Articuler Sécurité Réglée et Sécurité Gérée dans les compromis en conception : Une approche croisée du travail de concepteurs et de mécaniciens pour une maintenance aéronautique sûre

Camille Murie

▶ **To cite this version:**

Camille Murie. Articuler Sécurité Réglée et Sécurité Gérée dans les compromis en conception : Une approche croisée du travail de concepteurs et de mécaniciens pour une maintenance aéronautique sûre. Sciences de l'Homme et Société. HESAM UNIVERSITE, 2022. Français. NNT : . tel-03971958v1

HAL Id: tel-03971958

https://hal.science/tel-03971958v1

Submitted on 30 Jan 2023 (v1), last revised 3 Feb 2023 (v2)

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.

HESAM UNIVERSITÉ

le cnam

ÉCOLE DOCTORALE ABBÉ GRÉGOIRE

Centre de Recherche sur le Travail et le Développement

THÈSE

présentée par : **Camille MURIE**

soutenue le : **7 décembre 2022**

pour obtenir le grade de : **Docteur d'HESAM Université**

préparée au : **Conservatoire national des arts et métiers**

Discipline : **Psychologie et Ergonomie**

Spécialité : **Ergonomie**

Articuler Sécurité Réglée et Sécurité Gérée dans les compromis en conception

Une approche croisée du travail de concepteurs et de mécaniciens pour une maintenance aéronautique sûre

THÈSE dirigée par :

Mme BARCELLINI Flore Professeure des universités, Cnam

et co-encadrée par :

M BUCHMANN Willy Maître de conférences, Cnam

Mme CUVELIER Lucie Enseignante-chercheuse, CESI

Jury

M. Alain GARRIGOU, Professeur, Université de Bordeaux	Président du jury
Mme Christine CHAUVIN, Professeure, Université Bretagne Sud	Rapporteur
M. Philippe CABON, Maître de conférences HDR, Université Paris Cité	Rapporteur
Mme. Irène GAILLARD, Maîtresse de conférences, Institut National Polytechnique de Toulouse, IPST-Cnam	Examinateur
M. René AMALBERTI, Professeur, FONCSI	Examinateur
M. Raphael PAQUIN, Ingénieur, Airbus Helicopters	Invité

THÈSE

Affidavit

Je soussignée, Camille MURIE, déclare par la présente que le travail présenté dans ce manuscrit est mon propre travail, réalisé sous la direction scientifique de Flore BARCELLINI, Willy BUCHMANN et de Lucie CUVELIER, dans le respect des principes d'honnêteté, d'intégrité et de responsabilité inhérents à la mission de recherche. Les travaux de recherche et la rédaction de ce manuscrit ont été réalisés dans le respect de la charte nationale de déontologie des métiers de la recherche.

Ce travail n'a pas été précédemment soumis en France ou à l'étranger dans une version identique ou similaire à un organisme examinateur.

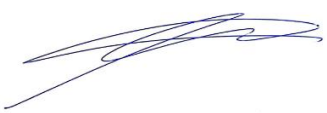
Fait à Paris, le 14/10/22

Affidavit

I, undersigned, Camille MURIE, hereby declare that the work presented in this manuscript is my own work, carried out under the scientific direction of Flore BARCELLINI, Willy BUCHMANN and Lucie CUVELIER, in accordance with the principles of honesty, integrity and responsibility inherent to the research mission. The research work and the writing of this manuscript have been carried out in compliance with the French charter for Research Integrity.

This work has not been submitted previously either in France or abroad in the same or in a similar version to any other examination body.

Paris, 14/10/22



“Il semble que la perfection soit atteinte non quand il n’y a plus rien à ajouter, mais quand il n’y a plus rien à retrancher.” Antoine de Saint-Exupéry, « L’Avion », Terre des hommes 1939

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu le trio Flore Barcellini, Willy Buchmann et Lucie Cuvelier. Merci pour votre disponibilité, votre soutien tout au long de cette thèse. Merci pour vos encouragements dans les périodes de doutes et les croissants au chocolat. Ce fut un réel plaisir de travailler avec vous.

Un grand merci à toute l'équipe de maintenabilité d'Airbus Helicopters pour votre accueil, plus particulièrement à Raphael Paquin et Fabien Bernard sans qui ce travail n'aurait pas été possible. Je pense avoir beaucoup appris grâce à vous. Merci également au collectif des ergonomes d'Airbus pour nos échanges.

Merci aux membres du jury d'avoir accepté de m'accorder du temps pour discuter de ma thèse. Merci donc à Christine Chauvin, Philippe Cabon, Alain Garrigou, Irène Gaillard, René Amalberti. Un double merci pour Christine Chauvin et Irène Gaillard, accompagnées de Bernard Prot, pour votre écoute et vos conseils lors des comités de suivi de thèse.

La plupart du temps étant exposée à la chaleur du sud, mes virées parisiennes ont été des vrais moments de ressources grâce à l'équipe de recherche et aux doctorants d'ergonomie et des autres équipes du laboratoire. Un merci plus particulier à Giuseppe, binôme de représentation sans failles. Merci aussi à Nicole Carlin et Pierre Falzon sans qui je n'aurai peut-être pas fait de thèse. Merci à Ibrahim pour le café et les discussions.

Je me dois de faire un paragraphe spécial pour Tamari et Aurélie. Vous avez toutes les deux grandement participé à l'avancée de cette thèse. Nos moments de travail commun ont été indispensables, ne serait-ce que pour pouvoir partager nos malheurs, nos joies et s'envoyer des messages d'encouragement. Merci.

Pour finir, merci à toutes les personnes ayant contribuées à l'écriture de cette thèse, pour la relecture ou simplement en m'écoutant raconter mes histoires d'hélicoptères. Merci à Marie, Célia, Antonin, Pauline, Coralie, Nicole (encore une fois !) et ma mère, Aline. Merci à mes logeurs parisiens du début et de la fin de thèse, Jovan et Aymeric, Léa, Sami, Julie et Aurore.

Résumé

Notre recherche s'ancre dans la demande industrielle d'un constructeur d'hélicoptères centrée sur la diminution du risque d'erreur en maintenance aéronautique à travers la conception d'une maintenance sûre. Cette demande s'inscrit dans une vision classique de la sécurité (Hollnagel et al., 2015), considérant la sécurité comme l'absence de risque ; vision qui a contribué à la construction d'une industrie aéronautique considérée comme ultrasûre.

Cette vision classique de la sécurité est discutée par les champs d'étude de la sécurité et l'ergonomie de l'activité depuis plus d'une dizaine d'années. Cette thèse s'inscrit dans ces approches : elle porte une vision constructive de la sécurité et s'appuie sur les concepts de sécurité en action et de sécurité réglée et gérée (SR/SG) (p.ex. Morel et al., 2008 ; de Terssac & Gaillard, 2009). Notre thèse explore l'articulation SG/SR en interrogeant, de façon croisée, l'activité de concepteurs en maintenabilité et celle de mécaniciens. Pour assurer la sécurité aérienne, les concepteurs et les mécaniciens font face à des situations de conflits de contraintes, que nous appelons des Situations à Enjeux de Sécurité (SES). Nous cherchons à comprendre les modalités de gestions de ces conflits de contraintes à travers le prisme de la construction de compromis micro et macrocentrés (Amalberti, 2013).

Nous identifions et analysons les SES dans les situations de travail concepteurs en maintenabilité (premier chapitre empirique) et des mécaniciens (deuxième chapitre empirique). Ceci nous permet de montrer que les modèles de sécurité mobilisés par les concepteurs et les mécaniciens, pour concevoir et agir en sécurité, entrent en conflit. D'une part, les concepteurs cherchent à construire des compromis microcentrés (ex. contraintes du travail des mécaniciens à intégrer dans la conception) et macrocentrés (ex. ajustement aux contraintes des autres acteurs de la conception) pour concevoir des solutions (ex. modification de design) qui permettent aux mécaniciens d'appliquer les procédures « de façon sécurisée », c'est-à-dire en se conformant à la procédure. Les concepteurs en maintenabilité cherchent donc à supprimer l'écart entre la sécurité réglée et gérée jugé comme étant à risque. D'autre part, agir en sécurité pour les mécaniciens revient à opérer des compromis microcentrés entre respect stricte des procédures et préservation d'une relation de service de qualité auprès des opérateurs de vol : les mécaniciens sont amenés à adapter les procédures pour assurer, en sécurité, le service de maintenance, ce qui implique un écart aux procédures.

Ce constat nous amène à proposer une démarche de conception participative d'une maintenance sûre– la démarche Contraintes/Stratégies/Ressources (CSR) - soutenant le

dialogue entre concepteurs et mécaniciens pour l'articulation SR/SG (Cuvelier et Woods, 2019). Le troisième chapitre empirique décrit la mise en place de cette démarche et les premiers résultats de son usage en conception de la maintenance. Nous identifions des contraintes organisationnelles (ex. l'imprévisibilité de la maintenance) limitant la mise en place d'une telle démarche au sein d'une organisation ultrasûre et ultra-réglée. Si les premiers usages montrent bien une mise en discussion de la sécurité gérée pour concevoir la sécurité réglée, ces discussions ne visent qu'une articulation cherchant à réduire l'écart entre sécurité réglée et gérée, cet écart étant toujours considéré comme un risque.

Ces résultats nous amènent à discuter le sens des modèles de sécurité pour les concepteurs et les mécaniciens en lien avec les critères de qualité de leur travail. Ils ouvrent également des perspectives sur l'accompagnement de l'évolution des organisations ultrasûres du rejet de l'écart entre SR/SG vers une mise en dialogue SR/SG.

Mots clés : Ergonomie– Maintenabilité – Situations à Enjeux de Sécurité – Sécurité Réglée et Gérée - Compromis – Conception participative

Résumé en anglais

Our research is based on the industrial demand of a helicopter manufacturer focused on reducing the risk of error in aviation maintenance through the design of safe maintenance. This demand is part of a classical vision of safety (Hollnagel et al., 2015), considering safety as the absence of risk; a vision that has contributed to the construction of an aeronautical industry considered as ultra-safe.

This classical vision of safety has been discussed in the safety studies and activity ergonomics academic fields for more than a decade. This thesis is in line with these approaches: it takes a constructive view of safety and is based on the concepts of safety in action and regulated and managed safety (RS/MS) (e.g. Morel et al., 2008 ; de Terssac & Gaillard, 2009). Our thesis explores the RS/MS articulation by cross-questioning the activity of maintainability designers and mechanics. To ensure air safety, designers and mechanics face situations of conflicts of constraints - which we call Safety Issue Situations (SIS). We seek to understand the ways in which these conflicts of constraint are managed through the prism of the construction of micro and macro-centric tradeoffs (Amalberti, 2013).

We identify and analyze the SIS in the work situations of maintainability designers (first empirical chapter) and mechanics (second empirical chapter). This allows us to show that the safety models mobilized by designers and mechanics, to design and act safely, come into conflict. On the one hand, designers seek to construct microcentric (e.g. constraints of the mechanics' work to be integrated into the design) and macrocentric (e.g. adjustment to the constraints of the other design stakeholders) trade-offs in order to conceive solutions (e.g. design modification) that allow mechanics to apply procedures "safely", i.e. by conforming to the procedure. Maintainability designers thus seek to eliminate the gap between regulated and managed safety, deemed to be a risk. On the other hand, acting safely for mechanics means making micro-focused trade-offs between strict compliance with procedures and preserving a quality service relationship with flight operators: mechanics have to adapt procedures to ensure safe maintenance service, which implies a deviation from procedures.

This observation leads us to propose a participative design approach for safe maintenance - the Constraints/Strategies/Resources (CSR) approach - supporting the dialogue between designers and mechanics for the RS/MS articulation (Cuvelier & Woods, 2019). The third empirical chapter describes the implementation of this approach and the first results of its use in maintenance design. We identify organizational constraints (e.g. the unpredictability of

maintenance) limiting the implementation of such an approach within an ultrasafe and ultra-regulated organization. If the first uses show that managed safety is discussed in order to design regulated safety, these discussions aim only at reducing the gap between regulated and managed safety, this gap being always considered as a risk.

These results lead us to discuss the meaning of safety models for designers and mechanics in relation to the quality criteria of their work. They also open perspectives on the support of the evolution of ultra-safe organizations from the rejection of the gap between RS/MS to a setting in dialogue of RS/MS.

Key words: Ergonomics– Maintainability – Safety Issues Situations– Regulated and Managed Safety – Trade-offs – Participatory Design

Table des matières

Remerciements....4

Résumé....5

Résumé en anglais....7

Table des matières....9

Liste des tableaux....14

Liste des figures....15

Liste des acronymes fréquents....18

Liste des annexes....19

Introduction....20

Partie I Contexte et Cadre théorique....23

1. Chapitre 1 Contexte....24

1.1 Origine de la recherche : une demande industrielle centrée sur l'erreur....24

1.2 L'organisation distribuée de la maintenance d'hélicoptère et de la sécurité aérienne 26

1.2.1 Définition de la maintenance en aéronautique....26

1.2.2 L'organisation distribuée de la maintenance d'hélicoptère....29

1.2.3 L'organisation distribuée de la conception de la maintenance....31

1.3 Concevoir pour la sécurité en maintenabilité, identification, évaluation et diminution du risque d'erreur....36

1.3.1 La méthode Human Hazard Analysis (HHA)....36

1.3.2 Les autres types d'analyse de la maintenance contenant une analyse de risque..39

1.4 Conclusion....44

2. Chapitre 2 Cadre théorique....45

2.1 Voir au-delà de l'erreur....45

2.1.1 L'ancienne vision de l'erreur et la vision classique de la sécurité....45

2.1.2 Les erreurs en maintenance aéronautique 48
2.1.3 Critique des approches centrées sur les erreurs 50
2.1.4 La nouvelle vision de l'erreur et de la sécurité 51
2.2 La sécurité en action, l'articulation de la Sécurité réglée et Gérée par la construction de compromis microcentrés et macrocentrés 53
2.2.1 L'approche constructive de la sécurité, la gestion des situations par la sécurité en action 53
2.2.2 Penser la distinction Sécurité réglée et sécurité gérée dans la sécurité en action 59
2.2.3 Compromis micro et macrocentrés et stratégies de construction de compromis. 62
2.3 Concevoir pour la sécurité 72
2.3.1 La conception 72
2.3.2 Concevoir pour la sécurité dans un modèle classique de la sécurité, l'approche de la fiabilité humaine pour la conception de barrières de défense 78
2.3.3 Concevoir pour la sécurité d'après l'approche constructive de la sécurité 85
Partie II Problématique et Méthode 91
3. Chapitre 3 Problématique 92
3.1 Au-delà des erreurs, articuler Sécurité Réglée et Gérée 92
3.2 Les compromis micro et macrocentrés, au cœur de l'articulation SR/SG ? 93
3.3 La conception participative autour des Situations à Enjeux de Sécurité, un moyen de favoriser l'articulation SG/SR ? 94
3.4 Thèse défendue et questions de recherche 95
4. Chapitre 4 : Stratégie de recherche et méthode des chapitres 5 et 6 98
4.1 Les Situations à Enjeux de Sécurité (SES) comme unité d'analyse du travail et objet de recherche 98
4.2 Recueil de données 99
4.2.1 Méthode d'entretiens d'évènements significatifs 99
4.2.2 Corpus d'évènements significatifs (ES) 105

4.2.3 Observations du travail des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens 106

4.2.4 Corpus de situations de conception à enjeux de sécurité observées (SESO).....110

4.3 Traitement des données.....114

4.3.1 Codage Contraintes Stratégies Ressources (CSR) des Situations à Enjeux de Sécurité (SES).....114

4.3.2 Synthèse schématique de l'articulation des méthodes et codages CSR.....121

Partie III Contributions empiriques 122

5. Chapitre 5 : Concevoir pour la sécurité - les Situations à Enjeux de sécurité en conception 123

5.1 Introduction.....123

5.2 Codage CRS conception 124

5.3 Résultats.....126

5.3.1 Les SES conception, construction de compromis micro et macro pour la gestion de conflit de contraintes.....126

5.3.2 Ressources et stratégies pour accéder au travail des mécaniciens et construire les compromis microcentrés.....141

5.3.3 Les contraintes à satisfaire pour la conception d'une tâche de maintenance sûre 151

5.3.4 Ressources et Stratégies pour la construction des compromis macrocentrés 161

5.4 Synthèse des résultats du chapitre 5.....171

6. Chapitre 6 : Agir en sécurité dans la maintenance – Situations à Enjeux de Sécurité en maintenance 173

6.1 Introduction.....173

6.2 Codage CSR maintenance.....174

6.3 Résultats.....176

6.3.1 Les SES en maintenance.....176

6.3.2 La sécurité est intégrée au service par la construction de compromis pour gérer les conflits entre contraintes de service et sécurité en action 187

6.3.3 Gérer les conflits entre des contraintes liées à la conception de l'hélicoptère, de la procédure (C1) et la sécurité 196
6.4 Synthèse des résultats du chapitre 6 205
7. Chapitre7 : Réflexions sur une tentative de développement d'un processus de conception articulant sécurité gérée et sécurité réglée 208
7.1 Introduction 208
7.2 Méthodologie 210
7.2.1 Analyse réflexive du processus de conception de la démarche CSR 210
7.2.2 Analyse des groupes de travail et de l'essai dans l'usage 213
7.3 Résultats 217
7.3.1 Contraintes, Stratégies et Ressources dans la conception de la démarche CSR 217
7.3.2 La démarche CSR permet elle l'articulation SR/SG ? 231
7.3.3 Synthèse des résultats du chapitre 7 245
Partie IV Discussion et Perspectives 246
8. Chapitre 8 Discussion et Perspectives 247
8.1 Articulation de la SR/SG dans la construction des compromis 247
8.1.1 Concevoir la maintenance pour la sécurité – Le travail des concepteurs en maintenabilité 247
8.1.2 Agir en sécurité dans le travail des mécaniciens 253
8.1.1 Le modèle de la sécurité des concepteurs entre en conflit avec la sécurité en action des mécaniciens 256
8.1.2 Apports, limites et perspective des SES et du codage CSR 258
8.2 Possibilités de transformation des organisations ultrasûres – Enseignements de la démarche CSR 260
8.2.1 Appropriation de la démarche CSR 260
8.2.2 La démarche CSR, contrainte ou ressource pour la négociation de la sécurité et l'articulation SR/SG? 264

8.2.3 Limites stratégiques des approches de conception participatives de la sécurité dans des organisations ultra-sûres 267

Bibliographie 271

Annexes 283

Liste des tableaux

Tableau 1 Grille de l'entretien des évènements significatifs.....103

Tableau 2 : Concepteurs de la maintenabilité participant aux entretiens d'événements significatifs.....104

Tableau 3 Mécaniciens participant aux entretiens d'évènements significatifs.....104

Tableau 4 Corpus d'évènements significatifs.....106

Tableau 5 : Corpus de Situations à Enjeux de Sécurité Observées (SESO).....112

Tableau 6 : Description générale des thèmes du codage CSR.....115

Tableau 7 : Exemple de codage CSR - première étape.....116

Tableau 8 : Exemple de codage CSR - seconde étape.....116

Tableau 9 : Définition des compromis micro et macrocentrés.....118

Tableau 10 : Synthèse des données recueillies et analysées.....215

Tableau 11 : Champs lexicaux de la sécurité réglée (SR) et gérée (SG) pour leur identification dans l'analyse CSR.....216

Tableau 12 : Comparaison des problèmes et résolutions de problèmes des SES dans les GT2 concepteurs, GT2 managers de mécaniciens et GT3.....232

Tableau 13 : Exemple de construction des problèmes et des réponses apportées concernant une même stratégie lors des GT2 concepteurs, GT2 managers de mécaniciens et GT3.....234

Tableau 14 : Répartition des types de solutions par groupe de travail.....236

Tableau 15 : Extrait issu du GT3 du 23/03/22.....237

Tableau 16 : Extrait issu de l'essai dans l'usage du 17/05/22.....243

Liste des figures

Figure 1: Historique de la construction du projet de thèse 26

Figure 2 : Type de maintenance en fonction de l'état du système 27

Figure 3 : Processus théorique de maintenance 28

Figure 4 : Modélisation de la distribution de la maintenance 29

Figure 5 : Taille des flottes d'hélicoptère en Europe (*EHEST Analysis of 2006-2010 European Helicopter Accidents*, 2015) 30

Figure 6 : Modélisation des acteurs impliqués dans la sécurité de la maintenance 32

Figure 7 : L'organisation du bureau d'études Maintenance en 2021 33

Figure 8 : Démarche Human Hazard Analysis 37

Figure 9 : Reproduction fictive d'un tableau HEMEA 38

Figure 10 : Matrice de risque pour les scores Facteurs Humains (Gill & Courteney, 2021) 39

Figure 11 : Score d'accessibilité 42

Figure 12 : Grille d'analyse PEAM 43

Figure 13 : Différences d'approches entre l'ancienne et la nouvelle vision de l'erreur (Dekker, 2014b, p7) 51

Figure 14 : Processus général d'évaluation de la fiabilité humaine d'après le travail de Kirwan (INERIS, 2011) 80

Figure 15 : Classification de quelques méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine en génération (INERIS, 2011) 81

Figure 16 : Modèle d'accident de Reason, extrait de l'article "A system approach to organizational error" (Reason, 1995). 83

Figure 17 : Modélisation de la thèse défendue – Construction de la sécurité 96

Figure 18 : Les niveaux de catégories du codage CSR 114

Figure 19 : Modélisation des SES 117

Figure 20: Code de couleur et de forme pour la modélisation des phases de construction de compromis dans les SES 118

Figure 21 : Exemple de modélisation des phases de construction de compromis 118

Figure 22 : Exemple pour l'explication des différents types de quantification du codage CSR. 119

Figure 23 : Synthèse de la démarche méthodologique pour les chapitres empiriques 1 et 2 121

Figure 24 : Vue d'ensemble du codage CSR conception 125

Figure 25 : Types de contraintes dans les SES conception.....127

Figure 26 : Modélisation Contraintes Stratégies Ressources de la SES EM1ES1 129

Figure 27 : Modélisation Contraintes Stratégies Ressources de la SES SESO07 134

Figure 28 : Modélisation Contraintes Stratégies Ressources de la SES SM2ES1.....136

Figure 29 : Nombre de SES dans lesquels les ressources sont évoquées 141

Figure 30 : Nombre de SES dans lesquels les ressources sont évoquées 141

Figure 31 : Nombre de SES dans lesquels les ressources "Collectif" sont évoquées 142

Figure 32 : Extrait de la Figure 30, simulation physique et observation sur hélicoptère 146

Figure 33 : Nombre de SES conception dans lesquels les contraintes du travail des mécaniciens sont évoquées 152

Figure 34 : Occurrence de la catégorie "contraintes dans le travail des mécaniciens" dans le corpus de SES conception.....152

Figure 35 : Nombre de SES conception dans lesquels les contraintes du travail des concepteurs en maintenabilité sont évoquées 156

Figure 36 : Occurrence des contraintes dans le travail des concepteurs dans le corpus de SES conception. 156

Figure 37 : Vue d'ensemble du codage CSR maintenance 175

Figure 38 : Catégorisation des SES de maintenance en fonction des conflits de contraintes évoquées avec la construction de la sécurité.....177

Figure 39 : Nombre de SES maintenance contenant des contraintes de conception 178

Figure 40 : Nombre de SES maintenance dans lesquelles sont évoquées les contraintes de service 182

Figure 41 : Modélisation du codage CSR de la SES M1ES1 188

Figure 42 : Modélisation du codage CSR de la SES TR1ES2.....193

Figure 43 : Modélisation du codage CSR de la SES M3ES2 197

Figure 44 : Modélisation du codage CSR de la SES M3ES3 201

Figure 45 : Version finale de la méthodologie de conception de la démarche CSR 209

Figure 46 : Méthode de représentation du processus de conception de la démarche CSR au cours du temps 212

Figure 47 : Légende des flèches faisant les liens entre les éléments de l'activité.....212

Figure 48 : Déroulé chronologique de la conception de la démarche CSR du 27 janvier 2022 au 28 avril 2022 (GT = Groupe de travail ; ST= Suivi de thèse).....218

Figure 49 : Déroulé chronologique de la conception de la démarche CSR du 4 mai 2022 au 22 juillet 2022 (GT = Groupe de travail ; ST= Suivi de thèse) 219

Figure 50 : Etapes de la démarche CSR dans un contexte de modification de design ou de procédure.....301

Figure 51 : Etapes de la démarche CSR dans un contexte de modification d'analyse d'incident majeur 302

Figure 52 : Vision globale de l'analyse CSR 304

Figure 53 : Etape 1 de l'analyse CSR.....304

Figure 54 : Etape 2 de l'analyse CSR.....305

Figure 55 : Etape 3 de l'analyse CSR.....305

Liste des acronymes fréquents

CSR : Contraintes, Stratégies, Ressources

ES : Evénement Significatif

HEMEA : Human Error Mode and Effect Analysis

HHA : Human Hazard Analysis

PEAM : Preliminary Ergonomics Analysis in Maintainability

SDR : System Design Responsible

SES : Situation à Enjeux de Sécurité

SESO : Situation à Enjeux de Sécurité Observée

SFH : Spécialiste Facteur Humain

SG : Sécurité Gérée

SR : Sécurité Réglée

Liste des annexes

Annexe 1 Grille d'entretien exploratoire lors de l'entretien des évènements significatifs....284

Annexe 2 Résumés des ES dans le travail des concepteurs en maintenabilité 285

Annexe 3 Résumés des SES maintenance 288

Annexe 4 Grille de codage CSR de conception.....290

Annexe 5 Grille de codage CSR maintenance.....295

Annexe 6 Tableaux comparatifs des contraintes dans le travail des mécaniciens identifiées par les concepteurs en maintenabilité dans les SES de conception avec les contraintes évoquées par les mécaniciens dans les SES de maintenance.....298

Annexe 7 Démarche CSR.....300

Annexe 8 Déroulé du groupe de travail 2 concepteurs.....309

Annexe 9 Déroulé du groupe de travail 2 managers mécaniciens.....312

Annexe 10 Déroulé du GT3.....313

Annexe 11 Problèmes et Résolutions de la SES M3ES1 dans les GT2 et le GT3 315

Introduction

Cette thèse s'ancre dans une demande industrielle d'un constructeur d'hélicoptères qui cherche à diminuer les risques d'accidents et d'incidents liés à la maintenance. Bien que le transport aérien soit un des plus sécurisé (avec le transport ferroviaire), avec 1 accident d'avion par million d'heures de vols dans le monde, ce chiffre n'est pas applicable au transport par hélicoptère. Par exemple, en 2021, le transport par hélicoptère a fait 3 morts, 2 blessés graves et 3 blessés plus légers en France (BEA) pour un nombre d'heures de vol d'hélicoptères en France estimé à 150 000 heures (UFH, s.d.). Alors que la demande globale de transport par hélicoptères est en augmentation dans le monde (14.7% entre 2012 et 2018), le taux d'accident mortel d'hélicoptère ne diminue pas depuis plus de 10 ans (Moon & Yakovlev, 2020). De plus, selon l'EASA, 6% des accidents d'hélicoptère entre 2007 et 2016 ont eu pour cause un défaut de maintenance. Face à ces chiffres, un département du bureau d'études du constructeur, à savoir le service de maintenabilité, cherche à faire diminuer le risque d'erreur en maintenance aéronautique à travers la conception d'une maintenance sûre (ce qui implique la conception des procédures de maintenance et du design). La maintenabilité est définie comme la capacité d'un objet à être maintenu et rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise. Le service de maintenabilité du constructeur d'hélicoptères, accueillant cette recherche, développe depuis une quinzaine d'années des outils et méthodes d'intégration du « Facteurs Humains » dans leurs études de maintenabilité. Ce service réalise depuis plus récemment des analyses d'identification et de diminution du risque d'erreur.

Or, la focalisation sur les erreurs ne permet pas de comprendre comment les travailleurs, ici les concepteurs en maintenabilité et les mécaniciens, construisent la sécurité (Dekker, 2014b). Nous nous inscrivons dans une vision constructive de la sécurité articulant les notions de sécurité en action (de Terssac & Gaillard, 2009), de sécurité réglée et sécurité gérée (SR/SG) (Morel et al., 2008) et de compromis (Amalberti, 2013). En effet, cette thèse explore l'articulation SG/SR (Cuvelier & Woods, 2019) en interrogeant, de façon croisée, l'activité des concepteurs en maintenabilité et celle des mécaniciens pour assurer la sécurité aérienne (l'ensemble des mesures qui visent à limiter les accidents d'hélicoptère). Nous chercherons ici à comprendre l'articulation des compromis microcentrés (à l'échelle individuelle) et macrocentrés (à l'échelle collectif) dans l'activité des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens. Pour cela, nous procédons à l'identification des conflits de contraintes auxquelles ils font face et des stratégies et ressources qu'ils mobilisent pour construire ces compromis dans des situations de travail à enjeux de sécurité (SES). Les SES sont des situations servant de références pour la conception. Elles renvoient à des situations que les concepteurs et les

mécaniciens considèrent, dans leur propre travail, comme à enjeux du point de vue de la sécurité aérienne. L'analyse des SES dans le travail des mécaniciens et des concepteurs en maintenabilité nous permettra d'identifier d'éventuels écarts et points d'accords entre le modèle de la sécurité des concepteurs en maintenabilité et la sécurité en action des mécaniciens. Nous chercherons ensuite à savoir si l'organisation d'une conception participative de la maintenance, centrée sur l'analyse des Situations à Enjeux de Sécurité de maintenance, favorise l'articulation SR/SG dans la conception de la maintenance au sein d'une organisation dominée par un modèle de sécurité classique (centré sur la suppression des erreurs et le suivi des procédures).

Cette thèse est divisée en quatre parties.

La première partie présente d'abord le contexte de la thèse (**chapitre 1**) c'est-à-dire l'origine des questions de recherche ancrée dans une demande et une organisation industrielle de conception de la maintenance d'hélicoptères. Ensuite, le cadre théorique (**chapitre 2**) discutera dans des notions théoriques amenées par la demande industrielle pour enfin construire des questions de recherche.

La deuxième partie présente la problématique de la thèse (**chapitre 3**) et la méthode d'analyse croisée de l'activité des concepteurs en maintenabilité et celle des mécaniciens (**chapitre 4**). Cette analyse est centrée sur le recueil et l'analyse des Situations à Enjeux de Sécurité.

La troisième partie regroupe trois chapitres empiriques. Le **chapitre 5** présente les résultats du recueil et de l'analyse des SES de conception et expose ainsi la manière dont les concepteurs conçoivent pour la sécurité de la maintenance dans leurs situations de travail. Le **chapitre 6** présente les résultats et l'analyse des SES de maintenance et expose ainsi la manière dont les mécaniciens agissent en sécurité dans leurs situations de travail. Le **chapitre 7** se détache de la méthodologie centrée sur les SES pour proposer une réflexion autour d'une tentative de développement d'un processus de conception participative articulant sécurité réglée et sécurité gérée.

La quatrième partie (**chapitre 8**) est une partie de discussion précisant d'articulation de la sécurité réglée et sécurité gérée dans le travail des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens. Nous discuterons également de ce que cette articulation permet dans leur travail respectif et des apports et limites de la méthodologie d'analyse du travail centrée sur les Situations à Enjeux de Sécurité. Pour finir, une discussion sur l'apport des démarches de conception participative visant la transformation des organisations ultrasûres sera proposée.

Partie I

Contexte et Cadre théorique

1. Chapitre 1 Contexte

1.1 Origine de la recherche : une demande industrielle centrée sur l'erreur

L'entreprise accueillant cette recherche a revêtu plusieurs noms depuis la création de la Société nationale des constructions aéronautiques du sud-est (SNCASE) en 1937. Suite à de multiples fusions, une privatisation et une acquisition par Airbus en 2014, la SNCASE est devenue Airbus Helicopters, renommée Airbus en 2017. Pour éviter toute confusion avec la branche Avion d'Airbus nous continuerons à désigner l'entreprise sous le nom d'Airbus Helicopters. Airbus Helicopters regroupe 19 745 employés en 2019 dont 7 926 sur le site de Marignane, siège social de l'entreprise au sein duquel se trouve une partie du service accueillant cette recherche, l'autre parties étant sur le site allemand de Donauworth.

Le site de Marignane d'Airbus Helicopters contient les bureaux d'études (BE) qui conçoivent une partie de la gamme de la marque. Au sein de ces bureaux d'étude, le bureau d'études de maintenance s'intéresse plus particulièrement à la conception des hélicoptères du point de vue de la maintenance. Cette thèse CIFRE s'inscrit dans une demande industrielle de ce bureau d'études, plus particulièrement de l'équipe de maintenabilité. L'objectif affiché de l'équipe de maintenabilité est de concevoir une maintenance faisable et sûre. La conception de la maintenance passe par une conception de l'hélicoptère favorisant les opérations de maintenance et la conception des procédures de maintenance.

Les ingénieurs de ce bureau d'études ont déjà fait l'expérience de la recherche avant notre venue. Ils ont accueilli en 2016 un premier doctorant, ingénieur ergonome, qui s'est intéressé à l'accessibilité physique des tâches de maintenance, à la santé/sécurité des opérateurs de maintenance et aux apports des outils de simulation pour l'intégration des facteurs humains en maintenabilité (Bernard, 2019). Cette première thèse s'ouvre sur la nécessité de continuer la recherche en ergonomie en s'intéressant, à travers la maintenance, à la sécurité aérienne. La sécurité aérienne est l'ensemble des mesures qui visent à limiter les accidents d'hélicoptère dont la maintenance fait partie. En effet, selon l'EASA, 6% des accidents entre 2007 et 2016 ont eu pour cause un défaut de maintenance, que ce soit un défaut dans l'installation ou l'inspection du moteur, de la partie véhicule ou une pollution du carburant ou de l'huile. De plus, en avril 2016, un accident majeur, dont une des causes racine identifiées est liée à une

erreur de maintenance, a renforcé les efforts pour mieux prendre en compte les problématiques Facteur Humain au sein du service de maintenabilité. Helioffshore, une association de sûreté pour l'industrie du transport offshore a alors lancé un appel à projets nommé « Safety and Resilience » en collaboration avec les opérateurs de vol du milieu Offshore (réalisant des missions de transport de personnels sur des plateformes pétrolières en mer). L'équipe de maintenabilité d'Airbus Helicopters a profité de cet appel à projets pour proposer à l'association de travailler avec eux au développement d'une méthode d'identification, d'évaluation du risque d'erreur et de recommandations pour la conception diminuant le risque d'erreur en maintenance. Cette méthode est adaptée d'une méthode déjà existante à Airbus Commercial (avion), la démarche Human Hazard Analysis (HHA). Ils commencent à mettre en application cette méthode en fin 2017, début 2018. C'est également en 2018 que le service de maintenabilité contacte l'équipe d'ergonomie du Centre de Recherche sur le Travail et le Développement du Conservatoire National des Arts et Métiers pour commencer une thèse centrée sur la conception de la maintenance pour la sécurité aérienne (voir Figure 1). L'objectif affiché de la recherche pour le service de maintenabilité était alors d'améliorer la méthode HHA et d'intégrer l'ergonomie en maintenabilité pour prévenir les incidents et accidents dus à des erreurs de maintenance en :

- Analysant les retours d'expérience des opérateurs de maintenance et des concepteurs ;
- Contribuant à la conception d'une démarche/outil permettant aux ingénieurs en maintenabilité d'anticiper, d'évaluer et de « solutionner les risques d'erreurs » de maintenance sur des hélicoptères en développement.

La Figure 1 représente l'histoire chronologique du projet de thèse.

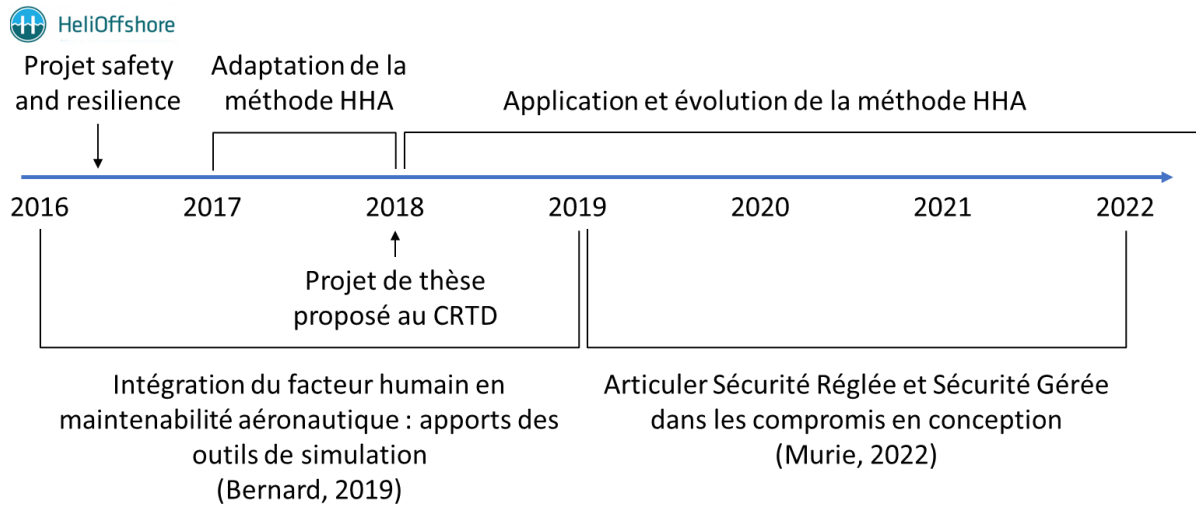


Figure 1: Historique de la construction du projet de thèse

1.2 L'organisation distribuée de la maintenance d'hélicoptère et de la sécurité aérienne

1.2.1 Définition de la maintenance en aéronautique

La norme NF EN 13306 définit la maintenance comme étant « *l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise* ». La maintenance peut également être définie comme l'action de *« choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'usage du matériel, suivant sa criticité économique, afin d'optimiser le coût global de possession »* ce qui se distingue de l'entretien qui lui exclut les actions de prévention (Zafiharimalala, 2011).

On distingue deux types de maintenance, la maintenance corrective et la maintenance préventive. Dalkilic (2017) illustre la différence entre maintenance préventive et corrective en indiquant les moments d'intervention face à la baisse de fiabilité d'un système (voir Figure 2)

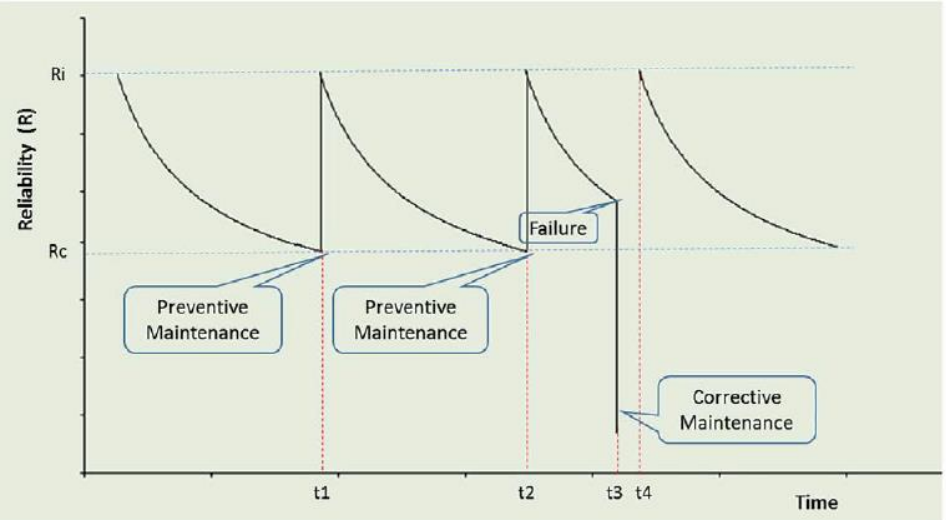


Figure 2 : Type de maintenance en fonction de l'état du système (Dalkilic, 2017)

Dans la maintenance corrective, l'intervention se fait après une défaillance. La maintenance corrective peut être soit curative soit palliative. La maintenance préventive intervient avant la défaillance dans le but de la prévenir. Cette maintenance préventive peut être systématique c'est-à-dire suivre un calendrier précis (Zafiharimalala, 2011).La maintenance peut également être conditionnelle, suite à la constatation d'une défaillance ou d'un critère indiquant la nécessité d'intervention ou prévisionnelle en analysant l'évolution de la dégradation de l'objet à maintenir (Zafiharimalala, 2011).

En aéronautique, la maintenance est divisée en deux types de maintenance, la maintenance programmée qui correspond à la maintenance préventive et la maintenance non programmée correspondant à la corrective.

La maintenance non programmée est effectuée au quotidien en réponse à l'état de dégradation de l'appareil mais également en fonction de critères temporels (Bernard, 2019; Zafiharimalala, 2011). Bernard (2019) a schématisé le processus théorique de la maintenance en distinguant la maintenance préventive de la corrective (voir Figure 3)

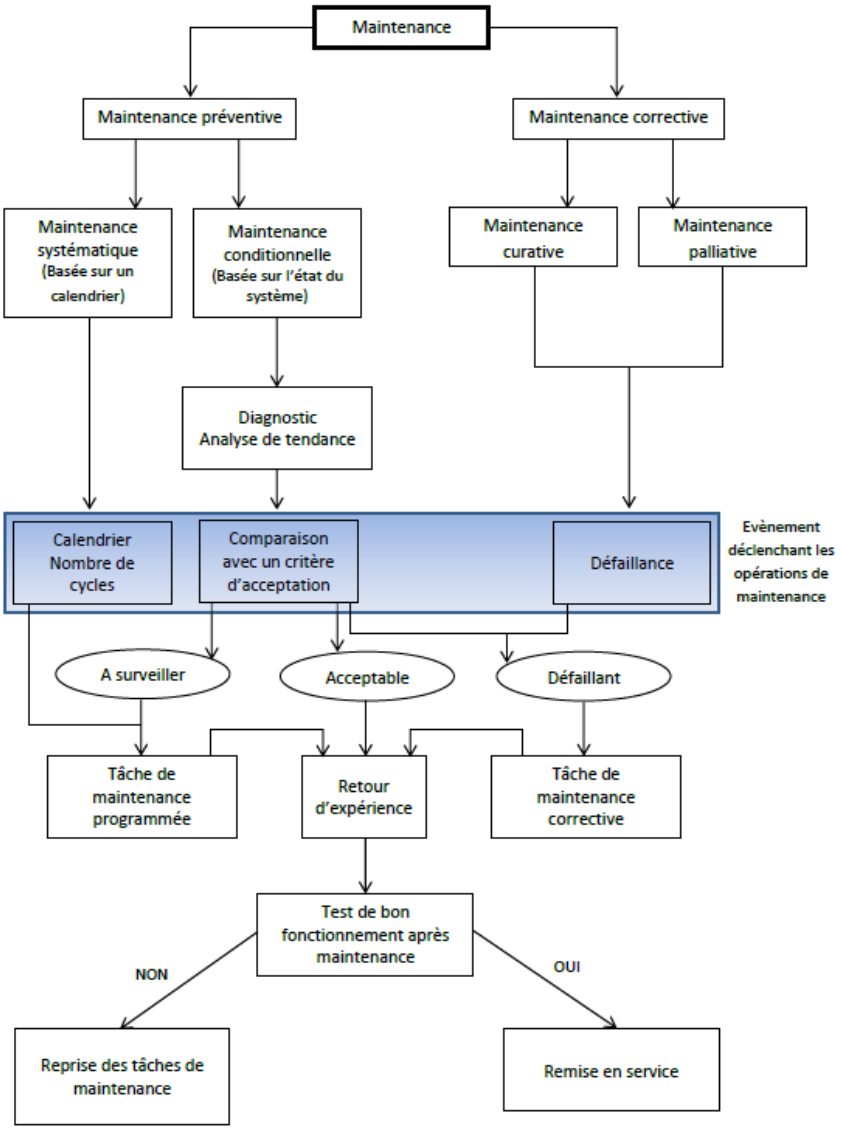


Figure 3 : Processus théorique de maintenance (Bernard, 2019)

Dans cette thèse nous nous chercherons à comprendre d'une part l'activité des mécaniciens au-delà de ces modèles théoriques des tâches de maintenance et d'autre part l'activité des concepteurs qui les conçoivent.

