, décembre 2005.

Zaytoon J., 2001

Systèmes dynamiques hybrides.
Éditions Hermès Sciences, Traités IC2 Systèmes automatisés, 2-7462-0247-6, Paris, France.

Zeghal K., 1993

Champs de force symétriques : un modèle de coordination d'actions réactives appliquées au trafic aérien.
Rapport 93/14, Laboratoire Formes et Intelligence artificielle, Paris, 1993.

Zouinar M., 2000

Contribution à l'étude de la coopération et du partage d'informations contextuelles dans les environnements de travail complexes.
Thèse de Doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers.

Zouinar M., 1998

Modélisation des processus de constitution du contexte partage pour l'analyse et la conception des systèmes coopératifs.
Ingénierie des connaissances 98 (IC'98), 13-15 mai, Pont-à-Mousson, France.

ANNEXES

Annexe 1 : Les outils du contrôle de trafic aérien 245

Annexe 2 : Processus de revue de C1 257

Annexe 3 : Processus de revue de C2 267

Annexe 4 : Processus de revue de C3 275

Annexe 5 : Questionnaire concernant le second entretien 285

Annexe 6 : Questionnaire concernant l'aspect coordination 287

ANNEXE 1

PRÉSENTATION DES OUTILS DISPONIBLES SUR UNE POSITION DE CONTRÔLE

Cette annexe vise à présenter l'ensemble des outils qui sont actuellement utilisés par les contrôleurs. La présentation de ces outils est plus orientée CO que CR, car elle vise principalement à décrire les aides disponibles dans le cadre des coordinations.

Pour plus de détails sur l'ensemble de ces outils, le manuel d'exploitation (MANEX) définit très précisément l'ensemble des outils et leurs fonctionnalités.

1 LE STRIP

Le strip représente la route de l'avion pour un secteur donné. Pour le contrôleur, il « matérialise » un vol car toutes les informations dont il a besoin sont indiquées dessus (type d'avion[24], destination, route, estimées de passage…). Le strip est imprimé une dizaine de minutes avant que l'avion ne soit sous le contrôle du secteur.

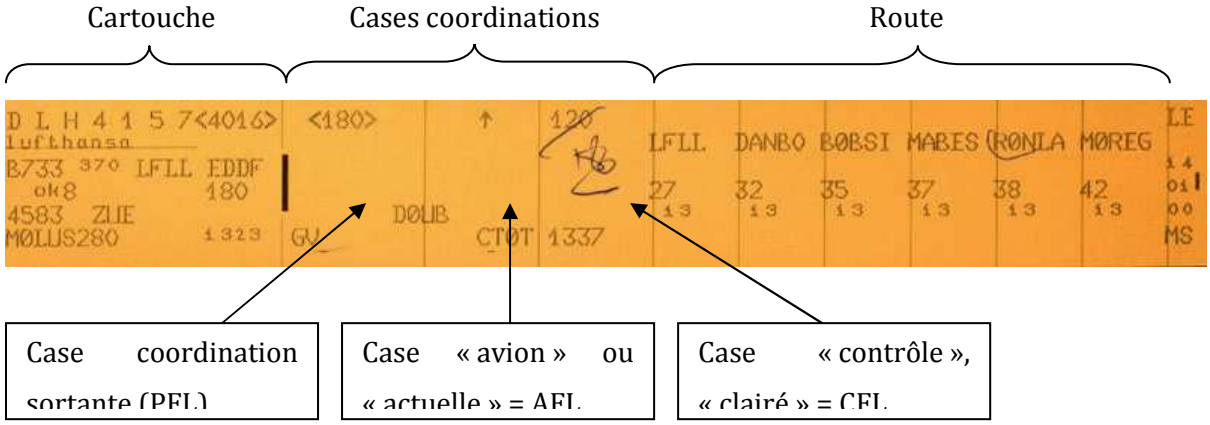


FIGURE 66 : EXEMPLE DE STRIP, ET DÉTAIL DES CASES COORDINATIONS.

- Le **cartouche** comprend toutes les informations principales sur l'avion et son trajet : le type d'avion, la compagnie, les aéroports de départ et de destination (informations presque suffisantes pour déterminer la route de l'avion), la compagnie, l'indicatif de l'avion, et son code transpondeur. Cet encart indique aussi le niveau d'équipement de l'avion (permettant par exemple l'application de normes de séparation différentes).

- Les **cases coordinations**

  - **Case coordination sortante** : Elle contient tous les éléments obtenus lors de la coordination avec la personne à qui sera envoyé l'avion lorsqu'il atteindra la sortie du secteur. La valeur écrite 180 correspond au niveau planifié (PFL, *Planed Flight Level*), c'est à dire le niveau prévu de coordination. Toutes modifications des conditions de

[24] Le type d'avion a une très grande importance dans le contrôle de trafic aérien. Les contrôleurs connaissent les caractéristiques des avions (taux de montée, vitesse minimale, maximale, altitude de croisière…). Ils possèdent une interface pour obtenir une fiche descriptive de tous les avions qu'ils peuvent rencontrer.

sortie doivent faire l'objet d'une coordination. Le « résultat » de cette dernière est alors écrit dans cette case. Dans l'exemple, l'avion sera livré au FL 180 au secteur GV. Il est maintenant possible de faire apparaître la fréquence du secteur suivant dans cette case. Le transfert de l'avion se passe de la manière suivante :

- Le niveau PFL est barré, cela signifie que la coordination est faite (CO) ;
- La fréquence du secteur suivant est ajoutée ;
- La fréquence est ensuite barrée ou soulignée quand le transfert en fréquence est fait (CR).

o **Case avion ou AFL** (*Actual flight level*): Le contrôleur l'utilise pour y inscrire tous les éléments sur le vol de l'avion lorsqu'il l'aura en contact. Par exemple, si l'avion est en montée et passe le niveau 80, le contrôleur y inscrira un 80 avec une flèche vers le haut pour indiquer la tendance de l'avion et le niveau qu'il traversait à son premier contact radio. Tout état particulier devra être inscrit dans cette case. Par état particulier, il faut entendre, un palier (l'avion reste à un niveau le temps de croiser un autre avion) ou alors un niveau particulier traversé par ce même avion. Par extension, le contrôleur note toutes attitudes de l'avion qu'il lui semble utile de consigner.

- La flèche indique que l'avion va entrer dans le secteur en montée (avion évolutif).

o **La case contrôle ou CFL** (*Cleared Flight level*, ou niveau de clairance) : Elle permet de consigner toutes les instructions, les clairances de contrôles données par le CR. Il s'agit en général des NIVEAUX donnés. En effet les caps, par exemple, seraient plutôt consignés dans une case route puisqu'ils influent sur la trajectoire suivie par l'avion.

- Le niveau imprimé indique le niveau de coordination entrante de l'avion (ou le niveau visé par l'avion, ici il est évolutif) ;
- Si ce niveau est souligné, l'avion est accepté dans le secteur (CO).

❖ La **route** est l'ensemble des balises du secteur concerné (et parfois une du secteur suivant) que l'avion va suivre. En cas de mise en directe d'un avion, les balises qu'il évite sont barrées sur le strip. Les estimées horaires de passage peuvent être aussi mises à jour par les contrôleurs.

2 LE TÉLÉPHONE

2.1 PRÉSENTATION

L'outil principal du CO est le téléphone. Il peut répondre aux appels entrants, et bien entendu appeler ses homologues des secteurs adjacents. Passer un appel est une tâche coûteuse, le CO ne sachant pas si son collègue sera disponible pour lui répondre[25]. Il est peut être déjà en communication, ou en phase d'intégration de strip, ou occupé à aider son CR, ou bien être complètement surchargé. Le

[25] Quand le CO veut appeler un CO du même centre, et donc dans la même salle, il est fréquent de les voir chercher à vérifier la disponibilité de son collègue.

temps que le CO passe à attendre est contraignant, surtout qu'il ne sait pas combien de temps il va devoir attendre[26].

Répondre à un appel est tout aussi coûteux, voire perturbant. Bien que cette tâche fasse partie intégrante de l'activité du CO, il n'en reste pas moins que le CO doit à ce moment là arrêter tout ce qu'il fait pour analyser une situation « inconnue[27] », extérieure, et donner une réponse à son collègue. Ensuite, il doit revenir sur son trafic, et continuer sa tâche de surveillance.

Il peut y avoir jusqu'à 60 appels par heure, d'où l'importance de réduire au maximum les attentes, et les délais de ces communications, sans bien sur réduire l'efficacité de ces appels.

Notons enfin que sur des positions proches, il arrive que les coordinations se fassent de vive voix. Il arrive aussi que les coordinations se fassent directement entre le CO et le CR adjacent. En cas de trafic relativement faible, le CO peut même se lever et aller montrer sur la vue radar de son collègue son problème. Enfin, dernière précision sur ces coordinations, en cas de forte charge du CO, ou d'un appel trop long, le CR peut répondre à des coordinations qui s'accumuleraient. De la même manière, il arrive qu'un troisième contrôleur puisse aider le CO pour répondre aux appels, ou gérer les strips.

2.2 UTILISATION

La console téléphonique se présente comme sur la Figure 67. Elle comprend 4 grandes zones. La zone centrale correspond aux secteurs que la position peut contacter (mise à jour en fonction des ouvertures et fermetures des différents secteurs). Chaque centre possède un code couleur (vert pour les secteurs du centre, bleu foncé pour Brest, bleu clair pour Paris, Rose pour l'Allemagne, rouge pour les Suisses…), ainsi que des touches sans couleur notamment pour le chef de salle (CDS) ou la FMP (*Flow Management Position*). Les cases sont regroupées autant que possible de manière géographique, et en couche par ordre croissant. Une case comprenant une indication « FL315+ » signifie que ce secteur gère les niveaux 315 et plus s'il n'y pas de case au dessus.

[26] Pendant la période d'observation, il était fréquent de voir le CO s'occuper des strips pendant cette phase d'attente.

[27] Le terme « inconnue » est tout relatif, dans une majorité des cas, le CO sait pourquoi on l'appelle.

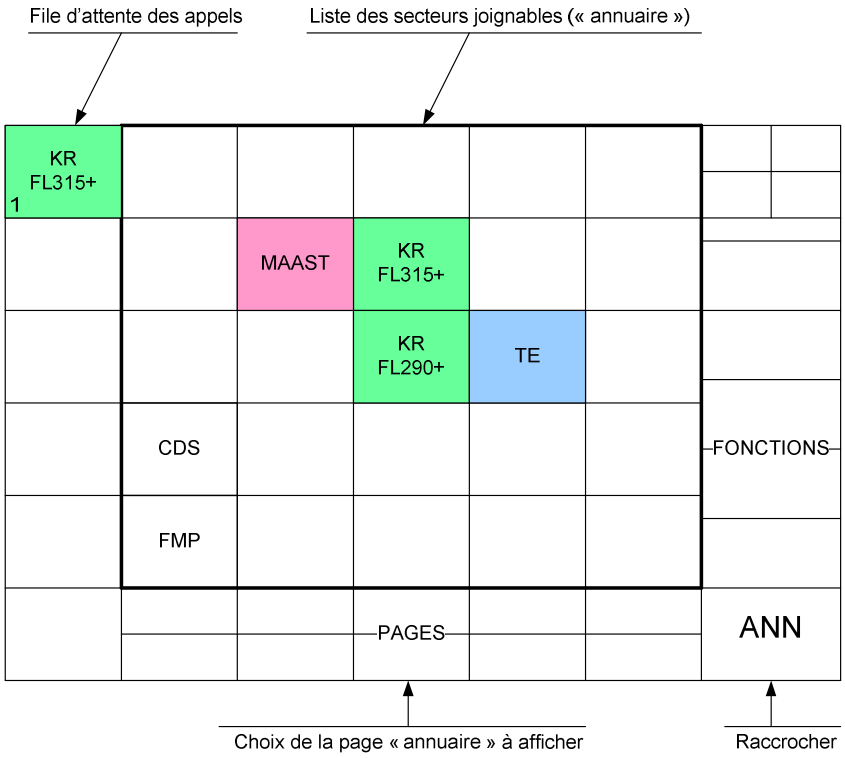


FIGURE 67 : REPRÉSENTATION DE LA CONSOLE TÉLÉPHONIQUE (ÉCRAN TACTILE EN COULEUR)

La deuxième zone importante est le bandeau de gauche qui est une liste des appels en attente sur la position. Chaque case correspond à un appel, numéroté dans l'ordre d'apparition. La case reprend le code couleur, et le code du secteur.