1.2.2 L'organisation distribuée de la maintenance d'hélicoptère

Le travail nécessaire à la maintenance des hélicoptères est distribué entre plusieurs acteurs sur des niveaux organisationnels différents (voir Figure 4).

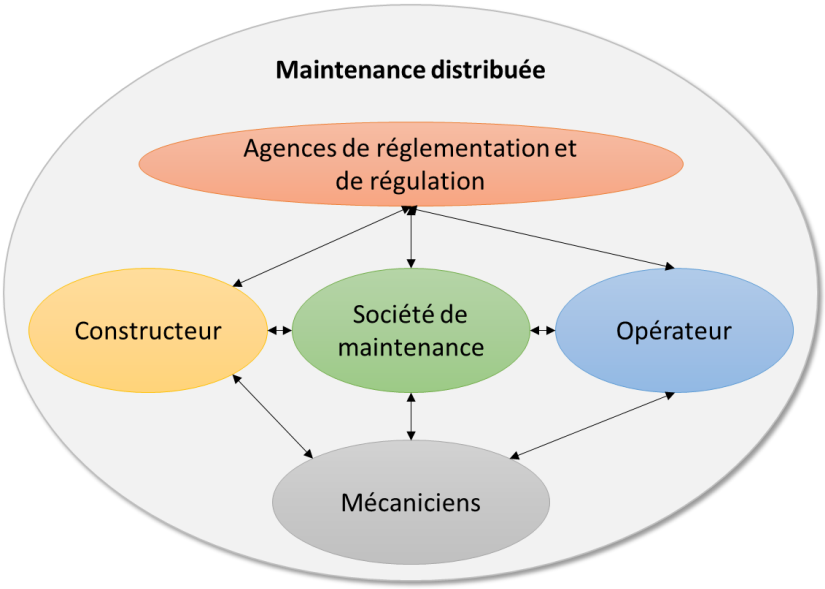


Figure 4 : Modélisation de la distribution de la maintenance

En Europe la sécurité en aéronautique est régulée à travers la collaboration de la commission européenne, du régulateur aérien européen EASA (European Aviation Safety Agency), des états membres au travers d'agences nationales de surveillance & de certification comme la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) en France et des industries impliquées sur le marché de l'aéronautique. Les agences de régulation conçoivent des réglementations visant la sécurité aérienne concernant tous les acteurs de la conception, de l'exploitation et de la maintenance d'hélicoptère.

Le constructeur de l'hélicoptère doit être certifié par l'EASA conformément aux lois européennes de navigabilité. Le constructeur conçoit l'hélicoptère ainsi que ses procédures d'utilisation et de maintenance.

La société de maintenance ou centre de maintenance est l'organisation qui organise et réalise la maintenance de l'hélicoptère. Les sociétés ou centres de maintenance sont divisés en organisations certifiées CAMO (Continuing Airworthiness Organization) et/ou AMO (Approved Maintenance Organization) par l'EASA. Les organisations certifiées CAMO organisent la maintenance tandis que les organisations certifiées AMO la réalisent. Les centres de maintenance d'hélicoptère peuvent être certifiés simultanément CAMO et AMO. Si ce n'est

pas le cas, les organisations désignées par l'opérateur ou le propriétaire de l'hélicoptère sont dans l'obligation de se coordonner pour assurer la navigabilité des hélicoptères. L'objectif de l'organisation réalisant la maintenance est d'assurer la disponibilité de l'appareil ainsi que la sécurité des opérations à un coût minimum (Shanmugam & Robert, 2015).

L'opérateur désigne la personne ou l'organisation qui exploite l'appareil (par exemple une armée ou une entreprise de déplacement offshore). Selon Airbus Helicopters, 3 064 opérateurs aéronautiques utilisent des hélicoptères Airbus en 2018 et sont répartis sur 148 pays. 85% de ces opérateurs possèdent moins de 5 appareils. Ces opérateurs peuvent être amenés à utiliser l'hélicoptère pour une grande variété de missions (civiles, parapubliques ou militaires) aux quatre coins du monde. En Europe en 2010, 67% des opérateurs d'hélicoptère opèrent une flotte constituée d'un seul hélicoptère (voir Figure 5).

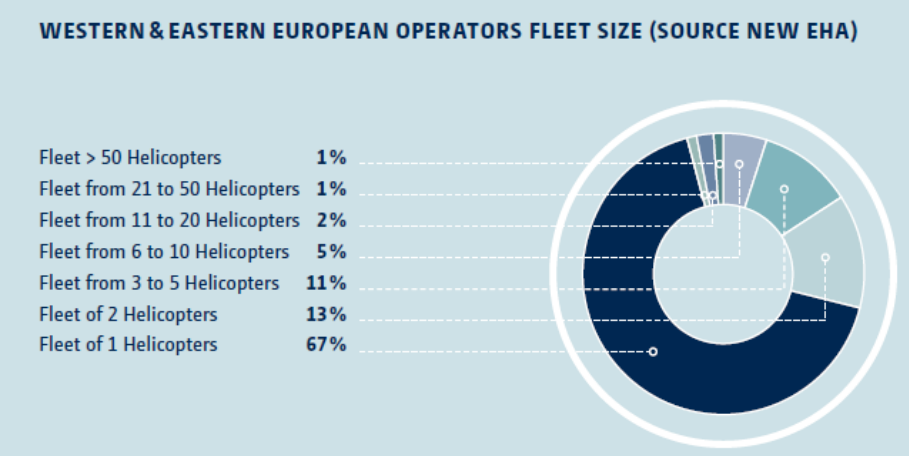


Figure 5 : Taille des flottes d'hélicoptère en Europe (*EHEST Analysis of 2006-2010 European Helicopter Accidents*, 2015)

Les mécaniciens sont les personnes réalisant les opérations de maintenance et les responsables finaux de la sécurité. Les tâches des mécaniciens sont de planifier leur activité, accéder à la zone de l'hélicoptère où va se dérouler l'opération (c'est-à-dire l'ouvrir et la nettoyer), contrôler l'état, réaliser des tests fonctionnels, réparer ou remplacer les composants défectueux (Latorella & Prabhu, 2000). La maintenance d'hélicoptère est divisée en trois niveaux de maintenance. Les opérations de maintenance de 1er niveau ne demandent pas d'équipement ou de formations particulières. Certaines de ces opérations peuvent être réalisées par le pilote. Elles se font généralement en extérieur (inspection avant vol, inspection périodique journalière) chez l'opérateur (Atak & Kingma, 2011). Les opérations de deuxième niveau demandent des équipements et des formations particulières et celles de troisièmes niveaux sont des opérations

de maintenance lourdes et d'inspection majeures réalisables uniquement par le constructeur ou l'équipementier. Les opérations de deuxième et de troisièmes niveaux se font généralement dans les centres de maintenance agrées appelés « Maintenance Repair and Overhaul » (MRO) par du personnel qualifié pour ce type de tâche. Les mécaniciens travaillent dans des situations de travail extrêmement variables du fait de la diversité de l'usage des hélicoptères et des opérateurs de vols. Les mécaniciens travaillent également dans des organisations ayant des liens de subordination variables. Un mécanicien peut être par exemple salarié d'une entreprise de sous traitance qui propose des services de maintenance à une organisation militaire ou à des propriétaires d'hélicoptères VIP. Un mécanicien peut également être salarié d'une entreprise de construction d'hélicoptère qui s'occupe de la maintenance des hélicoptères de ses clients comme c'est le cas d'Airbus Helicopters où se trouve un centre de maintenance d'hélicoptères militaires (MSCF, Military support Center) et un MRO mécanique réalisant des opérations de maintenance de 3eme niveau que les clients ne sont pas habilités à réaliser.

Le statut de propriété de l'hélicoptère est variable. Par exemple, l'opérateur peut ne pas être propriétaire de l'hélicoptère mais le louer à une société de location et de maintenance. Le propriétaire de la flotte d'hélicoptère est le responsable final de la navigabilité de ses appareils et des moyens donnés aux mécaniciens pour sécuriser la maintenance.

Ces acteurs peuvent être différentes entités interdépendantes ou se confondre dans une même organisation. Par exemple, l'armée de terre Française est propriétaire de ses hélicoptères, les exploite et réalise des opérations de maintenance par des mécaniciens employés par l'armée. Ils font cependant réaliser certaines opérations de maintenance lourdes dans les ateliers du constructeur.

Les tâches de régulations, de conception, de planification, d'organisation et de réalisation de la maintenance sont ainsi distribuées dans un réseau d'acteurs ayant des liens de subordination variables. L'activité des concepteurs de la maintenance comme celle des mécaniciens prend place dans cette organisation distribuée de la maintenance.

1.2.3 L'organisation distribuée de la conception de la maintenance

Au sein du constructeur, la conception pour la sécurité de la maintenance implique un réseau d'acteurs aux tâches et intérêts multiples. L'équipe de maintenabilité fait partie du département Maintenance d'Airbus Helicopters, intégré au bureau d'études. Les concepteurs du service de

maintenabilité interagissent avec les autres concepteurs du BE qui conçoivent les systèmes techniques de l'hélicoptère, comme le rotor, et auprès de qui ils vont défendre les intérêts de la maintenabilité, pour les intégrer à la conception visant une maintenance sûre (voir Figure 6). Ils sont également en lien avec le support client, faisant le lien entre le BE et les clients. Ainsi, au sein du service support, le service de maintenabilité interagit avec les services en contact direct avec les clients, notamment les services chargés de gérer le retour d'expérience (Retex) des clients, les rédacteurs des cartes de travail, c'est à dire le document contenant la procédure de maintenance mis à disposition des clients et les centres de maintenance de l'entreprise. Le service de maintenabilité interagit également avec le plateau incident majeur où se traitent et s'analysent les incidents remontés par les clients, dont les incidents liés à la maintenance. Tous ces services sont coordonnés par le service projet. Le département programme fixe les objectifs et les budgets alloués à chaque projet pour chaque type d'hélicoptère. Il existe un programme pour chaque type d'hélicoptère. Par exemple le programme Tigre fixe les objectifs et les budgets des projets travaillant sur l'hélicoptère Tigre.

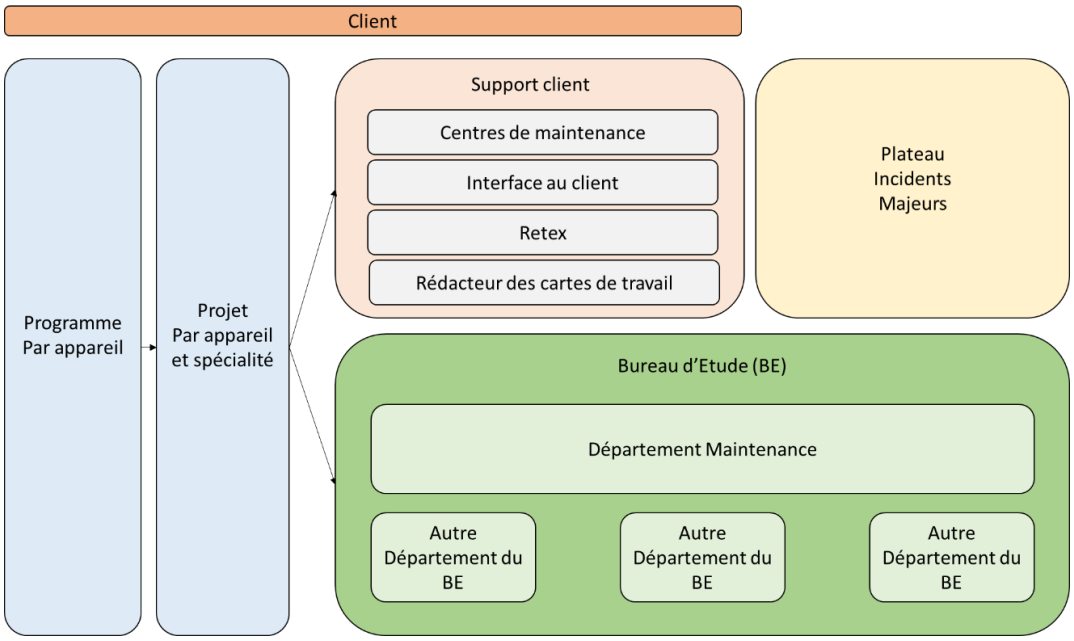


Figure 6 : Modélisation des acteurs impliqués dans la sécurité de la maintenance

En 2021, le bureau d'études (BE) de maintenance est divisé en deux pôles, le pôle véhicule et le pôle système (voir Figure 7). Le pôle véhicule est divisé en quatre entités, les facteurs humains, la maintenabilité, les outillages et la manutention au sol tandis que le pôle système est divisé en deux, la testabilité et les logiciels de maintenance.

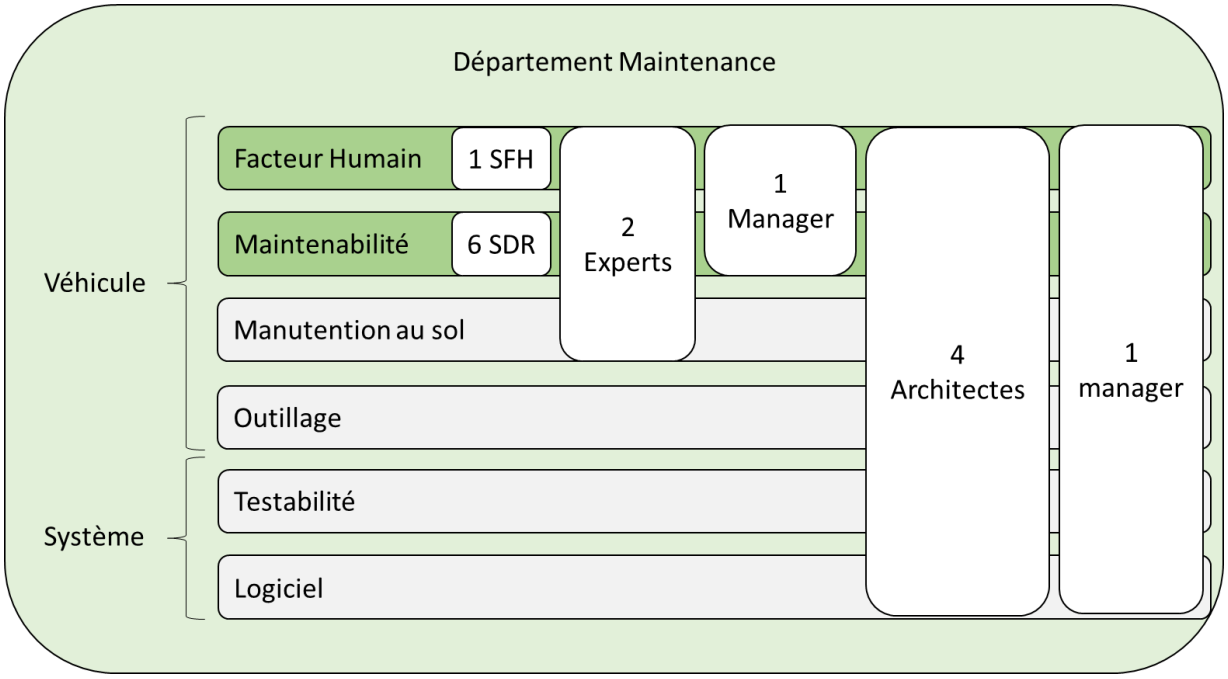


Figure 7 : L'organisation du bureau d'études Maintenance en 2021

(Ne sont pas représentés les effectifs des équipes du BE maintenance ne travaillant pas dans les équipes de facteurs humains et de maintenabilité, ni les effectifs de sous-traitants)

BE = Bureau d'Etude

SFH = Spécialiste Facteur Humain

SDR = System Design Responsible

L'équipe de maintenabilité est à l'origine de la demande de thèse. L'équipe de maintenabilité influence l'architecture et la conception de l'hélicoptère, le développement d'outillages et de procédures de maintenance dédiées aux opérateurs d'hélicoptère, les clients, pour la réalisation de leur maintenance, que l'hélicoptère soit en développement ou qu'il soit déjà en service. La maintenabilité est *« l'aptitude d'une entité à être maintenue ou remise en état de fonctionnement après une défaillance, au cours d'un intervalle de temps donné, afin d'être capable d'accomplir une fonction requise.* (Zafiharimalala, 2011). Les études en maintenabilité peuvent viser des buts multiples et utiliser divers moyens. Certaines études en maintenabilité visent la réduction des coûts, du temps et de la fréquence de la maintenance, d'autres utilisent des outils mathématiques et probabilistes pour analyser la fiabilité technique des produits, certaines cherchent à appliquer des normes ergonomiques du domaine aéronautique et/ou à utiliser des outils de conception d'aide à la simulation des tâches de maintenance (Conception assistée par ordinateur, mannequin numérique, réalité virtuelle)

(Bernard et al., 2015). Finalement les études en maintenabilité peuvent aussi porter un but de conception de l'hélicoptère et des procédures de maintenance pour la sécurité.

En 2021, l'équipe de maintenabilité et de Facteurs Humains, hors sous-traitants, comprend 6 SDRs (System Designer Responsible) de maintenabilité, un SFH (Spécialiste Facteur Humain) et 2 experts en maintenabilité (voir Figure 7). Ils sont soutenus par 4 architectes de Maintenance et un manager. En 2022, l'équipe de maintenabilité travaille avec 10 équivalents temps plein de personnes en sous-traitance dont un sous-traitant SFH. Par la suite, lorsque nous voudrons désigner sans distinction un membre du BE de maintenance nous utiliserons le nom **concepteurs de la maintenabilité.**

Les SDR de maintenabilité ont pour rôle de définir des systèmes performants, économiquement viables et maintenables. La maintenance est définie par les concepteurs de chaque système technique, le SDR de maintenabilité s'assure de fournir les exigences permettant d'atteindre des objectifs de coûts, sécurité et simplicité de la maintenance. Par exemple, lors d'un entretien exploratoire, un SDR de maintenabilité explique que les questions de risques d'erreur se posent dans les exigences de la maintenabilité, entre autres dans la conception des systèmes techniques. Il donne l'exemple de deux connecteurs se retrouvant côte à côte avec un risque identifié par le SDR que le mécanicien intervertisse leurs branchements.

> « *Alors les erreurs c'est dans nos études de maintenabilité, c'est dans toutes nos contraintes, nos exigences de maintenabilité. […] S'il y a les contraintes de design, ça, je le prends d'office en compte. Que si on a 2 connecteurs qui viennent à peu près au même endroit je vais faire en sorte que ça soit deux différents, que la prise soit différente, que la couleur soit différente aussi.* » (SM2 Entretien Exploratoire).

Ils sont assignés à un ou plusieurs types d'hélicoptères et peuvent collaborer avec les concepteurs d'outillage de maintenance de l'équipe outillage. L'équipe outillage conçoit des outillages spécifiques aux tâches de maintenance impossible à réaliser avec des outils standards de maintenance. Lorsque le SDR en maintenabilité identifie un besoin d'outillage pour la réalisation d'une tâche de maintenance, il implique l'équipe d'outillage.

Les Spécialistes Facteur Humain en maintenance (1 salarié d'Airbus Helicopters et 1 sous-traitant) apportent leur expertise Facteur Humain aux différents sujets traités par l'équipe de maintenabilité et réalisent des analyses facteur humain des tâches de maintenance (les analyses de type Human Hazard Analysis comme présentées dans la section suivante).

Les experts ont pour mission de développer le métier de maintenabilité et de manutention au sol (création des règles métiers, développement des méthodes et interface auprès des autres services) et réalisent des analyses de maintenabilité en qualité d'experts.

Les quatre architectes ont pour rôle de définir une maintenance cohérente entre les équipes du BE maintenance, optimisée, fiable et sécurisée en coordonnant le travail des équipes du BE Maintenance. Ils ont également un rôle d'interface et de soutient des membres des équipes du BE maintenance auprès des autres BE et départements du constructeur.

La conception de la maintenance est ainsi distribuée entre plusieurs départements au sein de l'entreprise. Le département de maintenance des bureaux d'études et plus spécifiquement le service maintenabilité est un des acteurs de la conception de la maintenance. Ce service regroupe des concepteurs ayant diverses fonctions mais qui participent tous à assurer une conception de la maintenance pour la sécurité aérienne. La partie suivante présente les outils qu'ils utilisent pour cela.

1.3 Concevoir pour la sécurité en maintenabilité, identification, évaluation et diminution du risque d'erreur

1.3.1 La méthode Human Hazard Analysis (HHA)

Les concepteurs en maintenabilité de l'entreprise accueillant la recherche cherchent à améliorer la sécurité de la maintenance. Pour cela, ils utilisent une méthode visant l'identification des risques d'erreur dans la réalisation des tâches de maintenance par les mécaniciens, la méthode Human Hazard Analysis (HHA). La très grande majorité des analyses Human Hazard Analysis (HHA) est réalisée par les Spécialistes Facteur Humain (SFH). La majorité du temps de travail des SFHs (le SFH interne à Airbus Helicoptère et un sous-traitant) est consacrée aux analyses HHA de tâches de maintenance et à l'analyse des incidents majeurs ayant pour cause désignée la maintenance. Le nombre de tâches à analyser par année est fixé en accord avec le service projet. Depuis 2021, les System Designer Responsible (SDR) en maintenabilité ont également reçu pour objectif individuel de réaliser au moins une analyse HHA dans l'année pour les impliquer dans cette démarche et développer leurs compétences dans ce domaine.

A l'origine, la méthode HHA a été conçue par Lawrence et Gill (2007) pour Airbus Commercial (la division avion d'Airbus) et a ensuite été modifiée par le service de maintenabilité d'Airbus Helicopters. La méthode HHA à Airbus Helicopters se décompose en 4 étapes (voir Figure 8) :

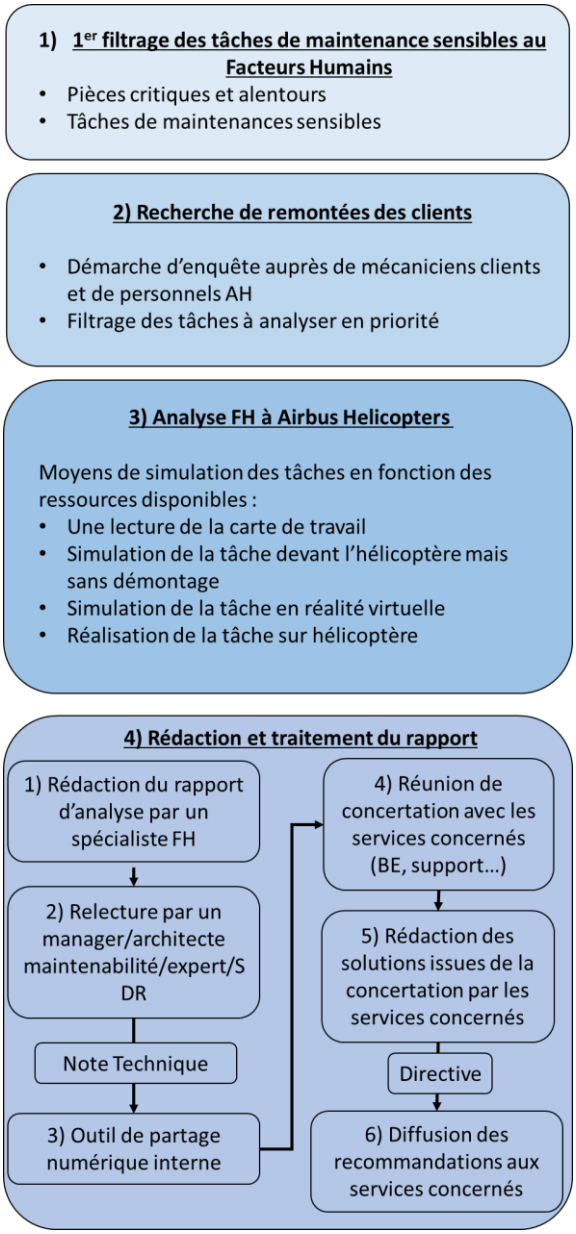


Figure 8 : Démarche Human Hazard Analysis

1) L'identification des pièces critiques et des tâches de maintenances associées pour le **choix des tâches de maintenances dites sensibles** aux Facteurs Humains (les tâches pour lesquelles une défaillance entrainerait un accident ou un incident en vol). Ce premier filtre des tâches de maintenance à analyser est réalisé par des ingénieurs d'un autre bureau d'études à la demande des concepteurs en maintenabilité.

2) L'enquête client : Cette enquête est un entretien de groupe réunissant des experts en maintenance, des mécaniciens clients (membres de l'association Helioffshore) et des concepteurs en maintenabilité d'Airbus Helicopters. Cette enquête est constituée de questions fermées visant l'évaluation du risque « d'erreur humaine » pour les tâches de maintenance

sensibles aux Facteurs Humains identifiées à l'étape 1 et de questions ouvertes visant le recueil d'un retour d'expérience client. Ils attribuent un score de 1 (pas de risque) à 5 (risque élevé) à différents critères : la fréquence de la tâche, l'accessibilité, les ressources de temps et de main d'œuvre, la documentation (procédure) et l'utilisation d'outils spéciaux.

3) **L'analyse Facteur Humain :** Les Spécialistes Facteur Humain (SFH) procèdent à une analyse des tâches considérées comme les plus sensibles par l'enquête client de l'étape 2. Cette analyse s'appuie sur des simulations pouvant être réalisées avec des mécaniciens d'Airbus ou par le SFH lui-même, selon différentes modalités comme le niveau de complexité des tâches et les ressources disponibles :

- Une lecture commentée des cartes de travail, en salle ou devant hélicoptère
- La réalisation et l'observation de la tâche en réalité virtuelle ou sur hélicoptère

Les SFH rédigent ensuite un rapport d'analyse, le rapport Facteur Humain (FH), qui s'appuie sur l'outil interne HEMEA, Human Error Mode and Effect Analysis. HEMEA est un tableau (voir Figure 9) inséré dans le rapport dans lequel le rédacteur indique pour chaque tâche analysée ; l'opération de maintenance décrite dans la carte de travail, le détail du risque d'erreur associé à l'opération de maintenance, un score de sensibilité aux facteurs humains, les recommandations pour diminuer la fréquence ou la gravité du risque et le score potentiel de sensibilité aux facteurs humains si ces barrières étaient mises en place. Les recommandations peuvent entre autres, impacter le design, les cartes de travail, la formation, les outillages. Le « score de sensibilité aux facteurs humains », est le produit de la probabilité d'occurrence de l'erreur et des conséquences de l'erreur et donne un score de 1 à 5 (voir Figure 10). Les recommandations proposées doivent pouvoir le faire descendre à 1 ou 2.

Opération de maintenance	Risque d'erreur	Score FH	Recommandations	Nouveau Score FH
OP1	Erreur 1	1	Design	1
OP2	Erreur 2	2	Carte de travail	1
OP3	Erreur 3	3	Formation	2
OP4	Erreur 4	4	Outillage	2
OP5	Erreur 5	5	Autre	2

Figure 9 : Reproduction fictive d'un tableau HEMEA

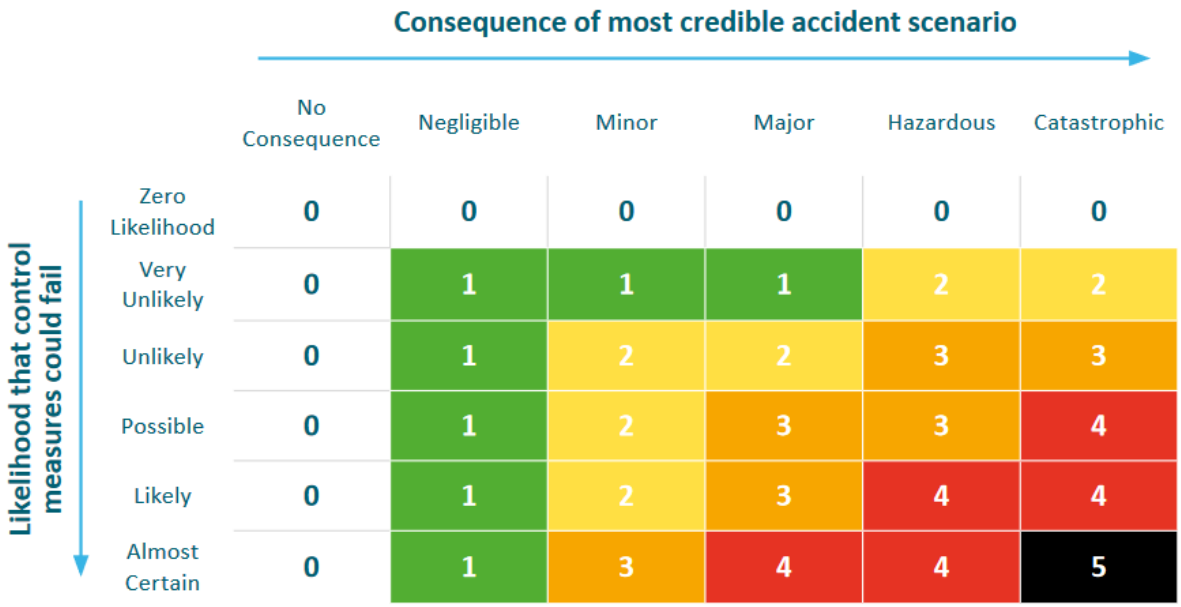


Figure 10 : Matrice de risque pour les scores Facteurs Humains (Gill & Courteney, 2021)

4) La relecture et le traitement collectif des rapports FH : Les rapports FH sont ensuite relus en interne du BE de maintenance par un SDR en maintenabilité, un expert et/ou un architecte pour d'éventuelles corrections ou modifications avant validation et communication aux acteurs de la conception concernés par les recommandations sous forme de « Technical Note (TN) » dans un outil de partage numérique de documents. Cette Technical Note sert d'objet intermédiaire de discussion et de négociation entre les SFH et les services concernés (rédacteurs de carte de travail, autres concepteurs de bureaux d'études) concernant les actions à prendre pour réduire les risques. Le document retraçant les décisions prises est déposé dans l'outil numérique de partage sous forme de « directive » à appliquer par les services concernés.

1.3.2 Les autres types d'analyse de la maintenance contenant une analyse de risque

L'analyse HHA est la seule analyse du service présentée comme étant spécifique à l'analyse des risques d'erreur en maintenance. Cependant, d'autres types d'analyses réalisées par les concepteurs en maintenabilité contiennent une analyse de risques. C'est le cas des analyses des causes racines d'incidents majeurs et des analyses de maintenabilité pour la conception. Ces analyses peuvent, par exemple, être réalisées à l'aide d'outils d'évaluation tels que le score d'accessibilité et la démarche PEAM (Preliminary Ergonomics Analysis in Maintainability) (Bernard, 2019) que nous présentons ci-dessous.

L'analyse des root causes d'incident majeur. - Un SDR maintenabilité est intégré au plateau des incidents majeurs. Le plateau Incidents Majeurs réunit des personnes de l'aviation safety (en charge de la sécurité aérienne), de la navigabilité (en charge de la conformité aux règles de navigabilité), du support client et des bureaux d'étude. Le rôle du SDR en maintenabilité est d'identifier, avec le collectif, les incidents qui peuvent avoir un lien avec la maintenance, de participer à l'analyse de la cause racine de l'incident et à la recherche de solutions. Ces solutions sont de natures protectives, c'est-à-dire de gestion de la cause pour réduire le risque d'occurrence d'un nouvel incident similaire (par exemple, communiquer aux clients le risque) et correctives, c'est-à-dire supprimant la cause racine de l'incident (par exemple en modifiant le design de l'hélicoptère).

L'analyse de maintenabilité pour la conception : Le processus de développement d'un système technique est normé et passe obligatoirement par des jalons regroupant les bureaux d'études concernés par le système technique conçu et le service projet. Ces jalons sont des réunions obligatoires et officielles dans lesquelles chaque acteur de la conception apporte ses propres contraintes et propositions de solution. Les concepteurs en maintenabilité y apportent leurs analyses de maintenabilité. Ces dernières peuvent être plus ou moins détaillées en fonction de la demande, des ressources engagées et des informations à disposition. Entre ces jalons, les concepteurs des différents bureaux d'études produisent des plans, des liasses détaillant les projets de changement de design. Ils produiront également une note technique de maintenance ou maintenance technical note (MTN) définissant l'impact du changement qu'ils identifient sur les besoins en maintenance, les tâches de maintenance à réaliser, ainsi que les intervalles à respecter pour la réalisation des inspections périodiques (par exemple une inspection visuelle du rotor tous les 2 ans, ou un contrôle sensitif du jeu des rotules des bielles de pas toutes les 50 heures de vol). Le rôle du concepteur en maintenabilité est de relire ces notes techniques, vérifier si elles sont en conformité avec la politique de maintenance et les exigences de maintenabilité, les valider ou les refuser en indiquant les conditions qui le feraient changer d'avis. La signature du SDR en maintenabilité est obligatoire pour valider les données techniques pour la maintenance (TN de maintenance) avant leur intégration dans la documentation technique de maintenance client.

Les produits des analyses de causes racines d'incidents et de maintenabilité sont :

- Des exigences de maintenabilité de maintenabilité, dont des risques d'erreur en maintenance, à prendre en compte par les concepteurs des systèmes techniques
- Des propositions de solutions qui peuvent être liées au design, aux procédures ou aux contenus de la carte de travail.

Ces analyses amènent les concepteurs en maintenabilité à réaliser des rapports d'analyses plus ou moins détaillés en fonction des besoins. Ces rapports peuvent prendre différentes formes :

- Le Maintainability Analysis Document et Technical Note de maintenance
- Des comptes rendus sous forme de mail ou de diaporama
- Des illustrations sous forme de photos, photo de réalité virtuelle, 3D.
- Des commentaires sur des rapports ou autres livrables du Bureau d'Etude
- Des fichiers 3D de design

Pour réaliser ces analyses, les concepteurs en maintenabilité peuvent utiliser différents outils d'analyses, de simulation et d'observation des tâches de maintenance. Nous détaillerons ces outils et leurs usages dans la première partie empirique de cette thèse.

Deux outils sont particulièrement utilisés pour les analyses de maintenabilité lorsque les concepteurs identifient un problème d'accessibilité dans la tâche de maintenance, le score d'accessibilité et PEAM. Ces outils ont un double objectif affiché d'aide à l'évaluation « objective » d'une situation de maintenance ou d'un risque et d'argument de spécialistes métiers à faire valoir auprès des concepteurs des systèmes techniques.

Le **score d'accessibilité** donne une note allant de A (très bonne accessibilité) à E (accessibilité impossible) aux tâches de maintenance (voir Figure 11). Le score d'accessibilité annonce la conformité d'un design envers les critères d'accessibilité pour la maintenance et le cas échéant, l'intention du concepteur en maintenabilité concernant les changements à réaliser dans la conception (forme des pièces, intégration, technologie, choix d'architecture, outillage ...).

Un score A n'amènera pas de demande de changement de la part du concepteur de maintenabilité tandis qu'une note C, D ou E doivent amener les concepteurs des systèmes techniques à modifier le design initial.

Maintainability mark	Description	Comments
A	Very good accessibility	No problem to perform the task (full accessibility)
B	Acceptable accessibility	The task is realizable but the accessibility is limited
C	Limited accessibility	The task is hardly realizable and can necessitate some preliminary task to be accessible
D	Problematic accessibility	The task is not realizable by Customer with the actual architecture and necessitates some modification (if the accessibility problem is not compensated by another way)
E	Impossible accessibility	The task is not realizable and no architecture modification is conceivable This accessibility reveals an important problem in the design - Blocking point

Figure 11 : Score d'accessibilité

Si la score de la tâche est de C, D ou E, et qu'ils le jugent nécessaire, la méthode **PEAM (Preliminary Ergonomics Analysis in Maintainability)** (Bernard, 2019) est à leur disposition pour affiner le score et être une ressource en vue d'un changement de design." PEAM vise l'intégration de critères ergonomiques dans la conception aéronautique et, comme le score d'accessibilité, sert d'objet intermédiaire de conception pour la collaboration entre les concepteurs en maintenabilité et les autres concepteurs des bureaux d'études.

PEAM aide les concepteurs en maintenabilité à déterminer la nature du protocole, les outils de simulation appropriés et les indicateurs ergonomiques pertinents à utiliser en fonction du type de tâche observée, de la zone concernée et de la phase de développement dans laquelle les concepteurs se trouvent. PEAM est destiné aux SDRs en maintenabilité non experts facteurs humains. PEAM demande au SDR en maintenabilité de renseigner des scores de 1 à 5 de gravité et de fréquence d'une liste de risques pour la santé et la sécurité des mécaniciens. Il intègre un outil de cotation du travail physique interne à Airbus (Emma) donnant un score lié à la charge, la posture, la visibilité et les conditions de travail environnementales (voir Figure 12). Les SDR en maintenabilité déterminent ainsi l'impact de la situation de maintenance et les risques globaux pour l'opérateur et l'hélicoptère.

Q	R	S	T	U	V
Ergonomy (A, B, C & D access rating)					
	PEAM method				
Rating			Occurrence	Severity for the machine	Severity for the operator
B	*Risks*	Fall	2	2	2
		Cut	2	2	2
		Collision	2	2	2
		Burn	2	2	2
		Contact with hydraulic	2	3	2
		Electricity	2	2	2
		Crushing	2	2	2
		Toxicity (Suffocation)	2	2	2
	EMMA	Charge	2		
		Posture	3		
		Visibility	3		
		Work condition	1		

Figure 12 : Grille d'analyse PEAM

Les outils utilisés par les concepteurs en maintenabilité pour réaliser les analyses de maintenabilité visent l'évaluation spécifique de l'accessibilité et des risques dans le travail des mécaniciens, et non explicitement les risques pour la sécurité aérienne. C'est pourquoi la méthode HHA a été créée. Cependant nous montrerons dans nos résultats, que les outils d'analyse de maintenabilité peuvent également être un support d'analyse de risque et que les concepteurs en maintenabilité s'intéressent à la sécurité aérienne même sans utiliser HHA.

1.4 Conclusion

Les concepteurs en maintenabilité participent à la conception de la maintenance, la conception et la maintenance étant toutes deux distribuées entre un réseau d'acteurs. Ils participent à la production des procédures de maintenance, des cartes de travail et au design de l'hélicoptère dans un objectif de réduction des risques dans la réalisation des opérations de maintenance, pour la sécurité aérienne, la sécurité des mécaniciens et l'optimisation des coûts. Pour cela, ils ont conçu des outils d'analyse des tâches de travail et d'analyse de risques d'erreur en maintenance. Ces outils les aident à quantifier objectivement les risques dans les situations de maintenance et servent d'objet intermédiaire de négociation auprès des autres concepteurs. Dans un souci d'amélioration continue tant du contenu des analyses que de leur insertion dans le processus de conception, les concepteurs en maintenabilité cherchent un soutien scientifique à leur démarche de réduction du risque d'erreur en maintenance. Le cadre théorique s'attachera donc à questionner l'approche de la sécurité par la suppression ou la diminution du risque d'erreur, à comprendre l'activité des concepteurs ainsi que les pratiques et théories de conception existantes visant la sécurité.

Le produit du travail des concepteurs en maintenabilité est une des constituantes des situations de travail des mécaniciens, mécaniciens qui sont des acteurs clés de la sécurité de la maintenance car ce sont eux qui réalisent la maintenance pensée par les concepteurs. Ce sont les destinataires des cartes de travail et les personnes qui travailleront sur l'hélicoptère conçu par le constructeur. Pour soutenir l'activité de conception des concepteurs en maintenabilité il est donc indispensable de comprendre l'activité des mécaniciens et leur contribution à la sécurité aérienne par la maintenance.

2. Chapitre 2 Cadre théorique

Le cadre théorique débute par la présentation et la discussion de la notion d'erreur mobilisée dans la demande industrielle et dans le modèle classique de la sécurité. Nous argumenterons que la focalisation sur les erreurs ne permet pas de comprendre comment les travailleurs construisent la sécurité (cf. §2.1). Nous nous inscrivons dans une vision constructive de la sécurité articulant les notions de sécurité en action, sécurité réglée et gérée et de compromis (cf. §2.2). Nous présenterons pour finir les différences d'approche de l'organisation de la conception pour la sécurité en fonction des modèles de sécurité mobilisés, le modèle classique et le modèle constructif (cf. §2.3). Nous nous positionnerons pour une approche participative de la conception pour la sécurité.

2.1 Voir au-delà de l'erreur

Dans cette section nous discuterons de la place de l'erreur dans la sécurité. Nous commencerons par présenter le modèle classique de la sécurité généralement mobilisé dans l'industrie. Ce modèle se focalise sur l'identification et la prévention des erreurs (cf. §2.1.1). Nous présenterons ensuite les travaux s'intéressant aux erreurs de maintenance aéronautique (cf. §2.1.2) avant de nous appuyer sur les travaux en ergonomie de l'activité pour critiquer le modèle classique de la sécurité (cf. §2.1.3) et présenter une nouvelle approche de l'erreur (cf. §2.1.4).

2.1.1 L'ancienne vision de l'erreur et la vision classique de la sécurité

Après la seconde guerre mondiale et jusqu'aux années 50 la sécurité était vu uniquement sous l'angle de la fiabilité des matériels, la fiabilité technique. Dans les années 1970, la psychologie cognitive s'intéresse à la notion d'erreur pour elle-même (Reason, 2004) et ce, guidée par des recherches sur l'apprentissage. L'étude des erreurs humaines a pris ensuite de l'ampleur suite à l'accident de Three Mile Island en 1979, les catastrophes de Challenger et de Tchernobyl en 1986 et d'autres accidents (Hadj-Mabrouk & Hadj-Mabrouk, 2004; Rankin et al., 2000). L'intérêt croissant pour les erreurs humaines a eu pour conséquence de mettre en lumière l'impact qu'a l'activité humaine sur la sécurité des systèmes. Les théories de l'erreur produites ont été suivies de près par celles de leur détection (Amalberti, 2004). Cette focalisation sur les

erreurs humaines et la performance humaine entraine les industries à augmenter la part attribuée aux erreurs humaines dans les accidents de 20 % en 1960 à 80% en 1990 (Reason, 1995).

Durant cette période d'intérêt industriel pour l'erreur, et jusqu'à aujourd'hui dans certains secteurs, Amalberti (2004) identifie trois dogmes prédominants en industrie concernant la notion de l'erreur :

- L'erreur ou la défaillance technique perturbent l'activité, la performance et la sécurité. Il faut les rendre plus difficiles, les réduire au maximum ;
- Il faut développer des défenses en profondeur pour les détecter précocement, les récupérer, et empêcher toutes conséquences critiques ;
- Les violations et les libertés prises avec les lois et les règlements sont la cause d'erreurs. Une certaine marge d'adaptation dans l'interprétation des règles est parfois tolérable, mais cette tolérance ne saurait en aucun cas justifier un « laisser aller » et des prises de risques systématiques.

C'est ce que Dekker (2014b) désigne comme l'ancienne vision de l'erreur. Dans l'ancienne vision, l'erreur humaine est considérée comme étant la cause principale des défaillances, c'est un comportement individuel à combattre par l'organisation. Pour éviter les erreurs, les travailleurs doivent alors suivre les procédures prévues par l'organisation qui visent l'élimination complète du nombre d'erreur et d'accident. Dekker (2014a) décrit cette vision de la sécurité basée sur l'ancienne vision de l'erreur avec une liste d'affirmations :

- Les procédures représentent le moyen le mieux pensé, et donc le plus sûr, pour effectuer un travail.
- Le suivi des procédures est le plus souvent une activité mentale simple basée sur des règles SI ALORS : SI cette situation se produit, ALORS cet algorithme s'applique.
- La sécurité résulte du fait que les personnes suivent les procédures.
- Pour progresser en matière de sécurité, les organisations doivent améliorer la connaissance des procédures des opérateurs et s'assurer que les procédures sont suivies.

L'erreur est alors connotée négativement (Neboit et al., 1990) et peut être définie comme tout écart de performance d'une séquence prescrite d'action (Leveson, 2004) ou comme « *tout comportement humain ne respectant pas le bon usage et pouvant conduire de façon involontaire à des préjudices divers* » (Pellerin, 2008). Dans la littérature, l'erreur humaine sert à l'explication de 65% des accidents dans les transports ferroviaires (Mayle, 1995 et Sihol &

Tomezak, 1998, cité par Hadj-Mabrouk & Hadj-Mabrouk, 2004), 77% dans l'aviation civile, 74% dans le nucléaire civil et 75 % dans la médecine (Amalberti, 2001a). Dans le secteur de la sécurité industrielle, l'erreur renvoie aux actions (ou inactions) qui ont créé du risque, voire des dommages. L'erreur est ici étroitement mêlée à ses conséquences, et aux défaillances de la chaîne de détection et de récupération (Amalberti, 2004).

Reason définit l'erreur également par un écart avec l'attendu mais la distingue de la violation en se basant sur la notion d'intentionnalité. L'erreur est pour lui toujours involontaire et peut définir « *tous les cas où une séquence planifiée d'activités mentales ou physiques ne parvient pas à ses fins désirées, et quand ces échecs ne peuvent pas être attribués à l'intervention du hasard* » (Reason, 1990, page 31). Au contraire de l'erreur, la violation est un écart volontaire à une référence, des procédures prescrites par les concepteurs sans volonté de préjudice. Selon Reason (1995) la violation des procédures de sécurité amène l'opérateur à prendre des risques car il entre alors dans une zone de travail pour laquelle les dangers ne sont pas compris et les erreurs en résultant sont moins facilement rattrapables. L'erreur est souvent abordée comme découlant d'une mauvaise formation de l'opérateur (Amalberti, 1996) associée à la notion de responsabilité et de culpabilité (Leplat, 1982) et l'évocation d'une erreur humaine suffit donc à conclure une enquête d'accident (Dekker, 2014b).

La recherche de la suppression des erreurs pour l'évitement du risque se base sur une vision de la sécurité qu'Hollnagel (2014) qualifie de « classique » ou de « safety I » : la sécurité serait l'absence de risque. Qualifier cette vision de la surdité de « classique » ou de « safety I » est le moyen pour Hollnagel de la comparer avec les nouvelles visions de la sécurité que nous présenterons dans la section 2.1.4.

La notion de risque prend des définitions variables en fonction des disciplines qui la mobilisent et de l'intention qu'y mettent ses utilisateurs. Les études probabilistes de fiabilité, dominantes dans l'analyse des risques en industrie (INERIS, 2011), permettent de combiner les probabilités d'événements susceptibles de mener à un accident et mobilisent une conception quantitative du risque (Kermisch, 2012)**.** Le risque est conçu comme la mesure du potentiel de dommages avec des estimations du risque basées sur la construction de scénarios. La volonté ici n'est pas tant de décrire un risque objectif mais plutôt de chiffrer son potentiel de dommage (Kermisch, 2012). Dans la vision classique de la sécurité, un système serait alors sûr si le nombre d'évènements nuisibles et leurs conséquences, sont acceptables et ba**s** (Hollnagel, 2014).

Selon Dekker (2014a), l'aviation civile s'inscrit dans l'ancienne vision de l'erreur et la vision classique de la sécurité. L'intérêt du service de maintenabilité pour l'identification du risque d'erreur et de sa réduction n'est effectivement pas un cas isolé et s'inscrit dans la lignée des recherches sur les erreurs en maintenance aéronautique. Nous présentons dans un premier temps les travaux portant sur l'erreur en maintenance aéronautique avant de nous intéresser aux travaux critiquant la vision classique de la sécurité et la vision ancienne de l'erreur et de présenter l'approche nouvelle de l'erreur.

2.1.2 Les erreurs en maintenance aéronautique

Les erreurs en maintenance aéronautique ont fait l'objet de classification par de nombreuses études. Saleh et al (2019) présentent la maintenance comme étant un facteur causal d'accidents dans 14 à 21 % des accidents d'hélicoptères de la flotte civile américaine entre 2005 et 2015 directement liés à des erreurs humaines.

Certaines études cherchent à classifier les comportements des opérateurs menant aux erreurs de maintenance. Par exemple Graeber et Marx (1993, cité par Marais & Robichaud, 2012) ont répertorié 122 erreurs de maintenance sur 2 ans et les ont classées dans 4 catégories : omission (56%), installation incorrecte d'une pièce aéronautique (30%), choix d'une mauvaise pièce à installer (8%), et autres (6%). Hobbs (2001, cité par Shanmugam & Robert, 2015) a quant à lui trouvé que le contributeur majeur d'erreur est un mauvais usage des outils par les opérateurs.

D'autres s'intéressent aux conséquences de ces erreurs. En 1992, la Civilian Aviation Authority (CAA) au Royaume-Uni a conduit une étude sur les erreurs de maintenance apparues sur trois années. Selon cette étude, les erreurs les plus fréquentes sont l'installation incorrecte des composants, le montage de pièces incorrectes, un câblage électrique non conforme, des objets non fixés laissés dans l'avion, une lubrification insuffisante, des capots/panneaux d'accès/carénages non fixés, des bouchons de réservoir de carburant et des panneaux de ravitaillement non fixés, et des goupilles de freinage au niveau du train d'atterrissage non retirées avant le départ (Marais & Robichaud, 2012). Boeing et l'US Air Transport Association members (Boeing/ATA, 1995 cité par Rankin et al., 2000) ont de leur côté mis en avant le fait que la maintenance doit être située comme un facteur parmi d'autres qui a contribuée à 39 accidents sur 264 (15%) suite à une perte de la coque d'avions commerciaux entre 1982 et 1991. Dans ces 39 accidents :

- 23% impliquent une installation ou un retrait incorrect de pièces ;

- 28% impliquent une erreur d'inspection du constructeur ;
- 49% impliquent une erreur due à la politique de maintenance/inspection de la compagnie aérienne ;
- 49% impliquent le design de l'appareil.

Cette étude décentre en partie l'étude de l'erreur du seul mécanicien et place sur le même niveau les erreurs de réalisation des tâches de maintenance (installation et retrait de pièces), les erreurs engageant la responsabilité des opérateurs et société de maintenance (politique de maintenance/inspection) et les erreurs ayant lieu chez le constructeur dans sa vérification qualité (inspection) et la conception (Design).

Cependant, la grande majorité des études sur l'erreur en maintenance aéronautique se focalisent sur l'erreur réalisée par le mécanicien, même si certaines cherchent à l'expliquer en s'intéressant aux situations de travail des mécaniciens. Par exemple, en fonction des contextes, de nombreux facteurs de risque d'erreur ont été mis en avant ; l'organisation, le management, l'accessibilité des outils et équipements, la formation, les pressions commerciales, la programmation de la maintenance, les communications (Latorella & Prabhu, 2000). En effet, en aéronautique les opérateurs de maintenance travaillent dans un contexte de temps limité, de retour sur leur travail faible et de conditions environnementales difficiles (Chang & Wang, 2010). Selon l'AFIM (s.d.), en 2006-2007, toutes industries confondues, 62% des opérateurs de maintenance considèrent la maintenance pénible et 61% dangereuse. La majorité des études sur le sujet concluent que la pression temporelle et le manque de connaissances techniques ou de formation sont les principales raisons d'erreur de maintenance (Dalkilic, 2017). Ces études soulignent l'importance de s'intéresser aux contraintes auxquelles font face les mécaniciens en lien avec l'organisation de la maintenance pour expliquer les erreurs.

Les travaux s'intéressant à l'erreur en maintenance aéronautique se placent majoritairement dans la vision classique de la sécurité. Cependant certains auteurs cherchent à comprendre les mécanismes de survenue de l'erreur pour identifier les dysfonctionnements de l'organisation plutôt que les défaillances de l'opérateur tout en restant focaliser sur la notion d'erreur. Nous présentons dans les parties suivantes une critique des approches centrées sur l'erreur pour ensuite présenter la nouvelle vision de l'erreur et une autre approche possible de la sécurité.

2.1.3 Critique des approches centrées sur les erreurs

Les approches centrées sur l'erreur mobilisant le modèle classique de la sécurité ont permis aux industries aéronautiques d'être considérées comme des industries ultrasûres avec une diminution du taux d'accidents mortels rapportés au nombre d'heure de vol de 9% par an en moyenne depuis 1987 (DGAC, 2019). Cependant, ces approches ont amené les résultats des luttes pour la sécurité en industrie à un plateau (Amalberti, 2004). La légitimité croissante de l'erreur humaine en tant que concept de recherche psychologique a conduit au développement d'outils et de techniques pour la mesurer et la gérer. Mais ces outils ne font que compter la fréquence à laquelle une personne porte un jugement négatif sur les performances d'une autre (Dekker, 2014). Ceci est considéré par certains comme le résultat des politiques sécuritaires des entreprises amenant « *un encadrement et une technicisation renforcés des postes de travail et de l'organisation horizontale des ateliers* » et « *une sous-considération pour les facteurs les plus à risques pour la sécurité des grands systèmes (notamment les stratégies de la direction, et l'organisation verticale de l'entreprise*) » (Amalberti, 2004). Il en résulte une multiplication des procédures, un durcissement des vérifications de leurs suivis qui peut en retour diminuer la possibilité des opérateurs à développer leurs jugements propres et à s'adapter aux situations variables auxquelles ils font face (Dekker, 2014b). De plus, la simple application des règles initiales est une « fiction » et peut même être la source d'accident (de Terssac & Mignard, 2011). Paradoxalement la recherche de toujours plus de contrôle de l'action des travailleurs par toujours plus de règles de sécurité amène une augmentation des violations de règles (Reason, 1990). L'augmentation et la normalisation de ces violations peut alors entrainer une diminution de la valeur des règles. Lorsque les règles de sécurité sont conçues seulement pour protéger la responsabilité de l'organisation dans la survenue des accidents, le travailleur se verra évaluer sur la bonne exécution des règles et non sur la sécurité de ses actions. Alors que suivre la règle sans jamais s'en écarter amènerait « mécaniquement » une baisse de la performance car le travailleur ne pourra plus s'appuyer sur ses routines, ce qui ne serait pas toléré par l'organisation (Amalberti, 2013).

Dekker (2014) considère alors que la focalisation de l'organisation sur les erreurs humaines est contre-productive. L'accent est mis sur l'erreur humaine qui devient très vite une cible d'intervention : les humains sont considérés comme la cause des problèmes de sécurité. Certains auteurs mettent également en doute l'utilité des modèles mathématiques de prédiction d'erreurs et l'utilisation de valeurs numériques dans l'étude de la sécurité (Dien et al., 2012 ;

Fujita and Hollnagel, 2014, cité par Grant et al., 2018) en sachant que la gestion des variations de la performance et de la sécurité dans le travail des mécaniciens n'y est pas visible (Ward et al., 2010). De plus, ces outils de remontées d'erreurs ne permettent pas une analyse globale du système étudié car ils sont utilisés par des services distincts dans l'entreprise (Latorella & Prabhu, 2000). L'attention portée à l'erreur humaine tend également à se nourrir d'elle-même. C'est-à-dire qu'en cherchant les erreurs, on les trouve. Au final, Dekker (2014b) affirme que mettre l'accent sur l'erreur simplifie l'histoire extrêmement complexe de la façon dont les personnes contribuent à créer la sécurité.

2.1.4 La nouvelle vision de l'erreur et de la sécurité

En réponse à ce qu'il appelle l'ancienne vision de l'erreur, Dekker propose de réfléchir sur la base d'une nouvelle vision de l'erreur. La nouvelle vision selon Dekker (2014b) considère l'erreur comme étant un symptôme qu'il faut investiguer pour comprendre les facteurs de risques de l'erreur. La Figure 13 est un extrait du livre « The field guide to understanding human error » de Dekker (2014b) qui donne les principales différences entre les deux visions de l'erreur.

Old View	New View
Says what people failed to do	Tries to understand why people did what they did
Says what people should have done to prevent the outcome	Asks why it made sense for people to do what they did

Figure 13 : Différences d'approches entre l'ancienne et la nouvelle vision de l'erreur (Dekker, 2014b, p7)

L'erreur est alors l'élément permettant le début et non la fin d'une investigation. La nouvelle vision de l'erreur est compréhensive dans le sens où elle cherche à comprendre pourquoi la personne a agi comme elle l'a fait en admettant que cette action avait un sens dans l'action et pour la construction de la sécurité, même si elle a ensuite été qualifiée d'erreur par l'organisation.

La nouvelle vision de l'erreur redéfinit alors l'erreur en replaçant le travailleur et ses actions dans le système de travail comme le fait Rasmussen. Selon Rasmussen (1982) l'erreur est une action normale de l'activité humaine et "*can in a way be considered as unsuccessful*

experiments with unacceptable consequences ». L'erreur serait alors un résultat d'une action qui est jugée comme non acceptable dans un contexte où l'opérateur n'a pas pu « *mettre en œuvre* [ses] *compétences, pour des raisons liées à la conception des systèmes, de l'interface, à l'organisation, à la formation* » (Daniellou et al., 2010). Afin de développer ses compétences, le travailleur a besoin d'une organisation du travail lui permettant d'observer et revenir sur ces actions lorsque leurs conséquences sont jugées comme mauvaises et ce avant qu'elles n'amènent à des conséquences jugées inacceptables. L'erreur apparaît alors dans des environnements ne permettant pas cela (Rasmussen, 1982). Par exemple, en maintenance aéronautique, il peut se passer beaucoup de temps entre le moment où l'opérateur « commet une erreur » et les conséquences de celle-ci [1](Graeber & Marx, 1993, cité par Latorella & Prabhu, 2000) ; ce qui réduit leur capacité à les repérer avant que leurs conséquences ne soient inacceptables et à apprendre d'elles.

Ces nouvelles approches de l'erreur qui se développent sur la scène internationale reconnaissent qu'il y aura toujours des situations dans lesquelles aucune règle n'est disponible ou dans lesquelles les variations des circonstances locales remettent en cause l'applicabilité des règles disponibles. Elles admettent aussi que, dans ces cas, la sécurité repose sur la capacité des travailleurs à juger de l'applicabilité des procédures et mener des adaptations (Dekker, 2003).

Ces deux points font fortement écho avec les approches développées par l'ergonomie de l'activité présentées dans la section suivante (de Terssac & Gaillard, 2009 ; Nascimento et al., 2013 ; Rocha et al., 2015).

[1] Lors d'un accident d'avion, une faute de maintenance n'a eu un effet observable que 17 mois après son occurrence (NTSB, 1990 cité par Latorella & Prabhu, 2000).

2.2 La sécurité en action, l'articulation de la Sécurité réglée et Gérée par la construction de compromis microcentrés et macrocentrés

Cette section oppose au modèle classique de la sécurité un modèle constructif que nous chercherons à comprendre à l'aide des notions de sécurité en action (cf. §2.2.1), d'articulation entre Sécurité Réglée et Sécurité Gérée (cf. §2.2.2) et de compromis micro et macro centrés (cf. §2.2.3).

2.2.1 L'approche constructive de la sécurité, la gestion des situations par la sécurité en action

Cette section propose un modèle constructif de la sécurité qui place les travailleurs comme acteurs de la construction de la sécurité au sein de situations de travail variables. Nous présenterons ci-dessous l'approche constructive de la sécurité et ce qui caractérise les situations de travail selon l'ergonomie de l'activité ainsi que la manière dont les travailleurs agissent en sécurité dans ces situations selon le concept de sécurité en action.

2.2.1.1 Voir au-delà du risque, construire la sécurité

Nous avons vu que la vision classique de la sécurité ou Safety I est définie par l'absence de risque. La définition que nous adopterons dans cette thèse est celle utilisée pour décrire la sécurité dans sa vision constructive et adaptative. Dans une vision constructive de la sécurité, *« la sécurité ne résulte pas seulement de l'élimination des dysfonctionnements […] ou uniquement de la définition de réponses préplanifiées aux erreurs ou échecs […] ; elle résulte de la capacité à réussir dans des conditions variables, en faisant appel à toutes les ressources disponibles* » (Nascimento et al., 2013). La sécurité est alors la capacité d'un système à fonctionner en faisant face aux variabilités de telle sorte que le nombre de résultats attendus et acceptables soit aussi élevé que possible, c'est ce qu'Hollnagel (2015) appelle « Safety II ». Pour faire face aux variabilités en agissant en sécurité, les travailleurs développent des compétences ce qui crée en retour de nouvelles ressources pour agir en sécurité. C'est dans ce sens que Nascimento et al. (2013) parlent de sécurité construite. La notion de sécurité construite rejoint celle de la sécurité adaptative : dans cette thèse, elles seront considérées comme synonymes.

L'approche adaptative s'intéresse à la sécurité en action (Nascimento et al., 2013). La sécurité en action « *consiste à mettre en situation les règles de sécurité et surtout à agir en sécurité par la mise au point de compromis débouchant sur un ordre sécuritaire négocié* » (de Terssac & Gaillard, 2009 p 32) par le travailleur dans l'action et par l'organisation dans la conception des règles. L'approche adaptative se repose alors sur l'intelligence des différents acteurs pour agir en sécurité (Nascimento et al., 2013). En effet, les travaux en ergonomie s'intéressant à la sécurité montrent que les travailleurs, en excluant les actes de malveillance, ont toujours le souci d'arriver aux résultats visés dans des conditions de sécurité (de Terssac & Gaillard, 2009).

2.2.1.2 Agir en sécurité par la gestion des situations, lien entre activité, contraintes et ressources

L'approche de la sécurité en action met l'accent sur l'intégration des règles de sécurité dans l'action au sein d'une **situation de travail** particulière. « *La sécurité est la construction des liens entre les règles et l'action, entre les opérateurs et la situation concrète* » (de Terssac & Gaillard, 2009 p 16). Comme de Terssac et Gaillard (2009), de la Garza et Weill Fassina (1995) considèrent que la sécurité émerge de la gestion des situations. La gestion des situations serait « *une gestion des contraintes de production et de sécurité, des dysfonctionnements et des "aléas"* » (de la Garza & Weill-Fassina, 1995). L'activité se construit alors en permanence par la gestion des situations, des buts et des contraintes en mobilisant des ressources (Coutarel et al., 2015).

Les notions de situations, de contraintes et de ressources sont centrales dans cette thèse. Dans cette section nous nous écarterons donc provisoirement des concepts développés pour la sécurité en action pour présenter les concepts de l'ergonomie de l'activité nous permettant de comprendre ce qu'est une situation de travail, une contrainte et une ressource. Nous reviendrons ensuite sur la manière dont les travailleurs agissent en sécurité dans les situations de travail selon le concept de sécurité en action (cf. §2.2.1.3).

L'intérêt pour les situations dans lesquelles agissent les travailleurs est fondamental en ergonomie de l'activité. En effet, le courant de l'ergonomie de l'activité ne peut comprendre l'activité qu'en la considérant « *comme un tout noyé dans un contexte significati*f » (Hollnagel, 1993 cité par Leplat, 2000). Autrement dit, l'activité est construite par un opérateur donné

comme une réponse à un contexte, une situation donnée (Wisner, 1995 cité par Caroly, 2010). La situation de travail est toujours singulière, avec de nombreuses sources de variabilités et détermine en partie l'activité du travailleur (Daniellou et al., 2010).

L'activité est définie comme ce qui est mis en jeu par le travailleur pour répondre à la tâche effective, c'est-à-dire les buts et les conditions réellement pris en considération par l'opérateur dans le travail, en opposition à la tâche prescrite par les décideurs/concepteurs/management (Leplat & Hoc, 1983). Les conditions de la tâche sont décrites par Leplat et Hoc (1983) comme des contraintes ; sur les états (par exemple l'état initial d'usinage d'une pièce, ses états intermédiaires et son état final), sur les opérations admissibles dans la transformation des états et sur la procédure (la manière de réaliser les opérations).

Ces contraintes de la tâche sont une des composantes des situations de travail qu'il est nécessaire de comprendre pour étudier l'activité. Dans le langage courant la contrainte est liée à une gêne, une limitation imposée par les circonstances, par la société ou par un tiers obligeant une personne à agir contre sa volonté (CNRTL, s.d.). Guérin et al. (2021) donnent plusieurs définitions de la contrainte retrouvées dans la littérature qui indiquent une limitation dans l'action. Selon les auteurs et les disciplines, la contrainte :

- Réduit les degrés de liberté d'un système, dans le domaine de l'intelligence artificielle ;
- Est une restriction des actions possibles, dans le domaine de la résolution de problèmes ;
- Est une règle limitant la solution d'un problème, dans le domaine de l'ordonnancement.

Mais ces limitations n'entrent pas systématiquement en conflit avec la volonté des travailleurs, les empêchant d'attendre un objectif. La notion de contrainte a été utilisée par Newell (1989) pour expliquer le comportement moteur d'un sujet. Le comportement moteur émergerait de l'interaction des contraintes au sein d'un système de contraintes. Ces contraintes peuvent être regroupées en trois catégories : les contraintes liées à la tâche, les contraintes liées à l'environnement et les contraintes liées au sujet. Dans ce contexte les contraintes ne sont pas simplement des limitations biologiques qui obligent le sujet à avoir un comportement moteur particulier. Les contraintes sont vues comme « *des frontières ou des fonctionnalités qui limitent la recherche de solution optimale d'organisation des systèmes complexes biologiques* » (Lémonie, 2019). Elles jouent alors un rôle important dans la production du mouvement en situation. De plus, ce système de contrainte est dynamique. Le système de contraintes se transformera au cours du temps en fonction de l'évolution du sujet et de la situation de travail,

c'est-à-dire des contraintes de la tâche et de l'environnement, (Saury, Nordez et Sève, 2010 cité par Lémonie, 2019). L'idée que les travailleurs évoluent dans un système de contraintes dépasse la production du mouvement et concerne l'ensemble de l'activité.

Pour Falzon (2004) les contraintes font partie intégrante de l'activité et ne se résument pas à l'imposition de limitations au travailleur. Selon lui la tâche effective « *est constituée par les buts et les contraintes que se donne le sujet* ». Les travailleurs peuvent transgresser et s'ajouter des contraintes. Par transgresser nous comprenons que les travailleurs mettent de côté les contraintes s'ils en minimisent la nécessité ou si cette transgression leur semble être positive pour l'atteinte de leur objectif. Ils peuvent aussi s'ajouter des contraintes pour atteindre par exemple une meilleure qualité des résultats ou limiter l'appel aux collègues ou l'usage de certains outils. Richard (1995, cité par Chevalier & Cegarra, 2008) distingue deux types de contraintes en fonction de leur provenance. Il y a les contraintes explicites qui sont les règles attribuées auxquelles le travailleur devra se confronter, règles qui lui indiquent ce qu'il peut ou ne peut pas faire. Les contraintes implicites ou supplémentaires sont les règles que le travailleur se donne à lui-même pour réaliser son travail en fonction de ce qu'il comprend des contraintes explicites.

Les contraintes peuvent permettre aux travailleurs de mobiliser des ressources par leur engagement et leur adaptation en situation (Villemain & Lémonie, 2014). Les contraintes pourront alors impacter positivement l'apprentissage et le développement au travail (Villemain & Lémonie, 2014). Paries (2021) parle de contraintes qui « dé-contraignent » lorsqu'elles sont porteuses de solutions et génératrices de créativité. Il prend l'exemple des règles d'un jeu qui créent l'espace de liberté de ce jeu.

Nous retiendrons que les travailleurs gèrent un système dynamique de contraintes, imposées par l'environnement ou choisies par les travailleurs, contraintes qui peuvent limiter leurs possibilités d'action mais aussi être des guides pour l'adaptation aux situations.

Au-delà de la gestion des contraintes, l'activité consiste également à gérer les **ressources** du système (Cuvelier, 2011; Weill-Fassina & Pastré, 2004). Villemain & Lémonie (2014) étudient l'apprentissage-développement de techniciens hivernants dans leur article sur le travail sur la base scientifique Dumont D'Urville en Antarctique. Ils y présentent les ressources mobilisées par les techniciens pour adapter leur travail et nous donnent plusieurs caractéristiques de la notion de ressource. Une ressource est ce qui permet de rechercher activement des solutions et de « faire les choses ». C'est ce qui permet d'adapter l'activité aux contraintes en dessinant un

champ de possibilités variées d'usage. De la même manière, Coutarel et al. (2015) considèrent que développer les ressources de la situation, c'est développer les possibilités pour les travailleurs de répondre aux exigences du travail dans des conditions qui favorisent la prise en compte des différentes modalités de leur mobilisation. Ils ajoutent que ces ressources ne sont pas stables du fait des changements et de la variabilité des situations de travail et des ressources internes des travailleurs, variables entre personne et variables dans le temps (fatigue, douleurs etc.) (Coutarel et al., 2015), ce qui amènera les travailleurs à réajuster constamment leurs modes opératoires. Selon Falzon (2013), l'observation et la réflexion autour de son propre travail amène l'opérateur à élaborer des ressources internes (savoir sur le travail, sur soi, nouvelles procédures) et externes (outils adaptés). Ces ressources peuvent être sociales (l'aide d'un collègue), cognitives (savoirs faire et connaissances) ou techniques (outils, procédures). Le développement des ressources est vu comme une condition au développement du travail et du travailleurs. L'auteur prend l'exemple de travaux sur le développement des compétences gestuelles ou le développement des ressources psychosociales soutenu par les collectifs de travail qui peuvent être eux-mêmes des ressources pour le développement.

Les travailleurs gèrent les situations variables en mobilisant des ressources face à des contraintes qui limitent et/ou guident l'action. Selon le concept de sécurité en action, gérer les situations variables pour construire la sécurité suppose pour les travailleurs d'adapter ce qui peut être considéré tant comme des contraintes ou des ressources dans l'action, les règles de sécurité. Nous présentons dans la section suivante en quoi ces règles de sécurité peuvent être des ressources ou des contraintes pour agir en sécurité.

2.2.1.3 Agir en sécurité par l'usage et l'adaptation des règles de sécurité

La sécurité n'est pas une composante détachée du travail quotidien mais, au contraire, se construit dans l'action à travers l'usage et l'adaptation des règles de sécurité par le travailleur pour atteindre un but tout en gérant les risques, c'est l'action en règle ou l'action réglée (de Terssac & Gaillard, 2009 p 16). Les règles de sécurité permettent la construction de la sécurité en action si elles sont des moyens d'action pour le travailleur, des ressources pour faire face à la situation et non des contraintes sous forme de prescription à appliquer mécaniquement (de Terssac & Gaillard, 2009, p. 14). La conception et l'évolution des règles de sécurité sont donc une part intégrante de la construction de la sécurité pour la sécurité en action.

De Terssac et Mignard (2011) définissent la règle de sécurité par « *une rencontre entre d'une part, un dispositif prévu pour protéger les destinataires* (c'est-à-dire les procédures, les règles de sécurité etc.*) et d'autre part, une disposition de ses utilisateurs à la mobiliser, à se l'approprier pour travailler sans danger* (de Terssac & Mignard, 2011 p 233-234). Pour le travailleur, les règles de sécurité sont un moyen de s'adapter à un environnement qu'il doit qualifier pour agir d'une façon qui ne sera pas toujours idéale, mais satisfaisante au regard de la sécurité et de la performance (de Terssac & Gaillard, 2009 p 19). Le travailleur pourra choisir une règle de sécurité pertinente en mobilisant son savoir des situations et de l'élaboration de la règle. *« Pour éviter l'accident, il vaut mieux s'en remettre à son expérience qu'à l'application mécanique des règles de l'encadrement. »* (de Terssac & Gaillard, 2009 p 32). De Terssac et Gaillard (2009 p32) parlent d'intelligence de la règle, qui est la capacité de douter de l'universalité de la règle en la confrontant au réel de la situation.

Les raisons pour lesquelles les règles de sécurité ne sont pas toujours appliquées et /ou applicables sont multiples. Pour Leplat (2000), une règle de sécurité est un principe opératif visant la sécurité. Pour être appliquée, la règle de sécurité doit être acceptée par les travailleurs et accessible. L'accessibilité de la règle correspond à l'accessibilité matérielle du support de cette règle mais aussi à l'accessibilité de son contenu (intelligibilité, compréhension de la raison d'existence de la règle…). Ensuite, si la règle n'est pas acceptable et acceptée par le travailleur celui-ci soit ne l'appliquera pas correctement, soit ne l'appliquera pas. La non-acceptation d'une règle peut avoir plusieurs causes, par exemple le coût d'application matériel, physique ou cognitif qui peut être jugé trop élevé, surtout si le travailleur pense pouvoir faire autrement sans danger. Une règle peut être mise également de côté si elle entre en conflit avec une autre règle de sécurité ou avec la réalité du travail et devient alors une contrainte limitant la capacité du travailleur à agir en sécurité.

De Terssac & Mignard (2011, p 234) introduisent la notion de règle effective de sécurité qui est issue du compromis construit par les travailleurs entre la règle initiale de la procédure et sa requalification au cours de son usage en situation pour qu'elle soit applicable et appliquée. La construction de la règle effective de sécurité est la sécurité effective, c'est-à-dire la manière dont les travailleurs passent d'une sécurité se basant sur des procédures, à une sécurité en action. Cette sécurité effective est issue d'un processus de négociation entre la règle initiale et la réalité de la situation de travail au niveau des travailleurs (de Terssac & Mignard, 2011). Cette sécurité effective participe à l'ordre sécurité négocié. Selon de Terssac & Mignard (2011

p 230), les règles de sécurité dans l'action sont des compromis qui permettent d'articuler deux visions de la sécurité :

- La construction d'organisations sûres avec un ensemble de règles à respecter pour travailler sans danger ;
- L'apprentissage de la vulnérabilité des entreprises avec des ajustements nécessaires pour gérer les situations de travail variées et la création de nouvelles règles pour compléter les premières ou les rendre utilisables.

Le concept de sécurité en action nous amène à voir la construction de la sécurité comme une partie intégrante de l'activité des travailleurs, située dans une situation dont ils doivent gérer les contraintes à l'aide de ressources. Les règles de sécurité peuvent être à la fois des contraintes limitant la capacité des travailleurs à agir en sécurité et des ressources. Ils agissent en sécurité en adaptant les règles dans la situation de travail. Ces règles deviennent des règles de sécurité dans l'action et sont des compromis entre deux faces de la sécurité, construire une organisation sûre par les règles et adapter ces règles dans l'action.

Dans la section suivante nous ferons les liens entre l'approche de la sécurité en action articulant conception des règles de sécurité et leur adaptation dans l'action et l'opposition de deux notions mobilisées par l'ergonomie de l'activité, de la sécurité réglée et gérée.

2.2.2 Penser la distinction Sécurité réglée et sécurité gérée dans la sécurité en action

Depuis l'article issu de la thèse de Morel (Morel et al., 2008), beaucoup de travaux en ergonomie de l'activité sur la sécurité s'intéressent aux notions de sécurité réglée et sécurité gérée. Les définitions et approches de la sécurité qu'elles impliquent ont été largement discutées. Pour Morel (2008), la sécurité est le couplage de la résilience, qui a été traduit pour l'industrie par sécurité gérée, et de la sécurité contrainte, traduite par réglée. La sécurité réglée y est vue comme les mesures de protection et d'interdiction implémentées par l'organisation pour garantir la sécurité, ce qui nous rappelle les règles de sécurité discutées dans le modèle de la sécurité en action. Il attribue à la sécurité gérée la définition de la résilience donnée par Hollagel et Woods (2006), « *the ability to manage unexpected events* ».

Les travaux en ergonomie utilisant les notions de sécurité réglée/gérée adoptent généralement des définitions proches de celles retrouvées dans le rapport sur l'état de l'art des approches facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle écrit par Daniellou (2010) :

- *« La sécurité réglée : éviter toutes les défaillances prévisibles par des formalismes, règles, automatismes, mesures et équipements de protection, formations aux « comportements sûrs », et par un management assurant le respect des règles ;*

- *La sécurité gérée : capacité d'anticiper, de percevoir et de répondre aux défaillances imprévues par l'organisation. Elle repose sur l'expertise humaine, la qualité des initiatives, le fonctionnement des collectifs et des organisations, et sur un management attentif à la réalité des situations et favorisant les articulations entre différents types de connaissances utiles à la sécurité. »*

La sécurité industrielle serait alors la résultante du couplage entre la sécurité réglée d'une organisation qui cherche à « *prévoir le mieux possible* » et la sécurité gérée des travailleurs qui font « *face à l'imprévu* » (Daniellou et al., 2010). Or, *"aucun système ne peut être que réglé*" (Amalberti, 2021). Aucun système ne peut prévoir toutes les situations de travail, tous les risques, toutes les crises possibles. Et surtout, l'existence du réglé ne suffit pas à l'application des règles pertinentes au bon moment par le travailleur. Le choix des règles pertinentes à appliquer dans les situations imprévues demande aux travailleurs une certaine expertise dans la gestion de la sécurité. Comme le dit Paries (2021), *"même si cela semble paradoxal, une partie de la gestion de l'imprévu passe au contraire par le suivi de règles".* La sécurité gérée n'est donc pas restreinte à des comportements d'improvisation face à l'imprévu, ni à ce qui n'est pas prévu dans les règles, la sécurité gérée est par définition la gestion de la sécurité (Pariès, 2021). La définition de la sécurité gérée de Paries (2021) rejoins ici la notion d'intelligence de la règle pour leur adaptation dans l'action soutenue par De Terssac et Gaillard (2009 p32).

La distinction entre sécurité réglée et sécurité gérée a été d'autant plus facilement reprise qu'elle rappelle pour les ergonomes de l'activité la distinction entre travail prescrit et travail réel (Cuvelier, 2022). Cependant, cette distinction peut être caricaturée dans l'usage. Paries (2021) affirme que l'opposition réglée/gérée est « *souvent devenue un euphémisme de l'alternative "obéissance ou désobéissance".* On retombe alors dans la vision classique de la sécurité fondée sur l'absence de risque par l'absence de la déviation au prescrit et aux règles,

sans discuter de comment les travailleurs et les organisations conçoivent, s'approprient et adaptent les règles de sécurité.

En s'appuyant sur les travaux de Béguin (Béguin, 2013; Béguin & Cerf, 2004) dans le champ de la conception, Cuvelier (Cuvelier, 2022; Cuvelier & Woods, 2019) distingue trois façons d'articuler SG/SR dans la conception de la sécurité :

1. Réconcilier sécurité réglée et sécurité gérée, c'est-à-dire chercher à les rendre compatibles et homogènes, voire à les assimiler l'une à l'autre, quitte à ce que cela se fasse au détriment de leur singularité. L'objectif est ici de faire disparaître, ou faute de mieux, de réduire l'écart entre travail prescrit et travail réel, car il est considéré comme néfaste pour la sécurité. Cette approche conduit à une approche classique de la sécurité fondée sur des barrières de défense (cf. § 2.3.2)

2. Arbitrer entre sécurité géré et sécurité réglée, c'est-à-dire définir des situations, des moments, des espaces attribuées, des acteurs dédiés à l'une ou l'autre de chacune des deux formes de sécurité. Cela suppose de départager les deux formes de sécurité en définissant des zones et des limites acceptables donc de gérer l'écart. Les compromis sont alors nécessaires à tous les niveaux. Par exemple, les compromis cognitifs micros centrés permettent le développement de la sécurité gérée par les mécaniciens (cf. § 2.2.3.1) tandis que la sécurité réglée est le résultat de compromis macrocentrés, qui permettent la négociation sociale (cf. § 2.2.3.2)

3. Faire dialoguer SG/SR c'est-à-dire reconnaître à la fois leur unité et leur opposition structurelle. Cela consiste à valoriser l'écart, car il est considéré comme le véritable reflet du travail humain, la source de la sécurité. Dans ce cas la sécurité est toujours, à tous les niveaux, pour tous les acteurs, dans toutes les situations et actions le résultat d'un dialogisme qui rassemble SR et SG sans les confondre. La notion de dialogue se réfère ici à l'idée de dialogisme (et non à la conversation, ou à la mise en partage d'information). Le dialogisme signifie que « deux ou plusieurs "logiques" différentes sont liées en une unité, de façon complexe (complémentaire, concurrente et antagoniste) sans que la dualité se perde » (Morin, 1982, p. 176). L'analyse des règles de sécurité dans le cadre de l'approche instrumentale est un exemple de cette approche (Vidal-Gomel, 2002) (cf. § 2.3.3.1)

Cette thèse s'inscrit dans la deuxième façon d'articuler SR/SG. Penser la sécurité en action en termes de Sécurité Réglée et Sécurité Gérée nous permet de penser séparément les deux faces de la sécurité tout en les articulant :

- La sécurité en action du point de vue du travailleur en bout de chaine avec l'adaptation des règles de sécurité à la situation, voire la création de règles en action, ce que nous rattachons à la sécurité gérée et au travail des mécaniciens de construction de compromis microcentrés que nous présentons ci-dessous (cf. §2.2.3.1),
- La conception de la sécurité du point de vue de l'organisation, qui peut ou non se baser sur les pratiques des travailleurs et évoluer avec elles, ce que nous attachons à la sécurité réglée et au travail des concepteurs de construction de compromis macrocentrés que nous présentons ci-dessous (cf. §2.2.3.2).

Nous montrerons dans les prochaines sections que ces deux faces de la construction de la sécurité sont issues de négociations et de compromis réalisés par les travailleurs et l'organisation pour agir en sécurité et concevoir pour la sécurité. Les sections suivantes s'attacheront à interroger la littérature sur ce que veut dire construire des compromis pour la sécurité à l'échelle du travailleur, plus particulièrement des mécaniciens et ce que veut dire négocier pour la sécurité à l'échelle d'une organisation. Nous nous appuierons sur les concepts de compromis microcentré et macrocentré.

2.2.3 Compromis micro et macrocentrés et stratégies de construction de compromis

Dans cette section, nous présenterons les concepts de compromis microcentré et macrocentré d'Amalberti (2013) et de négociation. Le compromis microcentré se situe à l'échelle du travailleur et se base sur le modèle du compromis cognitif tandis que le compromis macrocentré se fait à l'échelle collective de la gouvernance de l'entreprise. Nous mobiliserons ensuite la théorie de la régulation pour introduire la notion de stratégie de construction de compromis. Nous présenterons pour finir les stratégies de construction de compromis mobilisées par les mécaniciens pour faire face aux conflits de contraintes. Les stratégies de construction de compromis mobilisées par les concepteurs feront l'objet de la section 2.2.3.4.

2.2.3.1 Le compromis microcentré un moyen d'adaptation pour la maitrise des situations

Il nous semble que le concept développé par Amalberti (2013) de compromis cognitif contribue à la compréhension de la gestion des situations pour la sécurité en action. La notion de compromis cognitif a été développée pour rendre compte de la gestion des risques dans les situations dynamiques (Amalberti, 2001a ; Chauvin, 2003). La situation dynamique est définie par opposition à une situation dite statique (Hoc & al, 2004). La situation statique demande obligatoirement l'intervention du travailleur pour évoluer (par exemple un logiciel de traitement de texte). Le travailleur contrôle complétement la situation. Une situation dynamique est une situation qui évolue sans avoir besoin des actions du travailleur. Le travailleur contrôle partiellement la situation. Les situations dynamiques présentent trois caractéristiques essentielles (Amalberti & Hoc, 1998).

- Elles demandent à l'opérateur une connaissance approfondie de l'environnement pour comprendre les évolutions du processus qui ne sont pas liées directement à ses propres actions ;
- Elles sont en partie incertaines ;
- Elles impliquent une multiplicité de buts, convergents ou divergents entre les différents acteurs du système.

Nous considérons les situations de maintenance et de conception comme des situations dynamiques, pouvant avoir des évolutions plus ou moins rapides.

La gestion des situations dynamiques passe par la construction d'un compromis microcentré Le compromis microcentré est réalisé par le travailleur pour gérer de manière dynamique deux conflits dans l'action ; 1) un conflit entre son besoin de comprendre la situation et son besoin d'agir, c'est le conflit cognitif, 2) un conflit entre le contrôle et l'acceptation du risque.

Face à ces conflits, le travailleur va chercher à contrôler le coût de l'exécution cognitive du travail, c'est le compromis cognitif (Hoc & Amalberti, 2007) pour contrôler le résultat externe de ses actions, c'est-à-dire l'atteinte d'un objectif lié au but de son action (Amalberti, 2013).

Le modèle du compromis cognitif d'Amalberti (1996) présente les compromis que réalise le travailleur comme étant des moyens d'atteinte dynamique des objectifs avec une performance suffisante (Amalberti, 2013). En effet, il est impossible pour une personne de comprendre une situation dans son entièreté et en tout temps (Simon, 1982 cité par Amalberti, 2001a). Le travailleur cherchera à atteindre ce qu'on peut appeler une compréhension suffisante. Il va alors

pouvoir chercher des solutions pour comprendre mais sans dépasser ses ressources cognitives disponibles et/ou chercher des solutions pour agir. Il arrive d'ailleurs régulièrement que le travailleur préfère l'action à la compréhension car l'action aide à la compréhension (Reason, 1990). Le travailleur cherchera à s'adapter pour maitriser la situation, c'est-à-dire la maintenir « *dans un domaine où il peut satisfaire des exigences acceptables en y consacrant des ressources (connaissances et énergie) en quantité supportable* » (Chauvin, 2003). Autrement dit, pour s'adapter le travailleur réalise un compromis cognitif entre la mobilisation des ressources et les objectifs à atteindre pour viser la maitrise de la situation, c'est-à-dire « *le sentiment que, malgré les incertitudes, les risques de voir la situation échapper au contrôle sont très réduits* » (Hoc et al., 2004). Le compromis cognitif vise alors une performance non maximale mais suffisante permettant au travailleur de travailler dans la durée face aux contraintes et de préserver une capacité d'activités parallèles (par exemple anticiper les tâches à venir, réfléchir à des problèmes d'ordre privé, etc.) (Amalberti, 2001a ; Hoc & Amalberti, 2007). Le compromis cognitif permet alors au travailleur de gérer les résultats externes de ses actions et d'atteindre le but recherché avec le moins de risques (pour lui-même et pour son environnement) immédiats et futurs tout en sachant que toutes les solutions disponibles comportent des risques (Amalberti, 1996).