La troisième zone en bas contient les différentes pages de « l'annuaire ». Il arrive en effet que tous les secteurs ne puissent être affichés sur une seule page.

La dernière zone, à droite, regroupe un ensemble de fonction tel que raccrocher (« ANN ») ou transférer un appel.

L'utilisation est « classique » : pour appeler un secteur, le contrôleur sélectionne la case, celle-ci passe en couleur plus foncée, ainsi que bouton « ANN ». Quand la communication se termine le contrôleur appuie sur « ANN ».

Si le contrôleur reçoit un appel, celui-ci s'affiche dans la liste des appels en attente. Un « bip » retentit. Le contrôleur répond à l'appel en sélectionnant la case, et de la même manière elle passe en couleur plus foncée, ainsi que le bouton « ANN ». Une fois terminée, la case de la liste s'éteint, mais les autres cases ne « remontent » pas.

Il existe aussi la possibilité de passer un appel dit « prioritaire ». La sonnerie sera alors différente et plus forte, et la case plus visible. Quand un tel appel arrive, cela signifie que c'est une situation « d'urgence » et le CO doit y répondre immédiatement. Concrètement, cette fonction n'est quasiment jamais utilisée.

3 LA VUE RADAR, TYPE ODS

La vue radar est le dernier élément indispensable à l'activité de contrôle et se compose de trois grandes parties (Figure 68). L'écran radar au centre, coloré et interactif. Une barre d'outils, à gauche, permet de régler l'affichage (haut, bas, gauche, droite, centre), l'échelle (type scroll bar), le nombre d'information à afficher (les couches, les cartes, les noms des balises…) et une liste d'outils (alidade pour mesurer des distances, des cercles concentriques, etc.). Enfin, une barre plus large sur la droite contient diverses boîtes de dialogue (montrer, modifications, vols particuliers…). En bas de cette colonne se trouve une zone dite d'alarmes avec différents messages d'erreur (rares, et de toute façon non compréhensibles des contrôleurs).

Avec la nouvelle version d'ODS (*Operator Input and Display System*), la vue radar est maintenant plus interactive. Les étiquettes des avions permettent d'afficher un menu contextuel et les avions peuvent être mis en valeur (warning, montré…)… Les parties qui suivent vont présenter ces différents outils qui aident les contrôleurs à détecter et gérer les conflits et le trafic.

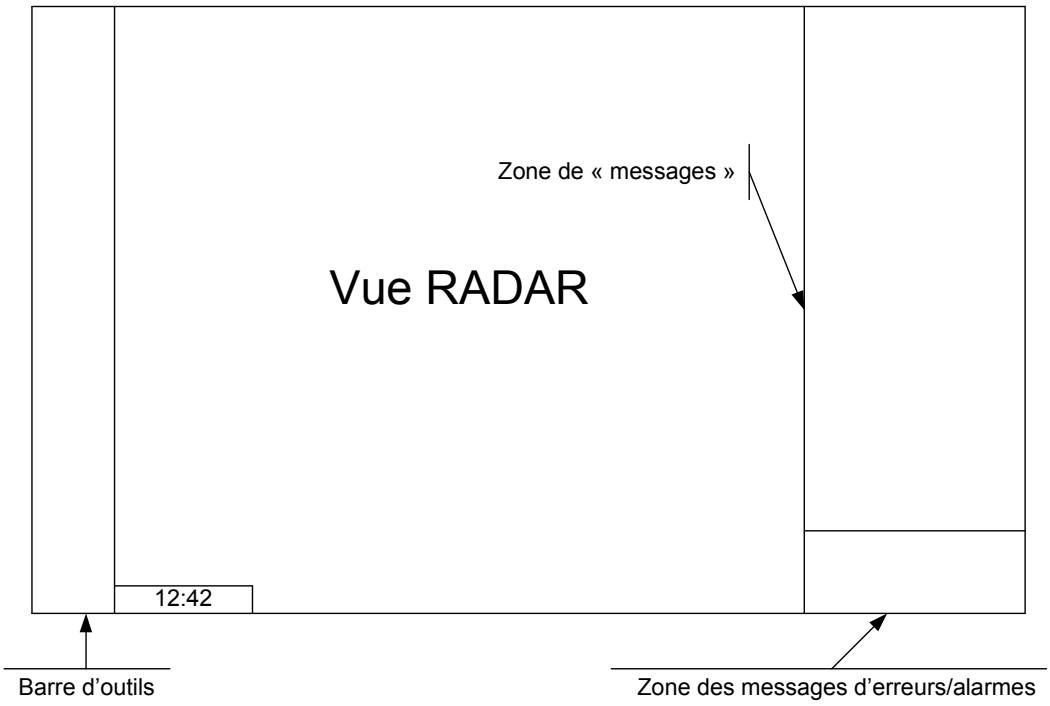


FIGURE 68 : REPRÉSENTATION DE LA VUE RADAR (TYPE ODS)

3.1 LES ÉTIQUETTES

Chaque avion de la vue radar possède une étiquette, une comète représentant les positions antérieures du vol, et un vecteur vitesse (rarement affiché en permanence). L'étiquette est « interactive ».

Dans une configuration normale (pas de clic souris, pas de survol d'un avion avec la souris), l'étiquette paramétrable comporte 3 ou 4 lignes (Figure 69).

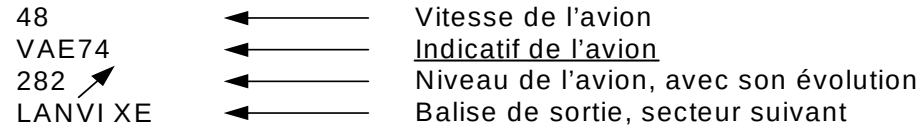


FIGURE 69 : ETIQUETTE NORMALE

Il est possible de cliquer sur l'indicatif de l'avion pour obtenir le « menu ATC », Figure 70.

FIGURE 70 : MENU ATC

Le menu ATC reprend les différentes actions possibles sur un avion, ces actions étant différentes en fonction de la position géographique de l'avion par rapport au secteur

Quand le contrôleur positionne la souris au-dessus de l'étiquette d'un avion, celle-ci se « déploie », Figure 71.

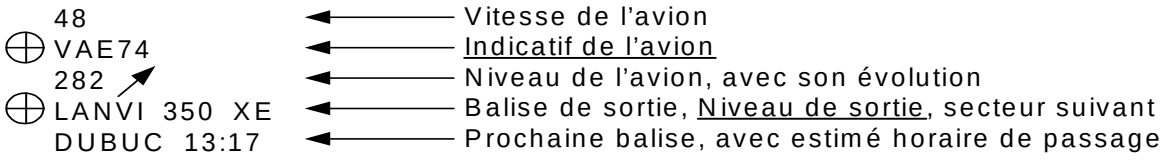


FIGURE 71 : ÉTIQUETTE DÉROULÉ, AU SURVOL DE L'INDICATIF DE L'AVION (OU PARAMÉTRABLE)

Le clic gauche sur l'indicatif a toujours le même effet. Le clic gauche sur la « cible » à côté de l'indicatif affiche le cartouche du strip sur la vue radar. Le clic sur le niveau de la ligne 4 affiche un menu déroulant avec tous les niveaux (*mode-S*). Le clic sur la « cible » à côté de la ligne 3 affiche une boîte permettant de modifier tous les paramètres du strip.

L'évolution de l'avion peut être stable (symbole « - »), montant ou descendant (flèche montante ou descendante).

Le nom du secteur suivant est écrit en noir tant qu'il n'est pas desservi (le strip n'a pas encore été imprimé sur le secteur suivant), et blanc une fois celui-ci desservi. Cela permet d'identifier si le strip est disponible ou non sur le secteur suivant, et s'il y a lieu de coordonner pour une modification de niveau par exemple. C'est dans ce cas, par exemple, que l'utilisation de la *mode-s* est pertinente. Si le secteur suivant n'est pas encore desservi, donc informé des informations du vol, le contrôleur peut changer de niveau l'avion, et ne faire qu'une simple *mode-s* pour mettre à jour le strip.

Il est possible d'afficher à la place de l'indicatif, le code transpondeur de l'avion (dit mode alpha), ce qui est utile parfois pour des coordinations avec des secteurs étrangers, ou lorsque la coordination automatique (l'envoi des informations et la corrélation du code transpondeur avec l'indicatif) est trop tardive.

De la même manière le contrôleur peut choisir les lignes qu'il désire afficher sur les étiquettes et le vecteur vitesse, généralement non visible mais qui est paramétrable à 3, 6 ou 9 minutes, ces valeurs dépendent des centres.

Le système qui gère l'affichage des informations sur la vue radar est doté d'un logiciel qui évite le recouvrement/chevauchement d'étiquettes. Néanmoins, un clic gauche à la base de la comète (matérialisant les positions précédentes de l'avion) fait tourner l'étiquette d'un quart de tour afin d'optimiser la visibilité des informations sur la vue radar.

Un clic milieu sur l'indicatif de l'avion, va faire passer l'indicatif de l'avion dans une trame orangé. Ceci permet de mettre en évidence sur les deux postes CO et CR un avion, mais aussi de conserver un avion visible sur la vue radar, alors qu'il n'est plus dans l'espace (par exemple pour une délégation de niveau, changement de secteur, ou en cas d'accord pour continuer de surveiller l'avion dans le secteur suivant…).

Sur la ligne 0 (vitesse), un certain nombre de code peuvent s'afficher (VOIR, ALRT, SHRQ), en fonction des outils utilisés, des demandes faites… D'une manière générale, un code en blanc indique que c'est le secteur qui fait la demande, un code en orange indique que la demande vient de l'extérieur.

3.2 LES OUTILS DISPONIBLES

3.2.1 LE « MONTRER »

Quand il faut identifier l'avion concerné par une coordination, le « montré » peut être utilisé. Cet outil consiste à mettre en valeur un avion sur un secteur précis pour faciliter son repérage. Pour effectuer un « montrer », un clic gauche sur l'indicatif de l'avion fait apparaître le menu « ATC ». Il faut choisir alors la fonction « montrer » afin de visualiser une boîte de dialogue dans le bandeau de droite de la vue radar, Figure 72.

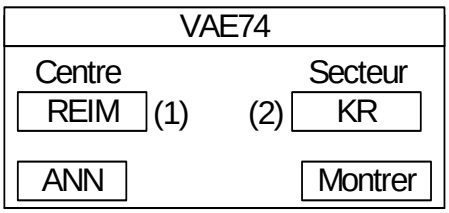


FIGURE 72 : "FORMULAIRE" DU MONTRER

Cette boîte reprend en titre l'indicatif de l'avion, et comporte deux cases (1 et 2 sur la Figure 72). La première (1) correspond au nom du centre, par défaut le centre actuel, et la seconde (2) correspondant aux secteurs disponibles dans ce centre. Cette seconde case permet de sélectionner le

secteur sur lequel le contrôleur veut mettre en évidence ce vol. L'étiquette de l'avion est alors enrichie par le code « voir » écrit en orange sur le poste destinataire et blanc sur le poste demandeur (Figure 8). La liste des vols mis en évidence est contenue dans la boite de dialogue « vols particuliers » (Figure 9).

FIGURE 73 : ETIQUETTE AVEC UNE INDICATION "VOIR"

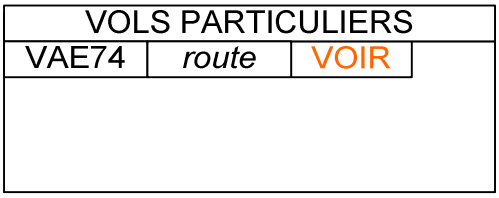


FIGURE 74 : LA BOÎTE "VOLS PARTICULIERS" AVEC L'INFORMATION "VOIR"

Les deux contrôleurs peuvent à tout moment par simple clic effacer le code « voir ». L'utilisation de la fonction « montrer » dépend beaucoup de la charge, de la difficulté estimée à repérer l'avion, et des contrôleurs (demandeur et distant). Parfois, il sera plus rapide ou plus efficace de situer un avion géographiquement, plutôt que d'utiliser cette fonction.

Dans tous les cas un contrôleur qui voit apparaître l'information « VOIR » s'attend à un appel téléphonique, mais ne sait pas explicitement quel est le secteur à l'origine de la demande.

3.2.2 LE SHOOT REQUEST OU SHRQ

Le *Shoot-request,* déclenché à l'initiative du CR ou du CO sur la vue radar, s'affiche sur le secteur possédant l'avion et informe donc les contrôleurs que le secteur suivant a besoin de l'avion le plus tôt possible en fréquence, ou tout du moins dès que possible.

Le mode d'utilisation est le même que pour le « montrer » : un clic gauche sur l'indicatif, puis « SHRQ ». La demande s'affiche de la même manière, à coté de la vitesse de l'avion (ligne 0), et dans la boîte « vols particuliers ». Le SHRQ se désactive de la même façon par une des deux positions.

En cas d'impossibilité de transférer l'avion par le contrôleur recevant la demande, il y a coordination.

3.2.3 LE FL ?

Pour réduire une autre coordination récurrente, il existe un outil appelé « *FL ?* ». Cet outil sert à informer un secteur du souhait d'utiliser un niveau d'un secteur adjacent en couche afin de résoudre un conflit. La réponse à une telle demande se fait obligatoirement par téléphone. La Figure 75 présente un cas de figure où la demande d'un niveau est nécessaire.

Les contrôleurs sont demandeurs d'une fonction plus complète, et il existe déjà dans de nombreux centres étrangers des outils similaires. Deux types d'outils existent : celui qui consiste à répondre un niveau ou un « non », et celui qui consiste à lancer une vraie négociation électronique.

La figure ci-dessous présente un cas de figure où la demande d'un niveau est nécessaire.

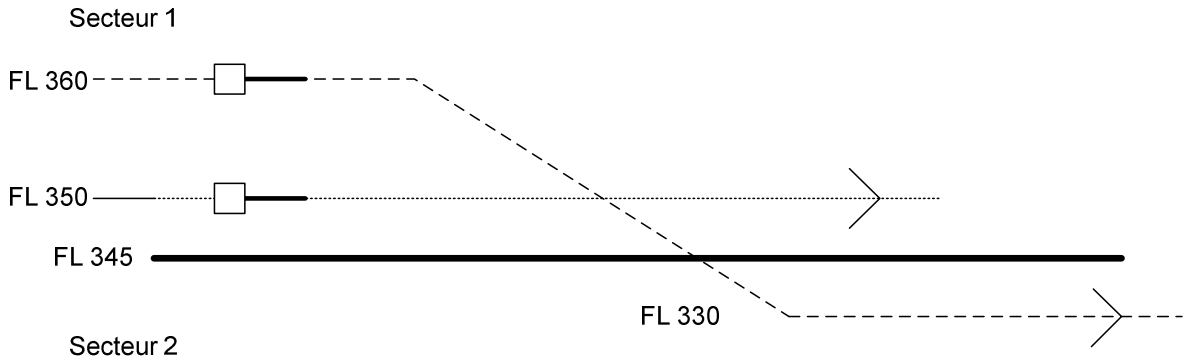


FIGURE 75 : EXEMPLE DE CAS OU LA DÉLÉGATION D'UN NIVEAU EST NÉCESSAIRE.

Dans ce cas de figure, le secteur 1 doit faire croiser l'avion qui est au niveau 360 et qui va au niveau 330 (ou moins) avec un avion au niveau 350. Le secteur 1 a donc la responsabilité du croisement et ne peut transférer l'avion qu'une fois le croisement terminé. S'il n'y avait pas l'avion à 350, la procédure serait de faire descendre l'avion qui est au FL360 aussi bas que possible dans le secteur 1, c'est-à-dire 350, puis le transférer en évolution vers le secteur 2. Ici, il faut demander au secteur 2 l'autorisation d'utiliser son espace le temps du croisement par une délégation de niveau. Le secteur 2 délègue donc un (ou plusieurs niveaux) au secteur 1 qui peut descendre son avion. Une fois le croisement terminé et l'avion stable dans le secteur 2, la délégation prend implicitement fin.

L'utilisation de la fonction est exactement identique au SHRQ.

3.2.4 LA FONCTION MODE-S, POUR MODIFICATION-SIMPLIFIÉE

La fonction *mode-S* permet de mettre à jour le niveau d'un avion sur le plan de vol (la case coordination, niveau de sortie). Changer le niveau a pour effet de rééditer le strip sur l'ensemble des secteurs déjà desservis et français.

À l'origine, cette fonction devait permettre de réduire les coordinations pour changement de niveau. Cependant dans la majorité des cas, les contrôleurs choisissent de téléphoner pour prévenir le secteur adjacent. Il est en effet possible de faire une *mode-S* sur un secteur précédent, ce qui réimprime le strip sur ce secteur. Cette action est généralement précédée (ou suivie) d'une coordination, en fonction des cas.

La fonction *mode-S* s'effectue en cliquant sur le niveau ligne 3 de l'étiquette déployée, ce qui a pour effet d'afficher un menu déroulant avec les niveaux. Le contrôleur choisit le nouveau niveau désiré. Si le strip est déjà existant, il est réimprimé.

La gestion des strips en double dépend du nombre d'informations déjà présentes sur le strip d'origine et de l'importance de ces informations. Assez souvent, le nouveau niveau est simplement écrit sur le strip existant, et le nouveau jeté.

3.2.5 LA MODE COMPLÈTE

Cette fonction permet d'éditer entièrement un strip et de modifier toutes les informations (routes, estimées de passage, niveaux, type d'avion…). Cette opération est donc assez longue à réaliser.

3.2.6 LES AUTRES INFORMATIONS

Si la coordination automatique échoue, c'est-à-dire que le strip n'est, *a priori*, pas transmis automatiquement au secteur suivant, l'indicatif de l'avion, et le nom du secteur suivant (ligne 3 de l'étiquette) passe en bleu.

L'indication « ALRT », en orange clignotant sur la ligne 0 de l'étiquette, s'affiche si dans les deux minutes à venir, deux avions risquent de ne plus être séparés par les normes de séparation. Cette alerte fonctionne aussi pour les niveaux (1000 pieds). Toutefois, le système n'ayant pas connaissance du niveau demandé pour un avion, et estimant un taux de monté/descente plus ou mois exact, il est fréquent d'avoir des fausses alertes entre deux avions évolutifs.

Pendant l'attente d'une réponse à un appel téléphonique, il n'est pas rare de voir un contrôleur accuser réception (c'est-à-dire l'intégrer dans son trafic) en même temps qu'un strip. Cependant cette réception du strip se termine souvent après l'appel téléphonique, avec la phase de pré-détection d'éventuels conflits.

Les coordinations sont collationnées[28] (Figure 76). Ce n'est pas une règle obligatoire, mais une habitude de travail qui tend à se généraliser. Collationner a deux avantages : confirmer ce que le CO comprend au CO avec qui il coordonne, et informer en temps réel le CR des informations, ou autorisations qu'il obtient, ce qui est très utile en cas de forte charge. Le CR a ainsi plus rapidement une réponse, sans avoir à consulter les informations mises à jour sur le strip. Ce point se vérifie facilement avec l'écoute des coordinations. Les contrôleurs répètent quasi systématiquement les informations qu'ils reçoivent (niveau, balise).

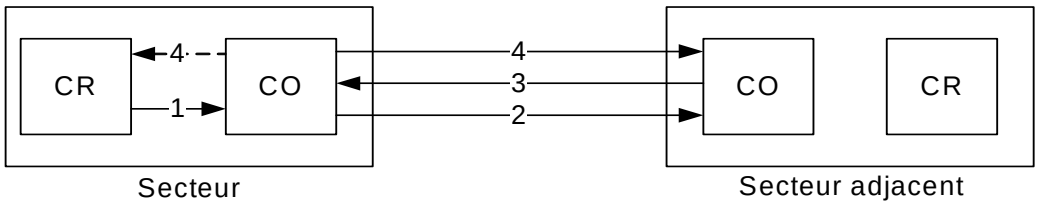


FIGURE 76 : PRINCIPE DU COLLATIONNEMENT ENTRE DEUX CO

[28] A l'origine, collationner, est une pratique obligatoire entre le CR et le pilote. Quand le CR envoie un ordre à un pilote, celui-ci doit répéter selon une phraséologie prédéfinie (des règles), l'ordre qu'il vient d'entendre, cela permet au CR de contrôler la bonne réception et la bonne compréhension de son ordre. Ici dans le cas de deux CO, il n'existe pas de phraséologie particulière, mais le CO reprend les éléments importants tels qu'un niveau, une balise…

1. Le CR fait une demande à son CO (cette étape n'est pas obligatoire, le CO peut avoir l'initiative de la coordination).

2. Le CO contacte le CO du secteur adjacent, et lui expose sa demande.

3. Le CO adjacent répond en donnant un niveau, un cap, une autorisation…

4. Le CO du secteur répète l'ordre, l'autorisation qu'il reçoit, il collationne. Le CO du secteur adjacent vérifie donc l'autorisation qu'il vient de donner et peut si besoin la corriger. Dans le même temps, le CR entend l'ordre ou l'autorisation, et il peut immédiatement en tenir compte, par exemple en cas de fort trafic, sans avoir à attendre que le CO mette à jour le strip.

Enfin, afin d'optimiser les coordinations, il est bien sûr possible et relativement fréquent de regrouper plusieurs coordinations dans un seul appel.

Il est aussi parfois nécessaire de contacter plusieurs secteurs pour réaliser une coordination, comme une demande de directe par exemple. Dans ce cas, pour minimiser les interactions, il est important que le CO appelle en priorité les secteurs pour lesquels il y a le plus de risque que la coordination échoue, ceci afin d'éviter de devoir rappeler un secteur pour annuler une coordination.

3.2.7 PARTICULARITÉ DE REIMS

Le CRNA-Est présente une configuration assez inédite, de part sa position géographique. Il est en effet le carrefour de la majorité des vols transitant en Europe (Figure 77). La proximité de nombreux grands aéroports (les aéroports de Paris, de Strasbourg, la proximité de l'Angleterre et de Londres, Bruxelles, la Suisse, l'Allemagne…) fait que beaucoup d'avions se préparent à atterrir, ou à s'insérer dans le trafic, dans ce centre. Le centre de Reims présente donc des particularités impliquant des habitudes de travail spécifiques.

La liste ci-après présente les principales caractéristiques des secteurs du centre de Reims :

- Les secteurs de Reims sont relativement étroits. De l'avis des contrôleurs, une résolution peut difficilement commencer, se réaliser et se terminer sur le même secteur. Généralement il faut trois secteurs : le secteur précédent pour anticiper la résolution, le secteur surveillé pour résoudre le conflit, et le suivant pour remettre l'avion sur sa route. Cette façon de faire implique donc de pouvoir anticiper efficacement la présence d'un conflit.

- De part le nombre d'aéroports de différentes importances, le CRNA-Est doit préparer certains avions transitant pour une approche vers un de ces aéroports et, de manière inverse, doit insérer tous les avions décollant de ces aéroports dans le trafic. Ces deux aspects induisent un nombre important d'avions évolutifs parmi des flux d'avions transitant de manière stable.

- Une autre particularité du centre de Reims est de voir un nombre important d'avions transiter dans les secteurs, d'environ 100 avions/heure, ce qui est très important étant donnée avec la taille réduite des secteurs.

- Ces nombreux d'avions sont repartis en différents flux, Nord-Sud et Est-Ouest (Figure 77) et forment, au niveau du trafic, des séries d'avions espacés et volant dans la même direction à une certaine altitude de croisière. La difficulté est alors de venir insérer dans ces flux les avions qui décollent.

- Le CRNA-Est est au cœur de l'Europe, et limitrophe de nombreux pays étrangers (Belgique, Allemagne, Suisse…). Ces pays limitrophes parlent l'anglais, ce qui peut être une source de complexité supplémentaire. Le principal problème réside surtout dans le fait que les outils automatiques du contrôle aérien français (transmission des strips, mode-S…), ne sont pas disponibles entre un secteur français et un secteur étranger, qui implique donc des appels supplémentaires entre les COs.