Le compromis cognitif permet la maitrise de la production et des risques par la construction d'un compromis entre contraintes, règles et objectifs pouvant entrer en conflit dans les situations de travail (Hoc & Amalberti, 2007). La maitrise de la situation de travail est souvent associée à une performance moins grande et a l'apparition d'erreurs. Mais ces écarts à la performance et ces erreurs sont connus et reconnus par les travailleurs qui les corrigent, les rattrapent petit à petit dans la production en évitant l'apparition de conséquences nuisibles pour la sécurité et la performance. Les risques sont alors « maitrisés » dans la recherche d'une performance suffisante. La diminution de ces erreurs arrive lorsque les travailleurs perdent la sensation de maitrise de la situation, ce qui leur demande une augmentation des ressources cognitives mobilisées. Ils choisissent alors les modes opératoires connus pour être les plus efficaces, cherchent une solution pour retrouver la maitrise de la solution et mettent de côté toute activités parallèles. En situation de perte complète de maitrise de la situation, les travailleurs choisissent l'action qui ne les amènera pas à l'erreur et se reposent alors sur le collectif ou l'automatisation pour gérer le résultat final de la situation (Hoc & Amalberti, 2007). Le compromis cognitif est donc un moyen pour le travailleur de gérer la sécurité en fonction de son degré de maitrise de la situation.

Pour résumer, afin de s'adapter à la situation de travail, le travailleur doit faire des compromis cognitifs pour gérer un conflit interne entre son besoin de comprendre suffisamment la situation et son besoin d'agir. Dans le modèle du compromis microcentré d'Amalberti, le compromis cognitif cherche la maitrise de la situation pour gérer des conflits externes entre des contraintes et objectifs.

2.2.3.2 Le compromis macrocentré issu de la négociation sociale de la sécurité

Les compromis cognitifs pour la maitrise de la situation réalisée au niveau individuel (compromis microcentrés) s'inscrivent dans un collectif, collectif qui va réaliser ce qu'Amalberti (2013) appelle des compromis macrocentrés visant le pilotage du risque au niveau de l'organisation. C'est-à-dire que le collectif construit la sécurité réglée par la gestion de conflits de contraintes au niveau macroscopique de l'entreprise. En sociologie, le conflit est souvent évoqué comme une contradiction entre individus ou groupes (Gaulejac, 2019) et comme une manifestation d'antagonismes ouverts entre deux acteurs ayant des intérêts incompatibles (Boudon, 2018). L'entreprise peut être considérée comme un système de contraintes contradictoires entrant en conflit (Amalberti, 2013). Amalberti (2013) parle de système de « tensions » contradictoires qui viennent de 4 types de risques auxquels les entreprises doivent faire face : le risque 1) de ne pas se faire une place sur le marché, 2) de ne pas être en capacité de produire la qualité attendue dans les temps et dans le budget prévu, 3) de ne pas contrôler les finances du projet, 4) de ne pas pouvoir contrôler la sécurité de la production. L'organisation distribue la gestion de ces risques dans plusieurs entités organisationnelles, chacune en charge d'une dimension : commerciale, de recherche, de production et de sécurité. Des compromis et arbitrages seront faits dans l'interaction entre ces différentes entités organisationnelles qui cherchent à atteindre leurs propres objectifs, pouvant entrer en conflit.

Le concept de compromis entre plusieurs personnes ou groupes (compromis macrocentré) a longuement été étudié dans les recherches portant sur les prises de décisions collectives et la négociation. D'un point de vue sociologique, le compromis peut désigner un résultat de la négociation ainsi qu'un processus de négociation en lui-même. Le compromis comme résultat de la négociation est « le résultat d'un échange entre des parties (acteur individuel ou collectif) ayant des intérêts ou des valeurs partiellement opposés/partiellement convergents qui, à travers des concessions réciproques, sont parvenues à un accord sur les termes et le terme de l'échange » (Fusulier, 2013). C'est le résultat d'un accord entre acteurs et non d'une imposition

unilatérale d'un acteur sur l'autre (Fusulier, 2013). Le compromis comme processus de négociation peut être défini comme une « recherche d'effets communs depuis des visées différentes. » (Lévesque & Mager, 1995 ; 1992 cité par Benchekroun, 2017). La recherche de compromis peut être considérée comme « un mode de résolution de conflit ou, plus généralement, comme une forme de régulation sociale, c'est-à-dire un moyen de maintien de la paix entre des partenaires en situation de désaccord ou de conflit » (Nachi, 2011). Fusulier (2013) ajoute que le compromis comme processus est une forme d'échange social à base conflictuelle.

La sécurité mobilise une diversité d'acteurs dans l'entreprise ayant des intérêts distincts mais étant dans l'obligation de coopérer parfois de manière conflictuelle pour la formation de ces règles (de Terssac & Mignard, 2011, p 243). Les conflits ne sont pas toujours un frein pour le collectif mais peut être une ressource pour « *enrichir les débats sur le travail et l'activité et les transformations possibles »* (Benchekroun, 2017).

Ces conflits se retrouvent dans le travail d'organisation de la sécurité donc de construction de la sécurité réglée. Le travail d'organisation de la sécurité *« entraine l'engagement d'une pluralité d'acteurs qui ont des positions, des intérêts et des valeurs distinctes ; mais qui sont dans l'obligation de coopérer parfois de façon conflictuelle autour de la formation des règles »* (de Terssac & Mignard, 2011). Cette coopération ne se fait pas forcément grâce à une entente harmonieuse entre individus pour produire ensemble des règles communes. Elle se manifeste plutôt par l'élaboration des règles par construction de compromis afin de stabiliser provisoirement des accords visant l'action. Ces accords seront alors sans cesse retravaillés et débattus pour permettre aux travailleurs d'agir en sécurité (de Terssac & Mignard, 2011). Il s'engage alors un processus de négociation des règles entre ces acteurs par la construction de compromis stabilisés provisoirement par des accords portant sur des actions à entreprendre pour la sécurité (de Terssac & Mignard, 2011, p 245). La négociation peut devenir alors un support à la résilience organisationnelle en rendant d'un côté les règles plus applicables en fonction des contextes et de l'autre en produisant de nouvelles règles couvrant les sujets ne présentant pas de règles (Eydieux et al., 2018). Paul Schulman (1993, cité par Journé & Stimec, 2019), place la négociation au centre de la fiabilité des organisations à haute fiabilité (HRO) en parlant d'ordre négocié de la fiabilité.

D'un point de vue sociologique, la négociation ne produit pas l'arrêt des conflits, elle permet au travail de continuer en situation d'intérêts divergents. La négociation se tient entre plusieurs

protagonistes en relation d'interdépendance conflictuelle qui conditionnent leurs décisions à une confrontation avec les autres parties. Le différend est alors explicité en permettant « *à chacun de faire valoir son intérêt tout en acceptant le principe de la valeur de l'intérêt de l'autre* » (Lichtenberger, 2014). Stimec (2010) lui, définit la négociation comme « *toute situation remplissant trois conditions : (1) l'existence d'un dialogue, (2) l'existence d'un problème à résoudre, et (3) la recherche d'un accord mutuellement acceptable* ». Cette définition inclut également les phases de négociations informelles en dehors du processus institutionnalisé de gestion des conflits (Stimec, 2010).

En étudiant l'histoire de la construction collective de la sécurité à l'usine d'AZF, De Terssac et Mignard (2011) mettent en évidence que la négociation de la sécurité, permettant la construction des compromis macrocentrés, est un processus dynamique à trois phases :

- Une phase d'échange d'informations sans négociation pour agir ensemble mais en laissant l'autre agir ;
- Une phase de négociation d'accords de forme avec la reconnaissance de la pertinence des actions menées par chacun mais sans association pour une action commune
- Une phase d'engagement mutuel et de co-construction de règles par une négociation sur le fond des règles partagées, c'est ce qu'ils appellent la sécurité négociée

Pour que ces négociations amènent à la conception de règles pertinentes il faut, selon de Terssac & Gaillard (2009), partir des pratiques de sécurité en action. Pour cela, Nascimento et al. (2013) proposent de prévoir des lieux permettant de débattre a posteriori des compromis effectués dans l'action. Les individus et les collectifs peuvent alors négocier en se confrontant « *au réel, à l'imprévu, aux aléas et variations de l'activité, à l'écart entre le prescrit et le réel ou à la nécessité d'avoir une perception commune et enrichie du contexte* » (Journé & Stimec, 2019).

Nous comprenons que ces lieux de débat doivent permettre la construction de compromis macrocentrés pour la construction de la sécurité par la mise en discussion des compromis microcentrés construit par les travailleurs en bout de chaine. Ces lieux de débat permettraient alors la construction de compromis macrocentrés par l'arbitrage entre sécurité géré et sécurité réglée. Nous reviendrons sur les moyens à disposition des organisations pour construire la sécurité dans la section 2.3« Concevoir pour la sécurité ».

La construction de compromis microcentrés et macrocentrés sont les moyens pour les individus et les organisations de contrôler les situations pour agir en sécurité et concevoir les règles de sécurité face à des conflits, conflits cognitifs, conflits de contraintes et/ou conflits d'intérêts interpersonnels. Nous montrerons dans la prochaine section que la théorie de la régulation et la notion de stratégie développée en ergonomie de l'activité peut aider à rendre compte de la manière dont les individus et les collectifs construisent les compromis.

2.2.3.3 La théorie de la régulation et la stratégie de construction de compromis

Selon la théorie de la régulation, pour un système simple, l'opérateur fixe le but de l'activité, l'évalue par rapport au but et agit pour éviter l'écart des résultats de son action au but (Leplat, 2006). Une même action peut avoir des *buts* multiples, ce qui a pour conséquence que chacun ne peut être réalisé de manière optimale et qu'un compromis doit nécessairement être élaboré. Il peut donc y avoir des conflits dans les buts de l'action du travailleur mais également des conflits de buts entre acteurs de différents systèmes d'activité travaillant sur le même objet (Engeström, 2001). C'est le cas par exemple des guichetiers de la poste qui doivent faire des compromis entre le but commercial de leurs actions, c'est-à-dire vendre au plus cher, et le but de service au client, c'est-à-dire en répondant à la demande du client en faisant payer le juste prix (Caroly & Weill-fassina, 2004). La notion de régulation permet de mettre en évidence l'importance du but dans l'activité, de son élaboration, sa fixation, de la coordination des différents buts, de l'évaluation des résultats et de leur écart au but.

Le modèle de régulation permet de décrire les fonctions qu'il fait intervenir pour expliquer l'action (par exemple l'évaluation) mais n'explicite pas la manière dont est élaborée l'action à partir de l'écart (Leplat, 2006). Autrement dit, il ne décrit pas comment les travailleurs font pour réguler et pour construire les compromis face aux conflits. Dans son article sur le travail d'opérateurs de centre de relation clientèle, Van de Weerdt (2011) avance que pour réguler son activité, le travailleur met en place des stratégies (Ribert-Van De Weerdt, 2011). Dans le langage courant, la stratégie est définie comme « *l'ensemble d'actions coordonnées, d'opérations habiles, de manœuvres en vue d'atteindre un but précis* » ou comme « *une manière d'organiser, de structurer un travail, de coordonner une série d'actions, un ensemble de conduites en fonction d'un résultat* » (CNRTL, 2022). Van de Weerdt (2011) présente la stratégie comme étant la face visible des régulations pratiquées par le travailleur pour créer un équilibre entre les contraintes et les moyens d'y faire face, autrement dit entre les contraintes

et les ressources. Elle parle de stratégie de régulation. Raby et Baillé (1997) relient l'études des stratégies à l'étude de la redéfinition de la tâche prescrite en tâche effective dans un processus de régulation. Les stratégies servent alors au contrôle de la situation. Par exemple, Hoc et al (2004) identifient 2 types de stratégies pour le contrôle des situations dynamiques, les stratégies réactives dans lesquelles l'opérateur répond aux évolutions de la situation et les stratégies anticipatives où il anticipe son évolution.

Pour la suite de la thèse nous nous appuierons sur la définition de la stratégie comme la face visible de la régulation, la manière dont le travailleur régule son activité pour atteindre son but face aux conflits présents dans l'activité. La stratégie de construction de compromis micro et macrocentrés est donc la face visible des processus de contrôle des situations pour agir en sécurité.

La section suivante présente les stratégies de construction des compromis mobilisées par les mécaniciens pour agir en sécurité face aux conflits de contraintes.

2.2.3.4 Stratégies de construction de compromis mobilisées par les mécaniciens face aux conflits de contraintes

Dans une analyse de l'enquête SUMER 2003, Grusenmeyer (2013) compare les résultats concernant les opérateurs de maintenance, que nous nommons mécaniciens, et les opérateurs de production. Les mécaniciens sont plus exposés que les opérateurs de production à de multiples contraintes physiques, d'ambiances, organisationnelles et relationnelles. Ils sont davantage soumis à cinq des sept expositions de contraintes physiques classées par l'enquête, à des interruptions de tâches, à des conséquences importantes d'erreurs et à l'insuffisance de ressources. Les mécaniciens disposent de plus de ressources organisationnelles de type autonomie et marge d'initiative que les opérateurs de production mais les exigences de travail sont plus élevées c'est-à-dire que le travail est plus complexe, intense, morcelé et imprévisible.

Grusenmeyer (2013) retrouve la dimension morcelée et imprévisible du travail de maintenance dans une étude du travail des mécaniciens « volants » d'un transporteur de bus. Quand les mécaniciens réalisent une intervention de bout en bout eux-mêmes, il s'agit de dépannage de très courte durée, sans recherche de solution définitive. Autrement, les mécaniciens commencent des interventions qui seront clôturées par un collègue à plus ou moins long terme.

L'auteure montre à voir deux formes d'incertitudes, l'incertitude extrinsèque aux interventions (des interventions non prévues, interrompues, entravées) et l'incertitude intrinsèque (les difficultés qui arrivent en cours de l'intervention et contraignent la réalisation de la tâche et des objectifs que s'est fixé le mécanicien). Le travail de maintenance est un travail de gestion de différents types d'imprévus et de contraintes.

Les mécaniciens travaillent dans une organisation qui cherche à tenir deux objectifs conflictuels, les objectifs de maintenance et de production (Grusenmeyer, 2013). C'est également le cas en aéronautique. Les mécaniciens aéronautiques gèrent des demandes émanant du management de suivi strict des procédures pour la sécurité et dans le même temps des demandes de respect des horaires de départ des avions. Les mécaniciens perçoivent alors un conflit entre la sécurité (réaliser les procédures de maintenance) et les objectifs opérationnels (faire repartir l'avion dans les temps) (di Cioccio, 2012).

D'autres auteurs ajoutent à ce conflit sécurité/performance d'autres contraintes que les mécaniciens doivent gérer. Dans une étude sur le travail de mécaniciens s'occupant d'avion dans un atelier de maintenance, Nathanael et al (2016) identifient cinq « *Decision-Shaping Factors* » que les mécaniciens prennent en compte de façon plus ou moins forte dans leur activité en fonction de la situation de travail : la pression de la planification, la navigabilité, le coût de la maintenance, la responsabilité personnelle et l'optimisation de son propre effort. Ces facteurs de décision peuvent être complémentaires ou s'opposer en fonction des situations de travail. Les mécaniciens effectueront alors un travail conscient de construction de compromis entrainant des déviations des procédures pour s'adapter aux situations de travail.

L'article auto-ethnographique d'Atak & Kingma (2011) montre également à voir certaines contraintes auxquelles sont confrontés les mécaniciens en aéronautique dans leur quotidien telles que les contraintes logistiques de commande de pièces de rechange, contraintes de temps, contraintes de qualification, contraintes financières, etc. Une de leurs observations est que les réponses et décisions prises par les mécaniciens pour agir en sécurité sont en partie explicables par le degré de pression qu'amènent ces contraintes et par la situation dans laquelle est placé le mécanicien. Par exemple, lors d'une visite pré-vol pour laquelle il n'est pas complètement qualifié (dans le sens certifié), un mécanicien trouve un défaut qui était déjà connu de l'organisation. Selon les standards de qualité, son niveau de qualification ne lui permet pas de se positionner sur le caractère bloquant ou non de ce défaut. Il décide alors de suivre la règle et de ne pas signer le document qui permettrait de repartir en vol bien que le client et les pilotes

soient d'accord de voler dans ces conditions. Il connait les conséquences financières de sa décision. Cette décision est expliquée comme une réaction face à la contrainte que lui imposait son manager en ne lui donnant pas la certification pour réaliser des inspections complètes malgré son expérience en tant que mécanicien. Il a donc utilisé la règle de la qualification des mécaniciens qui était pour lui une contrainte limitant son action, règle que le collectif lui aurait permis d'enfreindre, et en a fait une contrainte pour son manager. Le but pour le mécanicien était de montrer à son manager qu'il gagnerait à le certifier, donc à supprimer la contrainte de la qualification.

Cet exemple montre un cas dans lequel le mécanicien mobilise une stratégie de construction de compromis l'amenant à utiliser la règle de qualification pour questionner l'organisation et faire en sorte qu'elle ne soit plus une contrainte dans le futur mais une ressource pour l'action. Le résultat de cette stratégie de construction du compromis microcentré visant la maitrise de la situation initie une phase de négociation avec l'organisation.

Les mécaniciens mobilisent des stratégies de construction de compromis pour gérer des situations de conflits de contraintes multiples, particulièrement le conflit entre la sécurité et les objectifs opérationnels. Ces conflits peuvent amener les mécaniciens à « dévier » des procédures pour atteindre les objectifs opérationnels face aux contraintes, ce que nous considérons comme le résultat de compromis microcentrés, mais aussi, à utiliser les procédures et règles de sécurité pour confronter l'organisation et rendre visible les conflits de contraintes dangereux. Nous considérons que les mécaniciens entrent alors dans un processus de négociation collective des règles de sécurité pour la construction d'un compromis macrocentré.

Les concepts de sécurité en action, de compromis micro et macro centrés et d'articulation entre SR/SG nous appellent à voir la construction de la sécurité dans une approche systémique articulant l'étude de la sécurité en action au niveau des travailleurs en bout de chaine et des différentes instances de négociation pour la conception des règles existantes dans l'organisation. Cette thèse s'intéresse particulièrement aux instances de conception de la maintenance pour la sécurité. C'est pourquoi les prochaines sections s'interrogent sur ce qu'est le travail de conception pour ensuite s'intéresser aux approches de conception pour la sécurité.

2.3 Concevoir pour la sécurité

Cette dernière section théorique recentre les questions de construction de la sécurité sur l'activité de conception. Nous présenterons tout d'abord les travaux discutant de la nature de l'activité de conception, correspondant au travail des concepteurs en maintenabilité, et de la place qu'y prennent les « usagers », dans cette thèse les mécaniciens. Nous présenterons et discuterons ensuite deux approches possibles de la conception pour la sécurité en fonction des modèles de sécurité mobilisés ; l'approche de la fiabilité humaine se basant sur le modèle classique de la sécurité et les approches de conception de l'ergonomie de l'activité se basant sur le modèle constructif de la sécurité.

2.3.1 La conception

Afin d'intégrer les questions de sécurité dans les processus de conception, la nature de ce processus et des activités de conception doivent être comprises (Falzon, 2008). Nous verrons donc dans les sections suivantes tout d'abord le modèle de l'activité de conception que nous mobiliserons dans cette thèse. Nous présenterons ensuite les travaux en ergonomie s'intéressant à la place de la négociation dans le processus de conception. Pour finir, nous présenterons différentes manières d'appréhender la relation concepteurs/usagers dans la conception qui nous permettra de caractériser la relation entre concepteurs en maintenabilité et mécaniciens.

2.3.1.1 Le travail des concepteurs, satisfaire et gérer des contraintes

Les pratiques de conception au sein des entreprises sont généralement encadrées au travers de la création des bureaux d'études et de processus de conception séquencés en trois phases : les études de faisabilité, la spécification technique des besoins et le développement. L'existence de normes pour la conception des produits (norme BS7000 en Grande-Bretagne, norme DIN ou VDI 2221/2 en Allemagne, norme AFNOR X50-127 en France) inspirent des méthodes prescriptives pour concevoir mais donnent des visions idéalisées du processus de conception (Darses et al., 2001). Les concepteurs, même formés, ne suivraient que peu ces méthodes dont le modèle linéaire entre en contradiction avec la démarche effective des concepteurs (Darses et al., 2001).

Pour penser l'activité de conception, nous nous appuierons sur un modèle considérant les activités de conception comme des activités de résolution de problèmes complexes ouverts et

mal définis (Visser, 2001). Cette vision de la conception nous permet de faire les liens entre conflit de contrainte et construction de compromis en conception. Un problème est considéré comme ouvert et mal défini lorsqu'il n'existe pas une seule « bonne » solution pour le résoudre et que ce problème n'est pas spécifié entièrement dès le début. Concevoir c'est alors générer des contraintes et des critères pour définir le problème de solution et orienter la recherche de solution (Falzon, 2008)**.** Les contraintes constituent une description partielle de la solution dans le sens où elles aident à la définition du problème de conception (Darses, 1997 cité par Chevalier, 2003). Les concepteurs vont alors devoir satisfaire des contraintes et en générer de nouvelles pour compléter un cahier des charges. Par exemple, les concepteurs de postes de travail doivent satisfaire des contraintes liées au processus industriel de production et aux machines et outils déjà existants (Darses & Wolff, 2006). Les concepteurs s'intéressant à la maintenance devront eux satisfaire des contraintes d'ordre technique de design et des contraintes d'accessibilité pour la maintenance.

Le travail solitaire des concepteurs prend place dans ce que Bucciarelli (1988) appelle des « mondes objets » (object worlds), des mondes centrés sur la technique avec leur propre vocabulaire, symbole, instruments et modèles. Selon Bucciarelli (1988), bien que le processus de conception soit mis en œuvre par des ingénieurs, il n'est pas un processus mécanique suivi à la lettre. La conception en ingénierie n'est pas rationnelle dans le sens managérial ou économique. Les concepteurs cherchent plutôt à être efficaces dans un cadre de contraintes et de spécifications définies qui sont une part essentielle de leurs mondes objets et qui entrent souvent en conflit entre elles. Le concepteur devra alors réaliser des compromis entre les contraintes présentes au sein de son propre monde objet (Bucciarelli,1988). C'est ce que nous considérons comme la construction de compromis microcentrés dans la conception.

Ces contraintes et spécifications ne sont pas stables au cours de la conception, ce qui participe à la constante évolution de la représentation du problème et des solutions possibles par le concepteur (Détienne, 2006). Le processus de conception est alors un processus dynamique dans lequel les contraintes sont mouvantes et les points de vue changeant. Les contraintes n'ont pas toutes le même niveau d'importance dans la conception. Chevalier (2003) distingue par exemple les contraintes de validité qui sont incontournables et doivent être satisfaites pour concevoir un objet et les contraintes de préférences qui peuvent être contournées par le concepteur sans bloquer la conception. Dans le contexte de la résolution de problème, la contrainte n'est donc pas seulement vue comme une limitation mais c'est une « restriction sur

l'ensemble des options possibles » qui guide l'action en autorisant certaines options et en en excluant d'autres (Richard et al., 2009).

Pour résumer, concevoir n'est pas appliquer un processus de conception théorique. Comme pour les travailleurs en bout de chaine, les concepteurs gèrent de nombreuses contraintes pouvant entrer en conflit qu'ils gèrent par la construction de compromis microcentrés. Ces contraintes sont mouvantes et définissent le problème de conception en cours de conception.

Nous verrons dans la section suivante que ce travail de construction de compromis microcentrés s'inscrit dans une pratique collective pour la construction de compromis macrocentrés.

2.3.1.2 Une conception distribuée et négociée

Même si la conception en ingénierie peut amener l'ingénieur à réaliser un travail ponctuel solitaire, la conception n'est pas le fruit du travail d'un individu mais de négociations autour des différents intérêts au sein d'un collectif (Darses & Falzon, 1996).

Les travaux en sciences de la conception et en ergonomie mettent en avant le caractère collectif et distribué de la conception (Darses & Falzon, 1996) : dans le temps, dans l'espace ou dans diverses organisations, et parmi divers protagonistes porteurs de buts et de perspectives qui leur sont propres. Ces perspectives se traduisent dans une dimension complexe et modulaire de la conception liée aux divers artefacts ou systèmes d'artefacts conçus, chaque artefact pouvant être pris en charge par un protagoniste différent de la conception. De ce fait, les processus de conception revêtent souvent un caractère « conflictuel ». Le processus de conception implique un processus de coopération spécifique : une coordination pour gérer l'interdépendance des acteurs de la conception, l'établissement d'un référentiel opératif commun et des mécanismes de négociation pour gérer les différents points de vue (Détienne, 2006). Détienne (2006) considère que les acteurs de la conception entrent en négociation lorsqu'il y a une volonté conjointe d'arriver à un accord. La négociation ne cherche pas à forcer l'autre à accepter une solution, mais à instaurer un dialogue permettant au collectif d'orienter son choix vers l'une des solutions proposées et/ou de construire un compromis entre les différents acteurs.

Darses & Falzon (1996) distinguent deux types d'engagements des acteurs dans le collectif, engagements que nous comprenons comme permettant les processus de négociation, la co-conception et la conception distribuée. Dans la co-conception, les acteurs partagent un but identique et rassemblent leurs compétences spécifiques pour construire conjointement une

solution, ce que nous considérons comme un compromis macrocentré. Détienne (2006), attribue spécifiquement au processus de co-conception la construction du référentiel commun en y ajoutant des mécanicismes d'argumentation (faire comprendre à l'autre la logique derrière les propositions de solutions) pour la convergence des perspectives. Bucciarelli (1988) avance cependant qu'il est impossible pour les différents acteurs de se comprendre sans ambigüité aucune. En fonction de l'état d'avancée du projet de conception, cette ambigüité sera mouvante et non linéaire et participe à la définition des concepts et des spécifications liés à l'objet conçu. C'est dans cet état ambigu que les acteurs négocient entre eux.

Dans la conception distribuée, les concepteurs poursuivent des buts qui sont propres à chacun et sont engagés simultanément dans le processus de conception pour réaliser des tâches bien déterminées. Malgré la différence de buts et de tâches, les concepteurs ont pour objectif de participer le plus efficacement possible à la résolution collective du problème de conception, donc à la construction de compromis macrocentrés pour la conception dans un processus de négociation.

Pour résumer, le travail de conception amène les concepteurs à gérer des contraintes qui leur sont propres, à construire des compromis microcentrés et à se confronter aux contraintes des autres concepteurs. Ils entrent alors dans des processus de coordination et de négociation autour des contraintes de chacun et des solutions proposées pour arriver à un accord, un compromis macrocentré pour la conception. Nous considérons que la conception est alors un travail d'articulation entre la construction de compromis microcentrés pour la gestion de ses propres contraintes et la négociation avec les autres concepteurs pour aboutir à un compromis macrocentré final.

Pour revenir aux concepteurs ciblés par cette thèse, les concepteurs en maintenabilité construiraient donc des compromis microcentrés pour gérer les conflits entre leurs propres contraintes et participeraient à la construction des compromis macrocentrés avec les autres concepteurs. Le travail de construction des compromis par les concepteurs en maintenabilité vise la conception des situations de travail des mécaniciens. Quelle peut être la place des mécaniciens dans la conception de la maintenance et dans le travail des concepteurs en maintenabilité ? La section suivante interroge la place des travailleurs en bout de chaine et utilisateurs dans la construction des compromis pour la conception et la manière dont les travailleurs en bout de chaine sont considérés dans la conception.

2.3.1.3 La place des utilisateurs/travailleurs et des concepteurs dans la conception

Nous montrerons trois manières de considérer les utilisateurs et travailleurs finaux dans la conception. Les utilisateurs ou travailleurs finaux peuvent être considérés par les concepteurs comme une contrainte parmi les autres, comme des concepteurs dans et pour l'usage et/ou comme faisant partie d'un processus d'apprentissage mutuel des mondes des concepteurs et des utilisateurs.

Concevoir demande aux concepteurs de se construire une représentation des besoins et du comportement possible des usagers de l'objet conçu et utilisent ces besoins comme des contraintes servant de guide pour la conception (cf. §2.3.1.1). Les concepteurs considèrent généralement les usagers finaux comme un sous-système de l'objet (partage de tâches entre humain et machine et moyens de contrôle de la machine) (Darses & Wolff, 2006), donc comme une contrainte du système parmi les autres à intégrer dans la construction des compromis pour la conception. Dans une thèse se déroulant dans le même service de maintenabilité que notre thèse, Bernard (2019), s'intéresse au degré d'intégration des facteurs humains par les concepteurs en maintenabilité dans la conception. Il observe que les critères ergonomiques utilisés par les concepteurs en maintenabilité concernent à 80% la dimension physique du travail des mécaniciens. Les concepteurs en maintenabilité prennent en compte cette dimension physique du travail des mécaniciens à l'aide d'outils de simulations numériques et physiques (mannequin numérique, réalité virtuelle et hélicoptère réel.) et de standards ergonomiques tout au long du développement de l'hélicoptère. Ces outils de simulations peuvent aider les concepteurs à se détacher de la vision de l'usager comme d'un sous-système de l'objet en considérant son activité propre, soit à travers des considérations de conception centrée utilisateur, soit par le jeu de scénarios autour des comportements possibles du système (Darses & Wolff, 2006).

Selon Darses & Wolff (2006), la représentation que construit le concepteur du comportement de l'usager final par rapport au système conçu exerce une grande influence sur le résultat final de la conception. Ces mêmes auteurs montrent que les concepteurs n'ont bien souvent que peu d'informations directes des usages et s'appuient donc sur des guides ergonomiques normatifs et/ou sur leur propre expérience et savoir. Un des guides normatifs d'identification des besoins est la méthodologie d'analyse fonctionnelle, prônée par la norme NF X50-151, utilisée pour

lister les fonctions auxquelles l'objet conçu devra satisfaire pour répondre aux besoins des utilisateurs et aux contraintes de l'environnement. Les concepteurs passent en revue toutes les situations dans lesquelles l'objet est susceptible d'être, sans chercher à évoquer de solutions à ce stade afin d'encourager l'innovation technique. Cependant, ce niveau élevé d'abstraction et cette séparation artificielle entre la définition des problèmes et l'élaboration des solutions va à l'encontre des processus cognitifs des concepteurs (Darses et al., 2001) et ne demande pas aux concepteurs d'imaginer de véritables situations d'usages possibles. Ne pas essayer d'imaginer des situations d'usages pour la conception amènent les concepteurs à ne pas pouvoir anticiper les risques et difficultés que rencontrera le travailleur/l'usager pour agir en sécurité (Falzon, 2008). Darses et al. (2001) proposent alors, au moment de ces analyses fonctionnelles, d'assister les concepteurs dans l'évocation des usages futurs, plutôt que des fonctions générales, en se basant sur l'analyse du travail des utilisateurs. En effet, l'ergonomie de l'activité dans le champ de la conception s'intéresse particulièrement à l'anticipation des usages futurs.

Au-delà de la satisfaction de la contrainte des usages, le processus de conception peut se voir comme une unité de conception pour et dans l'usage (Folcher, 2010). La conception pour l'usage prend place dans le travail des concepteurs et s'intéresse à concevoir pour la faisabilité des usages futurs des artefacts. La conception dans l'usage prend place dans le travail des travailleurs/utilisateurs qui, dans l'usage de l'artefact, s'approprient l'artefact et développent de nouveaux usages (Bourmaud & Rétaux, 2002; Folcher, 2010). Ces nouveaux usages peuvent en retour venir enrichir la construction de la représentation des concepteurs et être repris dans la construction des compromis pour l'usage. Les travailleurs/utilisateurs peuvent alors être considérés comme des « coconcepteurs » (Cahour, 2002, cité par Béguin, 2007) participant à la construction des compromis pour la conception. Être un concepteur peut ne pas être seulement réservé aux professionnels dont c'est la fonction dans l'organisation formelle.

Complétant l'approche de la conception pour et dans l'usage, Béguin pense la conception comme un processus d'apprentissage mutuel pour coordonner des mondes professionnels différents, le monde des concepteurs et le monde des travailleurs/usagers (Béguin, 2007). Le résultat du travail du concepteur y est vu comme une hypothèse « *source de nouveauté et d'apprentissages dans l'activité d'autrui* », hypothèse qui est confrontée au monde des usagers pour être validée, infirmée et qui peut être remise en mouvement. L'apprentissage se situe selon Béguin (2007) sur deux plans issus des conflits inter-individuels s'inscrivant dans les dynamiques sociocognitives au sein des collectifs et des conflits intra-individuels de nature

cognitive. Béguin propose, pour favoriser les dynamiques d'apprentissages mutuelles entre concepteurs et utilisateurs, de :

- Comprendre et de respecter l'existence de différents « mondes professionnels » entre les acteurs, c'est-à-dire les sphères de compétences, les logiques, les identités des acteurs. Un monde est « *un ensemble d'arrière-plans conceptuels, axiologiques et praxiques qui forme système avec les objets de l'action* ».
- Favoriser la convergence des mondes par leur mise en discussion pour la construction d'un monde commun. Il ne s'agit pas de chercher à fusionner les mondes professionnels pour n'en faire qu'un, mais au contraire, il s'agit de définir leurs positions relatives, leurs différences et discordances pour organiser leur articulation et leur coordination et faire une œuvre commune. Un monde commun est la coordination des mondes professionnels.

L'apprentissage entre concepteurs et usagers se fait donc dans la mise en discussion des mondes professionnels et la construction d'un monde commun.

En fonction de l'approche de conception mobilisée par l'organisation, les usagers/travailleurs peuvent n'être considérés que comme une contrainte supplémentaire à intégrer dans la construction des compromis pour les concepteurs. Nous considèrerons pour cette thèse, que les usagers/travailleurs sont des acteurs de la conception dans l'usage, usage qui peut être source d'apprentissage pour les concepteurs. Le développement de l'apprentissage entre concepteurs et usagers/travailleurs passe par la mise en lumière et la discussion de leurs divergences.

Notre thèse s'intéresse au travail de conception du point de vue particulier de la conception pour la sécurité. Les sections suivantes présentent deux types d'approches possibles d'organisation de la conception pour la sécurité, les approches de la fiabilité humaine issues du modèle classique de la sécurité, et les approches de conception participative issues des modèles de la sécurité construite.

2.3.2 Concevoir pour la sécurité dans un modèle classique de la sécurité, l'approche de la fiabilité humaine pour la conception de barrières de défense

La vision classique de la sécurité est la recherche de l'absence de risques et d'erreurs (cf. §2.1.1). Cette vision de la sécurité est prédominante dans l'industrie et conduit les concepteurs

à chercher à identifier le risque pour maitriser sa réduction voire le supprimer à l'aide de méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine que nous présenterons dans cette section. Nous discuterons ensuite de ce qu'elles proposent pour concevoir la sécurité, c'est-à-dire la conception de barrières prévenant les erreurs.

2.3.2.1 Panorama des Méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine et positionnement de la méthode Human Hazard Analysis (HHA)

Dans le monde industriel, les méthodes de conception pour la sécurité sont fortement liées aux méthodes d'évaluation et d'amélioration de la fiabilité humaine qui s'inscrivent généralement dans une vision classique de la sécurité.

La fiabilité peut en effet être définie comme la probabilité qu'une personne exécute correctement l'activité requise dans un délai requis (si le temps est un facteur limitant) et ne réalise aucune activité complémentaire (sans rapport avec la tâche) qui pourrait dégrader le système (Swain et Guttmann, 1988, cité par INERIS, 2011). La fiabilité serait alors caractérisée par la probabilité d'échec d'une mission humaine. « *L'Homme acquiert alors le statut de « point faible des systèmes », et il est considéré comme limiteur de performance et de sécurité »* (Amalberti, 2001a).

Kirwan (1994, cité par INERIS, 2011) propose une démarche générale d'évaluation de la fiabilité humaine (voir la Figure 14). Nous considérons ces démarches et méthodes comme des outils qui cadrent le travail des concepteurs dans la prise en compte de la sécurité en conception.

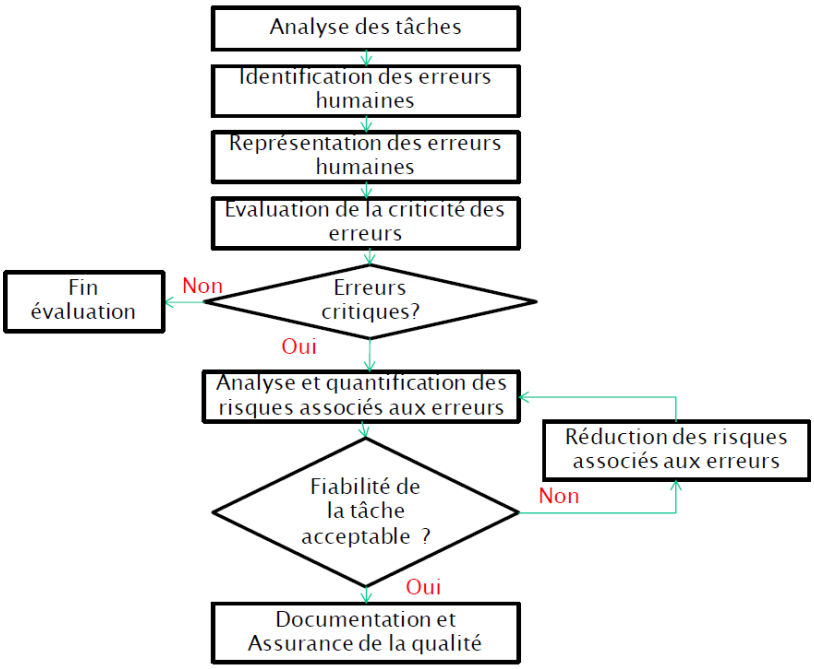


Figure 14 : Processus général d'évaluation de la fiabilité humaine d'après le travail de Kirwan (INERIS, 2011)

La démarche générale de l'évaluation de la fiabilité humaine qu'utilisent les concepteurs débute par l'analyse des tâches afin de déterminer le rôle des opérateurs et leurs interactions avec le système. A partir de cette analyse, le concepteur cherche à identifier les erreurs humaines puis à les croiser avec d'autres défaillances matérielles (cf. figure 14 cadre Représentation des erreurs humaines) pour ensuite évaluer l'impact des erreurs sur la sécurité des systèmes. Si ces erreurs sont considérées comme ayant un impact, elles font l'objet d'une analyse et d'une quantification afin de déterminer si la fiabilité de la tâche est acceptable ou non. Si ce n'est pas le cas l'analyste doit chercher à modifier la situation de travail afin de ramener le risque dans une zone acceptable. C'est à ce moment que les concepteurs vont devoir concevoir des barrières pour la sécurité (cf. §2.3.2.2). Suite à cela Kirwan ajoute une dernière étape de suivi du travail réalisé en gardant une trace des méthodes utilisées et des résultats en prévision d'un audit futur.

L'approche développée par les concepteurs du service de maintenabilité avec la méthode HHA (cf. §1.3.1) fait partie de ces méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine. En effet, la méthode HHA déployée par le service de maintenabilité suit la logique de la méthode d'analyse de la fiabilité souvent utilisée en entreprise, l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) (Lawrence & Gill, 2007). La méthode HHA contient en effet toutes

les étapes classiques de l'AMDEC : la décomposition fonctionnelle des équipements et des processus, l'analyse des dysfonctionnements pour chaque fonction ou étape, l'analyse des causes des défaillances, l'analyse des effets, l'évaluation de la criticité de la défaillance et la définition de mesures de nature à traiter le problème identifié (Thellier, 2017).

Cette méthode HHA s'inscrit dans une histoire d'évolution des méthodes d'évaluations de la fiabilité humaine utilisées par les concepteurs en industrie. Dans un état de l'art des méthodes d'évaluation probabilistes de la fiabilité humaine, l'Ineris (2011) propose une classification de ces méthodes en trois générations (voir Figure 15).

Génération	Date	Méthode	Description
1ère génération	1963 (1983)	THERP	Technique for Human Error Rate Prediction
	1980	TESEO	Technica Empirica Stima Errori Operatori
	1983	SLIM	Success Likelihood Index Method
	1984	HCR	Human Cognitive Reliability
	1985	HEART	Human Error Assessment and Reduction Technique
	1986	SHERPA	Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach
2ème génération	1996	ATHEANA	A technique for Human Event Analysis
	1998	CREAM	Cognitive Reliability & Error Analysis Method
	1998	MERMOS	Méthode d'Évaluation de la Réalisation des Missions Opérateur pour la Sûreté
	1998	ACIH	Analyse des Conséquences de l'Infiabilité Humaine
3ème génération	1998	TRIPOD	Méthode de Sécurité Organisationnelle
	2004	FRAM	Functional Resonance Analysis Method (Méthode de sécurité Résilience)

Figure 15 : Classification de quelques méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine en génération (INERIS, 2011)

La première génération est centrée sur l'erreur humaine individuelle. Ces méthodes visent à identifier les défaillances humaines, dépendantes d'un contexte, mais sans recherche approfondie des causes de l'erreur (INERIS, 2011).

Les méthodes de deuxième génération cherchent à comprendre les processus cognitifs menant à la défaillance en prenant en compte des facteurs liés au contexte. Elles cherchent à expliquer et prédire les défaillances humaines.

Les méthodes de troisième génération, peu nombreuses, intègrent la dimension organisationnelle pour comprendre et évaluer les erreurs de l'individu. L'erreur y est vue comme une action contrainte réalisée par le travailleur, en lien direct avec l'environnement et l'organisation.

Embrey E.D. (1991, cité par Hadj-Mabrouk & Hadj-Mabrouk, 2004) oppose la fiabilité humaine traditionnelle à la fiabilité humaine contemporaine. La première génération de méthodes correspond à l'approche traditionnelle de la fiabilité humaine qui met en avant les aspects négatifs de la performance humaine en assimilant l'humain à un composant du système technique et qui vise essentiellement à quantifier les probabilités d'erreurs. La fiabilité humaine contemporaine considère l'humain comme participant actif à la solution des problèmes posés dans le travail. Nous pensons pouvoir désigner de contemporaines les approches de la fiabilité de deuxième et troisième génération données par l'INERIS.