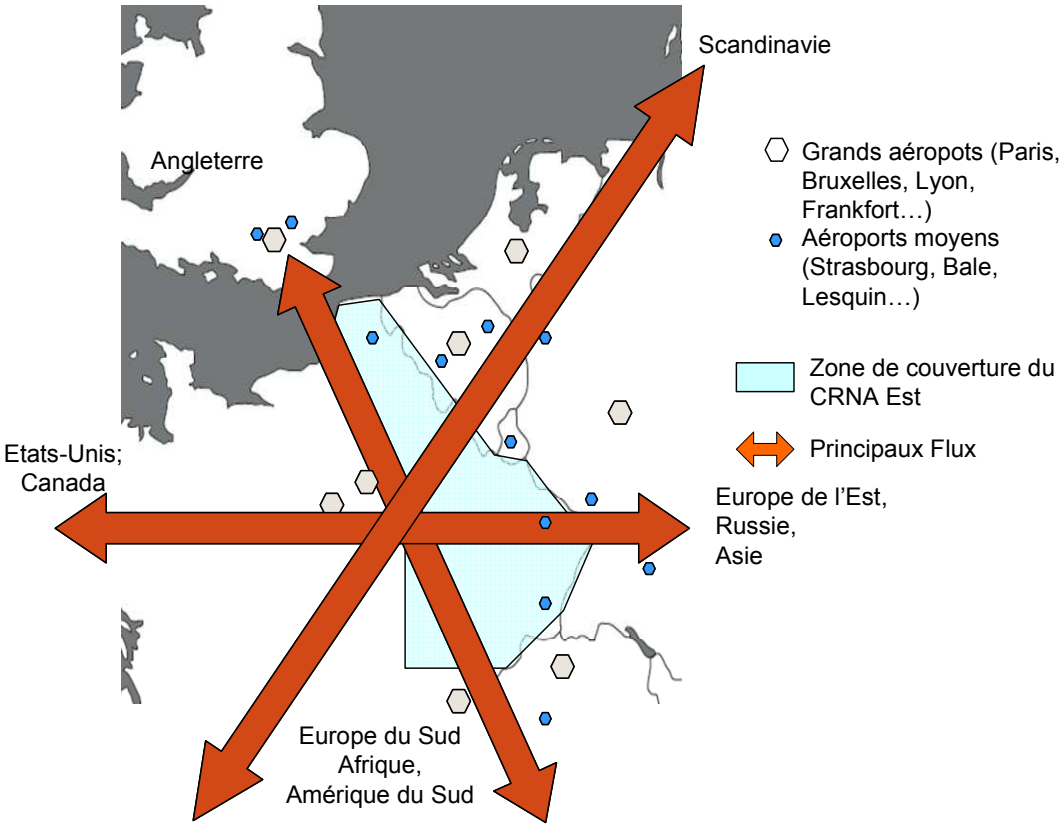


FIGURE 77 : CARTE DES FLUX ET AÉROPORTS PRINCIPAUX DU NORD EST DE LA FRANCE

ANNEXE 2

PROCESSUS DE REVUE DE L'ENTRETIEN AVEC C1

PROJET AMANDA V3

Compte rendu des entretiens avec le contrôleur C1

Projet	**PROJET AMANDA V3**
Titre du document	Compte rendu des entretiens avec le contrôleur C1
Nom Fichier	Étude AMANDA – Compte rendu C1 – Entretien 3
Document créé le	**14/03/2008**
Dernière modification	**20/03/2008**
Version	**3.0**
Format	**Word 2003**
Sujet	Ce document fait suite au troisième entretien et au processus de revue du document 2.0 qui a eu lieu le 13/03/08 au CRNA-E/E, de Reims. Le but de ce document est de retranscrire les corrections, modifications ou compléments qui ressortent du deuxième entretien, et de présenter les nouveaux apports.

Nom – Prénom	Fonction	Statut dans l'étude	Statut dans le processus
David Annebicque	Doctorant 2ème année	Interviewer	Rédacteur
C1	ICNA	Interviewé	Relecteur / Correcteur
Igor Crévits	MdC Informatique		Relecteur
Michel Labour	MdC Sc. de l'information		Relecteur

SUIVI DES MODIFICATIONS

Paragraphes validés	**1.[1], 1.[2], 1.[3], 1.[4], 1.[5], 1.[7], 2.[1], 2.[1].(i), 2.[1].(ii), 2.[1].(iii), 2.[1].(iv), 2.[2], 2.[3], 2.[4], 2.[4].(i), 2.[4].(ii), 2.[4].(iv), 2.[4].(v), 2.[6], 2.[7], 2.[8], 2.[8].(i), 2.[8].(iii), 2.[9], 2.[9].(i), 2.[9].(ii), 2.[9].(iii), 2.[9].(iv), 2.[10], 2.[10].(i), 2.[10].(ii), 3.[1], 3.[1].(i), 3.[1].(ii), 3.[1].(iii), 3.[1].(iv), 3.[4], 3.[4].(i), 3.[4].(ii), 3.[9], 3.[9].(i), 3.[9].(ii), 3.[9].(iii), 3.[9].(iv), 3.[9].(v), 3.[9].(vi), 3.[9].(vii), 3.[9].(viii), 4.[1], 4.[2], 4.[3], 4.[4], 4.[6], 4.[7], 4.[8], 5.[1], 5.[2], 5.[3], 5.[4]**
Paragraphes modifiés, annotés ou complétés	**1.[6], 2.[4].(iii), 2.[5], 2.[8].(ii), 3.[2], 3.[3], 3.[6], 4.[5]**
Paragraphes supprimés	**2.[8].(iv), 2.[8].(v), 3.[5], 3.[7], 3.[8]**
Paragraphes ajoutés	**3.[2].(i), 3.[2].(ii), 3.[2].(iii), 3.[2].(iv), 3.[2].(v), 4.[9], 4.[10], 5.[5], 5.[6], 5.[7], 5.[8], 5.[9], 6.[1], 6.[1].(i), 6.[1].(ii), 6.[1].(iii), 6.[1].(iv), 6.[1].(v), 6.[2], 6.[2].(i), 6.[2].(ii), 6.[2].(iii), 6.[2].(iv), 6.[2].(v), 6.[3], 6.[3].(i), 6.[3].(ii), 6.[3].(iii), 6.[3].(iv), 6.[3].(v), 6.[3].(vi), 6.[3].(vii), 6.[4], 6.[4].(i), 6.[4].(ii), 6.[5], 6.[6], 6.[7], 6.[8], 6.[9], 6.[10], 6.[11], 6.[12], 6.[12], 6.[13], 6.[14], 6.[15]**
Paragraphes en attente	

1 AXE 1 : DÉTECTION DE CONFLITS, CRÉATION DES CLUSTERS

[1] Les avions présents dans un cluster doivent avoir une influence directe sur le conflit, sur sa résolution. Ainsi dans le cas présenté, le BCS1080 peut être dans le cluster car il peut venir contraindre la trajectoire du BAL632, surtout si on donne un cap à gauche à ce dernier.

[2] Il ressort la même constatation pour l'AFR1657 qui ne pose pas directement de problème. Par contre, il contraint le cap (à droite) qui pourrait être donné au BAL632 afin de faire passer ce dernier derrière l'avion à éviter (le KLM1884).

[3] L'AEL peut contraindre la trajectoire du BCS1080 si on choisit de donner à ce dernier une solution en cap (à gauche).

[4] L'AEL n'a pas d'incidence sur le conflit entre BAL632 et le KLM1884.

[5] L'AEL est aussi une contrainte d'ordre plus général, c'est un avion supplémentaire au niveau 350, niveau du conflit, et donc une charge supplémentaire. « Je vais avoir 5 avions à 350 à un moment donné…attention…en plus tous convergent…gros travail d'analyse »

[6] Le cluster proposé est donc BAL632 + KLM1884, car directement en conflit, pas de doute, puis l'AFR1657, car à surveiller lors de la déviation du BAL632. Ensuite éventuellement prendre en compte le BCS1080, mais « il a le temps de monter ou au pire on le monte pas»

[7] La notion de cluster correspond à un regroupement d'avions en conflit ou à prendre en compte pour résoudre un conflit. Le cluster est créé à l'initiative du contrôleur, qui a en charge la détection des conflits. AMANDA pourra compléter un cluster avec des avions qu'elle jugera « interférents », c'est-à-dire à prendre en compte ou à surveiller pour résoudre le conflit.

2 AXE 2 : CHOIX D'UNE (OU DES) DIRECTIVE(S)

[1] La déviation d'un avion se fait, dans la mesure du possible, dans le sens qui « l'arrange » :

(i) suivant sa trajectoire « plan de vol »,

(ii) en fonction du vent, et des conditions météo,

(iii) des contraintes du secteur (zones militaires, secteurs adjacents),

(iv) de sa destination, possibilité de le faire descendre s'il va devoir descendre dans le secteur suivant.

[2] KLM1884 'passer derrière' le BAL632 : « je la sens moins », en contradiction avec le fait que le BAL632 passe « naturellement » (c'est-à-dire si on ne fait rien sur l'avion) derrière le KLM1884.

[3] Le cap pour faire passer le KLM1884 derrière risque d'être plus important (que pour la solution BAL632 'passer derrière' KLM1884).

[4] Une directe sur le BAL632, et sur le KLM1884, ça permet de :

(i) fixer la route des avions,

(ii) une meilleure visualisation de la situation,

(iii) avoir la distance précise et de manière plus simple qui les sépare sur le point de conflit (avec les outils actuels, comme les vecteurs vitesses),

(iv) un 5° droite (ou gauche) peut suffire à résoudre le conflit. « 5° gauche ça va largement suffire » (si on peut le faire tôt),

(v) les pilotes sont contents.

[5] La déviation doit respecter au plus la route standard de l'avion, éviter de trop le dévier. En plus le sortir de sa route c'est gênant (risque de création de nouveaux conflits) et va impliquer un effort supplémentaire, car les routes sont relativement standardisées et bien connues des contrôleurs. Si un avion quitte fortement sa route, le contrôleur n'a plus de repère, il faut donc un travail d'analyse supplémentaire.

[6] Les contrôleurs aiment se retrouver dans des situations qu'ils connaissent bien (gain d'énergie).

[7] Le BCS1080 n'est pas contraignant dans la configuration actuelle, mais pour autant il n'y a pas énormément de marge de manœuvre, donc éviter les directives qui vont réduire encore cette marge de manœuvre, cet espace pour le BCS1080 (le BAL632 vers la gauche par exemple).

[8] BAL632 'passer devant' KLM1884, pas envisagé, parce que :

(i) agit en limite du secteur,

(ii) trop d'attente avant la remise sur la route, pas bon pour la gestion des ressources du contrôleur, gros travail de surveillance et d'analyse,

(iii) se rapproche trop du BCS1080, et donc réduit encore la marge de manœuvre,

(iv) -- Point supprimé --

(v) -- Point supprimé --

[9] Le BAL632 'passer derrière' AFR1657 vraiment pas une solution :

(i) cap très important,

(ii) grand écart par rapport à la route standard,

(iii) risque de nouveaux problèmes,

(iv) coordination.

[10] Éventuellement faire passer le KLM1884 « sous » le BAL632, peut être choisi si :

(i) très forte surcharge,

(ii) plutôt qu'un gros cap, c'est plus « élégant ».

3 AXE 3: CHOIX D'UNE TRAJECTOIRE

[1] Pour le cas de l'avion évolutif, le BCS1080, il y a plusieurs manières de faire :

(i) Faire monter le BCS1080 dès que possible avec une « butée », afin de garantir que le BCS1080 soit au niveau 360 avant de croiser la route du BAL632 (qui ne dévierait pas sur la gauche).

(ii) Donner un cap au BCS1080 légèrement à gauche si jamais il venait trop contraindre la trajectoire du BAL632, ou ne plus respecter les normes de séparation.

(iii) Faire monter le BCS1080 après qu'il ait croisé la route du BAL632. Risque d'impliquer une coordination.

(iv) Ne rien changer au BCS1080 et prévenir le secteur suivant, donc coordination.

[2] Si des avions passent entre 5 et 15NM il faut « caper » les deux avions, [règle locale à Reims]. La règle n'est pas systématique, c'est coûteux. « Caper » les deux avions, il faut les « décaper » ensuite. Ceci permet :

(i) de fixer, bloquer, la route des avions,

(ii) de clarifier la situation,

(iii) de se libérer,

(iv) d'être sûr que ça passe,

(v) d'indiquer à son collègue qu'on a vu le conflit.

[3] Essayer d'envoyer le moins d'ordre possible, implique un gain des ressources humaines, et aussi de temps pour les autres conflits.

[4] Exemple :

(i) Cap sur le BAL632 (2 messages 1 pour le tourner, 1 pour le « décaper ») + cap sur le BCS1080 (2 autres messages) = 4 messages (et le BCS1080 toujours pas à 360).

(ii) Une clairance en niveau (FL 360) sur le BCS1080 avec une butée = 1 message + de la surveillance => mieux.

[5] – *point supprimé* –

[6] La norme de séparation minimale horizontale est de 5NM (à Reims), mais une séparation de l'ordre de 6-7NM est généralement appliquée, mais pour autant les déviations sont calculées au plus fin.

[7] – *point supprimé* –

[8] – *point supprimé* –

[9] Choix du cap :

(i) en général c'est de l'ordre de 10°,

(ii) si conflit à plus de 9 minutes, sur des routes établies, avec 5° ça suffit, « je sais que j'aurai largement ma séparation »,

(iii) si conflit entre 7 et 8 minutes rarement plus de 15°, en moyenne à 6 minutes un cap de 10°,

(iv) un conflit dans 3 minutes, environ 20° de cap,

(v) si 2 minutes, et un « loupé » alors là entre 50° et 60°,

(vi) « l'amplitude du cap dépend de la distance du conflit »,

(vii) si le cap est faible, ce n'est pas contraignant pour la remise sur la route de l'avion, alors que si le cap est très important, ça implique de devoir surveiller et remettre rapidement l'avion sur sa route,

(viii) un cap faible permet de rester proche de la route naturelle de l'avion, et autorise une plus grande marge de manœuvre, notamment pour « décaper ».

4 AUTRES OBSERVATIONS

[1] La notion d'économie des ressources contrôleurs revient très souvent. Il y a une recherche continue de la solution qui sera la moins coûteuse en surveillance, et en nombre d'opérations nécessaires. « Quelle est la manière de monter le BCS1080 sans que ça [me] génère beaucoup de travail ».

[2] La notion de se « débarrasser » le plus tôt possible d'un problème revient aussi. Ca permet « d'évacuer un souci » et donc de se concentrer sur d'autres problèmes.

[3] Le BCS1080 est un Airbus A340, et cette remarque est faite plusieurs fois de par ses moins bonnes performances en montée. Néanmoins ici le BCS1080 doit passer de 340 à 360 en environ 4 minutes ce qui reste faisable.

[4] Économiser la bande radio (toujours dans l'idée d'économiser les ressources contrôleurs) et le nombre de message à envoyer.

[5] Le type d'appareil, et plus particulièrement ses performances sont pris en compte. Ça permet de savoir ce qu'il est possible de faire avec un avion, et avoir un ordre d'idée du temps nécessaire pour réaliser une contrainte donnée (butée, déviation…).

[6] Le terme élégance : c'est tendre vers le naturel, c'est-à-dire le respect de la route des avions, éviter des caps trop importants, éviter d'avoir trop d'incidences sur le flux des avions.

[7] La « butée » (contrainte temporelle, c'est un délai imposer pour exécuter l'ordre) permet de garantir que l'avion sera au niveau demandé au moment demandé. La butée est plutôt bien respectée pour peu qu'elle tienne compte des performances des avions. La butée prend en compte une grande marge de sécurité (de l'ordre de 30NM) afin d'éviter tout incident en cas de non respect ou de respect tardif.

[8] La notion d'énergie, d'économie des ressources contrôleurs est différenciée de la notion de charge de travail. La charge de travail dépend d'une situation à un moment précis (j'ai trois conflits à gérer). La notion d'économie est une action permanente, il y a une recherche perpétuelle de l'optimisation des ressources. Cette gestion est payante en cas de forte charge de travail.

[9] Le datalink impose une bulle de protection de l'ordre de 2 minutes. Le cap n'est donc plus le même entre le moment de l'envoi et l'application de l'ordre par le pilote.

[10] Sur un secteur comme « 4N » il y a facilement 15 à 16 avions en instantané.

5 PREMIÈRES CONCLUSIONS POUR LA PLATEFORME

[1] Cette partie vise à présenter à partir de l'entretien, et des points intéressants soulevés, les modifications et apports possibles pour la plateforme AMANDA V2, et principalement l'outil de calcul STAR (Système Tactique d'Aide à la Résolution).

[2] En termes de cap, on a dans cet entretien des éléments très intéressants. Notamment la remarque sur le fait que l'altération dépend du temps avant conflit. On apprend par exemple que 10° suffisent pour résoudre un conflit à 6 minutes. Nous allons ainsi pouvoir améliorer ce point dans le calcul des trajectoires et proposer des caps plus faibles dans de nombreux cas, et ainsi correspondre plus à ce que les contrôleurs ont l'habitude de faire.

[3] La deuxième notion importante est de respecter la route des avions, c'est-à-dire ne pas trop les éloigner de leur route définie. Cette remarque est en accord avec le fait de ne pas donner des caps trop importants.

[4] D'un point de vue « directive », introduire une directive permettant de donner une directe aux deux avions directement en conflit, avec en plus un léger cap pour assurer la séparation pourrait être intéressant.

[5] Permettre de visualiser rapidement la distance minimale entre deux avions (clic sur deux avions, visualisation des deux routes et indication sur la distance minimale de séparation)

[6] Prise en compte des « cases niveaux » dans les strips électroniques. Très utile pour les coordinations et les changements de niveau.

[7] Importance de la rapidité d'utilisation des outils. En cas de fort trafic jusqu'à 1 message toutes les 5 secondes.

[8] Ne pas surcharger la vue radar avec trop d'informations.

[9] Proposer un outil qui permettrait d'avertir le secteur suivant si un avion n'est pas sur sa route (sur le principe du shoot-request).

6 ASPECT COORDINATION

[1] Le travail du CO consiste à :

(i) intégrer les strips,

(ii) faire une analyse « pré-tactique », et une détection des problèmes,

(iii) assurer les « sortantes » (coordination en sortie),

(iv) assurer les coordinations avec les militaires, les secteurs adjacents, la FMP…,

(v) contrôler les actes du CR.

[2] Les coordinations ont lieu entre :

(i) le CR et le CO (cadre de l'ETC d'AMANDA V2),

(ii) le CO et les secteurs adjacents (Objectifs AMANDA V3),

(iii) le CO et les militaires,

(iv) le CO et le chef de salle,

(v) le CO et le FMP (Flow Management Position, principalement pour des problèmes de niveau).

[3] Les coordinations portent sur (liste non exhaustive) :

(i) les conditions d'entrées,

(ii) les conditions de sorties,

(iii) les vitesses,

(iv) les changements par rapport au plan de vol,

(v) le nom respect des LOA (lettres d'accord),

(vi) les avions non prévus dans un secteur,

(vii) l'obligation de passer dans une zone militaire (fort trafic, conditions météo).

[4] Le bon déroulement d'une coordination dépend :

(i) de la charge de travail,

(ii) de l'interlocuteur, « on ne connaît pas son activité ».

[5] Les coordinations sont une charge très importante pour le CO, « facilement plus de 60 coups de téléphone à l'heure ».

[6] Le temps moyen d'une coordination (temps passé à négocier) est de l'ordre de 15 à 20 secondes, et très rarement plus d'une minute.

[7] Certaines coordinations peuvent ne pas aboutir.

[8] Parfois une coordination est abandonnée (ou reportée) parce que le temps d'attente est trop long. « Attendre 30 secondes c'est énorme ».

[9] Le temps d'attente dépend de la charge de travail, et du nombre de demande que le CO a en attente.

[10] Parfois les coordinations se font directement dans la salle.

[11] Le « shoot-request » est un outil très pratique pour demander un avion en fréquence.

[12] En cas de fort trafic, certaines coordinations sont refusées par le CO (les demandes de directes par exemple).

[13] Les coordinations en couche se passent sur le même principe que les coordinations entre les secteurs adjacents.

[14] Lorsqu'un conflit se passe en limite de secteur il faut faire une coordination pour savoir quel secteur va gérer le conflit.

[15] Il peut être nécessaire de déléguer un niveau au secteur qui a en charge le conflit, c'est-à-dire que le secteur qui va résoudre le conflit a, le temps du croisement, un niveau supplémentaire appartenant normalement à un autre secteur.

	BAL632 Passer derrière KLM1884	KLM1884 Passer derrière BAL632	BAL632 directe KLM1884 directe	BAL632 Passer devant KLM1884	BAL632 Passer derrière AFR1657	KLM1884 « Passe sous » BAL632	
(S.1) Directive la plus naturelle	1	2	1	4	5	4	(C.1) Pas une solution évidente ; trop contraignante
(S.2) Qui respecte la route des avions	1	2	1	2	5	1	(C.2) Écart de la route « plan de vol »
(S.3) Donne plus d'espace pour le BCS (évolutif)	1	2	3	4	1	3	(C.3) Se rapprocher du BCS1080
(S.4) Cap faible	2	3	1	2	5	X	(C.4) Cap plus important
(S.5) Début de secteur	3	3	3	5	2	1	(C.5) Limite, fin de secteur
(S.6) Solution précoce	3	3	2	4	4	1	(C.6) Solution tardive
(S.7) Résoudre le conflit le plus rapidement possible	2	3	1	5	5	2	(C.7) Résolution trop longue

GRILLE 16 : AXE 2, DIRECTIVES

	Trajectoire 1	Trajectoire 2	
(S.1) Action uniquement sur le secteur			(C.1) Coordination avec un secteur adjacent
(S.2) Altération de cap faible (Reims, environ 10°)			(C.2) Altération de cap forte (dans le cas d'un conflit lointain)
(S.3) Solution facile à gérer par le contrôleur (pas de pression dû à un cap fort par exemple)			(C.3) Forte pression, oblige une surveillance => interruptions
(S.4) Remise sur la route moins gênante, plus de marge (avec un cap faible)			(C.4) Implique une remise sur la route rapide (cap élevé)

GRILLE 17 : AXE 3, TRAJECTOIRES

ANNEXE 3

PROCESSUS DE REVUE DE L'ENTRETIEN AVEC C2

PROJET AMANDA V3

Compte rendu des entretiens avec le contrôleur C2

Projet	**PROJET AMANDA V3**
Titre du document	Compte rendu des entretiens avec le contrôleur C2
Nom Fichier	Étude AMANDA – Compte rendu C2 – Validé
Document créé le	**01/04/008**
Dernière modification	**01/04/2008**
Version	**4.0**
Format	**Word 2003**
Sujet	Ce document fait suite aux trois entretiens et au processus de revue du document 3.0. Le but de ce document est de retranscrire les corrections, modifications ou compléments qui ressortent du deuxième entretien, et de présenter les nouveaux apports.

Nom – Prénom	Fonction	Statut dans l'étude	Statut dans le processus
David Annebicque	Doctorant 2ème année	Interviewer	Rédacteur
C2	Contrôleur – Sub étude	Interviewé	Relecteur / Correcteur
Igor Crévits	MdC Informatique		Relecteur
Michel Labour	MdC Sc. de l'information		Relecteur

DOCUMENT VALIDÉ PAR LES DEUX PARTIES, LE 01-04-2008

SUIVI DES MODIFICATIONS

Paragraphes validés	**1.[1], 1.[2], 1.[3], 1.[4], 1.[5], 2.[1], 2.[2], 2.[3], 2.[4], 2.[5], 2.[6], 2.[7], 2.[8], 3.[1], 3.[2], 3.[3], 3.[4], 3.[5], 4, 4.[1], 4.[2], 4.[3], 4.[4], 4.[5], 4.[6], 4.[7], 4.[8], 4.[8].(i) , 4.[8].(ii), 4.[8].(iii), 4.[8].(iv), 4.[9], 4.[10] , 4.[11], 4.[11].(i) , 4.[11].(ii), 4.[11].(iii), 4.[11].(iv), 4.[12], 4.[13], 4.[14], 4.[15], 5.[1], 5.[1].(i), 5.[1].(ii), 5.[1].(iii), 5.[1].(iv), 5.[1].(v), 5.[2], 5.[3], 5.[4], 5.[5], 5.[6], 5.[7], 5.[8], 5.[9], 5.[10], 5.[11], 5.[12], 6.[1], 6.[2], 6.[3], 6.[4], 6.[5], 6.[6]**
Paragraphes modifiés, annotés ou complétés	
Paragraphes supprimés	
Paragraphes ajoutés	
Paragraphes en attente	

1 AXE 1 : DÉTECTION DE CONFLITS, CRÉATION DES CLUSTERS

[1] Les avions présents dans un cluster dépendent de la solution envisagée.