La méthode HHA prend en compte dans l'analyse des tâches de maintenance la fiabilité technique des systèmes et s'intéresse aussi à la fiabilité humaine dans un but de réduction des risques d'erreur. A priori, nous pouvons placer HHA non pas dans la génération des méthodes traditionnelles qui ne s'intéressent qu'à la quantification des erreurs, mais plutôt dans l'approche contemporaine. En effet, dans le service de maintenabilité d'Airbus Helicopters, les concepteurs en maintenabilité cherchent à comprendre la variabilité de la tâche de maintenance et l'écart entre la tâche de maintenance et les pratiques des mécaniciens à travers des simulations de tâches de maintenance. Mais cette analyse se base essentiellement sur l'analyse de la tâche de maintenance en dehors du contexte organisationnel dans lequel elle est réalisée et non du travail réel des opérateurs de maintenance ancré dans des situations de travail singulières (Falzon, 2004). C'est pourquoi nous pensons pouvoir classer la méthode HHA dans la catégorie des méthodes de deuxième génération qui veulent prendre en compte le contexte des erreurs mais pas dans les méthodes de troisième génération qui ont une focale sur l'organisation. Une analyse plus fine de l'usage de HHA par les concepteurs en maintenabilité permettra de nous positionner (cf. §5.3.4.3.)

2.3.2.2 Concevoir des barrières de défenses pour la prévention des accidents

L'approche par la fiabilité humaine et de la conception pour la sécurité a été fortement impactée par le modèle de l'accident développé par Reason (voir Figure 16), particulièrement dans l'industrie aéronautique (O'Hare, 2000). L'intérêt de ce modèle pour la conception de la sécurité est qu'il permet aux concepteurs de réfléchir à la survenue des erreurs sur toute la chaine hiérarchique de conception, des décideurs (organisation) aux travailleurs en bout de chaine (person/team) en passant par le management (workplace).

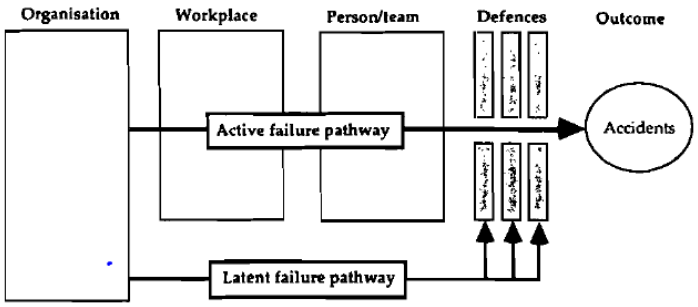


Figure 16 : Modèle d'accident de Reason, extrait de l'article "A system approach to organizational error" (Reason, 1995).

Dans son modèle, Reason distingue deux types d'erreurs afin d'expliquer la survenue des accidents (Reason, 1990)

- Les erreurs actives, dont les effets se font ressentir presque immédiatement,
- Les erreurs latentes, dont les conséquences néfastes peuvent rester longtemps en sommeil dans le système de production et ne se manifester qu'en se combinant avec d'autres facteurs pour mettre en brèche les défenses du système.

L'accident serait le produit d'une interaction entre les erreurs latentes dans l'organisation et d'erreurs actives aux différents plans de la chaine de production qui traversent les barrières de protections mises en place par l'organisation (Reason, 1990). Les accidents peuvent être le résultat d'erreurs à court terme commises par les travailleurs en bout de chaine, mais les trous les plus importants dans les défenses permettant la survenue d'accidents sont créés par les décisions faites en amont de l'action finale, celles des concepteurs, de la hiérarchie et des politiques de maintenance (Reason et al., 2006).

Diminuer le risque d'accident peut alors vouloir dire empêcher le déclenchement des erreurs actives par des actions de prévention mais aussi récupérer et/ou réduire les conséquences de l'erreur en renforçant les barrières de défenses et en supprimant les erreurs latentes les fragilisant. Hollnagel (2008) propose de concevoir la sécurité par la mise en place de plusieurs types de barrières aux risques, les barrières :

- Physiques ou matérielles (Par exemple, Design d'une pièce de type poka yoke)
- Fonctionnelles par la création d'une ou plusieurs conditions préalables qui doivent être remplies avant qu'une action puisse être menée
- Symbolique qui demande un acte d'interprétation (Par exemple, un signe danger dans une procédure ou sur la pièce conçue)

- Incorporées, c'est à dire qui dépendent du travailleur et de sa volonté à les mettre en place (principalement des règles de sécurité incorporées dans la procédure).

Pour être efficace ces barrières peuvent être associées et leurs vulnérabilités doivent être évaluées pour ensuite mettre en place une évaluation de leur fiabilité (Hollnagel, 2008). Sans invalider l'intérêt de la conception de barrières de défenses, Hollnagel (1993) met en avant la nécessité de ne pas seulement se focaliser sur la prévention de l'erreur mais de chercher à concevoir un système tolérant à l'erreur. Hollnagel donne lui-même les limites des systèmes se voulant tolérants aux erreurs. Il met en avant que pratiquement tous les systèmes tolérants aux erreurs entrent en action après que l'action erronée ait eu lieu et a eu un effet détectable.

La méthode Human Hazard Analysis utilisée par le service de maintenabilité s'inscrit dans ce modèle de la conception pour la sécurité par la conception de barrières de défenses face aux risques. En effet, les recommandations découlant de l'identification des risques d'erreur cherchent la mise en place de barrières empêchant l'erreur ou diminuant ses conséquences en agissant sur le design de l'hélicoptère, la création ou la modification d'outillages spécifiques, les procédures et la formation.

Certaines méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine peuvent permettre aux concepteurs de s'interroger sur le contexte et les mécanismes de la survenue d'erreurs et d'incidents pour investiguer les causes organisationnelles des accidents et prendre en compte une partie du travail des travailleurs. Cependant, même si elles n'excluent pas un travail de coopération entre concepteurs/experts et les travailleurs en bout de chaine, elles s'adressent essentiellement aux concepteurs et experts. Elles nous semblent prôner un modèle descendant de la sécurité réglée avec des concepteurs et experts évaluant les risques que les travailleurs en bout de chaine commettent des erreurs amenant à l'accident, et une conception de la sécurité basée sur l'instauration de barrières devant limiter les possibilités d'action des travailleurs pour assurer la sécurité. Si des constructions de compromis à l'échelle individuelle ou collective se réalisent pour l'évaluation des risques et la recherche de solutions, celles-ci ne sont pas explicitement mis en avant par ces méthodes, voire passées sous silence. Au contraire, elles visent des évaluations « objectives » de risques fixes par le suivi de protocole d'analyse de probabilités d'occurrence et de gravité des risques.

Le modèle classique de la sécurité passe sous silence, par les analyses de la fiabilité humaine, le travail de construction de compromis réalisé par les concepteurs et le collectif de conception. Cette mise sous silence des conflits et compromis réalisés par les travailleurs entre en opposition avec la démarche portée par les ergonomes de l'activité de développement de processus de conception favorisant le débat autour du travail réel. La prochaine section présente les différentes approches de conception proposées par l'ergonomie de l'activité centrées sur une vision constructive de la sécurité.

2.3.3 Concevoir pour la sécurité d'après l'approche constructive de la sécurité

Concevoir pour la sécurité dans l'approche constructive de la sécurité amène les ergonomes de l'activité à s'intéresser au travail réel des travailleurs pour agir en sécurité et à l'anticipation des usages. Nous montrerons que les différentes approches de l'anticipation des usages en ergonomie de l'activité peuvent être reliées, sans être assimilées, aux différentes approches de l'articulation Sécurité Réglée/Sécurité Gérée (SR/SG). Nous focaliserons ensuite notre attention sur une de ces approches, l'approche participative.

2.3.3.1 Approches d'anticipation des usages en ergonomie de l'activité et lien avec les approches de l'articulation Sécurité Réglée/Sécurité Gérée

Falzon (2008) identifie trois approches d'anticipation des usages en ergonomie de l'activité pour la conception, l'approche classique, l'approche instrumentale et l'approche participative que nous proposons de relier aux approches de la construction de la sécurité distinguant Sécurité Réglée et Sécurité Gérée (cf. §2.2).

L'approche classique qui analyse les usages présents pour les intégrer dans la conception. Cette approche permet la conception d'un système utilisable puisque reposant sur les usages mais ne favoriserait pas l'innovation ni l'évolution de la conception et des usages. En effet, concevoir demande également aux concepteurs de prendre en compte le fait que les systèmes ne sont pas stables, que les technologies, les objectifs, les organisations changent. La conception n'est alors jamais figée et doit s'adapter en permanence (Falzon, 2008). Placer les usages dans le cadre du modèle de la sécurité en action, nous amène à penser aux usages comme le résultat de l'activité d'adaptation des règles de la sécurité à la situation, c'est-à-dire de la sécurité gérée. Traduire l'approche classique des usages dans la conception dans le cadre de la

conception pour la sécurité nous amènerait alors à chercher à intégrer les pratiques de sécurité gérée à un instant t dans la sécurité réglée. Jusqu'à une certaine mesure, cette approche peut s'apparenter à la première approche de l'articulation de SR/SG identifiée par Cuvelier (2022) de la **réconciliation par l'intégration du géré dans le réglé**. Cependant cette recherche de réconciliation vise la diminution, voire la suppression de l'écart SR/SG car considéré comme néfaste pour la sécurité. Soit l'organisation cherche à ramener le géré à correspondre au réglé à l'aide, par exemple, de formations, soit à modifier le réglé pour correspondre au géré identifié. L'objectif pour l'organisation est alors de construire des règles de sécurité qui tendent à être exhaustives et que les travailleurs devront appliquer, faute de quoi ils prendraient des risques. L'approche classique des usages en ergonomie considère au contraire l'écart entre le travail prescrit et le travail réel, dont les usages, comme indispensable à l'activité et comme une ressource pour la conception de systèmes utilisables et fiables.

L'approche instrumentale développée par Rabardel précise que la conception se continue dans l'usage, mettant en évidence de nouveaux besoins, de nouveaux usages. L'objectif du concepteur sera alors d'articuler la conception de limites cadrant les pratiques tout en permettant un espace de développement de ces usages par les travailleurs. Il nous semble que la troisième approche de l'articulation entre SR/SG, le **dialogue SR/SG**, rejoint l'approche instrumentale concernant cette recherche de lien entre deux logiques complémentaires sans nier leurs différences structurelles. Cette approche nous amène à voir l'écart SR/SG comme le point de départ de la conception.

L'approche participative de la conception permet d'insérer l'approche instrumentale dans le processus de conception par un processus d'apprentissage mutuel et de négociation entre concepteurs et usagers. Cette recherche de mise en discussion entre le prescrit et les usages dans la conception rappelle la deuxième approche de l'articulation entre SR/SG, **l'arbitrage**. L'arbitrage est réalisé au niveau de l'organisation qui gère l'écart SR/SG pour que les pratiques des travailleurs restent dans une zone acceptable de sécurité (Cuvelier, 2022). Cette approche « *consiste à concevoir des systèmes flexibles et des systèmes de management des règles qui intègrent des marges de manœuvre pour laisser de la place aux régulations et aux adaptations, tout en gardant un contrôle permettant de maintenir ces adaptations dans un espace acceptable* » (Cuvelier & Woods, 2019). Cette vision de l'écart réglé/géré peut permettre des approches de la conception visant à prévoir en amont des marges de manœuvre qui rendent possibles plusieurs modes opératoires acceptables. L'enjeu est à la fois d'ouvrir des « formes d'activité

possibles » tout en rendant « impossibles certains modes opératoires à cause des risques qu'ils présentent » (Daniellou, 2004).

La section suivante se focalisera sur les approches de conception participative et leurs apports pour la conception de la sécurité.

2.3.3.2 L'approche participative pour favoriser une conception pour la sécurité ?

Les approches de conception participative ne sont pas nouvelles mais peu se consacrent à la collaboration concepteurs/opérateurs dans la conception pour la sécurité. On retrouve des travaux encourageant l'implication des utilisateurs, le participatory design, dans le processus de conception dès les années 1960 (Prost, 2019). L'idée partagée par les approches se réclamant du participatory design est que les utilisateurs ont une connaissance, un savoir-faire qu'il faut insérer dans la conception. Prost (2019) préfère mettre en avant l'idée que l'objet en cours de conception sera utilisé par d'autres personnes, et qu'il faut que ces personnes soient impliquées dans la conception puisque leur activité en sera impactée. La conception participative renvoie alors aux cadres conceptuels de la dimension collective de la conception avec l'intégration de différents points de vue dans le processus de conception par l'explicitation des points de vue et la gestion des compromis (Darses et al., 2001).

La littérature en ergonomie s'intéressant à l'implication des opérateurs/utilisateurs dans le processus de conception relève plusieurs effets bénéfiques d'une telle démarche. La participation permettrait :

- L'innovation et l'intégration immédiate de ces innovations dans les usages (Falzon, 2008) ;
- L'établissement de pronostics des besoins futurs à l'aide de simulation dans les cas de conception de systèmes nouveaux, sans situation de référence (Darses et al., 2001) ;
- L'intégration non seulement des connaissances, mais de l'activité des opérateurs dans la conception (Falzon, 2008) ;
- Une approche holistique du processus de conception et une vision large des conditions de travail (Darses & Wolff, 2006);
- Les conditions d'un partage de pouvoir de décision (Darses et al., 2004) ;
- Les conditions de construction d'une intelligibilité mutuelle, d'un apprentissage mutuel (Béguin, 2007; Darses et al., 2004; Falzon, 2008), pouvant être appréhendés comme le

développement d'une activité partagée, autre que la mise en commun des activités des concepteurs et des activités des utilisateurs ;

- Un affaiblissement des modèles classiques de la sécurité pour intégrer les composantes sociales et organisationnelles du travail (Darses et al., 2004).
- La construction de la sécurité. La conception participative des règles de sécurité et leur mise en débat est une des conditions organisationnelles favorisant la construction de la sécurité (Béguin, 2007; Nascimento et al., 2013; Rocha, 2014).

Plusieurs études en ergonomie de l'activité s'intéressent à la construction participative de la sécurité entre managers et opérateurs. Dans son travail de thèse, Rocha (2014) expérimente des espaces de débat sur le travail réel pour la construction de la sécurité regroupant opérateurs et managers dans deux entreprises axées sur une culture managériale de la sécurité et analyse le contenu des échanges au sein de ces espaces de débat. Un travail initial d'analyse de l'activité des opérateurs a permis à l'auteur d'identifier des « *situations particulièrement à risque du point de vue organisationnel ou de la sécurité pour les travailleurs* », appelées « Situations A Fort Enjeux » (SAFE). Selon Rocha, les SAFE sont dans le domaine de la sécurité ce que sont les Situations d'Actions Caractéristiques (SAC) dans le domaine de la conception. En effet, un des apports de l'ergonomie aux projets de conception est la construction de bibliothèques de Situations d'Action Caractéristiques (SAC) (Jeffroy, 1987 cité par Galey, 2019). Les SAC sont décrites à partir de situations de référence qui rassemblent l'ensemble des variabilités du travail qui pourront se retrouver dans le travail futur (Daniellou, 2004). Les SACs donnent des repères techniques, organisationnels et humains pour la conception qui devront être intégrés dans la conception des situations de travail futures. Ce sont les SAFE qui sont mises en débat auprès des opérateurs et des managers dans le travail de thèse de Rocha. L'auteur montre qu'au niveau local, les espaces de débat des SAFE ont amélioré la déclaration et le traitement des situations à risque et ont permis le développement d'une gestion proactive des risques, d'un collectif de travail et d'une dynamique d'apprentissage, pour au final apporter une réelle contribution à la construction de la sécurité. Rocha (2014) précise que pour que ces espaces soient durables et fonctionnent, les participants doivent disposer d'un certain pouvoir d'agir et doivent pouvoir mobiliser d'autres espaces lorsque les ressources locales sont insuffisantes pour régler les problèmes de sécurité posés.

Domette (2019) fait également le constat que l'espace de discussion seul, sans « ingénierie de la discussion » et « espace organisationnel » dédié ne suffit pas. La mise en place d'espaces de discussion pour mettre en débat le travail réel demande la conception de dispositifs s'adaptant, dans le temps, aux contextes des entreprises souhaitant mettre en place ces espaces. Autrement dit, il n'existe pas de forme clé en main d'espaces de discussion à reproduire dans chaque organisation. Nascimento (2013) identifient tout de même quatre types de conditions d'organisation favorisant le partage des savoirs entre travailleurs et managers pour la construction de la sécurité :

- Une conception articulant processus ascendants et descendants
- L'intégration des dimensions collectives dans les organisations et les formations pour que chacun puisse prendre en compte l'activité de l'autre dans son propre travail
- Des prises de décisions collectives par le débat de situations de travail réelles
- Un management privilégiant la compréhension des décisions des travailleurs plutôt que le rappel des règles

Le travail de recherche de Béguin (2007) fait partie du cercle restreint de travaux s'intéressant à une approche participative entre concepteurs et opérateurs de production pour la conception pour la sécurité. En effet, dans le secteur de l'industrie de la chimie fine, Béguin (2007) fait un lien direct entre la mise en discussion de l'activité des concepteurs et de l'activité des opérateurs et la conception pour la sécurité. Bien que son étude porte plus sur l'identification de mondes professionnels et les mécanismes d'apprentissage mutuel entre concepteurs et opérateurs, son travail montre à voir la conception d'une alarme pour la sécurité du processus de conception. Une alarme de détection d'emballement de réaction (c'est-à-dire d'explosion) a été conçue par des ingénieurs pour permettre aux opérateurs de production d'identifier l'apparition d'un emballement de réaction et le temps restant avant explosion. Les ingénieurs concepteurs pose la question de « l'appropriation du dispositif » à l'ergonome et son équipe. Après une analyse du travail des opérateurs et des concepteurs, l'auteur identifie l'existence de deux visions et usages différents de l'alarme. Les concepteurs l'ont conçu et pensé dans « un monde du chaud », où leur préoccupation première était l'identification de l'emballement et l'évitement de l'explosion. Les opérateurs de production, eux, conduisent la production et utilisent l'alarme dans « un monde du froid ». C'est-à-dire qu'ils utilisent l'alarme comme d'un thermomètre leur permettant d'identifier, non pas si la réaction s'emballe et chauffe, mais au contraire de maintenir le produit à une température basse, gage de qualité, mais sans trop le refroidir ce qui risquerait de le cristalliser.

L’auteur décrit alors les désaccords issus de la confrontation des concepteurs au monde des opérateurs. Désaccords qui ont failli amener les concepteurs à arrêter leur participation au projet. La mise en discussion des concepteurs avec les opérateurs autour de ces désaccords (en plusieurs étapes de mise en discussion) a toutefois permis aux concepteurs d’apprendre des pratiques des opérateurs de production et de développer la conception d’une nouvelle alarme aidant à la conduite de production tout en conservant la fonction d’alarme d’emballement de réaction. Les opérateurs de production ont eux aussi été confrontés au monde du chaud des concepteurs en participant à une simulation de gestion de l’emballement. Ils ont ainsi pu découvrir la rapidité de l’emballement de réaction et qu’il leur était impossible dans les conditions de travail existantes de la gérer. Un changement d’organisation a alors été mis en place.

L’auteur ne donne pas de détails concernant l’organisation de ces discussions, la construction des compromis ou le degré de participation des opérateurs à la conception de la nouvelle alarme et organisation. Cependant, ce travail illustre la nécessité et la difficulté pour les concepteurs de penser la conception pour la sécurité avec les travailleurs. Il montre également la nécessité pour l’ergonome de comprendre les différences existantes entre la manière dont les concepteurs pensent la conception pour la sécurité et la manière qu’ont les travailleurs d’agir en sécurité.

Dans le cadre de l’ergonomie de l’activité, soutenir le travail de conception pour la sécurité nous demande d’identifier les situations de travail des concepteurs et les travailleurs de bout de chaine pour comprendre comment ils construisent les compromis leur permettant de concevoir pour la sécurité et d’agir en sécurité. Mettre en évidence les conflits qui existent entre les stratégies des concepteurs pour concevoir la sécurité réglée et celles des travailleurs pour agir en sécurité est essentiel pour mettre en place d’une démarche de conception participative pour construire une sécurité articulant Sécurité Réglée et Sécurité Gérée. Une démarche participative de conception pour la sécurité doit alors permettre aux concepteurs et aux travailleurs de construire ensemble des compromis pour la sécurité intégrant les contraintes des concepteurs et celles des travailleurs. L’organisation d’une telle démarche pourra alors nous éclairer sur les mécanismes de construction de ces compromis et leurs apports pour la construction de la sécurité.

Partie II

Problématique et Méthode

3. Chapitre 3 Problématique

3.1 Au-delà des erreurs, articuler Sécurité Réglée et Gérée

Notre recherche s'ancre dans une demande d'entreprise industrielle de production d'hélicoptère centrée sur la diminution du risque d'erreur en maintenance. Ce souci de viser la sécurité par l'évitement de l'erreur s'inscrit dans la vision classique de la sécurité, ou Safety I (Hollnagel, 2014), considérant la sécurité comme étant l'absence de risque d'erreur. Dans des organisations marquées par la vision classique de la sécurité, diminuer ou supprimer les risques que les travailleurs commettent des erreurs et compromettent la sécurité est considéré comme le moyen d'atteindre des systèmes sûrs. Cette vision de la sécurité est mobilisée par les approches de la fiabilité humaine, dominantes dans les entreprises (INERIS, 2011). La démarche Human Hazard Analysis (HHA) développée par les concepteurs en maintenabilité de l'entreprise s'inscrit dans ces approches. Ces approches de la fiabilité humaine permettent aux concepteurs de réfléchir aux mécanismes de production de l'erreur et aux conditions organisationnelles des accidents et donc d'intégrer une partie du travail des mécaniciens dans la conception. Elles ont contribué à la construction d'une industrie aéronautique considérée comme ultrasûre.

Cependant, la vision classique de la sécurité centrée sur les erreurs humaines est discutée par les champs d'étude de la sécurité et l'ergonomie de l'activité depuis plus d'une dizaine d'années, entre autres à travers l'ingénierie de la résilience (Hollnagel & Woods, 2006) et le concept de safety II (Hollnagel et al., 2015). Ces approches considèrent comme l'écrit Dekker (2014a) que la focalisation de l'organisation sur les erreurs humaines ne permet pas aux organisations de comprendre la façon dont les travailleurs contribuent à la construction de la sécurité. Les organisations devraient alors s'intéresser à la manière dont les travailleurs et les organisations s'adaptent face à la variabilité du travail (Hollnagel & Woods, 2006). Cette thèse s'inscrit dans ces approches en portant une vision constructive de la sécurité et s'appuie sur le concept de sécurité en action (de Terssac & Gaillard, 2009). La sécurité en action s'intéresse à la manière dont les travailleurs agissent en sécurité en adaptant les règles de sécurité à leurs situations. Elle s'intéresse aussi à la manière dont l'organisation conçoit ces règles et les fait évoluer pour permettre un développement continu de la sécurité. Cette approche de la sécurité nous amène à considérer que la sécurité se construit dans l'articulation de la sécurité réglée et

la sécurité gérée (SR/SG) (Cuvelier & Woods, 2019). La sécurité réglée est comprise comme la manière dont l'organisation conçoit les règles de sécurité. La sécurité gérée est comprise comme la capacité du travailleur à adapter les règles de sécurité à la situation.

Notre thèse explore l'articulation SG/SR en interrogeant, de façon croisée, l'activité des concepteurs en maintenabilité et celle des mécaniciens qui assurent la maintenance. Nous verrons ci-dessous que concevoir pour la sécurité et agir en sécurité demande aux concepteurs et aux mécaniciens de gérer des situations de conflits de contraintes. Nous chercherons à comprendre, pour les concepteurs en maintenabilité et les mécaniciens, les modalités de gestions de ces conflits de contraintes à travers le prisme de la construction de compromis micro et macro centrés (Amalberti, 2013).

3.2 Les compromis micro et macrocentrés, au cœur de l'articulation SR/SG ?

Dans leurs situations de travail, les mécaniciens et concepteurs adoptent des stratégies leur permettant de gérer différents types de conflits en construisant des compromis microcentrés réunissant les conflits cognitifs et les conflits de contraintes à l'échelle individuelle, et les compromis macrocentrés.

Les travailleurs doivent gérer des conflits cognitifs entre leur besoin de comprendre la situation et leur besoin d'agir. Le compromis cognitif permet au travailleur d'agir pour contrôler les situations avec une compréhension suffisante (Amalberti, 2001a). Comme présenté dans le cadre théorique, le concept de compromis cognitif a été développé dans l'étude de situations dynamiques de temporalité rapide (par exemple, les situations de travail des contrôleurs aériens) qui correspondent en partie aux situations de travail des mécaniciens. Nous ferons l'hypothèse qu'il s'applique également à l'activité des concepteurs en maintenabilité bien qu'ils travaillent dans des situations à temporalité plus lente. Le compromis cognitif permettrait alors aux mécaniciens et aux concepteurs en maintenabilité de construire des stratégies de gestion des conflits de contraintes. La littérature montre que les mécaniciens gèrent des conflits entre des contraintes de sécurité et les contraintes opérationnelles (di Cioccio, 2012). Les concepteurs gèrent des conflits entre des contraintes de conception (par exemple des contraintes de masse et de performance aéronautique) qui deviennent dans le processus de conception un guide dans la recherche de solution (Richard et al., 2009). Nous chercherons

dans cette thèse à étendre la compréhension des types de conflits de contraintes auxquelles les mécaniciens d'hélicoptères et les concepteurs en maintenabilité font face.

Les organisations sont considérées par Amalberti (2013) comme un système de contraintes contradictoires entrant en conflit. Pour gérer ces conflits, les acteurs s'engagent dans des processus de négociation pour la construction d'un compromis macrocentré visant la gestion des risques au niveau de l'organisation. Nous faisons l'hypothèse que les concepteurs en maintenabilité comme les mécaniciens sont impliqués dans la construction des compromis macrocentrés, bien qu'à des degrés et niveaux différents.

Amalberti (2013) conçoit la construction de la sécurité au travers de la construction de ces deux types de compromis, micro et macrocentrés. Nous chercherons ici à comprendre l'articulation des compromis microcentrés et macrocentrés dans l'activité des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens par l'identification des conflits de contraintes auxquelles ils font face et des stratégies qu'ils mobilisent pour construire ces compromis dans des situations de travail à enjeux de sécurité.

3.3 La conception participative autour des Situations à Enjeux de Sécurité, un moyen de favoriser l'articulation SG/SR ?

Pour soutenir la conception de situations de travail futures, l'ergonomie de l'activité a développé la notion de Situations d'Action Caractéristiques (SAC). Les SAC sont des situations de références du travail réel à intégrer dans la conception (Daniellou, 2004). Adaptant ce concept à la construction de la sécurité dans l'organisation, Rocha (2014) a développé la notion de Situations A Fort Enjeux (SAFE). Les SAFE sont des situations à risque du point de vue de l'organisation et de la sécurité des opérateurs destinées à être débattues entre opérateurs et managers. Dans la continuité de ces travaux, nous cherchons à identifier des situations à enjeux du point de vue de la sécurité, servant de références pour la conception. Nous les appellerons des Situations à Enjeux de Sécurité (SES). Le premier volet de notre travail empirique a pour objectif de les définir plus précisément (cf. §4.1, 5.3 et 6.3). Les SES dans le travail des mécaniciens mais aussi dans le travail des concepteurs en maintenabilité seront ensuite l'unité d'analyse des chapitres empiriques 5 et 6.

L'analyse des SES dans le travail des mécaniciens et des concepteurs en maintenabilité nous permettra d'identifier d'éventuels écarts et points d'accords entre le modèle de la sécurité des concepteurs en maintenabilité et la sécurité en action des mécaniciens d'hélicoptère. L'analyse

des SES nous permettra également de comprendre quelle place prennent les deux dimensions de la sécurité, la sécurité réglée et la sécurité gérée (SR/SG), dans le travail des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens.

Dans une vision constructive de la sécurité, concevoir pour la sécurité suppose d'organiser la conception pour l'articulation SR/SG (Cuvelier & Woods, 2019; Daniellou et al., 2010; Nascimento et al., 2013) ce qui, selon les propositions de l'ergonomie de l'activité, doit être permis par les approches de conception participatives des situations de travail (Béguin, 2007; Falzon, 2008; Rocha, 2014). L'organisation d'une telle démarche, basée sur une analyse commune de situations à enjeux de sécurité et de problèmes de conception devrait alors permettre la construction de la sécurité. Nous interrogerons dans le chapitre 7 la possibilité pour une organisation de dépasser le modèle classique de la sécurité et d'articuler la sécurité réglée et gérée à travers une approche de conception participative entre concepteurs en maintenabilité et mécaniciens. Autrement dit, nous chercherons à savoir si l'organisation d'une conception participative de la maintenance (procédure et design) centrée sur l'analyse des Situations à Enjeux de Sécurité de maintenance favorise l'articulation SR/SG.

3.4 Thèse défendue et questions de recherche

Au vu des éléments présentés dans le contexte et de la littérature concernant la construction de la sécurité et la conception, nous soutiendrons la thèse suivante (voir Figure 17).

Les mécaniciens comme les concepteurs en maintenabilité développent des stratégies de construction de compromis microcentrés pour faire face à des conflits de contraintes au niveau individuel. Selon le concept de sécurité en action, ces compromis se construisent par l'adaptation des règles (de maintenance ou de conception) pour pouvoir agir en sécurité. Dans ce sens, nous considérons qu'ils « gèrent » la sécurité dans la maintenance et dans la conception. Les concepteurs en maintenabilité ont accès aux instances de négociations pour la conception des procédures de maintenance et du design de l'hélicoptère. Les mécaniciens peuvent également avoir la possibilité de discuter des règles de sécurité au sein de leur organisation. Dans ce sens, nous considérons que les concepteurs et les mécaniciens construisent des compromis macrocentrés avec les autres concepteurs pour les concepteurs en maintenabilité et avec l'organisation de l'atelier de maintenabilité pour les mécaniciens. En ce sens, ils « règlent » la sécurité dans la maintenance et la conception.

Nous faisons également l'hypothèse que la construction de la sécurité se réalise dans l'articulation de la sécurité en action portée par les mécaniciens (la sécurité gérée) et la conception de la sécurité réglée portée par les concepteurs en maintenabilité. Le développement d'une démarche participative de conception de la maintenance pour la sécurité centrée sur l'analyse de Situations à Enjeux de Sécurité devra alors permettre aux concepteurs en maintenabilité et aux mécaniciens de construire ensemble des compromis macrocentrés articulant la Sécurité Gérée et la Sécurité Réglée.

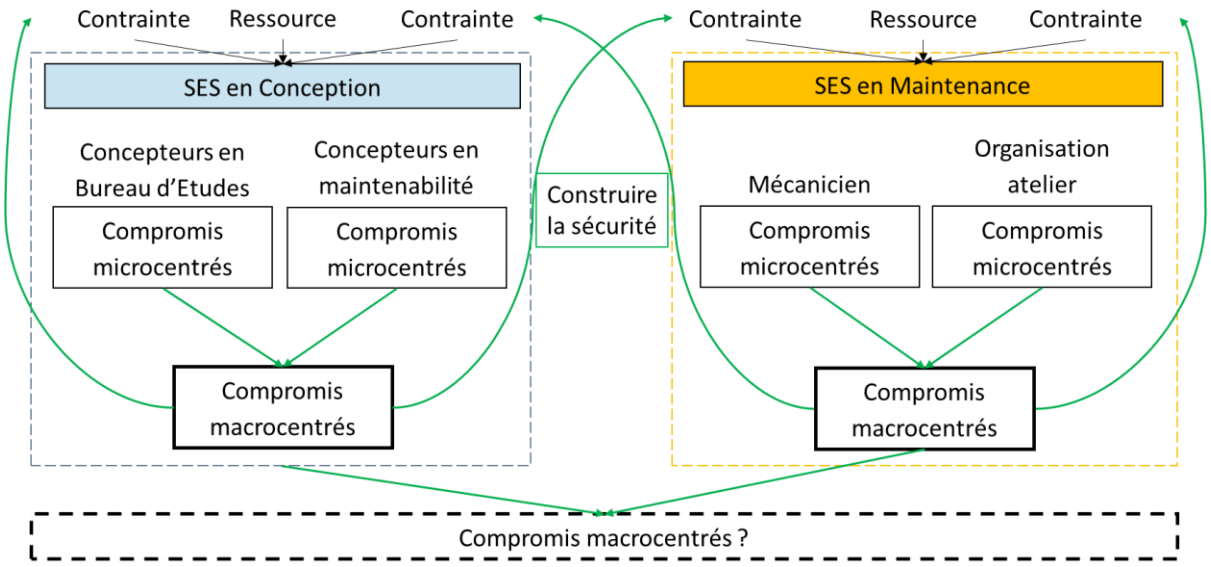


Figure 17 : Modélisation de la thèse défendue – Construction de la sécurité

Les questions de recherches que cette thèse suppose sont les suivantes :

- Dans les Situations à Enjeux de Sécurité dans le travail des concepteurs en maintenabilité :
  - Quelles contraintes les concepteurs en maintenabilité cherchent –ils à satisfaire pour la conception de la maintenance et quelle place y tient la sécurité ?
  - Quelles stratégies les concepteurs en maintenabilité mobilisent ils pour construire un compromis microcentré intégrant le travail des mécaniciens dans la conception ?
  - Quelles stratégies les concepteurs en maintenabilité mobilisent ils pour construire les compromis macrocentrés avec le collectif de conception ?
- Dans les Situations à Enjeux de Sécurité dans le travail des mécaniciens :
  - Quel est l'impact de la conception de l'hélicoptère et des procédures sur le travail des mécaniciens et sur leur capacité à agir en sécurité ? La conception de l'hélicoptère et des procédures de maintenance est-elle une ressource dans le travail des mécaniciens ou une contrainte ?

    - A quels conflits de contraintes sont confrontés les mécaniciens et quelles stratégies mobilisent-ils pour construire les compromis microcentrés leur permettant d'agir en sécurité ?
    - Comment les mécaniciens s'intègrent ils dans les processus de négociation pour participer à la construction des compromis macrocentrés pour la construction de la sécurité réglée ?
- L'organisation d'une conception participative de la maintenance autour des SES permet-elle une conception articulant la sécurité gérée portée par les mécaniciens et la sécurité réglée portée par les concepteurs en maintenabilité ?

Notre thèse comprendra 3 chapitres empiriques. Le premier chapitre empirique (chapitre 5) s'intéressera au travail des concepteurs en maintenabilité de l'entreprise accueillant la recherche, le deuxième (chapitre 6) à celui des mécaniciens et le troisième (chapitre 7) donnera à voir les contraintes limitant l'organisation d'une conception participative favorisant l'articulation de la Sécurité Réglée et de la Sécurité Gérée dans une organisation ultrasûre.

Les deux premiers chapitres empiriques (5 et 6) partagent une même méthodologie pour l'identification et l'analyse des Situations à Enjeux de Sécurité des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens. L'analyse de ces SES nous permettra, dans les chapitres 5 et 6, de poser un diagnostic concernant la manière dont les concepteurs en maintenabilité conçoivent pour la sécurité et les mécaniciens agissent en sécurité. Ensuite le chapitre 7 se base sur ces diagnostics pour concevoir une expérimentation de construction d'un dispositif de conception participative réunissant concepteurs en maintenabilité et mécaniciens, la « démarche CSR ». Nous présenterons ci-dessous la stratégie de recherche et les méthodologies utilisées dans les chapitres empiriques 5 et 6. La méthodologie du chapitre 7 sera présentée dans le chapitre 7.

4. Chapitre 4 : Stratégie de recherche et méthode des chapitres 5 et 6

Dans les chapitres empiriques 5 et 6 nous chercherons à caractériser les situations de conception à enjeux de sécurité dans le travail des concepteurs en maintenabilité et les situations de maintenance à enjeux de sécurité dans le travail des mécaniciens.

4.1 Les Situations à Enjeux de Sécurité (SES) comme unité d'analyse du travail et objet de recherche

Les chapitres empiriques 5 et 6 se basent sur l'articulation de deux types de recueil de données que nous présenterons par la suite, les entretiens d'évènements significatifs (ES) auprès des mécaniciens et des concepteurs en maintenabilité ainsi que l'observation du travail des concepteurs en maintenabilité. Les événements significatifs, ainsi que les situations observées du travail, forment le corpus de **Situations à Enjeux de Sécurité (SES).** Nous distinguons 2 types de SES en fonction de leur méthode de recueil :

- Les SES Entretiens. Ce sont les Évènements Significatifs (ES) recueillis avec la méthode des entretiens des évènements significatifs (cf. §4.2.1). Les ES sont alors soit des :
    - SES conception lorsqu'elles sont issues des entretiens avec les concepteurs en maintenabilité ;
    - SES maintenance lorsqu'elles sont issues des entretiens avec les mécaniciens
- Les SES Observées (SESO). Ce sont les situations de travail observées au cours de l'immersion de la chercheuse dans le travail des concepteurs en maintenabilité (cf. §4.2.3). Les SESO sont des SES conception.

Autrement dit,

$$SES = SES\ conception + SES\ maintenance$$

$$SES\ conception = ES\ conception + SESO\ conception$$

$$SES\ maintenance = ES\ mécaniciens$$

Les Situations à Enjeux de Sécurité sont à la fois :

- L'unité d'analyse de notre recherche. Nous présenterons le corpus d'ES dans la sous-section 4.2.2 et le corpus de SESO dans la sous-section 4.2.4
- Notre objet d'étude. Nous chercherons à caractériser les SES, c'est-à-dire ce qui fait qu'une situation de travail est à enjeux de sécurité et à comprendre comment les concepteurs en maintenabilité et les mécaniciens s'adaptent pour agir en sécurité face à ces SES.

4.2 Recueil de données

4.2.1 Méthode d'entretiens d'évènements significatifs

4.2.1.1 La technique des incidents critiques comme base méthodologique

La méthode d'entretien des évènements significatifs que nous déployons dans ce travail de thèse s'inspire de la technique d'entretien des incidents critiques développée initialement par Flanagan (1954). La technique d'entretien des incidents critiques permet de se rapprocher de ce qu'a vécu un travailleur via sa subjectivité et son expérience (Bisseret et al., 1999). Elle permet au chercheur de se focaliser sur un phénomène précis en lien avec l'objectif de la recherche tout en recueillant des exemples concrets et détaillés (Deslauriers et al., 2017 ; Gremler, 2004). Cette technique d'entretien permet aux chercheurs de recueillir des détails factuels et des explications concernant le vécu des individus face à des situations données, les incidents critiques (Angelides, 2001; Leclerc et al., 2010; Norman et al., 1992). Flanagan (1954) définit l'incident comme étant « toute activité humaine observable et suffisamment complète en elle-même pour qu'on puisse en tirer des inductions et des prévisions sur l'individu qui agit. ».

Le choix d'utiliser une méthode d'entretien émerge tout d'abord de notre besoin d'accès au travail des mécaniciens. En effet, même si certaines opérations de maintenance ont lieu dans les ateliers du constructeur, la majorité est réalisée chez les clients, en dehors des locaux du constructeur. Or, nous n'avions pas la possibilité d'y accéder physiquement au cours de notre travail de thèse. Nous avons donc choisi une méthode de recueil de données donnant accès au travail des mécaniciens travaillant en dehors de l'entreprise, dans un contexte client, la technique des incidents critiques (TIC). Cette méthode nous permettait de recueillir des récits d'événements singuliers réels, vécus, que les mécaniciens considèrent comme des incidents critiques dans leur activité passée. Nous concernant, le but était de recueillir des évènements

ayant marqué la réalisation d'une maintenance sûre, c'est-à-dire des évènements considérés par les interviewés comme ayant eu un impact sur leur capacité à sécuriser la maintenance de l'appareil.

Nous avons ensuite décidé d'appliquer la même démarche auprès des concepteurs de la maintenabilité. L'objectif est d'avoir accès à ce qu'ils considèrent eux-mêmes comme des incidents critiques pour la conception d'une maintenance sûre. L'utilisation de la technique des incidents critiques auprès des concepteurs de la maintenabilité permet de plus de reconstituer, le temps de l'entretien, des évènements pouvant se dérouler sur des temps longs de conception.

L'objectif de la technique des incidents critiques n'est donc pas tant d'accéder au travail quotidien des concepteurs de la maintenabilité et des mécaniciens, mais de recueillir un corpus d'incidents qu'ils considèrent eux-mêmes comme critiques dans leur activité.

4.2.1.2 De l'incident critique à l'évènement significatif (ES)

Le concept d'incident critique est remplacé par celui d'incident significatif ou d'incidents révélateurs par certains chercheurs (Butterfield et al., 2005 ; Keatinge, 2002 ; Norman et al., 1992). De plus le terme incident est vu de manière générale comme un presque accident. Norman et al. (1992) discutent de l'intérêt d'utiliser le terme incident critique dans des domaines devant gérer des crises et utilisant les mots incident et critique dans leur activité, par exemple dans le domaine du soin. Ils mettent en avant que ces termes peuvent amener les interviewés à penser à des patients critiques ou à des évènements de crise. Il sera donc difficile d'accéder à des récits de non-crise. Kunak (1989, cité par Butterfield et al., 2005) parle alors de « critical event technique ».

Par ailleurs, dans le domaine de l'aéronautique le mot « incident » a déjà une signification Un incident est un évènement associé à une opération sur l'appareil qui affecte ou peut affecter la sécurité de l'opération (définition du constructeur). De ce fait, lors des entretiens nous n'avons pas utilisé le terme d'« incident », mais plutôt d' « évènement ». Le terme critique est également déjà utilisé dans le service de maintenabilité pour désigner les pièces d'hélicoptère ou tâches de maintenance pour lesquelles une défaillance provoquerait un accident.

Pour la suite, nous ne parlerons alors pas « d'incidents critiques », mais « d'évènements significatifs » (ES).

4.2.1.3 Les critères d'inclusion du corpus d'évènements significatifs

Afin de construire un corpus d'évènements significatifs, nous devons tout d'abord définir ce que nous considérerons comme des évènements significatifs et quels critères seront utilisés pour inclure ou exclure du corpus les évènements mis en récit par les interviewés.

Un évènement est inclus au corpus d'évènements significatifs s'il répond à plusieurs critères, critères adaptés de la littérature sur la technique d'incidents critiques. Ainsi, un incident critique doit décrire une situation vécue par la personne qui le raconte. Autrement dit, l'incident doit être une expérience personnelle et non le récit de ce qui est arrivé à un tiers (Leclerc et al., 2010). L'incident est aussi un évènement passé et détaillé qui a un début et une fin. Il décrit les résultats de l'évènement sur l'activité de la personne ou l'activité de son collectif, qu'ils soient positifs ou négatifs (Butterfield et al., 2005 ; Leclerc et al., 2010).

Certains auteurs mettent en avant que l'incident n'a pas besoin d'être exceptionnel pour être considéré comme significatif, mais « *cet évènement s'inscrit généralement dans une situation délicate et perçue comme pouvant changer le cours des choses* » (Deslauriers et al., 2017; Leclerc et al., 2010). Angelides (2001) ajoute que le caractère critique d'un incident est basé sur la justification, le sens qui lui est donné par les sujets.

Comme annoncé précédemment, les évènements racontés seront considérés comme significatifs s'ils ont un impact sur la capacité de l'interviewé à sécuriser la maintenance, et non sur le but général de l'activité comme pour les incidents critiques (Flanagan, 1954).

Dans notre étude, nous considérerons donc un évènement significatif comme étant un évènement passé, exceptionnel ou non, vécu par un sujet comme étant marquant dans son activité individuelle ou celle du collectif et ayant eu, selon lui, un/des impact(s) positif(s) ou négatif(s) sur sa capacité à sécuriser la maintenance.

4.2.1.4 L'entretien des événements significatifs (ES), modalités de recueil de données en deux temps

Notre méthodologie de recherche se base sur une adaptation de la technique des incidents critiques pour le recueil d'évènements significatifs. Nous présenterons dans cette section cette méthodologie que nous nommerons « **la méthode des évènements significatifs** ».

Flanagan (1954) donne à la méthode des incidents critiques cinq étapes majeures :1) identifier le but général de l'activité étudiée, 2) planifier les modalités de recueil de données et d'analyse, 3) collecter les données, 4) analyser les données et 5) interpréter les données et écrire le rapport.

Nous avons adapté cette méthode de différentes manières. Flanagan (1954) lui-même indiquait que sa méthode consiste en principes souples pouvant être amenés à être modifiés et adaptés en fonction des situations.

La première étape décrite par Flanagan consiste à repérer au préalable le but général de l'activité de l'interviewé. L'incident décrit par l'interviewé est alors critique s'il a un impact sur ce but général. La méthode des entretiens d'évènements significatifs ne cherche pas des évènements ayant un impact sur le but général de l'activité quel qu'il soit, mais **sur la capacité des interviewés à sécuriser la maintenance**.

De plus, dans la littérature, les entretiens des incidents critiques se déroulent lors d'un entretien ou questionnaire unique, la plupart du temps soit en présentiel soit par téléphone (Butterfield et al., 2005). Cependant, la réalisation d'un entretien unique pour notre première approche du travail des mécaniciens d'hélicoptère et des concepteurs de maintenabilités, auprès de personnes pouvant nous rencontrer pour la première fois, ne nous semblait pas adaptée à une discussion autour d'un sujet sensible tel que la sécurité de la maintenance pour la sécurité aérienne. Nous avons alors distingué **deux temps d'entretiens** dans la méthode des entretiens d'évènements significatifs.

Un premier entretien exploratoire de l'activité des participants nous permet de nous familiariser avec le métier de l'interviewé et de créer avec lui le lien de confiance nécessaire au second entretien. L'entretien exploratoire est guidé par une grille d'entretien (Annexe 1). Une première partie directive de l'entretien consiste à recueillir des données sociodémographiques. La seconde partie de l'entretien est semi-directive. La chercheuse pose la question initiale suivante « Pouvez-vous me dire en quoi consiste votre travail ? » et laisse l'interviewé élaborer. Si le participant ne donne pas de lui-même les réponses aux questions présentées dans la ligne « question de relance », la chercheuse pose la question. Une question finale qui n'attend pas de réponse immédiate introduit le second entretien prévu au minimum 1 semaine plus tard. Le but est de permettre au participant de réfléchir aux évènements significatifs qu'il souhaitera évoquer (Gremler, 2004). Cette question est : « *Je vous demanderai de vous souvenir d'évènements que vous avez vécus qui ont eu un impact sur votre capacité à sécuriser la maintenance de l'appareil. Il faut que vous les ayez vécus et qu'ils aient*

été marquants dans votre travail. Ce seront peut-être des évènements qui ont eu un impact très positif, très négatif ou un évènement au cours duquel vous avez presque échoué à atteindre votre objectif. » Cette question est identique dans les entretiens des événements significatifs auprès des mécaniciens et des concepteurs de la maintenabilité.

Le second entretien a pour objectif de recueillir les évènements significatifs. En fonction des disponibilités des participants et des contraintes logistiques, les entretiens se sont déroulés soit en présentiel, soit par téléphone, soit à l'aide d'un logiciel de vidéoconférence. Avec l'accord du participant l'entretien était enregistré.

Au début de l'entretien la chercheuse rappelle la consigne déjà donnée dans le premier entretien : « *Je vous demanderai de vous souvenir d'évènements que vous avez vécus qui ont eu un impact sur votre capacité à sécuriser la maintenance de l'appareil. Il faut que vous les ayez vécus et qu'ils aient été marquants dans votre travail. Ce seront peut-être des évènements qui ont eu un impact très positif, très négatif ou un évènement au cours duquel vous avez presque échoué à atteindre votre objectif* ». L'entretien se focalise ensuite sur les évènements significatifs évoqués par les participants au cours de la discussion.

La chercheuse guide le récit à l'aide de la grille de question présentée dans le Tableau 1 et cherche à recueillir un maximum d'éléments de l'activité dans la situation de travail concernant l'évènement relaté. Les questions ne sont pas systématiquement posées de la manière présentée dans le tableau, mais s'adaptent au discours du participant.

Tableau 1 Grille de l'entretien des évènements significatifs

Informations à retrouver dans le récit (Flanagan, 1954)	Quelles ont été les circonstances menant à cet événement ?
	Quelles actions ont été effectuées ?
	Par qui, en relation avec qui ?
	Quand l'évènement a-t-il eu lieu ?
	Quels sont les impacts de cet évènement sur l'activité ?

Si lors de l'entretien le participant commence à parler d'évènements qu'il n'a pas vécus lui-même ou si ses propos se détachent d'un évènement réel, la chercheuse rappelle la consigne au participant. L'entretien prend fin lorsque le participant n'a plus d'évènements à raconter ou s'il exprime le souhait de terminer l'entretien. À chaque fois que le participant finit de détailler un évènement, la chercheuse lui pose cette question : « *Avez-vous d'autres évènements qui vous viennent en tête ?* » Si la réponse est non, la chercheuse conclut l'entretien en reformulant les

différents évènements afin de s'assurer de sa bonne compréhension et demande au participant de la corriger au besoin. Dans certains cas cette reformulation permet de relancer la conversation sur d'autres évènements que le participant souhaite partager.

4.2.1.5 Les participants aux entretiens d'événements significatifs (ES)

Les tableaux ci-dessous (Tableau 2 et Tableau 3) présentent les participants aux entretiens d'évènements significatifs, leurs fonctions, les codes destinés à identifier les participants, leur âge, leur ancienneté dans les métiers de l'aéronautique, et la date de l'entretien des ES.

Tableau 2 : Concepteurs de la maintenabilité participant aux entretiens d'événements significatifs

Fonction	Code d'identification	Age	Ancienneté dans l'aéronautique	Date de l'entretien ES
Spécialiste Facteur Humain	SFH1	29 ans	6 ans	19/07/19
Ingénieur Maintenabilité	SM1	40 ans	13 ans	19/08/19
Ingénieur Maintenabilité	SM2	40 ans	5 ans	22/07/19
Ingénieur Maintenabilité	SM3	38 ans	8 ans	02/09/19
Expert Maintenabilité	EM1	33 ans	10 ans	24/09/19

Les 5 concepteurs de la maintenabilité participants représentent l'ensemble des fonctions du service de maintenabilité qui réalisent des analyses de maintenabilité et de risques.

Tableau 3 Mécaniciens participant aux entretiens d'évènements significatifs

Fonction	Code d'identification	Âge	Ancienneté dans l'aéronautique	Date de l'entretien ES
Mécanicien externe	M1	60 ans	41 ans	11/04/19
Mécanicien interne	M2	28 ans	9 ans	20/11/19

Mécanicien interne	M3	40 ans	22 ans	17/10/20
Technicien représentant	TR1	45 ans	14 ans	23/03/20
Technicien représentant	TR2	40 ans	16 ans	19/03/20

Nous avons pu réaliser les entretiens d'événements significatifs avec 3 mécaniciens et 2 techniciens représentants. Deux des mécaniciens interviewés sont ou ont été des mécaniciens employés d'Airbus, ils sont appelés mécaniciens internes dans le tableau 3. Un est actuellement un ingénieur du service de maintenabilité et l'autre est basé dans une base militaire. Le troisième mécanicien interviewé est externe à l'entreprise et à la retraite. Nous avons également réalisé ces entretiens avec 2 techniciens représentants qui sont des mécaniciens employés d'Airbus, qui peuvent réaliser des opérations de maintenance chez les clients, qui participent à l'organisation de la maintenance chez le client et qui font le lien entre le client et l'entreprise.

4.2.2 Corpus d'évènements significatifs (ES)

Tous les entretiens des évènements significatifs ont été retranscrits afin de faciliter leurs traitements et l'identification des évènements significatifs.

Tous les évènements évoqués par le participant et correspondant aux critères d'inclusion des évènements significatifs décrits dans la section 4.2.1.3 sont considérés comme significatifs au regard de la question initiale posée, centrée sur l'évocation d'évènements marquants ayant eu un impact positif ou négatif sur leur capacité à sécuriser la maintenance.

Le Tableau 4 ci-dessous présente la fonction des participants, leur code d'identification, le nombre d'évènements significatifs identifiés dans l'entretien et leur code d'identification.

Tableau 4 Corpus d'évènements significatifs

Fonction	Code du participant	Nombre d'ES	Codes des ES
Mécanicien externe	M1	1	M1ES1
Mécanicien interne	M2	3	M2ES1 -M2ES2-M2ES3
Mécanicien interne chez le client	M3	3	M3ES1-M3ES2-M3ES3
Technicien représentant	TR1	2	TR1ES1-TR1ES2
Technicien représentant	TR2	2	TR2ES1-TR1ES2
Spécialiste Facteur Humain	SFH1	5	SFH1ES1-SFH1ES2-SFH1ES3-SFH1ES4-SFH1ES5
Ingénieur Maintenabilité	SM1	4	SM1ES1-SM1ES2-SM1ES3-SM1ES4
Ingénieur Maintenabilité	SM2	8	SM2ES1-SM2ES2-SM2ES3-SM2ES4-SM2ES5-SM2ES6-SM2ES7-SM2ES8
Ingénieur Maintenabilité	SM3	2	SM3ES1-SM3ES2
Expert Maintenabilité	EM1	3	EM1ES1-EM1ES2-EM1ES3-EM1ES4

Nous avons identifié onze événements significatifs issus des entretiens avec les mécaniciens et techniciens représentants et 23 issus des entretiens avec les concepteurs de la maintenabilité.

Les résumés des ES se trouvent en annexes 2 et 3

4.2.3 Observations du travail des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens

4.2.3.1 Receuil de données sur le travail des concepteurs en maintenabilité

Nous complétons les ES recueillis par la méthode d'entretiens des évènements significatifs auprès des concepteurs en maintenabilité avec des observations de leur travail.

Nous avons réalisé des observations du travail des concepteurs en maintenabilité tout au long de notre présence au sein du service de maintenabilité, c'est-à-dire 3 ans et 3 mois, de mars 2019 à mai 2022. Notre présence au sein du service était connue des concepteurs en

maintenabilité ainsi que notre intérêt pour les situations de travail impliquant la sécurité de la maintenance. Le **choix des situations de travail observées était co-construit** avec les concepteurs en maintenabilité dans le sens où :

- Il pouvait être à l'initiative des concepteurs en maintenabilité qui nous proposaient de suivre ou participer à des analyses ou projets de conception qu'ils pensaient susceptibles de nous intéresser, parce qu'ils portaient soit sur des sujets qu'ils reliaient avec des problématiques d'ergonomie, soit avec des problématiques de sécurité ;
- Il pouvait être à notre initiative après avoir pris connaissance via des discussions avec les concepteurs en maintenabilité des analyses et projets en cours dans le service.
- Il pouvait être issu de situations de travail communes entre la chercheuse et le collectif de conception en maintenabilité comme les réunions de service et autres réunions institutionnelles de l'entreprise.

Les situations de travail observées étaient alors documentées à l'aide d'archivage des mails et des documents échangés (250 pages de documents), de prise de note papier crayon dans notre journal de bord (684 pages) et d'enregistrement vidéo et audio lorsque cela était possible (18h d'enregistrement). En effet, les réunions portant sur des sujets militaires ne peuvent être enregistrées et nous n'avions pas pu obtenir l'autorisation d'enregistrement auprès des travailleurs au préalable pour chaque situation observée. La richesse des données recueillies varie d'une situation à l'autre en fonction de la nature des traces du travail recueillies ainsi que notre capacité à suivre sur la durée une situation de conception. En effet, les observations varient en fonction de la temporalité des situations de conception et de leur statut d'avancement. En effet, les situations de conception peuvent s'étaler de quelques jours à plusieurs années. Ce qui fait que nous avons pu observer et recueillir des informations de situations de conception ayant débutées soit avant notre arrivée dans le service, soit au moment de notre présence. Ces situations peuvent avoir été clôturées par le collectif de conception avant notre départ ou être toujours en cours au moment de l'écriture de cette thèse.

Les premières situations de travail que nous avons observées sont les situations de travail impliquant l'usage de la méthode Human Hazard Analysis (cf. §1.3.1). La demande industrielle portait essentiellement sur cette méthode désignée comme la méthode d'analyse des risques du service. Nous avons alors observé l'usage de la méthode Human Hazard Analysis par les Spécialistes Facteurs Humains (SFH) dans ses étapes d'observation des tâches de maintenance,

de rédaction du rapport, de relecture du rapport par le collectif de maintenabilité et de négociation des recommandations auprès du collectif de conception.

Notre immersion dans le service de maintenabilité et l'observation plus large du travail des concepteurs en maintenabilité nous a permis de comprendre que les situations d'usage de HHA ne sont pas les seules situations de conception pouvant avoir un impact sur la sécurité de la maintenance. Nous avons alors également observé des situations de conception faisant suite à des incidents liés à la maintenance mais également des situations de conception de la maintenabilité n'ayant pas a priori de lien direct avec la sécurité.

Ces observations nous ont permis de nous immerger dans le travail des concepteurs en maintenabilité. Cependant nous n'utiliserons pas comme matériaux d'analyse toutes les situations observées. Nous construirons, sur la base de ce recueil de données, un corpus de situations à enjeux de sécurité observées que nous décrirons dans la sous-section 4.2.4.

4.2.3.2 Observations du travail des mécaniciens

Nous n'avons pas pu réaliser d'immersion dans le travail des mécaniciens à la hauteur de celle réalisée auprès des concepteurs en maintenabilité pour plusieurs raisons développées ci-dessous.

L'immersion dans le travail des mécaniciens n'a pas pu se faire au vu **du temps court d'observations passé auprès de mécaniciens dû à une difficulté d'accès au terrain**. Au début du projet de thèse, notre objectif était d'accéder à des terrains de maintenance chez les clients d'Airbus Helicopters pour étudier l'activité des mécaniciens clients qui sont les « utilisateurs » finaux du travail de conception des concepteurs en maintenabilité. L'accès aux terrains de maintenance a été l'objet de négociations avec les clients d'Airbus Helicopters, le service support client, les responsables d'ateliers de maintenance internes à Airbus Helicopters et le service de maintenabilité. Nous n'avons pas pu accéder à ces terrains pour des raisons organisationnelles et des raisons de contexte sanitaire mondial. Le service de support client est responsable de la relation avec le client et des informations amenées au client au nom d'Airbus Helicopters. Tout contact avec le client de la part des bureaux d'études doit passer par les processus de communication approuvés dont le service support est le relais. Les concepteurs en maintenabilité peuvent occasionnellement se rendre « en visite » chez un client. Mais ces

visites doivent être approuvées par les services projets et le service support qui se réserve le droit d'accompagner le concepteur chez le client et vérifier que toute interaction avec le client se réalise en accord avec la politique de l'entreprise. Nous étions nouvellement arrivée au Bureau d'études et sans possibilité d'accéder à un terrain client en autonomie directement. Avec l'aide des concepteurs en maintenabilité, nous avons alors organisé des visites chez les clients dans le cadre des analyses du bureau d'études en maintenabilité avec le projet de créer des liens avec certains clients et de pouvoir à terme y faire des observations. La crise sanitaire avec l'apparition du Covid 19 a empêché ces déplacements et cette prise de contact. C'est suite à cela que nous avons réalisé 2,5 jours d'observation dans un atelier de maintenance au sein d'Airbus Helicopters. Cette courte période d'observation nous a permis de prendre contact avec l'équipe de maintenance de cet atelier et de comprendre son organisation. Elle est cependant insuffisante pour pouvoir exploiter l'observation du travail des mécaniciens de la même manière que celle des concepteurs en maintenabilité.

Le temps court d'observation lié **à notre position dans l'entreprise** a amené une difficulté d'immersion dans le travail des mécaniciens. Pendant toute la durée de notre présence dans l'entreprise accueillant la recherche, nous étions membre du Bureau d'études de maintenance, faisant partie du collectif de concepteurs, ce qui n'était pas le cas pour le collectif de maintenance des ateliers. Lors de l'observation du travail des mécaniciens nous étions donc une chercheuse, invitée extérieure à l'atelier, faisant partie des bureaux d'étude, n'étant pas impliquée dans la vie de l'atelier et ne connaissant pas les membres de l'équipe. Notre présence a été remarquée et appréciée par les mécaniciens qui souhaitent échanger avec des membres du bureau d'études, tout en soulignant parfois leur incompréhension face à certains choix de conception du bureau d'études, choix sur lesquels ils n'ont aucun contrôle. De plus, contrairement à l'observation des concepteurs en maintenabilité dans laquelle le choix des situations observées était coconstruit avec les concepteurs, les situations d'observations de maintenance ont été choisies par les managers de proximité des mécaniciens.

Contrairement à la possibilité donnée par le temps long de l'observation du travail des concepteurs en maintenabilité et notre position au sein de l'équipe, le temps court d'observation du travail des mécaniciens et notre statut de « visiteur » n'a pas permis aux mécaniciens eux-mêmes de s'approprier le sujet de recherche et de co-construire avec la chercheuse les observations de situations ayant un impact sur la sécurité de la maintenance. Pour ces raisons, **l'observation réalisée du travail de maintenance au sein d'un atelier de l'entreprise n'a**

pas été intégrée aux situations de maintenance analysées dans cette recherche. L'étude du travail des mécaniciens se fera exclusivement à travers les entretiens d'évènements significatifs.

4.2.4 Corpus de situations de conception à enjeux de sécurité observées (SESO)

Le premier codage CSR des Evénements Significatifs des concepteurs en maintenabilité nous a permis d'identifier un premier niveau de contraintes qui caractérise les situations à enjeux de sécurité en conception. Une situation de travail des concepteurs en maintenabilité est considérée à enjeux de sécurité si, dans cette situation le(s) concepteur(s) :

- Identifient des risques ou contraintes dans le travail des mécaniciens pouvant impacter selon eux la sécurité de la maintenance
- Et/ou font face à des contraintes dans le processus de conception soit pour insérer ces risques et contraintes dans la conception soit pour faire appliquer les recommandations par les mécaniciens

Cette caractérisation des SES conception sera détaillée dans la section résultats (cf. §5.3) du chapitre 5.

Pour être intégrées dans le corpus des **Situations à Enjeux de Sécurité Observées (**SESO), les situations observées de travail des concepteurs en maintenabilité doivent :

- Répondre à la définition d'une SES conception donnée ci-dessus et ;
- Rassembler suffisamment de traces de l'activité pour pouvoir reconstruire la situation a posteriori.

Le Tableau 5 présente le corpus de SESO avec le code de la SESO, son titre, le contexte d'analyse (Human Hazard Analysis - HHA, Analyse de Maintenabilité – AM ou Analyse d'incident majeur – IM), le type de matériaux recueillis, leur volume et la date ou la période d'observation.

Les 20 SESO identifiées s'appuient sur :

- 6h49 d’observation filmée (en heure et minute) ;
- 70 pages de notes d’observation papier crayon (en pages) ;
- 241 pages de rapports (en pages ou planches de diapo, PDD) ;
- 215 pages de mails pour 272 mails (en pages et nombre de mails).

Tableau 5 : Corpus de Situations à Enjeux de Sécurité Observées (SESO)

Code des SESO	Nom de la SESO	Contexte d'analyse	Matériaux d'analyse	Volume de données	Période/date d'observation
SESO1	Insertion de HHA dans le processus de conception	HHA	Observation filmée	1h	21/02/2020
SESO2	Réunion stratégique du collectif de maintenabilité pour l'insertion de HHA dans le processus de conception	HHA	Notes d'observation	2 pages	21/02/2020
SESO3	Essai d'une forme d'analyse de risque préliminaire	AM	Rapport	14 PDD	01/10/2021
SESO4	Identification d'un design induisant une installation inversée d'une pièce critique	AM	Mails	6 pages pour 2 mails	07/09/21 à 08/09/21
SESO5	Partage d'expertise maintenabilité au service support pour une tâche d'inspection de balais alternateurs	AM	Notes d'observation	2 pages	23/07/20 à 29/07/20
			Mails	6 pages pour 6 mails	
SESO6	Partage d'expertise maintenabilité au service support pour une tâche d'inspection corrosion	AM	Mails	7 pages pour 11 mails	02/03/20 à 30/07/20
SESO7	Modification du design d'un crochet pour éviter l'ouverture d'un capot en vol	IM	Mails	7 pages pour 12 mails	09/04/19 à 15/04/19
			Rapport	4 PDD	
SESO8	Identification des risques et des bonnes pratiques d'une tâche d'inspection de pale	IM	2 Rapports	15 et 8 pages	21/10/2019
SESO9	Conception des procédures clé en main sans être rédacteur de carte	HHA	Observation filmée	1h30	03/07/2019
			Observation filmée	1h30	
SESO10	Contre les risque FOD, inclusion d'outils standards dans les cartes de travail	HHA	Observation filmée	2h	03/02/2020
SESO11	Négociation pour un changement de règle de rédaction des cartes de travail	HHA	Notes d'observation	5 pages	31/08/2020
SESO12	Accès à un atelier client pour l'observation des tâches de maintenance	HHA	Notes d'observation	40 pages	29 et 30/04/21
			5 Rapports	141 pages	

SESO13	Impact sur le travail des mécaniciens d'un changement de design d'amortisseur et co-conception avec le collectif	AM	2 Rapports	16 et 14 PDD	24/03/20 à 27/11/20
			Mails	10 pages pour 14 mails	
			Notes d'observation	4 pages	
			Observation filmée	49 min	
SESO14	Pour l'identification de risques dans le démontage d'une pièce, attendre la disponibilité de l'atelier	AM	Mails	15 pages pour 12 mails	03/04/19 à 08/07/19
			Rapport	8 pages	
SES015	Choix d'une stratégie pour défendre face au collectif les risques de blessure des mécaniciens avec peu de risques pour l'hélicoptère	IM	Mails	14 pages pour 15 mails	24/01/18 à 12/05/20
SESO16	Compréhension d'un incident sans accès au client, construction d'hypothèses et de solution en collectif	IM	Notes d'observation	3 pages	05/06/20 à 25/06/20
			Mails	38 pages pour 40 mails	
			2 Rapports	5 et 1 pages	
SESO17	Expérimentations pour la conception d'un outillage de détection de dommages	IM	Notes d'observation	1 page	29/06/20 à 30/07/20
			Mails	21 pages pour 30 mails	
SESO18	Vérification de la faisabilité d'une tâche et recherche de solution alternative à la solution proposée par le collectif	IM	Notes d'observation	2 pages	19/02/20 à 16/02/20
			Mails	25 pages pour 31 mails	
			Rapport	3 pages	
SESO19	Co-conception de solutions suite à un défaut de fabrication de pales arrières	IM	Notes d'observation	11 pages	05/06/20 à 29/07/20
			Rapport	12 PDD	
			Mails	57 pages pour 82 mails	
SESO20	Incident classé pour erreur humaine - Voir au-delà pour l'identification des risques dans la conception	IM	Mails	9 pages pour 17 mails	16/05/19 à 02/07/19

4.3 Traitement des données

4.3.1 Codage Contraintes Stratégies Ressources (CSR) des Situations à Enjeux de Sécurité (SES)

4.3.1.1 Analyse qualitative de contenu, démarche générale du codage Contraintes Stratégies Ressources

Le codage des SES vise l'analyse de leur contenu pour répondre aux questions de recherche. Le codage « consiste à découper les données […] en unité d'analyse, à définir les catégories qui vont les accueillir, puis à place (ranger ou catégoriser) les unités dans ces catégories » (Grawitz, 1996, cité par Allard-Poesi & Perret, 2003). Nous utilisons la méthode a posteriori de Huberman & Miles (1991, cité par Allard-Poesi & Perret, 2003), c'est-à-dire que les thèmes sont définis avant le codage effectif des données. La définition de ces thèmes s'appuie sur le cadre théorique (cf. §2.2.1.2 et §2.2.3.3) et nos questions de recherche (cf. §3). Nous avons choisi d'appliquer au corpus de SES des mécaniciens et des concepteurs en maintenabilité une grille d'analyse thématique que nous appelons **CSR**, Contraintes Stratégies Ressources. Les thèmes Contraintes, Stratégies, Ressources seront précisés et détaillés à l'aide de catégories de différents niveaux de détail au cours du processus de codage. A titre d'exemple, la Figure 18présente les niveaux de catégories pour le thème Contraintes uniquement. Les mêmes niveaux de codage sont utilisés pour les thèmes Stratégies et Ressources.

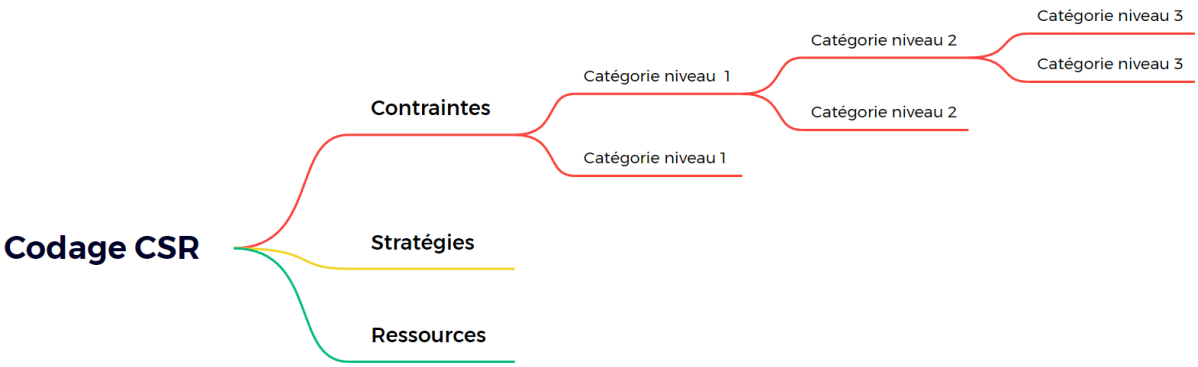


Figure 18 : Les niveaux de catégories du codage CSR

Le Tableau 6 donne les définitions générales des thèmes.

Tableau 6 : Description générale des thèmes du codage CSR

Thème	Description générale du thème
Contrainte (cf. §2.2.1.2)	Restriction des actions possibles
Stratégie (cf. §2.2.3.3)	Manière dont l'individu cherche à atteindre son objectif, à construire les compromis pour agir en sécurité
Ressource (cf. §2.2.1.2)	Objet important pour l'individu qui permet d'adapter l'activité aux contraintes et d'accéder à son objectif.

Les catégories construites évoluent de manière itérative au fur et à mesure du codage (Allard-Poesi & Perret, 2003) des différentes SES pour nous permettre de construire deux types de codage CSR :

- Le codage CSR maintenance issu du codage des SES maintenance ;
- Le codage CSR conception issu du codage des SES conception.

En effet, nous distinguons ces deux types de codages car les questions de recherche concernant l'analyse de l'activité des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens ne sont pas identiques.

4.3.1.2 Exemple de codage Contraintes Stratégies Ressources (CSR)

Prenons un exemple avec le codage d'un verbatim issu d'une SES (M1ES1) recueillie lors de l'entretien d'évènement significatif auprès d'un mécanicien externe à Airbus Helicopters. Ce mécanicien avait pour tâche de réaliser un prélèvement d'huile sur un héliport d'hôpital. Le mécanicien ne dispose pas d'outillage spécifique. Il se construit alors lui-même un outillage de prélèvement d'huile avec une seringue et un tuyau trouvés dans les services hospitaliers.

> « *Quand on fait cette opération-là, vu que le tuyau est souple, on n'arrive jamais au bon endroit et on recommence plusieurs fois. On ne suit pas le cheminement du tuyau, on ne sait pas où il va c'est un peu délicat. Au bout du 5ème fois puisque je retire le tuyau et je le re-rentre etc. A un moment donné je tire sur la seringue pour retirer l'ensemble mais le tuyau s'est détaché, défait de l'embout de la seringue et est resté dans la boite.* »

Nous identifions d'abord les passages relevant des catégories Contraintes Stratégies et Ressource (voir Tableau 7).

Tableau 7 : Exemple de codage CSR - première étape

Contraintes	Stratégies	Ressources
Quand on fait cette opération-là, vu que le tuyau est souple, on n'arrive jamais au bon endroit	on recommence plusieurs fois	tuyau
On ne suit pas le cheminement du tuyau, on ne sait pas où il va c'est un peu délicat.	Au bout du 5 -ème fois puisque je retire le tuyau et je le re-rentre etc.	seringue
A un moment donné je tire sur la seringue pour retirer l'ensemble mais le tuyau s'est détaché, défait de l'embout de la seringue et est resté dans la boite.		

Le contenu de chaque thème (Contraintes, Stratégies et Ressources) est catégorisé et placé dans la grille de codage en fonction de son niveau de détail. La catégorie de niveau 1 a un niveau de détail supérieur au thème auquel elle se rattache mais inférieur à la catégorie de niveau 2 détaillant la catégorie 1. Ce codage permet d'aller dans les détails des thèmes Contraintes, Stratégies, Ressources pour analyser ce qui génère les SES. Prenons l'exemple du thème « contraintes » à deux niveaux de catégorisation (voir Tableau 8).

Tableau 8 : Exemple de codage CSR - seconde étape

Thème Contraintes - Verbatim	Catégorie niveau 1	Catégorie niveau 2
Quand on fait cette opération-là, vu que le tuyau est souple, on n'arrive jamais au bon endroit	Design	Design de l'outillage inadapté
On ne suit pas le cheminement du tuyau, on ne sait pas où il va c'est un peu délicat.	Design	Mauvaise accessibilité
A un moment donné je tire sur la seringue pour retirer l'ensemble mais le tuyau s'est détaché, défait de l'embout de la seringue et est resté dans la boite.	Design	Design de l'outillage inadapté

De cet extrait, le codage montre que le design est une contrainte dans cette SES de maintenance. Plus précisément, le mécanicien utilise un outillage non adapté à l'opération de maintenance couplé à une mauvaise accessibilité de la zone à inspecter.

4.3.1.3 Modélisation des Situations à Enjeux de Sécurité, contextualisation du codage Contraintes Stratégies Ressources

Le codage a été réalisé à l'aide d'une modélisation des SES. Pour construire les modélisations, nous reconstituons de manière chronologique la SES en rassemblant les contraintes auxquelles fait face le travailleur, la stratégie qu'il met en place pour agir et les ressources qu'il utilise pour appliquer sa stratégie (voir Figure 19). Un même élément de la situation de travail, que nous appellerons déterminant, peut être à la fois une contrainte ou une ressource en fonction de la situation et des stratégies adoptées par le travailleur. Nous reviendrons sur ce point dans les résultats. C'est pourquoi, lors de la construction du schéma de la SES, le caractère Contrainte ou Ressource d'un déterminant sur un autre ou sur une stratégie est représenté par une flèche de couleur plutôt que par la mise ne couleur du déterminant lui-même. Les moments de conflits entre déterminants du travail, qui sont un des liens existants entre les thèmes CSR, sont également symbolisés.

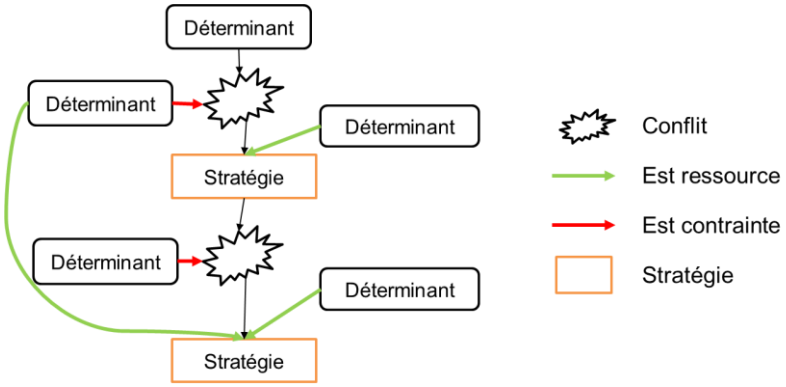


Figure 19 : Modélisation des SES

4.3.1.4 Identification et modélisation des moments de concstruction des compromis micro et macrocentrés dans les SES

Une fois les SES codées et modélisées, sous cherchons à identifier les moments de la SES correspondant à la construction d'un compromis microcentré ou d'un compromis macrocentré.

Le Tableau 9 donne la définition des compromis micro et macrocentré (cf. §2.2.3.1et §2.2.3.2)

Tableau 9 : Définition des compromis micro et macrocentrés

Compromis micro centré	Phase dans laquelle le mécanicien ou le concepteur cherche à gérer à son niveau un conflit cognitif (entre compréhension et action) pour contrôler le résultat externe de ses actions, c'est-à-dire l'atteinte d'un objectif lié au but de son action (Amalberti, 2013).
Compromis macro centré	Phase de négociation collective arbitrant sur les compromis à réaliser au niveau de l'organisation pour la gestion de la sécurité (Amalberti, 2013).

La modélisation des moments de construction de compromis utilise le code couleur indiqué dans la Figure 20. Les encadrés indiquent le processus de construction du compromis et les cercles de couleurs les résultats intermédiaires ou finaux de cette construction.

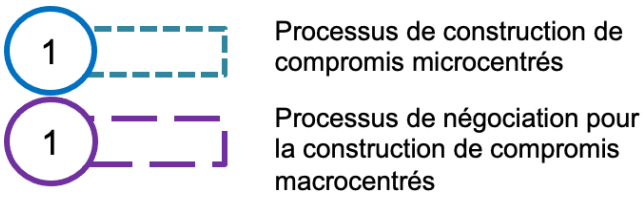


Figure 20: Code de couleur et de forme pour la modélisation des moments de construction de compromis dans les SES

Par exemple, dans la Figure 21 la gestion du premier conflit est une construction de compromis microcentré (1) dont le résultat est la première stratégie. La gestion du deuxième conflit est une construction d'un compromis macrocentré (2) dont le résultat final est la deuxième stratégie.

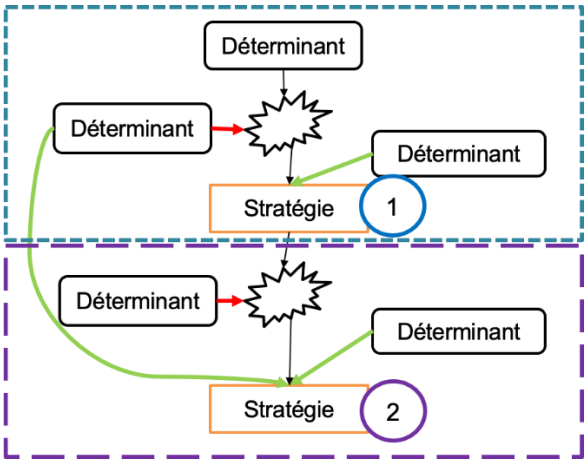


Figure 21 : Exemple de modélisation des moments de construction de compromis

4.3.1.5 Analyse quantitative du codage Contraintes Stratégies Ressources

Dans les résultats des chapitres empiriques 1 et 2, nous utiliserons 2 unités d'analyse pour quantifier le code CSR et soutenir la caractérisation des Situations à Enjeux de Sécurité. La figure 21 est une aide à la compréhension de ces différentes façons de quantifier le code CSR :

- Le **nombre de SES dans lesquels la catégorie discutée est évoquée**. Prenons pour exemple le thème Contraintes avec 2 niveaux de catégories. Dans la Figure 22 la catégorie C1.1 est présente dans 2 SES, SES1 et SES2. Lorsque la catégorie est évoquée plusieurs fois dans la SES, elle n'est comptée qu'une fois. Cela peut arriver si la catégorie discutée contient des sous niveaux de catégorie. Par exemple, la catégorie C1 est évoquée dans 2 SES, SES1 et SES2 alors que dans les deux SES C1.1 et C1.2 sont évoquées. Dans les résultats, nous présenterons le nombre de SES dans lesquels est évoquée la contrainte discutée en indiquant. Le nombre de SES, le nombre total de SES du corpus et le pourcentage correspondant. Par exemple ici, la contrainte C1 est évoquée dans 2 SES sur 2 (soit 100%).
- **L'occurrence d'une catégorie** et de ses sous catégories dans le corpus de SES conception. Cette quantification permet de rendre compte du volume d'une catégorie en comparaison du nombre de SES dans laquelle elle apparait. Par exemple, les catégories C1 et C2 sont toutes les deux évoquées dans 2 SES. Mais le nombre d'apparition de la catégorie C1 dans le corpus est de 4 et celle de C2 est de 2. Les sous catégories de C1 ont donc été plus évoquées dans les SES que celles de la catégorie C2. L'occurrence du thème « Contraintes » est alors de 6.

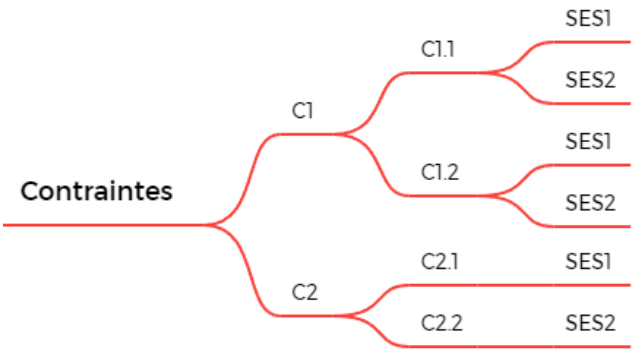


Figure 22 : Exemple pour l'explication des différents types de quantification du codage CSR.

Les codes C1 et C2 correspondent au premier niveau de catégorisation et les codes C1., C1.2, C2.1 et C2.2 au deuxième niveau de catégorisation. Les Situations à Enjeux de Sécurité (SES) dans lesquelles sont évoquées les catégories de niveaux 2 sont indiquées sur la figure.

Les différents types de quantifications ne sont pas systématiquement utilisées dans la présentation des résultats. Il faut que la quantification d'une catégorisation et/ou la comparaison de plusieurs quantifications est un sens au vu des questions de recherche et des résultats que l'on cherche à montrer.

4.3.2 Synthèse schématique de l'articulation des méthodes et codages CSR

La Figure 23 synthétise notre démarche méthodologique et présente les liens entre les populations sur lesquelles porte notre recherche, les méthodes de recueil de données, les corpus de Situations à Enjeux de Sécurité (SES) et les codages Contraintes Stratégies Ressources (CSR).

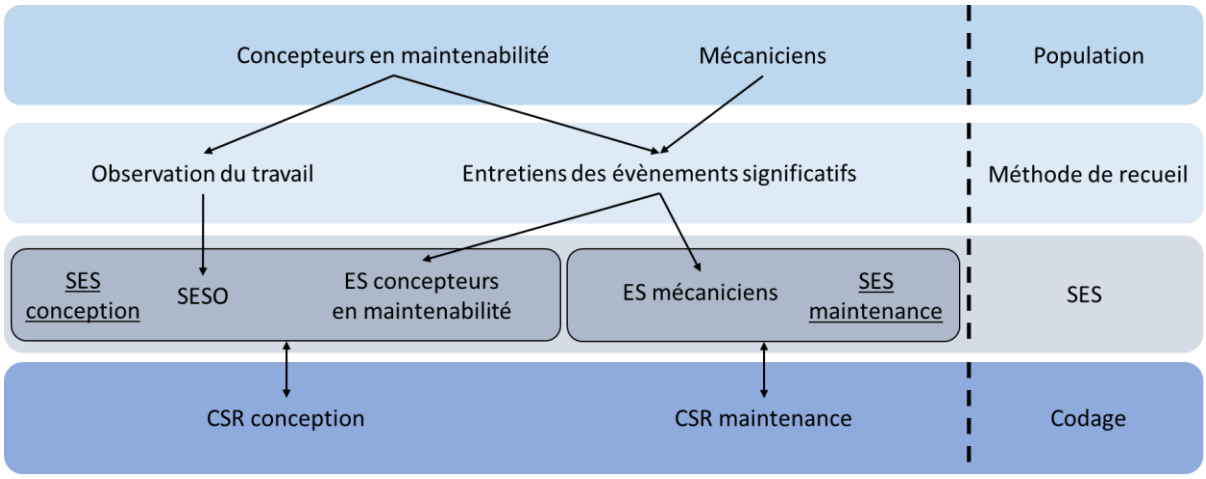


Figure 23 : Synthèse de la démarche méthodologique pour les chapitres empiriques 1 et 2

Nous avons réalisé des entretiens d'évènements significatifs auprès de concepteurs en maintenabilité et de mécaniciens. Ces entretiens permettent la construction d'un corpus d'évènements significatifs contenant des Evènements Significatifs (ES) « mécaniciens » et des ES « concepteurs en maintenabilité ». En parallèle, nous avons réalisé auprès des concepteurs en maintenabilité des observations pour identifier des Situations à Enjeux de Sécurité Observées (SESO) dans la conception. Les ES mécaniciens sont des SES maintenance. Les ES concepteurs en maintenabilité et les SESO sont des SES conception.

Nous avons codé les SES avec la grille de codage Contraintes Stratégies Ressources (CSR). Un codage CSR itératif des SES maintenance et des SES conception permet la construction de la grille de codage CSR « maintenance » et de la grille de codage CSR « conception ». Le résultat du codage CSR conception est présenté dans le chapitre 5 (cf. §5.2). Le résultat de la grille de codage CSR maintenance est présenté dans le chapitre 6(cf. §6.2).

Partie III

Contributions empiriques

5. Chapitre 5 : Concevoir pour la sécurité - les Situations à Enjeux de sécurité en conception

5.1 Introduction

Les concepteurs en maintenabilité participent à la conception des situations de travail des mécaniciens au travers de leur participation au processus de conception de l'hélicoptère et des procédures de maintenance. La compréhension du travail des concepteurs en maintenabilité et de la manière dont ils cherchent à concevoir pour la sécurité de la maintenance est une étape nécessaire pour organiser une conception de la maintenance mettant en discussion le travail des mécaniciens et des concepteurs. Cette première partie empirique a pour objectif de produire des connaissances sur le travail de conception visant la sécurité de la maintenance. Pour cela, nous chercherons à caractériser les Situations à Enjeux de Sécurité (SES) des concepteurs en maintenabilité au travers des questions de recherche suivantes :

- Quelles contraintes les concepteurs en maintenabilité cherchent-ils à satisfaire dans la conception des compromis microcentrés pour la conception de la maintenance et quelle place y tient la sécurité ?
- Quelles stratégies les concepteurs en maintenabilité mobilisent-ils pour prendre en comptent le travail des mécaniciens dans la construction des compromis microcentrés, avec quelles ressources ?
- Quelles stratégies les concepteurs en maintenabilité mobilisent-ils pour construire les compromis macrocentrés avec le collectif de conception ?