[2] Les avions qui sont dans un cluster contraignent directement la résolution du conflit (en fonction de la stratégie définie). Si un avion n'est pas directement contraignant il n'est pas dans le cluster (cas du BCS1080).

[3] L'AEL2789 peut contraindre la trajectoire du KLM1884, si on choisit de lui donner un cap.

[4] L'AFR1657 contraint la trajectoire du BAL632 si on choisit de lui donner un cap.

[5] Le BCS1080 est un autre problème, il a le temps de monter. Éventuellement une contrainte sur le BAL632 si on choisit de changer de niveau le BAL632.

2 AXE 2 : CHOIX D'UNE (OU DES) DIRECTIVE(S)

[1] Une directive doit permettre une résolution rapide du conflit, éviter d'induire une longue surveillance.

[2] Doit être facile, simple à mettre en œuvre (en terme de nombre d'ordres, de temps de surveillance).

[3] Une directive ne doit pas (dans la mesure du possible) impliquer de coordination, et doit donc agir dans le secteur.

[4] D'une manière générale on essaye de faire passer un avion derrière l'avion à éviter. On évite donc de faire passer un avion devant un autre, sauf cas particulier ou contrainte.

[5] Pour un cap (passer derrière) il y a une surveillance pour voir si ça passe, et ne pas oublier de le remettre sur sa route.

[6] Un cap faible ça implique une surveillance, mais moindre. Une fois le cap fait par le pilote, plus besoin de surveillance supplémentaire.

[7] Avec des directes, les routes sont établies (fixes et droites), offrant une vision plus claire sur la situation et le conflit, et une certitude sur la présence ou non d'un conflit.

[8] Pour une solution en niveau pas de surveillance, juste vérifier que le pilote descende (ou monte).

3 AXE : CHOIX D'UNE TRAJECTOIRE

[1] Éviter les caps trop forts (supérieur à 30°).

[2] Résoudre rapidement le conflit, ne pas induire de longue surveillance.

[3] Il est préférable de remettre l'avion dévié sur sa route une fois le conflit passé, ça évite tous risques, notamment si il y a eu une confusion sur la balise par le pilote.

[4] Quand un cap est donné, il y a une certitude quant au respect de l'ordre, une « totale maîtrise » et une quasi certitude sur le cap donné.

[5] Dans le cas d'une directe c'est le pilote qui navigue, il existe une part d'erreur (ou de dérive des avions), une moindre « maîtrise ». Il y a aussi le risque d'erreur sur la balise (à la compréhension, à la saisie dans les instruments de l'avion…), cela impose donc une surveillance supplémentaire, plus longue et plus d'attention.

4 AUTRES INFORMATIONS

[1] Définition de la simplicité – simple : en termes de nombre d'ordres, ou de temps de surveillance. Une surveillance pendant un long temps, ce n'est pas simple.

[2] Un cap fort aurait tendance à être une solution simple, car la résolution est rapide, mais attention à ne pas sortir du secteur, ou oublier de remettre l'avion sur sa route.

[3] Définition de contrainte : une contrainte (un avion) n'interdit jamais une action, il faut juste en tenir compte.

[4] L'influence des performances des avions : d'une manière générale ça joue, surtout en montée ou en régulation à l'arrivée. Les taux de montée sont donc importants. La vitesse peut influencer aussi, notamment quand un avion doit s'insérer dans un flux.

[5] Le cas des rattrapages : « il existe une multitude de solutions ». En général on change de niveau, en fonction de la destination, « on va descendre celui qui va le plus près ». On peut les mettre en parallèle aussi, mais résolution plus longue et coordination.

[6] Respect des parités des niveaux. Elle est respectée au maximum. Une solution en niveau c'est 2000 pieds. Parfois juste 1000 pieds, si le secteur suivant est d'accord, mais c'est « piégeant » (« piégeant » ça dépend aussi du secteur).

[7] Définition de l'élégance : Essayer de pénaliser le moins possible les avions, allonger au minimum leur route, voire la réduire. Préférer tourner plutôt que monter ou descendre, plus « élégant » surtout si l'avion est à son niveau optimal. Élégant=moins pénalisant.

[8] Définition du niveau optimal : Il est donné par la compagnie, et dépend de plusieurs paramètres :

(i) la météo,

(ii) le type d'avion,

(iii) la charge de l'avion,

(iv) la politique de la compagnie (arriver vite mais consommer plus, consommer moins et voler plus haut…).

[9] Définition de la dangerosité : « Quelque chose qu'on maîtrise moins bien par rapport à autre chose».

[10] Définition du terme « relâché » : Il existe deux notions, relâché en niveau et relâché en cap. Ça signifie que le secteur précédent n'a plus de contraintes sur l'avion. En général « on considère implicitement qu'il est relâché en cap » par contre « on demande toujours pour un relâché en niveau ».

[11] Les « lettres d'accord » ou LOA contiennent de manière explicite et sans ambigüité tout ce qu'il est possible, autorisé et interdit de faire en limite de secteur, pour chaque secteur, et chaque axe. On y trouve par exemple :

(i) les niveaux de transfert,

(ii) quand transférer en fréquence un avion, et où,

(iii) les possibilités d'agir sur un avion une fois en fréquence,

(iv) à quelle distance entre les avions doit-on les passer…

[12] La mise à jour implicite et automatique des estimées serait une gêne avec les méthodes de travail actuelles. « Les strips sont certes imprécis, mais stable, ce qui est plus facile pour la mémorisation ». La mise à jour n'aiderait pas à la mémorisation.

[13] L'imprécision et l'incertitude sont à la base du métier et de la formation

[14] Il n'est pas nécessaire (avec les méthodes actuelles) d'avoir des estimées précis. Les estimées ne servent qu'à dire « là j'ai peut-être un conflit » / « là je n'ai pas de conflit ». Dans le cas d'un « peut être conflit » la détection est affinée grâce à la vue radar.

[15] L'affichage des routes des avions est déjà possible mais pas utilisée. Cependant « avec le stripping électronique cela sera sûrement indispensable »

5 ASPECT COORDINATION

[1] Les cas de coordinations les plus fréquents sont :

(i) changement de niveau,

(ii) transfert en cap (systématiquement),

(iii) demande de directe (avec un écart supérieur à plus de 10NM par rapport à la route initiale),

(iv) transfert tardif,

(v) non respect des LOA.

[2] Pour les changements de niveau la « mode-s » suffit si elle est faite relativement tôt (90% des cas).

[3] Si l'avion est évolutif en limite de secteur, « mode-s » plus appel téléphonique.

[4] Une coordination dure en moyenne 5 à 10 secondes.

[5] Le temps d'attente dépend de la charge du CO, mais entre 0 seconde et 30 à 40 secondes, rarement plus.

[6] Une coordination peut être reportée ou annulée si le temps d'attente est trop long.

[7] Il existe un bouton sur la console téléphonique qui permet de signaler au contrôleur que l'appel est urgent. Cette fonction reste très peu (voire pas) utilisée.

[8] Un fort trafic implique logiquement plus de coordination, surtout avec des secteurs en couche, les coordinations prennent plus de temps, mais cela ne se fait pas au détriment d'autres tâches. « Il n'y a pas de tâche superflue ».

[9] Les coordinations en couche se passent de la même manière, sauf qu'il n'y a pas la même visibilité sur les contraintes du secteur supérieur/inférieur.

[10] Il y a une pré-analyse de faite avant de faire une coordination, dans le sens où si la coordination ne va pas aboutir (le secteur est surchargé, l'espace n'est pas libre) elle n'est pas faite.

[11] La nécessité de faire une coordination dépend beaucoup du secteur suivant, de la connaissance de ce secteur, des problèmes possibles…

[12] Demande de « délégation de niveau », pour les secteurs en couche. Un secteur (S1) a un croisement en limite de son secteur (plafond ou planché), il doit demander l'autorisation au secteur (S2) supérieur (inférieur). L'autorisation pour utiliser un de ces niveaux pour terminer de croiser les deux avions avant de les transférer. S'il y a accord, S1 peut descendre (ou monter) son avion dans le secteur S2 et terminer la résolution. Ce niveau est délégué par S2 à S1 le temps que l'avion en question (et uniquement lui) termine de croiser. S1 a en charge la fin de la résolution, et S2 le niveau délégué, il en garde la responsabilité (implicitement, il ne va pas donner un niveau problématique).

6 PREMIÈRES CONCLUSIONS POUR LA PLATEFORME

[1] Prendre en compte dans un cluster les avions uniquement contraignants, vis-à-vis de la solution envisagée (directive).

[2] Faire agir les directives principalement sur le secteur, éviter les coordinations.

[3] Réduire les caps donnés aux avions (rarement plus de 20°).

[4] Préférer une solution qui remet l'avion sur sa route une fois le conflit passé.

[5] Proposer un outil pour prévenir les autres secteurs d'un changement de cap d'un avion, « oui pourquoi pas, mais a priori moins simple ».

[6] Proposer la nouvelle trajectoire sur le secteur suivant, puis un bouton d'acquittement (ou refus).

	BAL632 Passer derrière KLM1884	KLM1884 Passer derrière BAL632	BAL632 directe KLM1884 directe	BAL632 Passer devant KLM1884	BAL632 Passer derrière AFR1657	BAL632 Change de FL	
(S.1) Fiabilité (garantit la résolution du conflit)	1	1	4	2	1	1	(C.1) Prise de risque / dangerosité
(S.2) Simplicité	2	2	5	1	5	1	(C.2) Complexe => beaucoup de surveillance => une surveillance pendant longtemps
(S.3) Dangerosité	5	5	2	1	5	1	(C.3) Fiabilité
(S.4) Avoir une meilleure visualisation de la situation	1	1	1	1	1	1	(C.4) Visualisation compliquée du conflit
(S.5) Implique une (des) coordination(s)	5	5	5	5	1	5	(C.5) Rester dans son secteur
(S.6) Cap très fort (>30°)	5	5	2	5	1	3	(C.6) Cap faible (5° à 20°)
(S.7) Rapidité (pour résoudre le conflit et ne plus le surveiller)	5	5	5	5	5	1	(C.7) Longue surveillance du conflit

GRILLE 18 : AXE 2, LES DIRECTIVES

	Cap 128° Remise en directe très tôt	Cap plus faible, plus long, remise en directe après le conflit	
(S.1) Simplicité	1	1	(C.1) Complexité (nombre d'actions)
(S.2) Impose une surveillance (supplémentaire)	1	3 (plus longue)	(C.2) Pas de surveillance supplémentaire nécessaire
(S.3) Cap faible (5° - 20°)	5	1	(C.3) Cap fort (>30°)
(S.4) Importance de la surveillance	1 (3 tâches de surveillance)	5	(C.4) A surveiller, mais moindre
(S.5) Coordination	5	5	(C.5) Action uniquement sur le secteur

GRILLE 19 : AXE 3, LES TRAJECTOIRES (PROPOSITION D'ATTRIBUTS, À VALIDER ET/OU COMPLÉTER)

ANNEXE 4

PROCESSUS DE REVUE DE L'ENTRETIEN AVEC C3

PROJET AMANDA V3

Compte rendu des entretiens avec le contrôleur C3

Projet	**PROJET AMANDA V3**
Titre du document	Compte rendu des entretiens avec le contrôleur C3
Nom Fichier	Étude AMANDA – Compte rendu C3 – Entretien 3
Document créé le	**25/03/2008**
Dernière modification	**25/03/2008**
Version	**3.0**
Format	**Word 2003**
Sujet	Ce document fait suite au troisième entretien et au processus de revue du document 2.0 qui a eu lieu le 25/03/08 au CRNA-E/E, Reims. Le but de ce document est de retranscrire les corrections, modifications ou compléments qui ressortent du deuxième entretien, et de présenter les nouveaux apports.