Nous croisons les données issues d'entretiens d'évènements significatifs, et des observations réalisées tout au long de la thèse dans le service de maintenabilité pour identifier et analyser les Situations à Enjeux de Sécurité en conception.

Nous montrerons que les situations de conception sont considérées à enjeux de sécurité par les concepteurs en maintenabilité au vu des contraintes qu'ils doivent gérer dans leur propre travail et des contraintes qu'ils identifient dans le travail des mécaniciens. Pour identifier les contraintes du travail des mécaniciens, les concepteurs en maintenabilité réalisent des simulations et des observations des tâches de maintenance. Ils vont ensuite chercher à construire, en collectif, des compromis macrocentrés permettant d'intégrer les contraintes

identifiées du travail des mécaniciens dans le processus de conception et leurs propres contraintes. La conception de la maintenance pour la sécurité est alors un processus d'articulation de compromis micro et macrocentrés intégrant les contraintes amenant les ingénieurs en maintenabilité et les contraintes du collectif de conception.

5.2 Codage CRS conception

Le codage CSR conception est construit de telle sorte qu'il réponde aux questions de recherche spécifiques à l'analyse de l'activité des concepteurs en maintenabilité, c'est-à-dire à caractériser les Situations à Enjeux de sécurité en conception, situations ayant eu un impact sur la capacité des concepteurs à sécuriser la maintenance.

Ci-dessous sont représentés les trois premiers niveaux de catégorisation de la grille de codage CSR conception (Figure 24). Le quatrième niveau de catégorie n'est pas représenté pour des soucis de lisibilité de la figure. La totalité de la grille de codage est présentée en annexe 4.

Chaque catégorie a un code d'identification. Par exemple le thème Contraintes est codé (C). La catégorie de niveau 1 « Contraintes dans le travail du concepteur en maintenabilité » est codée (C1) et la catégorie de deuxième niveau « Règles de conception » est codée (C1.1). Ce codage d'identification nous permettra dans les résultats de faire référence à aux catégories correspondantes.

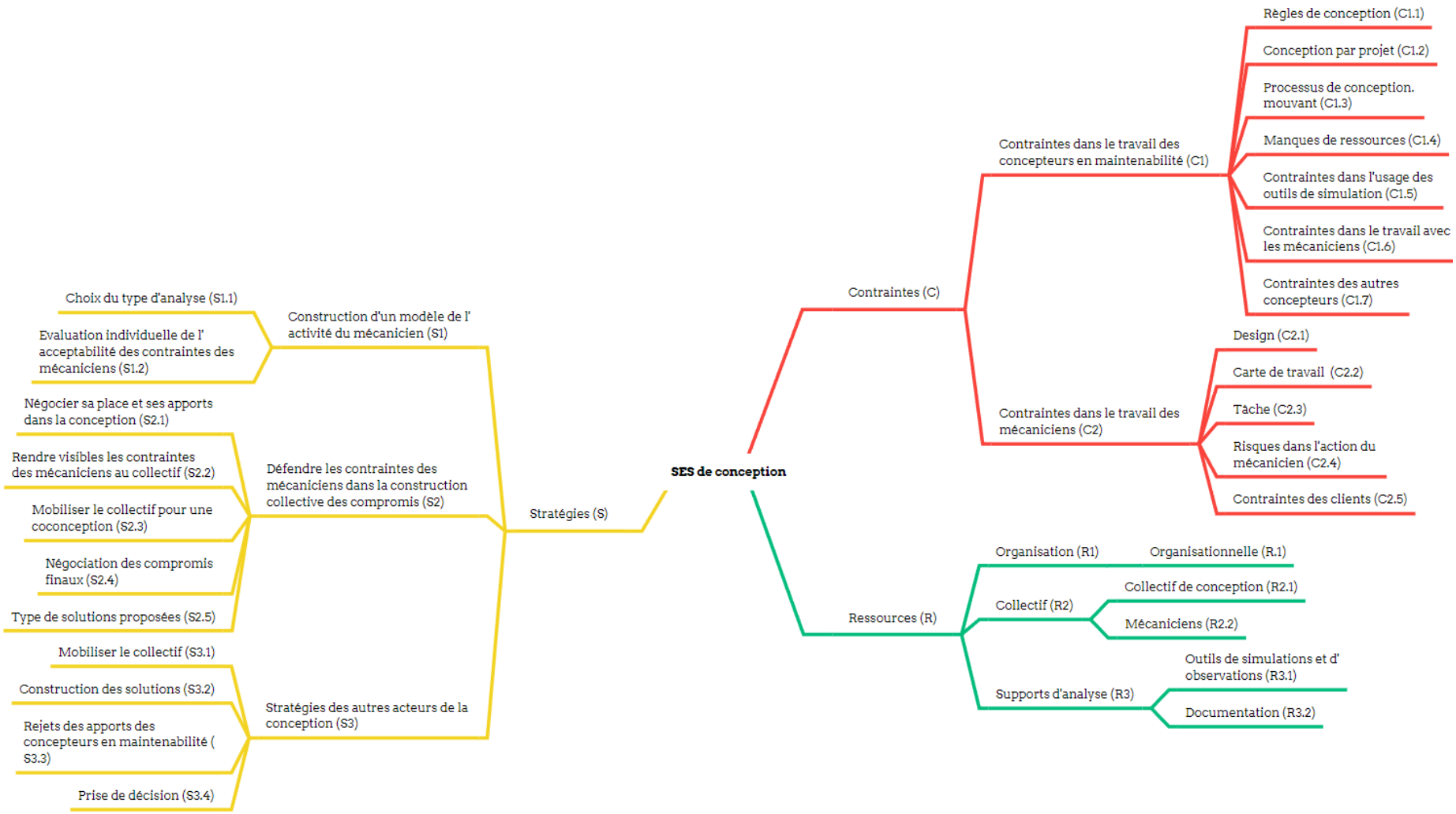


Figure 24 : Vue d'ensemble du codage CSR conception

5.3 Résultats

Les résultats sont découpés en 4 sections. **La première section** des résultats définit ce que nous appelons les Situations à Enjeux de Sécurité (SES) en conception et présente l'articulation entre les constructions des compromis micro et macrocentrés mis en œuvre dans les SES. **La deuxième section** décrit les ressources (Collectif de conception R2.1, Mécaniciens R2.2, Outils de simulations et d'observations R3.1, Documentation R3.2) et les stratégies de choix des types d'analyses à réaliser (S1.1) mobilisées par les concepteurs en maintenabilité pour accéder au travail des mécaniciens. Cette section présente également les contraintes dans le travail des concepteurs entrant en conflit avec les ressources et stratégies mobilisées pour accéder au travail des mécaniciens (C1.3, C1.4, C1.5 et C1.6). **La troisième section** présente les différents types de contraintes auxquelles font face les concepteurs en maintenabilité dans les SES de conception, les contraintes dans le travail des concepteurs en maintenabilité (C1) et les contraintes dans le travail des mécaniciens perçues par les concepteurs (C2). **La quatrième section** décrit les stratégies que les concepteurs en maintenabilité utilisent pour défendre les contraintes qu'ils identifient dans le travail des mécaniciens pour la construction collective des compromis macrocentrés visant la conception d'une maintenance sûre (S2). Nous montrerons que ces stratégies peuvent entrer en conflit avec les stratégies adoptées par les autres acteurs de la conception (S3). Dans cette quatrième section nous détaillerons en particulier l'usage de l'objet intermédiaire de négociation pour la conception, la méthode Human Hazard Analysis pour conception d'une maintenance sûre.

5.3.1 Les SES conception, construction de compromis micro et macro pour la gestion de conflit de contraintes

5.3.1.1 Définition des SES conception en fonction des contraintes à gérer

Les SES conception sont des situations à impact sur la capacité des concepteurs en maintenabilité à concevoir la maintenance pour la sécurité. Le codage CSR conception met en avant 2 types de contraintes qui ont un impact sur la capacité des concepteurs en maintenabilité à concevoir pour la sécurité :

- Les contraintes dans le travail du concepteur en maintenabilité (C1), ce sont les contraintes cadrant les possibilités d'action des concepteurs ;

- Les contraintes qu'il identifie dans le travail des mécaniciens (C2), ce sont les contraintes cadrant les possibilités d'action du mécanicien selon le concepteur en maintenabilité.

Les contraintes identifiées dans le travail des mécaniciens servent de repère de conception de l'hélicoptère et des procédures de maintenance pour le concepteur en maintenabilité, qui les fait siennes s'il considère qu'elles ont un impact sur la sécurité de la maintenance.

Dans les Situations à Enjeux de Sécurité (SES) en conception, les concepteurs en maintenabilité évoquent majoritairement les deux types de contraintes, contraintes dans le travail des concepteurs en maintenabilité (C1) et les contraintes dans le travail des mécaniciens (C2) (32 SES sur 43, soit 74%) (voir Figure 25). Ils évoquent seulement un seul type de contrainte dans 26 % des SES. Dans 8 SES sur 43 (soit 19%) ils évoquent des contraintes dans le travail des mécaniciens et dans 3 SES sur 43 (soit 7%) seulement des contraintes dans le travail des concepteurs.

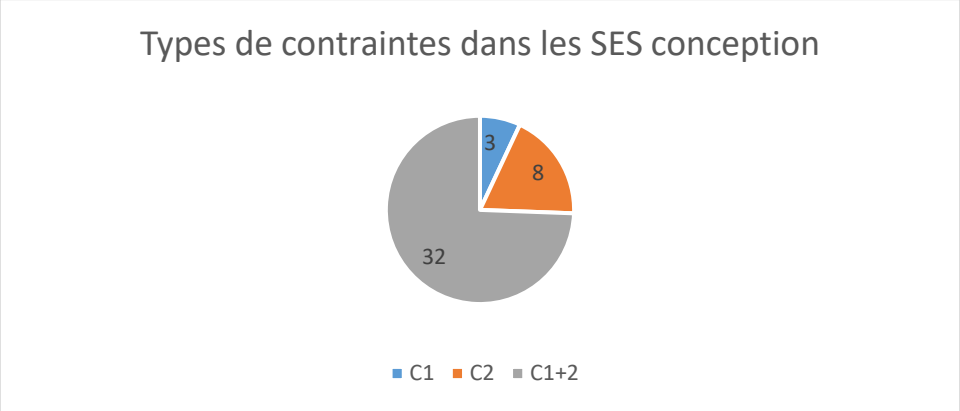


Figure 25 : Types de contraintes dans les SES conception

Nous montrerons dans la section suivante que, dans les SES conception, ces contraintes vont entrer en conflit, conflits que le concepteur en maintenabilité devra gérer pour concevoir. Pour résoudre ces conflits, les concepteurs mobilisent des ressources organisationnelles (R1.1), le collectif (R2.1), les mécaniciens (R2.2), des outils de simulations et d'observation (R3.1) et la documentation (R3.2). Ces ressources leur permettent de construire des compromis micro et macrocentrés pour concevoir pour la sécurité à travers des stratégies de construction d'un modèle de l'activité du mécanicien (S1) et de défense des contraintes des mécaniciens identifiées dans la construction collective des compromis (S2) face aux stratégies adoptées par les autres concepteurs (S3).

5.3.1.2 Articulation de compromis micro et macro centrés dans les Situations à Enjeux de Sécurité (SES) de conception

Nous présentons dans cette section, 3 modélisations de SES conception, une SES conception centrée sur les contraintes des concepteurs (EM1ES1), une centrée sur les contraintes des mécaniciens (SESO7) et une autre où les deux types de contraintes sont évoquées (SM2ES1). La présentation de ces SES nous permet de décrire les conflits de contraintes que les concepteurs en maintenabilité doivent gérer et le processus de construction des compromis pour la conception d'une maintenance sûre.

EM1ES1 : Adapter son implication dans un projet en fonction du budget (C1)

Cette situation de conception est à enjeux de sécurité pour l'expert en maintenabilité (EM) car il n'a pas pu réaliser toutes les analyses qu'il aurait souhaitées, analyses qui auraient pu, selon lui, améliorer la sécurité de la maintenance (voir Figure 26).

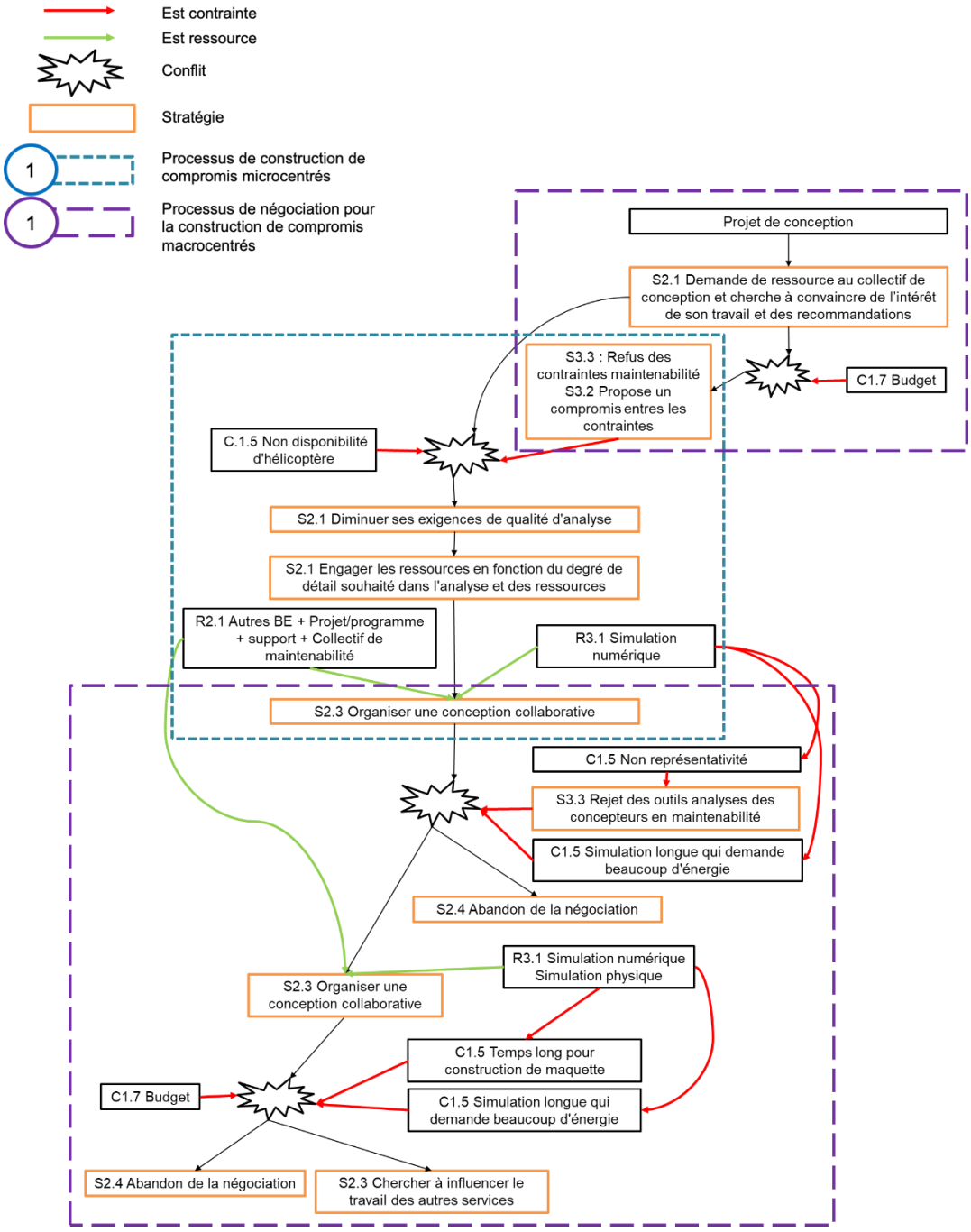


Figure 26 : Modélisation Contraintes Stratégies Ressources de la SES EM1ES1

L'expert en maintenabilité (EM) est impliqué dans un projet de conception d'un démonstrateur. Il s'engage dans la construction d'un compromis macrocentré avec le service projet en indiquant le nombre d'heure de travail dont il a besoin pour réaliser les analyses de maintenabilité et « *faire ce qu'il y a de mieux* » (S2.1). Il demande un nombre d'heures de travail sur ce sujet qui entre en conflit avec la contrainte budgétaire (C1.7) du service projet. Le service projet s'engage également dans la construction d'un compromis macrocentré avec l'expert en maintenabilité et choisit de proposer à l'EM un nombre d'heure de travail inférieur à celui demandé (S3.2) compte tenu de du statut de démonstrateur du projet de l'appareil conçu. Cette proposition est le résultat intermédiaire de la construction du compromis macrocentré visant la conception d'une méthode d'intervention de l'expert en maintenabilité en prenant en compte les contraintes budgétaires. La stratégie du service projet devient une contrainte pour l'expert qu'il doit intégrer à la construction d'un compromis microcentré visant la conception d'une proposition d'intervention lui permettant d'influencer réellement le collectif de conception. De plus, l'hélicoptère en développement n'est pas encore construit physiquement (C1.5). Cette contrainte entre en conflit avec la stratégie initiale de l'expert en maintenabilité de réaliser des analyses complètes de maintenabilité. Ces deux contraintes l'amènent à adopter une stratégie de construction de compromis microcentré en diminuant ses exigences de qualité d'analyse et ses ambitions de participation à ce projet de conception (S2.1). Au lieu de faire une analyse pour toutes les tâches de maintenance, il décide de se mettre à disposition du collectif de conception et de ne travailler que sur les questions que le collectif de conception lui pose (S2.1). Pour gagner du temps dans le traitement des questions du collectif de conception et amener le collectif de conception à s'intéresser aux problématiques de la maintenance, l'expert en maintenabilité organise des séances de conception collaborative (S2.3) sur maquette numérique en réalité virtuelle (R3.1) avec les autres concepteurs (R2.1).

> « *Moi j'ai essayé de guider pour être efficace avec la réalité virtuelle. On a réussi à changer la façon de travailler en se disant plutôt que de prendre les sujets un par un et de faire des analyses de maintenabilité dans notre coin et ensuite revenir voir le métier, le designer, et dire là ça va, là ça ne va pas, je leur ai dit que ce n'est pas possible. Je n'aurai pas le temps, le budget, les ressources. Ce que je vous propose, c'est de faire des séances collaboratives en salle de réalité virtuelle avec tous les métiers mélangés et on travaille par zone.* »

L'EM construit donc un compromis microcentré gérant le conflit entre son objectif de réalisation d'une analyse de maintenabilité de qualité et la contrainte de budget imposée par le

projet. Le résultat de ce compromis est une règle de travail communiquée aux autres concepteurs (ne répondre qu'aux questions) et la proposition d'une méthode de travail aux autres concepteurs, une conception participative via des outils de simulation numériques. Cette méthode doit permettre à l'expert en maintenabilité de ne pas prendre en charge seul la construction de compromis microcentrés pour la conception mais de placer l'analyse directement sur le plan de la négociation avec le collectif, donc de la construction d'un compromis macrocentré autour d'un objet intermédiaire de conception, la réalité virtuelle.

L'usage de la réalité virtuelle (R3.1) pour l'organisation de séance collective de conception aide l'expert en maintenabilité à convaincre certains concepteurs de la nécessité de prendre en compte les contraintes de la maintenance dans le design. Cependant la réalité virtuelle est considérée comme non représentative de la réalité par d'autres concepteurs (C1.5) et n'apporte, selon eux, pas de preuve de la nécessité de changement. Ils choisissent de rejeter les résultats des analyses à travers le rejet de la réalité virtuelle (S3.3) qui devient une contrainte pour le concepteur. Par ce rejet ces concepteurs sortent de la négociation, ce qui leur permet de ne pas remettre en question le design existant.

> « *Eux en gros ils ne voulaient pas toucher à leur design parce qu'ils disaient que l'outil de réalité virtuelle était pas précis. On ne prouvait rien.* ».

De plus, organiser des séances de conception collective par simulation demande beaucoup de temps et d'énergie à tous les concepteurs. Le rejet de la simulation numérique par certains concepteurs et la contrainte de temps des séances de conception collective entre en conflit avec la stratégie d'organisation d'une conception collaborative.

L'expert en maintenabilité a alors dû abandonner certains sujets (S2.4) sur lesquels ils « *n'arrivaient pas à converger* » mais a continué à organiser de nouvelles séances de conception collaborative (S2.3) avec l'appui d'une partie des concepteurs d'autres bureaux d'étude (R2.1) qui souhaitaient rester dans le processus de négociation. Pour organiser ces nouvelles séances de conception collaborative, il a utilisé une maquette physique en bois (R3.1) soutenue par de la réalité augmentée (projection d'éléments numériques sur une maquette physique) (R3.1). Cette maquette lui permettait de répondre aux critiques de manque de précision de l'outil de réalité numérique et d'éviter de reproduire le résultat précédent de la négociation. La mise en place de cette stratégie a été retardée par une contrainte liée à la

maquette physique, son temps de construction (C1.5). De plus, comme pour le conflit précédent, organiser des séances de conception collective par simulation demande beaucoup de temps et d'énergie à tous les concepteurs.

Ces contraintes liées aux outils de simulation et à l'organisation d'une conception collaborative entrent ensuite en conflit avec la contrainte de budget du service projet (C1.7). En effet, la priorité du projet était de faire aboutir le démonstrateur et les considérations de maintenabilité devenaient alors secondaires. Il décide de ne plus financer les analyses de maintenabilité, ce qui amène l'expert en maintenabilité à abandonner ses analyses et les négociations en cours avec les autres concepteurs (S2.4). Mais l'expert en maintenabilité retient de cette expérience la possibilité qu'il a eu de d'influencer les pratiques des autres concepteurs par le partage d'une méthode de prise en compte des contraintes de la maintenance dans la conception par la simulation numérique. Le changement de pratique du collectif est considéré par lui comme étant le résultat final du processus de construction des compromis pour la conception.

SESO7 Modifier le design d'un crochet pour éviter l'ouverture d'un capot en vol (C2)

Cette situation de conception est à enjeux de sécurité pour le concepteur car il a détecté des risques possibles dans la réalisation d'une tâche de maintenance qui pourraient entrainer un incident ou un accident mais a pu modifier le design de l'hélicoptère afin de minimiser ce risque (voir

Figure 27).

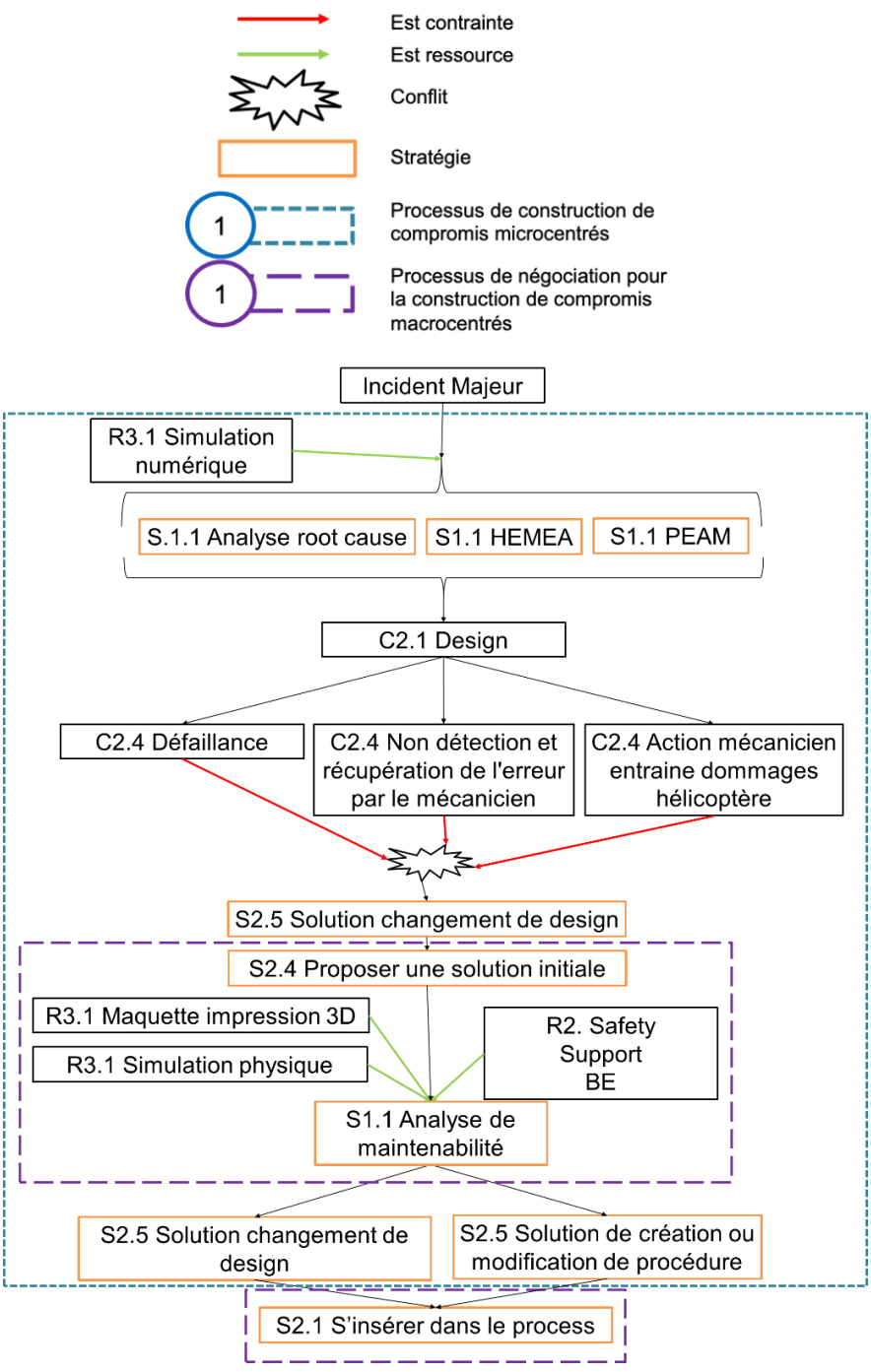


Figure 27 : Modélisation Contraintes Stratégies Ressources de la SES SESO07

L'expert en maintenabilité prend connaissance d'un accident provoqué par l'ouverture d'un capot en vol. Il décide de réaliser une analyse des causes de l'incident, une analyse de risque type HEMEA et une analyse PEAM (S1.1) de la tâche de fermeture du capot en s'appuyant sur la ressource « simulation numérique » (R3.1). Ces analyses doivent lui permettre d'identifier les contraintes dans le travail des mécaniciens et ainsi savoir quelles contraintes intégrer dans la construction du compromis pour la conception. Ces analyses sont donc la première étape de construction d'un compromis microcentré, dans le sens où elles sont des stratégies d'identification des contraintes à prendre en compte dans la construction du compromis pour la conception. Dans cette SES, l'expert en maintenabilité identifie trois contraintes dans le travail des mécaniciens liées au design du crochet de fermeture du capot (C2.1). Chacune de ces contraintes de design amène selon lui un risque dans l'action du mécaniciens (C2.4), risque qui est selon le concepteur une contrainte dans le travail du mécanicien l'empêche de travailler en sécurité :

1. Il est possible de ne pas enclencher le crochet dans la fermeture et de rabaisser le cache protégeant le crochet (C2.1). Le mécanicien sera alors défaillant dans l'exécution de la tâche (C2.4) ;
2. Ce cache ne permet pas au mécanicien de voir facilement que le crochet n'est pas enclenché et donc que le capot n'est pas fermé (C2.1). Le mécanicien peut ne pas détecter une erreur dans la fermeture du capot (C2.4) ;
3. Un capot non fermé risque de s'ouvrir en vol (C2.1) Les actions du mécanicien peuvent alors entrainer des dommages à l'hélicoptère (C2.4).

Ces risques entrent en conflit avec le modèle de la sécurité de l'expert en maintenabilité. Il cherche alors à les supprimer. Pour cela, il conçoit une première version d'un nouveau crochet (S2.4 et S2.5). Ce crochet doit empêcher le mécanicien de baisser le cache sur le crochet si celui-ci n'est pas correctement enclenché. Il choisit de réaliser une analyse de maintenabilité de l'usage de ce nouveau crochet (S1.1) à l'aide d'une simulation physique (R3.1), et d'une impression 3D de nouveau crochet à tester (R3.1).

Cette analyse a un objectif tant de continuité de la construction d'un compromis microcentré visant la conception d'une tâche de fermeture de capot sûre, qu'un objectif de débuter la construction d'un compromis macrocentré. La simulation est en partie organisée par un service support et du service safety et réalisée avec un concepteur du bureau d'études en charge de la

structure des hélicoptères (R2.1). Cette analyse permet à l'expert en maintenabilité de discuter de la solution avec le concepteur en charge de la structure et de commencer avec lui la négociation pour la conception collective de ce crochet. La solution de changement du design du crochet est validée par les deux concepteurs (S2.5). L'analyse permet ensuite à l'expert en maintenabilité de justifier auprès du collectif de conception la nécessité de ce changement de design et de lancer le processus de conception du nouveau crochet (S2.1). Il demande également un changement dans la procédure indiquant clairement le risque lié à la non-fermeture du crochet (S2.5). Les solutions de changement de design et de modification de la procédure sont les résultats de la construction individuelle du compromis microcentré associée à une première phase de négociation avec le concepteur en charge de la structure. L'expert en maintenabilité intègre ensuite les résultats de cette phase de négociation dans la conception des solutions, solutions qu'il présentera au collectif de conception pour une deuxième phase de négociation pour la conception.

SM2ES1 : Refus des contraintes de maintenance par le collectif de conception, appel au soutien du client (C1+2)

Cette situation de conception est à enjeux de sécurité pour le concepteur car il a détecté des risques possibles dans la réalisation d'une tâche de maintenance qui pourraient entrainer un incident ou un accident et n'a pas pu minimiser ou supprimer ces risques par un changement de design (voir Figure 28).

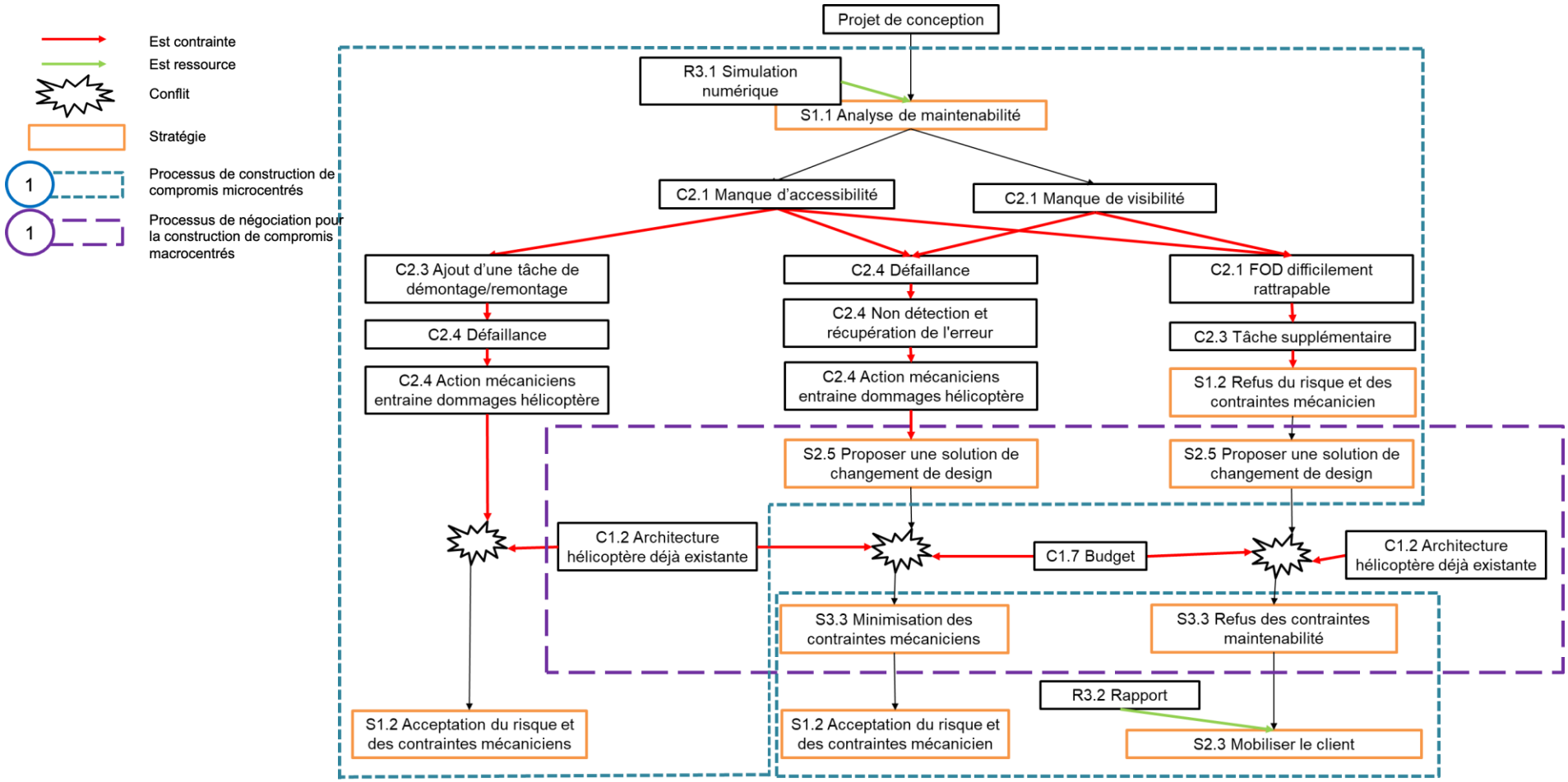


Figure 28 : Modélisation Contraintes Stratégies Ressources de la SES SM2ES1

Le System Design Responsible (SDR) en maintenabilité est intégré dans un projet de conception d'une nouvelle version d'un hélicoptère déjà existant. Le collectif de conception souhaite intégrer un nouvel élément derrière deux éléments existants. Pour l'aider à comprendre les risques pour la maintenance liés à ce changement, le SDR choisit de réaliser une analyse de maintenabilité des tâches de maintenance (S1.1) sur le premier élément à l'aide de simulation numérique (R3.1). Cette analyse est la première étape de construction d'un compromis microcentré lui permettant d'identifier les contraintes sur lesquelles il souhaite agir. Il identifie 2 contraintes majeures dans le travail des mécaniciens liées au design (C2.1), un manque d'accessibilité et un manque de visibilité. Ces contraintes de design amènent, selon le SDR, 3 contraintes entrant en conflit avec la sécurité : l'ajout d'une tâche de démontage/remontage, une défaillance dans l'action du mécanicien et une perte d'objet dans l'hélicoptère (Foreign Object Damage) difficilement rattrapable. Le SDR mobilise différentes stratégies de conception pour ces trois contraintes :

1) La contrainte du manque d'accessibilité (C2.1) entraine la contrainte d'ajout d'une tâche de démontage pour accéder à l'élément (C2.3). En effet, selon le concepteur en maintenabilité, l'ajout de tâches de montage/démontage augmente les risques que le mécanicien soit défaillant dans l'exécution de l'opération de maintenance (C2.4) et entraine des dommages à l'hélicoptère (C2.4). Cette contrainte entre en conflit avec le fait que l'hélicoptère ait une architecture déjà existante (C1.2). Il sera, selon le concepteur, impossible de la modifier pour éliminer l'ajout de la tâche de démontage/remontage. Le concepteur doit alors construire un compromis microcentré pour gérer ce conflit et pouvoir proposer une solution au collectif. Le concepteur en maintenabilité intègre ici dans la construction du compromis microcentré une prévision du résultat la phase de négociation avec le collectif de conception. Il met lui-même de côté cette première contrainte et accepte donc le risque amené par la contrainte sans proposer de solution au collectif (S1.2). Il ne passe donc pas pour cette contrainte par une phase de négociation avec le collectif de conception.

2) Les contraintes design de manque d'accessibilité et de manque de visibilité amènent selon le concepteur un risque que le mécanicien soit défaillant sur le vissage des vis (C2.4) sans détecter et récupérer son erreur (C2.4), ce qui peut entrainer la casse de pièces aéronautiques environnantes en vol (C2.4). Ce que le concepteur en maintenabilité identifie comme des risques sont des contraintes dans le travail des

mécaniciens qu'il intègre à la construction du compromis microcentré pour la conception. Le résultat du compromis microcentré est une solution de changement de design qui ne modifie par la structure et l'architecture général de l'hélicoptère et qui améliore l'accessibilité et la visibilité. Il entre ensuite dans une phase de négociation pour la construction d'un compromis macrocentré en proposant cette solution au collectif (S2.5). Cependant, cette proposition entre en conflit avec la contrainte de budget du service projet (C1.7) et le fait que le design critiqué par le concepteur en maintenabilité existe déjà, sans remontée de problèmes par les clients (C1.2). Le collectif de conception refuse la proposition en adoptant une stratégie de minimisation des risques pour la sécurité (S3.3). Le SDR intègre le résultat de cette négociation à un nouveau compromis microcentré. Le SDR n'insiste pas et accepte cette contrainte (S1.2) car il pense que les mécaniciens auront la possibilité d'avoir un accès visuel à la zone à l'aide d'un miroir. Mais il émet des doutes sur le fait que tous les mécaniciens utiliseront un miroir. Il accepte également le résultat de la négociation car il considère que le risque d'un mauvais vissage de vis est moins important que le dernier risque identifié.

3) Les contraintes design de manque d'accessibilité et de manque de visibilité amènent selon le concepteur un risque que le mécanicien fasse tomber les vis à démonter (FOD) (C2.1), ce qui lui demanderait des tâches supplémentaires de démontage pour récupérer les vis (C2.3). Ces tâches supplémentaires ajouteraient du temps à l'opération de maintenance et la perte des vis dans cette zone de l'hélicoptère pourraient entrainer un accident. Le SDR évalue ce risque comme étant inacceptable (S1.2). Le résultat du compromis microcentré est alors une solution de changement de design n'impactant pas l'architecture générale de l'hélicoptère. Il entre en négociation avec le collectif de conception en proposant cette solution (S2.5). Cette proposition entre en conflit avec la contrainte de budget du service projet (C1.7) et le fait que le design critiqué par le concepteur en maintenabilité existe déjà sans remontée de problèmes par les clients (C1.2). Cette solution est refusée par le collectif de conception (S3.3). Contrairement aux deux premiers risques identifiés, le SDR n'accepte pas le résultat de la négociation. Il construit alors un nouveau compromis microcentré visant la remise en négociation de ce risque et de la solution proposée. Il attribue à cette opération de maintenance une note de maintenabilité D. Une note D indique une impossibilité de faire la tâche de maintenance sans changement de design. Ce rapport sera mis à disposition du client.

Le SDR espère que le client remarque cette notation et impose à Airbus les changements de design proposés par le SDR de maintenabilité. Le SDR utilise donc le rapport de l'analyse de maintenabilité (R3.2) pour alerter le client, le mobiliser dans le processus de conception (S2.3) pour obliger le collectif de conception à reprendre la négociation.

Ces premières analyses de la construction des compromis dans les SES nous permettent d'identifier de premières caractéristiques des SES.

Une SES conception peut être :

- **Une situation de conception dans laquelle le concepteur gère des conflits entre ce qu'il identifie comme des contraintes empêchant les mécaniciens d'agir en sécurité et ses propres contraintes qui l'empêchent de réaliser les stratégies et de mobiliser les ressources lui permettant de construire les compromis pour la conception.**
- **Une situation de conception dans laquelle le concepteur identifie des contraintes dans le travail des mécaniciens qui entrent en conflit avec son modèle de la sécurité. Ces contraintes seront alors considérées comme des risques par le concepteur.**
- **Une situation de conception dans laquelle les contraintes du travail du concepteur l'empêchent, soit de réaliser les analyses qu'il souhaite pour identifier les contraintes du travail de maintenance, soit d'intégrer ces contraintes dans la conception.**

Dans les SES de conception, les concepteurs en maintenabilité conçoivent pour la sécurité par l'articulation de phases

- **De construction de compromis microcentrés visant l'évaluation des risques pour la sécurité et la conception de solutions possibles et ;**
- **De négociation dans lesquelles ils confrontent leurs analyses et leurs propositions de solution au collectif.**

Les résultats issus de cette négociation seront ensuite intégrés à la construction d'un nouveau compromis microcentré. Les résultats des compromis microcentrés et macrocentrés s'alimentent l'un l'autre.

La section suivante présente les stratégies mises en place par les concepteurs en maintenabilité pour construire les compromis microcentrés. Nous présenterons ensuite dans la sous-section 13.3 les contraintes que les concepteurs en maintenabilité doivent gérer dans la construction de ce compromis. Au final, nous présenterons dans la sous-section 5.3.4les stratégies mobilisées par les concepteurs en maintenabilité pour insérer leurs contraintes dans la construction du compromis macrocentré.

5.3.2 Ressources et stratégies pour accéder au travail des mécaniciens et construire les compromis microcentrés

Nous présenterons les ressources mobilisées par les concepteurs en maintenabilité pour accéder au travail des mécaniciens (en rouge sur la Figure 29), le collectif de conception (R1.1), les outils de simulations et d'observation (R3.1) ainsi que l'implication ou non de mécaniciens dans les analyses (R2.2) et les stratégies d'analyses (S1.1). Nous présenterons également les contraintes avec lesquels ces ressources et stratégies entrent en conflit (C1.5 et C1.6) afin de décrire les difficultés possibles d'accès au travail des mécaniciens. La Figure 29 présente le nombre de SES conception dans lesquels les différentes ressources sont évoquées.

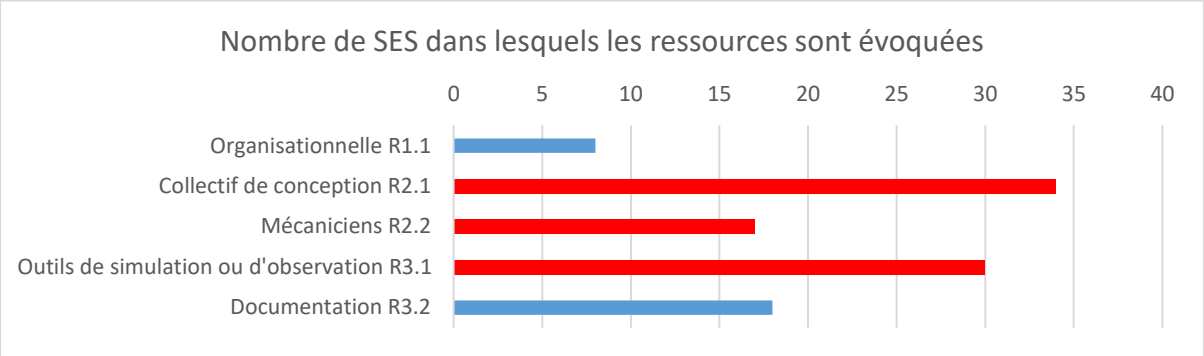


Figure 29 : Nombre de SES dans lesquels les ressources sont évoquées

La Figure 30 présente le nombre de SES dans lesquels les moyens de simulation ou d'observation ont été évoquées, avec ou sans participation d'un mécanicien (R3.1 et R2.2). Les détails de cette figure seront discutés dans les sous sections 5.3.2.2 à 5.3.2.4.