Nom – Prénom	Fonction	Statut dans l'étude	Statut dans le processus
David Annebicque	Doctorant 2ème année	Interviewer	Rédacteur
C3	Contrôleur- Instructeur	Interviewé	Relecteur / Correcteur
Igor Crévits	MdC Informatique		Relecteur
Michel Labour	MdC Sc. de l'information		Relecteur

SUIVI DES MODIFICATIONS

Paragraphes validés	**1.[1], 1.[2], 1.[3], 1.[4], 1.[5], 1.[6], 2.[1], 2.[2], 2.[2].(i) , 2.[2].(ii) , 2.[2].(iii) , 2.[2].(iv) , 2.[2].(vi), 2.[3], 2.[4], 2.[5], 2.[6], 2.[6].(i) , 2.[6].(ii) , 2.[6].(iii), 2.[7], 2.[8], 2.[9], 3.[1], 3.[2], 3.[3], 3.[4], 4.[1], 4.[2], 4.[3], 4.[4], 4.[5], 4.[6], 4.[7], 4.[8], 4.[9], 4.[10], 4.[11], 5.[1], 5.[2], 5.[3], 5.[4], 5.[5], 5.[6], 5.[7], 5.[8], 5.[9], 5.[10], 5.[11], 5.[11].(i), 5.[11].(ii), 5.[11].(iii), 5.[12], 6.[1], 6.[2], 6.[3], 6.[4], 6.[5], 6.[6], 6.[7], 6.[7].(i), 6.[7].(ii), 6.[7].(iii), 6.[7].(iv), 6.[7].(v), 6.[7].(vi), 6.[8], 6.[9]**
Paragraphes modifiés, annotés ou complétés	
Paragraphes supprimés	
Paragraphes ajoutés	**4.[12], 5.[13], 5.[14], 5.[14].(i), 5.[14].(ii), 5.[14].(iii), 5.[14].(iv), 5.[14].(v), 5.[15], 5.[16], 5.[17], 5.[17].(i), 5.[17].(ii), 5.[17].(iii), 5.[18], 5.[19], 5.[20], 5.[21], 5.[22], 5.[23], 5.[24], 5.[25], 5.[26], 5.[27], 5.[28], 5.[29], 5.[30], 5.[30].(i), 5.[30].(ii), 5.[30].(iii), 5.[30].(iv), 5.[31], 5.[32], 5.[33], 5.[34], 5.[35], 5.[36], 5.[37], 5.[38], 5.[39], 5.[40], 5.[41], 5.[42], 5.[43]**
Paragraphes en attente	

1 AXE 1 : DÉTECTION DE CONFLITS, CRÉATION DES CLUSTERS

[1] Regarder la destination des avions. Il peut être intéressant de descendre un avion plus tôt (en accord avec sa destination) pour éviter un conflit. Situation relativement typique de Reims, peut être pas applicable dans tous les secteurs.

[2] Le BCS1080 n'est pas une contrainte si on choisit de tourner le BAL632.

[3] Le BCS1080 peut par contre contraindre la descente du BAL632 si on choisit cette solution. Dans ce cas il est préférable de descendre le KLM1884.

[4] L'AFR1657 est une contrainte sur le cap à donner au BAL632.

[5] L'AEL2789 n'est pas une contrainte, il passe derrière le conflit.

[6] Le cluster proposé est donc : le BAL632 et le KLM1884, plus une surveillance sur l'AFR1657.

2 AXE 2 : CHOIX D'UNE (OU DES) DIRECTIVE(S)

[1] Si on a une régulation entre l'AFR1657 et le KLM1884, espacé pour la FIR suivante, il faut éviter de les « bouger », de modifier leur trajectoire, car ça risque d'être plus difficile de rétablir cette séparation, entre les avions, par la suite.

[2] Faire passer le BAL632 devant le KLM1884 c'est :

(i) long, ça va prendre du temps,

(ii) coûteux en ressource,

(iii) ça va se terminer sur le secteur suivant,

(iv) des incertitudes sur l'exactitude du cap, et risque d'ajuster, alors que passer derrière non, certitude sur le cap,

(v) une surveillance supplémentaire,

(vi) impliquer une coordination car transfert tardif.

[3] Faire passer le BAL632 derrière l'AFR1657 « pas bien du tout ». Éventuellement si le BAL632 est très rapide, ou des problèmes avec les conditions météo.

[4] Directive « passer-dessous » (dessus). Le « petit pont », c'est une solution encore peu utilisée mais fiable (si le secteur le permet), économique en ressource, et intéressante pour les pilotes (si ils doivent descendre, ou si la route est encore longue, ils peuvent monter).

[5] Les directes ou les caps sont choisis et donnés en fonction de la destination de l'avion, du secteur (nombre de coordinations, risque de conflit, zones militaires, météo…).

[6] Une solution en niveau si :

(i) un des avions doit descendre (atterrissage),

(ii) en dernier recours, plutôt qu'un gros cap,

(iii) en fonction du point de sortie des avions.

[7] Pour une solution en niveau il faut faire attention aux couches, risque de coordination. Généralement un coup d'œil chez le voisin.

[8] Éventuellement coupler une solution en niveau avec les directes, ça rapproche les deux avions, le conflit passe plus rapidement, « on se libère ».

[9] Parfois il faut laisser évoluer un conflit potentiel pour voir l'évolution et attendre que les avions soient sur des routes plus droites, et ainsi choisir le bon cap (routes « coudées »).

3 AXE 3: CHOIX D'UNE TRAJECTOIRE

[1] Plus les avions sont proches, plus le cap sera fort. Plus ils sont loin, moins le cap est important, 10° voire 5°, mais sur des routes droites.

[2] Essayer de déterminer le cap longuement à l'avance sur des routes « coudées », c'est très gourmand en ressource, difficile de l'estimer, nécessité de le surveiller, de l'ajuster, alors qu'attendre plus un gros cap sur la fin, c'est plus « économique ».

[3] En dernier recours une solution en niveau ça passe, et c'est « élégant ».

[4] Un cap à un instant précis, c'est coûteux, dangereux et humainement difficile à appliquer. « On ne sait pas ce qu'on fera dans 3 minutes »

4 AUTRES OBSERVATIONS

[1] La norme de séparation minimale est de 5NM, mais c'est « juste », on choisit de croiser à 7-10NM.

[2] « il faut apprendre à être fainéant pour être dispo pour d'autres choses […] il ne faut pas s'épuiser » => notion d'économie, d'optimisation des ressources et de l'activité.

[3] Importance du temps de surveillance d'un conflit, d'un croisement, 15minutes c'est très long.

[4] Prise en compte du type d'appareil, de sa position sur sa route, de l'estimation de ses réserves carburant. On peut dans certain cas les faire monter, bonne machine, consommation moindre, loin de l'arrivée. (exemple donné des avions qui partent de l'Espagne et qui vont vers la Scandinavie, Reims est au milieu de leur route)

[5] Influence des vitesses des avions.

[6] Pas de notion de « résolution courte », plutôt une résolution raisonnable, qui n'implique pas de devoir revenir longtemps et souvent dessus.

[7] Tout ce qui n'est pas standard c'est dangereux de l'automatiser.

[8] Vers une évolution des mentalités (parfois imposée par le secteur et le trafic), et l'adoption plus fréquente de la solution du « petit pont » pour résoudre un conflit. Rapide, gain en ressource. En fonction du secteur, de son architecture.

[9] Travail à cheval sur deux secteurs.

[10] Définition de l'élégance : Une belle résolution dans la norme, respectant la route des avions.

[11] Définition d'économie, ressource : équivalent à la notion de charge de travail, de gestion de priorité. Un contrôleur doit savoir gérer les priorités, ses ressources, sa charge de travail. Il faut savoir quelle action est plus importante qu'une autre (priorité) quand le trafic augmente, et le temps nécessaire pour la mener à bien.

[12] La FMP (Flow Management Position), c'est une boucle de contrôle qui gère l'espace aérien d'une manière globale. Notamment en évitant de surcharger un niveau de vol. La FMP essaye donc de répartir les avions entre tous les niveaux disponibles. Appeler la FMP sert à demander l'autorisation d'envoyer un avion non prévu sur un autre niveau, comme celle-ci a une vision globale elle est capable de voir l'impact sur les futurs secteurs qui vont avoir l'avion. La FMP n'a, par contre, pas une vision locale sur les secteurs ainsi elle ne connaît pas précisément la charge et l'état d'un secteur, donc appeler la FMP et avoir un refus c'est risquer de ne pas réussir à gérer son secteur.

5 ASPECT COORDINATION

[1] Une résolution longue, « hors norme », ça va impliquer une coordination pour prévenir le secteur suivant qu'il va avoir l'avion très tard en fréquence.

[2] Dans le cas d'une directe notamment, il faut une coordination pour demander le BAL632 tôt, ou demander une directe au secteur précédent.

[3] Parfois une directe implique de coordonner en entrée (pour la demander) et en sortie de secteur pour informer le secteur suivant. (dépend des LOA, et des habitudes de travail sur le secteur).

[4] Une résolution de conflit en cap implique toujours une coordination, principalement à cause de la taille des secteurs, il est impossible de remettre l'avion sur sa route dans le secteur. Pour une résolution en niveau une « mode-S » peut suffire.

[5] Le « shoot-request » peut éviter une coordination, mais en général on téléphone quand même.

[6] Si on arrive à croiser chez soi et à remettre sur la route dans son secteur « c'est tout gagné pour l'organique ».

[7] Une solution en niveau n'impliquera pas forcément de coordination, une « mode-s » peut suffire.

[8] La fin du conflit se passe souvent dans le secteur suivant (fin de montée ou descente, remise sur la route).

[9] Transfert après le croisement.

[10] Les coordinations téléphoniques sont indispensables. Éviter les implicites, « si ça devient tacite on va prendre des mauvaises habitudes ». L'absence de coordination c'est « accidentogène, on doit le bannir ».

[11] Un conflit implique généralement 3 secteurs :

(i) le secteur précédent, demander une directe, anticiper le début de la résolution,

(ii) notre secteur, la résolution du conflit,

(iii) le secteur suivant, pour terminer le conflit et remettre l'avion sur sa route.

[12] Une partie des coordinations se passe avec la FMP (Flow Management), ces coordinations ont lieu pour les changements de niveau (entre centres, entre couches).

[13] Deux grands types de coordinations : des coordinations pour informer (changement de niveau, révision, estimée, …), des coordinations pour demander (un niveau, une directe…).

[14] Les coordinations se passent en général avec :

(i) les secteurs adjacents,

(ii) les autres couches,

(iii) les militaires,

(iv) les secteurs adjacents étrangers,

(v) la FMP.

[15] Définition de **révision** : l'avion est déjà en vol, il y a un changement dans ses données : niveau de vol, vitesse, estimée de passage (avance, retard), changement de route…

[16] Définition d'**estimée**: c'est une annonce d'un mouvement, un avion qui décolle, va vers une approche, un appareil qui n'est pas encore connu. Il y a beaucoup d'informations à prendre (vol, type d'avion, destination, route, balises, estimées…).

[17] Les coordinations pour demander c'est une négociation, « je veux quelque chose », la réponse c'est :

(i) oui, pas de problème,

(ii) non pas possible,

(iii) oui, mais… modifications, contraintes…

[18] A la fin d'une négociation les deux parties doivent être satisfaites de l'accord, pas de doute (manque d'information, coordination trop rapide, incompréhension, problème de rapports humains (énervé, surcharge, trop d'appels, problèmes personnels…)…) ou d'ambiguïté sur la coordination. Doute = risque.

[19] S'il va y avoir plusieurs coordinations pour un même secteur, on essaye de les regrouper, gestion du temps, du nombre de coordinations (rapidité, efficacité).

[20] Il faut savoir convaincre, se vendre, parfois justifier une coordination, tout en étant très précis sur la demande, les informations transmises ou à obtenir.

[21] Il est conseillé de collationner les informations pendant une coordination. Cela présente deux avantages, premièrement vérifier qu'on a bien compris l'information, ensuite ça informe le CR, si par exemple la coordination était relativement urgente, que le CR attend après une autorisation, un niveau…

[22] Les mots, la tournure des phrases sont très importants, rapport de force, rapports humains et ce que ça engendre.

[23] Il est parfois nécessaire de contacter plusieurs secteurs pour réaliser une coordination, notamment pour une demande de directe. Dans ce cas il y a une priorité dans l'ordre des appels, pour éviter de devoir appeler plusieurs fois un même secteur (demande, puis annulation de la demande). « Avoir une idée du secteur qui a le plus de risque de refuser ».

[24] Une coordination doit être la plus rapide possible (de 15 à 20 secondes), car pendant ce temps le CO ne surveille plus le trafic et le CR. Une coordination de plus d'une minute c'est « énorme ».

[25] Le temps d'attente est très variable : ça va de immédiat, si peu de charge, à plusieurs secondes. 40 secondes c'est long.

[26] Une coordination a une validité dans le temps. Parfois trop attendre la rend invalide, les données changent, le vol évolue.

[27] Le temps d'attente peut donc faire invalider ou annuler une coordination.

[28] Les types de coordination dépendent du secteur et de sa configuration, mais il existe toujours un certain nombre de coordinations « récurrentes », systématiques, propre à chaque secteur. « Celui qui reçoit l'appel se doute de la demande ».

[29] Un certain nombre de coordinations est fait de vive voix, avec les secteurs adjacents travaillant dans la même salle, côte à côte. « Je vois s'il est au téléphone aussi, je le dérange pas ».

[30] Besoin d'identifier les avions :

(i) localisation géographique,

(ii) code transpondeur / indicatifs,

(iii) le « montrer »,

(iv) lui montrer directement sur sa vue radar, s'il est à côté.

[31] « Coordination automatique » : l'avion et ses informations transitent automatiquement d'un secteur à l'autre. Le contrôleur a la possibilité de modifier les informations par l'intermédiaire du CAUTRA, et les changements (du strip) se transfèrent automatiquement (message révision).

[32] Quand une coordination (automatique) est trop tardive ou qu'elle a échoué, une alarme (l'avion passe en bleu) s'affiche sur la vue radar. Par contre il est difficile de repérer si une modification n'est pas faite (par exemple changer de niveau). La coordination automatique va transmettre l'avion à 360 alors qu'il est en faite à 380. Le contrôleur a oublié la modification.

[33] Pourquoi ne pas imaginer un outil qui compare le CAUTRA avec les informations de la vue radar, et signaler juste par une alarme que les informations ne correspondent pas.

[34] Attention dans ce cas là au XFL (niveau de sortie fixé et imposé pour un secteur). Dans ce cas, la modification n'est pas systématique car le niveau de sortie est connu.

[35] Nécessité de soulager le CO pour qu'il puisse surveiller le trafic et le CR, que le CO devienne un pseudo-radariste. Il est important que le CO et le CR communiquent. Si le CO passe trop de temps au téléphone il ne suit plus le trafic, il ne peut plus contrôler ni aider le CR.

[36] Quand il y a un fort trafic, le CO a beaucoup de travail, il doit surveiller le trafic, il filtre donc les appels, notion de priorité. Il peut y avoir une délégation d'une partie de son activité (définie de manière

précise entre les deux personnes) pour le soulager. Par exemple les estimées peuvent être déléguées à un 3ème contrôleur qui va répondre à l'appel et saisir la « fiche » de l'avion, activité relativement longue, et qui demande de la concentration, beaucoup d'informations… En cas de défaillance également, il est conseillé de déléguer une partie de l'activité du CO…

[37] Cette délégation implique d'avoir une demande précise et claire de la part du CO. « Il ne faut pas se marcher sur les pieds », et le contrôleur supplémentaire ne connaît pas le trafic.

[38] Il faut, en cas de fort trafic, savoir refuser des coordinations, principalement des demandes de directe « de confort ».

[39] Les coordinations en couche, entre couches, c'est difficile, l'espace est restreint, on n'a pas de visibilité. Le CO doit savoir ce qui se passe au dessous et au dessus, ce qui augmente donc le nombre d'avions de sa vue radar, ainsi que le nombre d'informations à mémoriser et à traiter.

[40] Le CO a tendance à regarder la vue du CR car moins chargée, et le CR regarde la vue du CO car couvrant plus d'espace.

[41] Les avions qui changent de couche sont visibles, même s'ils ne sont pas encore dans la couche gérée par le binôme de contrôle.

[42] Quand un secteur est trop petit pour terminer le croisement les avions sont envoyés en fréquence au secteur suivant, avec l'accord de ce dernier (donc coordination en lui précisant la situation). Les avions sont envoyés séparés ou en passe de l'être, et dans tous les cas ils sont « verrouillés » c'est-à-dire avec un cap ou un taux de montée.

[43] Il faut être très précis dans une coordination. Le terme « relâché » par exemple ne signifie rien seul. Un avion est relâché pour un niveau, pour un cap maximal, pour aller à droite ou à gauche.

6 PREMIÈRES CONCLUSIONS POUR LA PLATEFORME

[1] Cette partie vise à présenter à partir de l'entretien, et des points intéressants soulevés, les modifications et apports immédiatement possibles pour la plateforme AMANDA V2, et principalement l'outil de calcul STAR (Système Tactique d'Aide à la Résolution).

[2] Une meilleure prise en compte de la destination de l'avion, permettrait dans certaine configuration de donner un niveau, plutôt qu'un cap pour résoudre le conflit.

[3] Introduire une possibilité de saisir rapidement deux directes (directive).

[4] Introduire une directive qui permettrait de résoudre un conflit en faisant passer un des deux avions soit dessous soit au dessus, puis remise sur la route ou la possibilité de laisser cet avion à ce nouveau niveau si cohérent avec sa destination.

[5] Agir (directe ou cap) dans le sens de l'avion (quand cela est possible).

[6] Influence du type d'appareil, de sa vitesse, de sa destination, de sa position dans le parcours pour le choix d'une solution.

[7] Bien veiller au choix des paramètres et des critères dans le choix de la solution proposée aux contrôleurs. Prise en compte :

(i) des adjacents,

(ii) des limites de secteurs,

(iii) des temps de transfert,

(iv) des zones militaires,

(v) des conditions météo,

(vi) de l'environnement…

[8] Visualiser la nouvelle route des avions qui permet de résoudre le conflit est indispensable. La visualiser sur l'ensemble des secteurs concernés par la modification, avec un système de validation. Il est important pour les autres secteurs de savoir qui possède l'avion, et quand aura lieu le transfert.

[9] Automatiser le déclenchement d'AMANDA sur des situations récurrentes et identiques. AMANDA viendrait automatiquement proposer des solutions au contrôleur, celui-ci aurait la charge de valider la trajectoire proposée.

[10] Un indicateur de charge, ou d'occupation du CO distant directement sur la console téléphonique. « Un point rouge sur la case d'appel s'il est déjà en ligne ».

[11] « Acceptes-tu tel niveau » réponse oui/non, par exemple 390 ? (demande d'acceptation du niveau 390), le CO adjacent peut accepter ou refuser. Ou la modification est faite sur le CAUTRA, le secteur suivant la valide ou non, et le contrôleur qui demande est informé.

[12] Transfert en cap, un bouton « transfert en cap » s'affiche à coté de l'avion, le secteur suivant regarde la route qui s'affiche, il accepte ou non la nouvelle trajectoire de l'avion.

[13] Mise à jour en temps réel des estimées, oui intéressant, mais pour autant les estimées ne servent pas beaucoup à la détection, trop d'informations à prendre en compte. L'ordre de sortie des strips dans l'imprimante peut être une indication (habitude de travail, expérience).

[14] Alarme quand la vue radar et le strip (CAUTRA) ne correspondent pas (dans la configuration actuelle, strip papier). Attention aux paramètres à prendre en compte :

(i) XFL,

(ii) Mosaïque,

(iii) géographie du secteur,

(iv) destination de l'avion,

(v) erofil de vol…

	BAL632 Passer derrière KLM1884	KLM1884 Passer derrière BAL632	BAL632 directe KLM1884 directe	BAL632 Passer devant KLM1884	BAL632 Passer derrière AFR1657	Solution en niveau	
Temps de résolution / surveillance « trop » longue	5	5	1	5	1	5	Temps de résolution « raisonnable » (dépend de la charge, des méthodes de travail)
Transfert tard (implique coordination)	5	5	1	5	1	5	Transfert dans les temps, normal
Nécessité d'une coordination	5	5	1	5	1	1 ou mode	Absence de coordination => accident gène
Agir dans son secteur	1	1	1	1	5	1	Agir sur plusieurs secteurs => coordination
Certitude sur le cap, pas besoin de le retoucher	1	1	4	3	5	3	Moins de certitude, nécessité de revenir sur le cap

GRILLE 20 : AXE 2

ANNEXE 5

QUESTIONNAIRE POUR LE SECOND ENTRETIEN

1. Valider le compte rendu de l'entretien 1, confirmer chaque point.

2. Revenir sur des mots clés (même s'ils ne sont pas évoqués par le contrôleur) :
   - « Élégance » ;
   - « Énergie » / « ressources »- équivalent à la notion de charge de travail ?
   - « Économie » - notion qui revient souvent. Économie de temps radio, d'énergie, de déviation ;
   - « Naturelle ».

3. Revenir sur les pondérations (notamment axe 1)
   Expliciter comment un 2 ou un 4 pourrait devenir un 1 ou un 5. Ce qui serait nécessaire pour tomber dans un état de certitude.

4. Préciser les pondérations « 3 », faire expliciter comment la décision finale est prise, en situation opérationnelle
   a. A des fins de codage, et de modélisation.
   b. Quelles sont les préférences qui font choisir (catégoriquement) cette solution plutôt qu'une autre ?

5. Les attributs des grilles sont-ils saturés ?

6. Commencer à aborder les relations entre les axes

7. Questions diverses, propres au processus de revue de l'axe 1.

ANNEXE 6

QUESTIONNAIRE POUR LE TROISIÈME ENTRETIEN

Questionnaire concernant l'aspect coordination (interaction CO-CO)

1. Quand est-il nécessaire de faire une coordination ?
2. Les négociations, pour changer les conditions d'entrées (donc avec le secteur précédent) sont-elles fréquentes ?
3. Quelles sont les moyens pour réaliser cette coordination ? (uniquement le téléphone ?)
4. Le nombre de coordinations est-il important ? (par rapport au nombre d'avions transitant par exemple). Est-ce une tâche qui occupe une grande partie de votre activité globale ?
5. Comment se passe un appel vers un adjacent (globalement) ?
6. Quelles sont les informations que vous communiquez ?
7. Réciproquement quelles sont les informations que vous attendez quand on vous contacte ?
8. Comment se passe la tâche de repérage d'un avion sur la vue radar ? Est-ce évident ? Long ?
9. Comment réagissez-vous quand vous recevez un appel, alors que vous êtes en pleine détection par exemple ? Est-ce que « l'appel » est « très » dérangeant, perte de concentration ? Comment procédez-vous dans ce cas ? (réponse puis reprise de la tâche en cours ?)
10. Vous arrive-t-il de ne pas répondre à un appel ? De ne pas avoir de réponse ? Comment réagissez-vous ?
11. Quelles sont les informations généralement concernées par les coordinations ?
12. Avez-vous parfois (souvent) des refus ? Que faîtes-vous dans ce cas ?
13. Devez-vous parfois (souvent ?) revoir votre proposition de changement (négociation) afin de satisfaire à la fois votre demande, et la charge du secteur adjacent ?
14. Avez-vous un moyen d'estimer la charge de travail du contrôleur que vous essayez de joindre ? Est-ce que cette information pourrait vous être utile ?
15. Pensez-vous qu'il pourrait être intéressant de prévenir « automatiquement, implicitement » les contrôleurs distants de certaines modifications sur les avions ? (en rapport avec les lettres d'accord, si cela ne pose pas de problème…à définir).
16. Intérêts, limitations, inconvénients et avantages du « digitatron » ?