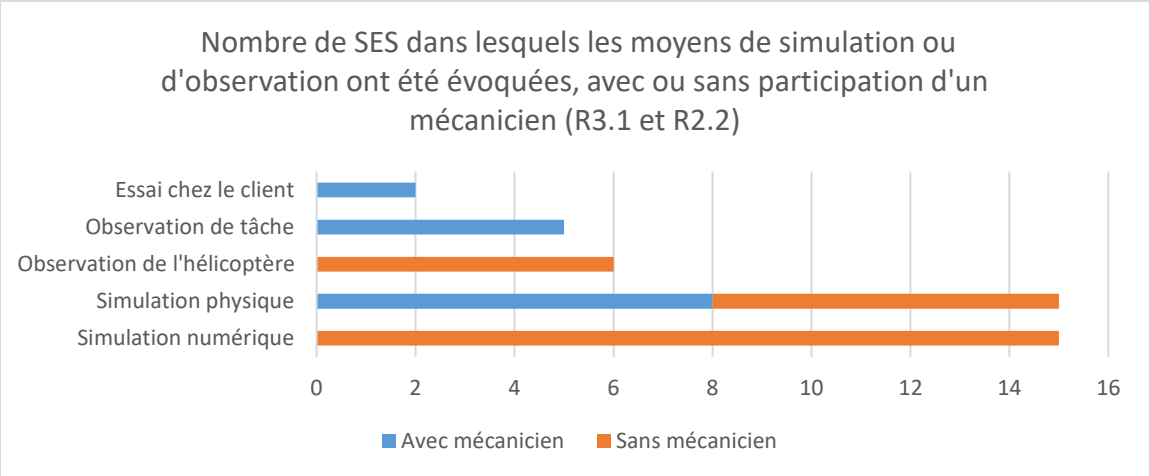


Figure 30 : Nombre de SES dans lesquels les ressources sont évoquées

5.3.2.1 Le collectif de conception (R2.1)

Dans 34 SES conception sur 43 (soit 79%), les concepteurs en maintenabilité mobilisent le collectif de conception (voir Figure 29). Les concepteurs en maintenabilité mobilisent principalement deux types de collectifs, les autres bureaux d'études et le service support, pour accéder à deux types d'informations sur le travail de maintenance. Ci-dessous la Figure 31 présente le nombre de SES dans lesquels les sous catégories de la catégorie R2.1 « collectif de conception » sont évoquées.

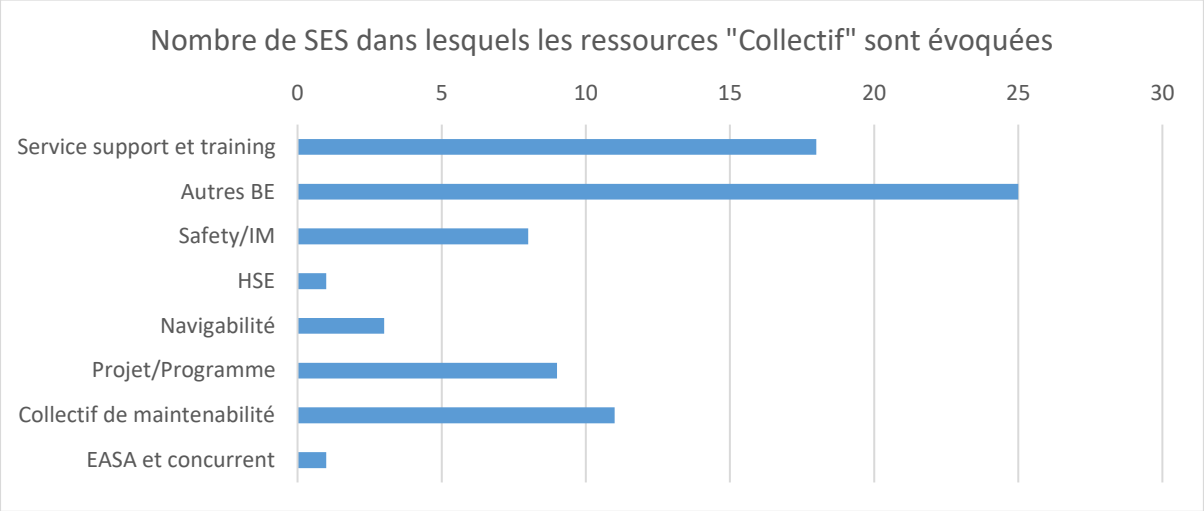


Figure 31 : Nombre de SES dans lesquels les ressources "Collectif" sont évoquées

Dans 25 SES sur 43 (soit 58%), les concepteurs en maintenabilité mobilisent **les autres bureaux d'étude** pour comprendre la fonction du système technique, son fonctionnement, sa conception. Ceci leur permet d'identifier les modes de dysfonctionnement possibles, les conséquences de ces dysfonctionnements et d'éventuels impacts sur la maintenance et les mécaniciens. On peut le voir dans SM2ES6, où le SDR maintenabilité doit faire une analyse de maintenabilité suite à l'ajout d'un système pyrotechnique sur un hélicoptère, système pyrotechnique qu'il ne connait pas. Il appelle le SDR du système technique pour lui demander s'il faut faire des tests sur un système pyrotechnique, comment il est utilisé et qui s'en occupe.

> « *C'est pour ça qu'il faut être ouvert et poser les bonnes questions au SDR, lui va te dire. Moi je ne connais pas le système donc déjà tu apprends sur le système, tu sais à quoi ça sert, comment il l'utilise. Un système pyrotechnique, est-ce que vous faites des tests ? Si oui comment, à quel moment ? Qui c'est qui s'en occupe ? Ah c'est à 2 personnes ! Il y a une personne dans le cockpit. Et là tu te dis si jamais le gars il a appuyé par inadvertance sur le*

truc et qu'il y a quelqu'un qui travaille en même temps derrière qu'est-ce qu'il se passe ? » (SM2ES6)

Les concepteurs en maintenabilité mobilisent également **les services supports clients** dans 18 SES sur 43 (soit 42%) pour recueillir des informations sur les contraintes et les pratiques des mécaniciens clients. Les Bureaux d'études n'ont pas d'accès direct au client et doivent passer par les services supports pour contacter un client. Par exemple, dans la SES O7, l'expert en maintenabilité demande au support client un sondage auprès des clients sur la réalisation d'une tâche.

« *Savez-vous comment font nos clients pour installer le sandow de rappel du cargo-hook 3,8T sur H225 ? Je suis certain que nos clients ont des astuces / procédures voire outillages « fait maison » dont nous pourrions nous inspirer en nous assurant que cela sécurise l'opérateur/l'équipement. Pourriez-vous sonder des utilisateurs potentiels (civils/militaires) ?* » (SESO15).

Avec les informations qu'ils recueillent sur le système technique et le retour d'expérience des clients, les concepteurs en maintenabilité commencent à construire des premières hypothèses sur le travail des mécaniciens et sur les risques que ce travail peut engendrer pour la sécurité du mécanicien et de l'hélicoptère.

5.3.2.2 Les simulations numériques (R3.1)

Dans 14 SES sur 43 (soit 33%), les concepteurs en maintenabilité mobilisent différents outils de simulation et d'analyses 3D en fonction des ressources disponibles pour l'analyse et du niveau de détail recherché. Aucune de ces simulations numériques n'impliquent de mécaniciens.

Avec des outils de **modélisation 3D de l'hélicoptère et d'un mannequin numérique**, les concepteurs de la maintenabilité réalisent une première phase d'analyse de la faisabilité d'une tâche qui leur permet de construire, à moindre coût par rapport à une simulation de tâche sur hélicoptère, ce que nous appellerons les premiers scénarios de travail du mécanicien probables. A l'aide de leur expérience, ils testent différents scénarios de réalisation de la procédure. Ils mettent de côté les scénarios qui leur semblent improbables et sélectionnent ceux qui nécessitent une analyse plus détaillée demandant d'autres outils de simulation et mobilisant

plus de ressources, que ce soit une simulation en réalité virtuelle ou physique. Les analyses réalisées par les concepteurs en maintenabilité ne nécessitent pas systématiquement l'usage de la modélisation 3D. Par exemple, certaines tâches à analyser par les SFH sont considérées comme trop complexes et se basent sur une simulation des tâches soit par réalité virtuelle soit par simulation physique sans utiliser la 3D. Ils peuvent également être amenés à utiliser d'autres types de simulations lorsque l'analyse 3D et du mannequin numérique ne suffit pas à convaincre le collectif de conception de l'infaisabilité d'une tâche.

Les outils de réalité virtuelle ou de réalité augmentée sont une ressource pour les concepteurs de la maintenabilité qui ont pour objectif de faire une analyse qui « se rapproche de la réalité du travail des mécaniciens chez les clients » sans avoir besoin d'impliquer un mécanicien ni de trouver un hélicoptère. La simulation par réalité virtuelle demande pour l'utilisateur une connaissance du fonctionnement des outils. Malgré cela, la réalité virtuelle est préférée à l'analyse par 3D et mannequin numérique pour se prononcer sur l'accessibilité et la visibilité. Cependant, la simulation en réalité virtuelle peut ne pas suffire dans certains cas à se représenter le réel, par exemple lorsque la tâche demande de s'appuyer sur l'hélicoptère ou lorsqu'il y a un port de charge. Ils peuvent installer des interfaces tangibles sous forme de cartons, chaises etc. simulant la structure et les composants de l'hélicoptère. Mais lorsqu'ils jugent ces interfaces non suffisantes, les concepteurs en maintenabilité utilisent alors des outils de simulation physique (cf.§5.3.2.3).

Les outils de simulation numérique sont généralement utilisés seul par le concepteur de la maintenabilité, mais peuvent également **être mobilisés de manière collective** (3 SES sur 43, soit 7%). Par exemple, dans SM1ES2, le concepteur en maintenabilité a utilisé l'outil de simulation 3D pour trouver, en groupe de travail avec d'autres concepteurs du bureau d'études, des solutions possibles à un problème d'accessibilité qui restait insoluble pour lui. Lors du groupe de travail, les concepteurs réfléchissaient en petits groupes à des solutions possibles à l'aide de la 3D, solutions qui étaient ensuite mises en débats en groupe entier.

Ces analyses numériques ne sont possibles que s'il existe une numérisation 3D de l'hélicoptère analysé. Mais il est possible que **la numérisation de l'hélicoptère ou du système technique à analyser ne soit pas disponible**. Soit l'hélicoptère est une ancienne gamme qui n'a pas été numérisée, soit au contraire l'hélicoptère ou le système technique est au début du processus de conception. Les concepteurs en maintenabilité devront alors choisir une autre ressource pour

réaliser leurs analyses. C'est le cas dans 1 SES, l'ES SM2ES8. Cet SES fait suite à un accident. Les concepteurs du bureau d'études choisissent de modifier le design de l'appareil. Le concepteur en maintenabilité n'a pas accès aux maquettes numériques modélisant le changement de design et n'a pas le temps de faire une analyse de maintenabilité poussée. Il va donc directement voir un mécanicien et lui demande de commenter le changement de conception.

5.3.2.3 Les simulations physiques (R3.1) avec ou sans les mécaniciens (R2.2)

Les simulations physiques (14 SES sur 43, soit 33%) sont des simulations de tâches de maintenance réalisées sur une maquette en bois d'hélicoptère ou sur un hélicoptère réel. Ces simulations sont utilisées pour :

- Tester la faisabilité d'une procédure en « déroulant la procédure » et déterminer les contraintes des mécaniciens pour réaliser la tâche ;
- Vérifier les conclusions de l'analyse numérique et les solutions qui en découlent ;
- Construire des solutions seul, avec le mécanicien ou avec les autres acteurs de la conception ;
- Vérifier des solutions proposées par le collectif de conception et démontrer les contraintes apportées par cette solution.

Les simulations physiques se basent sur **l'application des procédures de maintenance** ou sur des expérimentations d'opération de maintenance et ont pour but d'identifier ce qui peut empêcher les mécaniciens de réaliser la tâche ou de vérifier sa bonne réalisation. Les concepteurs en maintenabilité peuvent alors chercher à **faire faire la procédure par un mécanicien des ateliers de l'entreprise ou la faire eux-mêmes**. Les concepteurs en maintenabilité mobilisent une simulation physique comme ressource dans 15 SES sur 43 (soit 35%, voir Figure 32). Huit d'entre elles impliquent au moins un mécanicien et 7 n'en impliquent pas. Ils choisissent également de réaliser des observations de l'hélicoptère sans mécaniciens dans 6 SES conception. Lors de ces observations, le concepteur cherche à vérifier si le design de l'hélicoptère permet l'application de la procédure de maintenance, sans faire de simulation.

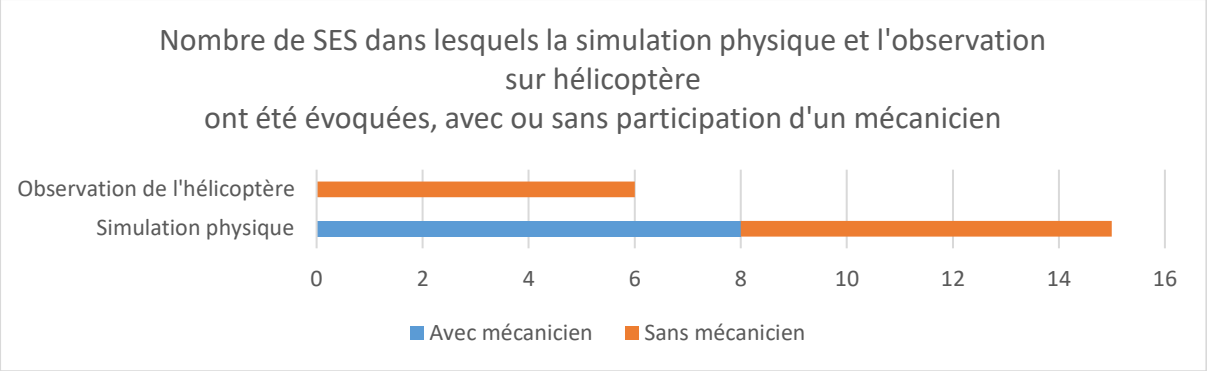


Figure 32 : Extrait de la Figure 30, simulation physique et observation sur hélicoptère

Ces simulations peuvent également se faire avec la participation d'autres acteurs de la conception et des décideurs, qu'un mécanicien soit présent ou non.

Les concepteurs en maintenabilité mobilisent le collectif afin de trouver **un compromis macrocentré acceptable avec les financeurs concernant les moyens et les ressources à mobiliser pour les analyses (S2.1)** (21 SES sur 43, soit 49%). Pour trouver les ressources nécessaires aux simulations et expérimentations, les concepteurs en maintenabilité doivent effectuer un travail perçu comme chronophage d'argumentation et de négociation auprès des responsables des ateliers et des services projet et programme pour les convaincre de mettre en disponibilité les hélicoptères et les mécaniciens (13 SES sur 43, soit 30%). Les concepteurs de la maintenabilité peuvent être amenés à adapter leurs objectifs et leurs outils d'analyse au budget alloué par le projet (8 SES sur 43, soit 19%). C'est le cas dans la SES EM1ES1 (cf. §5.3.1.2). Ne pouvant pas faire des analyses de maintenabilité et de risque complètes faute de moyen, ce concepteur de la maintenabilité a décidé de ne répondre seulement qu'aux questions qui lui étaient posées. Il a alors partagé aux autres concepteurs des règles de maintenabilité et d'ergonomie auxquels ils pouvaient se référer avant de venir vers lui et a organisé avec eux des sessions de conception collective en réalité virtuelle.

Lorsque les concepteurs en maintenabilité disposent de ressources financières et temporelles suffisantes, ils organisent leurs analyses en fonction de la complexité de la tâche. Le choix de la forme de l'analyse va ensuite impacter la capacité de l'ingénieur à identifier plus ou moins finement et facilement les contraintes dans le travail des mécaniciens.

Les simulations physiques demandent plus de ressource que les simulations numériques. Malgré ces contraintes, lors d'analyses de tâches considérées complexes, les simulations physiques sont considérées comme un passage obligé par les concepteurs en maintenabilité

pour s'assurer de la qualité de leur travail. L'objectif pour les concepteurs en maintenabilité est de se rapprocher d'une simulation devenant de plus en plus réelle, c'est-à-dire qui se rapprocherait des réelles conditions de travail d'un mécanicien. Ils cherchent à être « représentatifs » dans leurs expérimentations et simulations pour recueillir des informations « au plus près du réel ». Cette représentativité passe par le souci de ne pas influencer les comportements des participants lors des simulations, par le design des maquettes physiques ou le choix des hélicoptères utilisés. Autrement dit, l'objectif des concepteurs en maintenabilité est de créer des situations de simulations qu'ils considéreront comme des situations de travail réel. Cependant, ces situations ne peuvent être représentatives que des situations dans lesquelles le mécanicien a accès aux mêmes outils et au même environnement que les mécaniciens observés. Les concepteurs en maintenabilité en sont conscients. Ils chercheront alors soit à demander aux mécaniciens participant à la simulation de partager leur expérience éventuelle d'ancien mécanicien client, soit peuvent contacter des techniciens représentants (salariés d'airbus travaillant chez les clients) ou demander des informations au support client (cf. §5.3.2.1). Ils s'appuient également sur leurs connaissances et expériences personnelles de la maintenance qu'ils acquièrent au travers des analyses qu'ils ont pu réaliser chez les clients (cf. §5.3.2.4), des analyses réalisées suite à des questions et remontées des clients, de leurs formations et de leurs loisirs personnels.

Les tâches de maintenance étant pour la plupart peu répétitives, les simulations, qu'elles soient numériques ou physiques, sont un moyen plus accessible pour les concepteurs en maintenabilité que d'observer les mécaniciens réaliser réellement les tâches de maintenance. Mais lorsque cela est possible, les concepteurs de la maintenabilité cherchent à observer directement des tâches réalisées réellement par des mécaniciens, soit au sein de l'entreprise, soit chez le client.

5.3.2.4 Les observations en atelier, chez le client ou en filiale (R3.1) et les mécaniciens (R2.2)

Les observations se distinguent des simulations par le fait que la tâche de maintenance est réellement réalisée par un mécanicien, pour un appareil qui en a besoin contrairement à la simulation.

Dans 5 SES sur 43 (soit 12%) les concepteurs en maintenabilité réalisent une observation des tâches de maintenance réalisées par des mécaniciens. Les observations des tâches de maintenance dans les ateliers de l'entreprise ont plusieurs objectifs :

- Vérifier la faisabilité d'une procédure et déterminer les contraintes des mécaniciens pour réaliser la tâche sans avoir besoin d'organiser une simulation
- Vérifier l'apport d'une solution et recueillir des retours des mécaniciens
- Le SFH et l'expert en maintenabilité réalisent des observations pour observer des tâches de maintenance faisant partie de la liste des tâches critiques à observer pour les analyses HHA ;

Dans 2 SES sur 43 (soit 5%) les concepteurs en maintenabilité réalisent une observation des tâches de maintenance réalisées par des mécaniciens chez un client. Les observations chez le client permettent aussi aux concepteurs de la maintenabilité de :

- Recueillir des informations directes sur l'organisation des clients et les conditions de travail des mécaniciens clients ;
- Promouvoir l'intérêt de leur travail en impliquant les clients.

L'observation de la réalisation des tâches se fait de manière opportuniste tant dans les ateliers de l'entreprise que chez les clients. Ceci demande aux concepteurs en maintenabilité, aux équipes des ateliers et au service support client dans le cas d'une observation chez le client, **un travail de coordination**. Pour le concepteur en maintenabilité, il ne suffit pas de demander aux équipes de maintenance quand ils prévoient de faire la tâche qui l'intéresse, il lui faut suivre l'évolution du travail de maintenance qui peut modifier le planning d'un jour à l'autre, ce qui s'ajoute à sa charge de travail. Le rythme de travail du concepteur en maintenabilité et son emploi du temps sera donc dépendant de celui des mécaniciens (C1.5). De plus, lors d'une observation, le concepteur en maintenabilité ne maitrise pas l'hélicoptère ni le choix du mécanicien qu'il va observer. Il peut également être amené à s'intégrer à des observations d'autres services dont il ne maitrise pas la méthodologie ni le planning.

En contrepartie, l'observation des tâches en situation réelle permet au SFH **d'avoir accès à des éléments de l'organisation du travail des mécaniciens** invisibles lors de simulations numériques ou physiques. C'est le cas dans la SESO12, où les Spécialistes Facteurs Humains réalisent plusieurs observations de tâche chez un client. Ils ont pu voir, entre autres, que pour éviter l'achat d'un outillage de stockage et sauvegarder de la place dans l'atelier, les mécaniciens clients ont choisi de stocker une pièce aéronautique sur une table, ce qui n'est pas indiqué dans la procédure. Ils ont également pu prendre le temps de discuter des conditions de travail des mécaniciens d'hélicoptère avec plusieurs mécaniciens travaillant pour des clients différents.

Cependant, la parole des mécaniciens n'est jugée fiable que lorsqu'elle est couplée à une analyse de la tâche faite par les concepteurs en maintenabilité. Dans une seule SES, SM2ES8, le concepteur en maintenabilité choisit de ne pas faire de simulation 3D, simulation physique ou d'observation décrites précédemment, mais d'apporter directement la question de conception à un mécanicien pour avis et test sur machine. Le concepteur en maintenabilité devait donner un avis sur l'impact d'un changement de design sur la maintenance. Pour ce projet il n'avait pas beaucoup de budget et de temps. Il a alors décidé de ne pas passer par la phase de simulation numérique et d'aller directement demander l'avis d'un mécanicien sur un hélicoptère.

> « *Donc je suis allé voir directement le mécanicien. Je lui ai dit ils comptent mettre un accelero là là et là en fait on s'est aperçu finalement que sur les 5 ou 6 accelero il y en avait quatre qui était iso-position actuelle. Des accelero moins complexes donc ça ne prenait pas plus de place et finalement on a gagné du temps. Et les deux autres on a pu les valider rapidement. Ah oui il sera là, attends, je pose une clé et voilà. On l'a fait* [comme on pouvait] *mais moi ça m'a permis de valider très facilement qu'il n'y avait pas de contraintes et que le mécanicien me le garantisse*. » (SM2ES8).

Le SDR décrit cette analyse comme faite « comme ils pouvaient » dans le sens où cette analyse se base sur l'avis d'un mécanicien et non par des étapes d'analyse de simulations numériques puis physiques perçues comme objectives par le concepteur de maintenabilité. Le fait que le concepteur utilise cette expression pour décrire cette méthode d'analyse nous montre que selon les standards des concepteurs et de l'organisation, la discussion d'un problème de conception avec un mécanicien n'est pas une méthode d'analyse considérée comme rigoureuse. Cette méthode lui permet cependant d'identifier efficacement l'impact des changements de design sur la tâche de maintenance tout en respectant ses contraintes temporelles. Autrement dit, même si ici le concepteur décrit la méthode utilisée comme n'étant pas rigoureuse du point de vue de l'organisation, il la considère comme étant efficace pour obtenir un résultat de qualité et assurer une conception de la maintenance validée par un mécanicien.

Les concepteurs en maintenabilité cherchent à recueillir des informations sur le travail des mécaniciens en mobilisant différentes méthodes d'enquête, de simulations et d'observations en fonction de leurs ressources et du niveau de détail souhaité dans l'analyse. Par l'usage des outils numériques de simulations, les concepteurs en

maintenabilité cherchent à accéder rapidement au plus près de ce qu'ils considèrent comme la réalité du travail de maintenance sans participation d'un mécanicien, coûteuse en ressource. Il en est de même avec les simulations physiques sans participation de mécaniciens. Les simulations et observations impliquant les mécaniciens sont mobilisées si l'occasion se présente de manière opportuniste ou si l'analyse demande un niveau de détail élevé, avec un budget dédié. Même si elle peut être mise en doute par les concepteurs en maintenabilité, l'expérience des mécaniciens est recherchée pour enrichir leurs analyses, mais ils ne la jugent pas comme étant strictement nécessaire, voire la mettent en doute. Les concepteurs en maintenabilité conçoivent une sécurité réglée à travers des analyses de tâche de maintenance qui se veulent prendre en compte la réalité du travail.

5.3.3 Les contraintes à satisfaire pour la conception d'une tâche de maintenance sûre

Dans cette section nous entrerons plus en profondeur dans la caractérisation des contraintes dans le travail des mécaniciens identifiées par les concepteurs en maintenabilité dans leurs analyses et les contraintes dans le travail des concepteurs. L'analyse de ces contraintes nous permettra de définir ce qu'est une tâche de maintenance sûre du point de vue des concepteurs en maintenabilité.

5.3.3.1 Les contraintes dans le travail des mécaniciens identifiées par les concepteurs en maintenabilité

Cette section présente les contraintes qu'identifient les concepteurs en maintenabilité dans le travail des mécaniciens. Le codage CSR des SES conception fait ressortir 5 grandes catégories de contraintes que nous détaillerons par la suite :

- Ce qui peut empêcher le mécanicien d'appliquer la procédure en sécurité au niveau du design de l'hélicoptère (C2.1)
- Ce qui peut empêcher le mécanicien d'appliquer la procédure en sécurité au niveau des cartes de travail (document indiquant la procédure) (C2.2) ;
- Si appliquer la tâche en suivant la procédure amène des risques pour la sécurité en situation nominal (C2.3)
- Si appliquer la procédure amène des risques pour la sécurité dans les conditions des clients exploitants (C2.5);
- Les risques dans l'action des mécaniciens (C2.4), informations les plus retenues dans les SES (voir Figure 33).

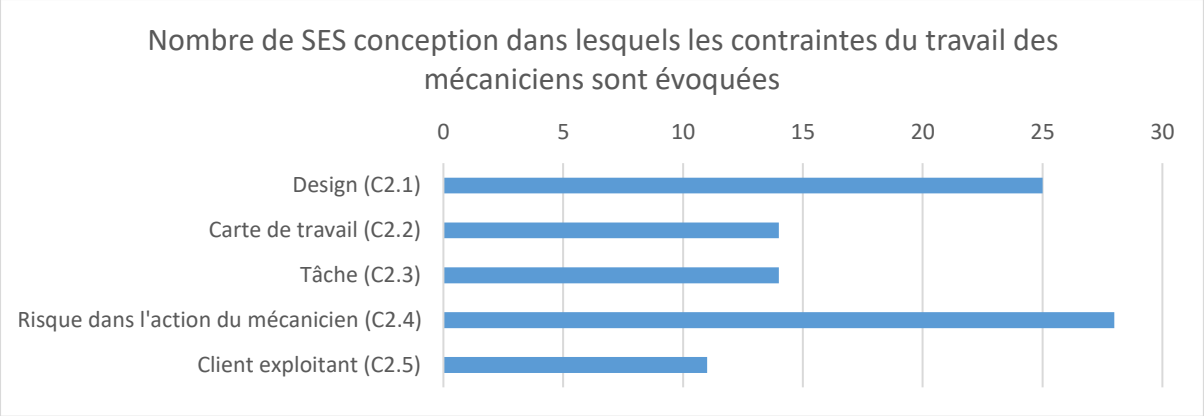


Figure 33 : Nombre de SES conception dans lesquels les contraintes du travail des mécaniciens sont évoquées

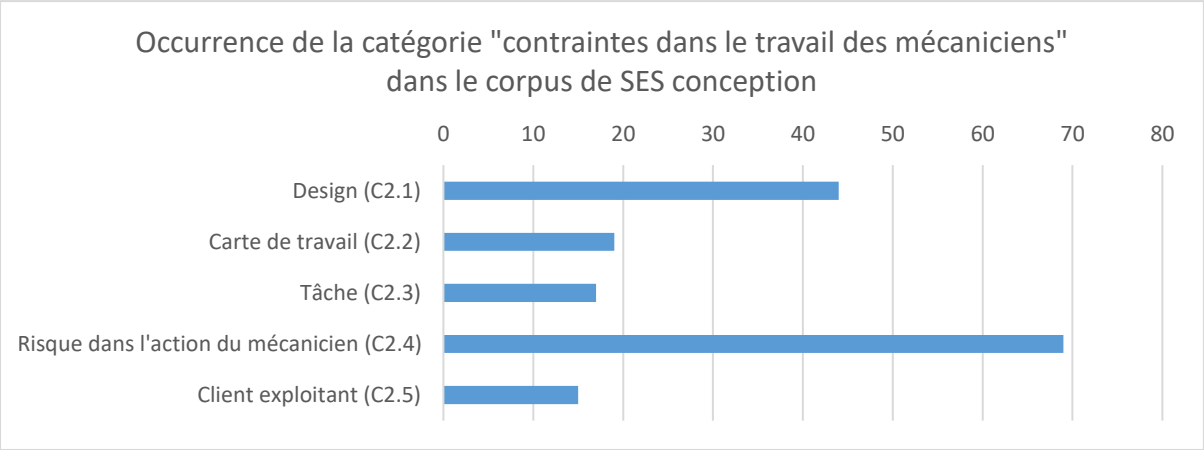


Figure 34 : Occurrence de la catégorie "contraintes dans le travail des mécaniciens" dans le corpus de SES conception

Dans leurs analyses, les concepteurs en maintenabilité cherchent à identifier **les risques dans l'action des mécaniciens (C2.4)** (28 SES sur 43, soit 65%). Les risques dans l'action des mécaniciens sont catégorisés ici comme des contraintes dans le travail des mécaniciens car, selon les concepteurs, ils empêchent les mécaniciens de réaliser une maintenance sûre. Bien qu'on retrouve les contraintes liées au design dans presque autant de SES (25 SES sur 43, soit 58%) que les contraintes liées au risque dans l'action du mécanicien (28 SES sur 43, soit 65%) (Figure 33), ces sont les types de contraintes les plus fréquemment cités dans les SES conception (43 apparitions des contraintes liées au design et 69 apparitions de contraintes liées aux risques dans l'action du mécanicien) (voit Figure 34). Plusieurs types de risques sont liées aux actions du mécanicien par les concepteurs : le risque de défaillance dans l'application d'une procédure et le risque d'appliquer une autre procédure que celle prescrite.

Les mécaniciens peuvent être considérés par les concepteurs comme défaillants dans l'application d'une procédure. Lors de leurs analyses, les concepteurs de la maintenabilité identifient les moments dans lesquels :

- Les mécaniciens déclenchent une action imprévue lors d'une opération de maintenance qui entraine un dommage (17 SES sur 43, soit 40%) ;
- Les mécaniciens pensent réaliser correctement la tâche alors qu'ils en dévient (14 SES sur 43, soit 32%).
- Les mécaniciens ne détectent pas et ne récupèrent pas un écart à la procédure (6 SES sur 43, soit 14%)
- Les mécaniciens sont incapables de réaliser la tâche (6 SES sur 43, soit 14%)
- Les mécaniciens sont perturbés dans leur travail par le collectif (1 SES sur 43, soit 2%).

Le fait qu'un mécanicien applique une autre procédure que celle prescrite est également considéré comme un risque. Les concepteurs en maintenabilité identifient une déviation volontaire de la procédure et un choix d'un mode opératoire jugé risqué dans 10 SES sur 43 (soit 23%). Un concepteur de la maintenabilité nous donne l'exemple d'un mécanicien qui n'a pas suivi la procédure de remplacement d'un roulement prescrite par Airbus, ce qui a causé un accident. Dans cet exemple le mécanicien réalise une visite journalière et semble détecter un défaut dans un roulement. Il décide de remplacer le roulement en déviant de la procédure qui veut que le roulement défectueux soit retiré dans un premier temps avec un premier outil puis que le nouveau roulement soit installé avec un deuxième outil. Au lieu de cela, il utilise le nouveau roulement pour pousser celui défectueux et ne détecte pas l'endommagement occasionné. Cette stratégie de remplacement du roulement est identifiée par le concepteur en maintenabilité comme étant la cause d'un accident.

Toutes les déviations de procédures réalisées par les mécaniciens ne sont pas jugées comme à risque. Dans les cas où les concepteurs considèrent que la procédure est à risque, certaines adaptations de la procédure par les mécaniciens (la sécurité gérée) peuvent être considérées comme des **bonnes pratiques** (par exemple préparer les outils standards en avance ou ajouter des protections que la procédure ne demande pas à des pièces aéronautiques). Dans 1 SES sur 43 (soit 2%) (SES08), un Spécialiste Facteur Humain et un expert en maintenabilité réalisent une observation d'une tâche d'inspection de pale dans une filiale du constructeur. La tâche d'inspection demande au mécanicien de frapper la pale point par point sur toute sa longueur à l'aide d'une tige métallique et d'identifier la présence de défaut au son que fait le choc. Les

concepteurs en maintenabilité identifient des risques de mauvaise exécution de la tâche mais aussi des bonnes pratiques lors de cette observations. En effet, lors de la tâche d'inspection, le mécanicien a été interrompu. Avant de lever les yeux pour répondre à la sollicitation, il a posé son doigt sur le dernier point de la pale inspecté et a donc pu reprendre l'inspection exactement où il s'était arrêté. Les concepteurs en maintenabilité en rendent compte dans leur rapport à destination du collectif de conception pour ajouter cette pratique à la procédure. Ils intègrent donc une pratique de sécurité gérée à la sécurité réglée.

Selon les concepteurs de la maintenabilité, suivre la procédure est cependant le moyen le plus sûr pour le mécanicien d'agir en sécurité. Tout ce qui empêche l'exécution de la procédure génère alors un risque. **Cet empêchement peut venir du design** (C2.1) (dans 25 SES sur 43, soit 58%). Le design est considéré comme une contrainte par les concepteurs en maintenabilité si :

- Il rend l'exécution de la tâche difficile voire impossible du fait de mauvaises postures, accessibilité, visibilité, de port de charge important ou gestes non « naturels » (21 SES sur 43, soit 49%).
- Le design est un risque pour la sécurité du mécanicien, risque qui peut engendrer un dommage pour l'hélicoptère. Par exemple, en faisant la tâche de maintenance le mécanicien peut se prendre les pieds dans des pièces aéronautiques et chuter sur des pièces aéronautiques sensibles (9 SES sur 43, soit 21%)
- La pièce aéronautique n'est pas tolérante à l'erreur, c'est-à-dire ne peut subir de dommages ou être manipulée différemment que comme demandé dans la procédure sans occasionner un remplacement complet de la pièce (3 SES sur 43, soit 7%).
- Le design des outillages ne permet pas de réaliser la tâche. Les concepteurs en maintenabilité participent à la conception des outillages et cherchent à savoir si l'outillage remplit ses fonctions et s'il est manipulable dans l'environnement de la tâche de maintenance (3 SES sur 43, soit 7%).

La carte de travail (C2.2), document contenant la procédure de la tâche de maintenance, peut aussi être désignée par les concepteurs en maintenabilité comme une contrainte empêchant le mécanicien de suivre la procédure pensée par les concepteurs (dans 14 SES sur 43, soit 33%). La carte de travail sera alors considérée comme à risque. La carte de travail est considérée comme une contrainte si :

- Elle n’est pas claire et peut amener le mécanicien à ne pas appliquer la procédure pensée par les concepteurs (9 SES sur 43, soit 21%).
- Elle n’est pas exhaustive et demandent aux mécaniciens d’agir sans instruction. (8 SES sur 43, soit 19%)

Dans le même temps, les concepteurs de la maintenabilité cherchent à évaluer le caractère sécurisant ou non des tâches de maintenance. **Certaines tâches de maintenance sont considérées à priori comme des contraintes dans le travail des mécaniciens amenant des risques (C2.3)** (dans 14 SES sur 43, 33%) Elles amènent des risques car ces contraintes sont considérées comme étant en conflit systématiquement avec la sécurité. Les tâches de maintenance considérées à priori comme des contraintes amenant des risques sont :

- Tout ajout de tâche, dont les tâches de dépose/pose d’éléments. Ces tâches augmentent le nombre d’opérations de maintenance à réaliser par un mécanicien et augmenteraient donc la probabilité de commettre une erreur sur ces tâches.
- Les tâches de maintenance dites subjectives, c’est-à-dire qui demandent une évaluation de l’état d’une pièce sans l’aide d’outillage (par exemple, sentir s’il y a du jeu entre deux pièces). La subjectivité du mécanicien est considérée comme risquée, car elle repose sur la compétence et la formation du mécanicien, contrairement à une mesure objectivable réalisées à l’aide d’un appareil de mesure.

Ces contraintes sont considérées comme à risques quel que soit le contexte et l’environnement de travail des mécaniciens.

Le caractère sécurisant ou non d’une procédure peut être jugé en fonction du **contexte client** dans lesquels elles devront être exécutées (C2.5) (dans 10/43 SES, soit 23%). La procédure peut entrer, selon les concepteurs en maintenabilité, en conflit avec l’environnement et avec les contraintes des clients exploitants ou ne pas couvrir toutes les situations de travail. Par exemple, les procédures de stockage d’hélicoptère ne prenaient pas en compte une situation spécifique d’un client. Le client contacte Airbus pour clarifier une procédure de stockage incomplète, notamment sur les limitations en température en condition froides. En effet, un environnement froid & humide (présence évoquée de neige) peut entrainer des risques de corrosion sur l'appareil et ses équipements.

5.3.3.2 Les contraintes dans le travail des concepteurs empêchant l'intégration des contraintes des mécaniciens au processus de conception (C1)

Les concepteurs de la maintenabilité doivent faire face à des contraintes liées aux processus de conception afin d'intégrer les contraintes des mécaniciens dans la conception. Les contraintes liées au processus de conception sont (en rouge sur les Figure 35 et Figure 36) ; 1) des difficultés à s'insérer dans un processus de conception mouvant (C1.3), 2) un manque de ressource pour influencer la conception (C1.4), et 3) des contraintes des autres acteurs de la conception qui se répercutent sur les concepteurs en maintenabilité (C1.7). Les contraintes C1.1, C1.2 C1.5 et C1.6 seront discutées dans la sous-section 5.3.4.

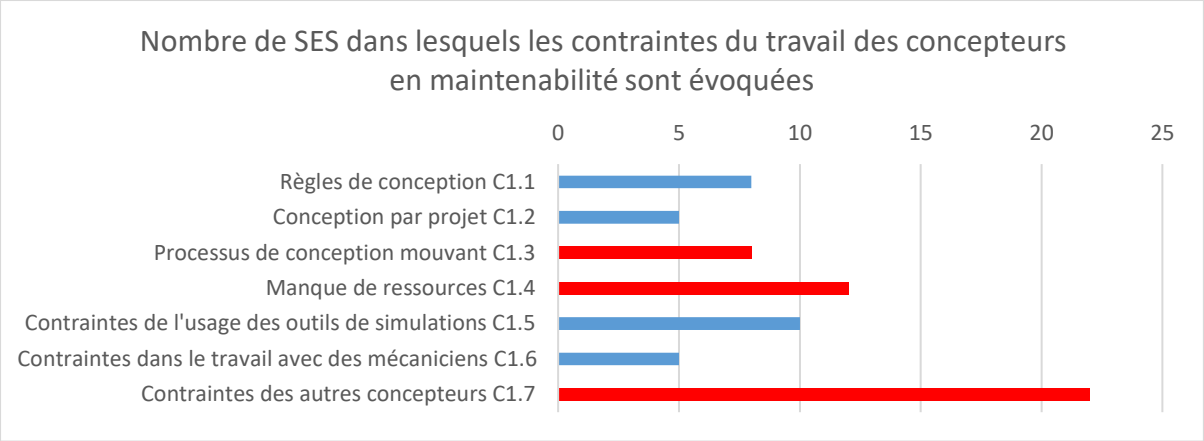


Figure 35 : Nombre de SES conception dans lesquels les contraintes du travail des concepteurs en maintenabilité sont évoquées

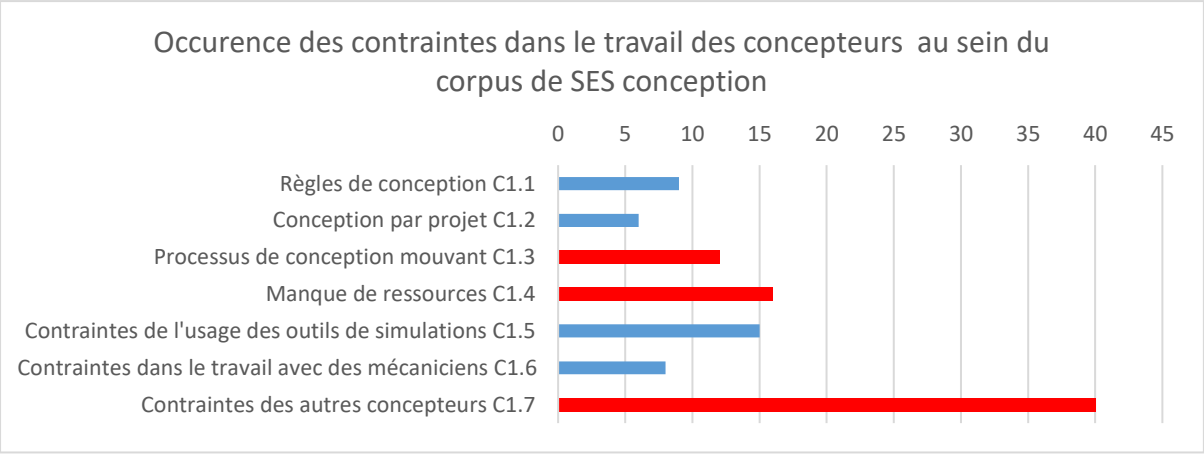


Figure 36 : Occurrence des contraintes dans le travail des concepteurs dans le corpus de SES conception.

Le fait que le processus de conception soit **un processus mouvant** (C1.3) est une contrainte pour les concepteurs de la maintenabilité (dans 8 SES sur 43, soit 19%). Le processus de conception est mouvant, car les interlocuteurs sont nombreux pour un même sujet et peuvent changer au cours du projet (dans 3 SES sur 43, soit 7%). Il est également mouvant, car l'objet conçu change de forme et de fonction au cours de la conception, changement dont le concepteur en maintenabilité peut ne pas avoir connaissance (dans 5 SES sur 43, soit 12%). L'outil d'accès à l'état d'avancement du design d'un objet est la DMU (Digital Mock Up). Tout changement de design doit être répercuté dans la DMU, accessible par les concepteurs de la maintenabilité à l'aide du logiciel de Conception Assistée par Ordinateur Catia. Cependant, si les autres acteurs de la conception modifient le design sans en avertir les concepteurs en maintenabilité, ceux-ci peuvent baser leurs analyses sur une ancienne version de la DMU ou ne pas avoir mis à jour une analyse suite à ce changement inconnu. Un concepteur en maintenabilité évoque (SM3ES1) l'importance d'utiliser des données 3D à jour de la Maquette Numérique (DMU) pour réaliser une analyse de maintenabilité pertinente tout au long du cycle de développement. Le concepteur nous fait part de la difficulté à accéder aux bonnes informations, au bon moment aux vu du nombre d'acteurs impliqués.

Ne pas pouvoir s'insérer dans le processus de conception par manque d'information sur son état d'avancement entraine des contraintes temporelles et matérielles. En effet, plus les concepteurs en maintenabilité arrivent tard dans le processus de conception plus leurs marges de manœuvre pour insérer les contraintes de la maintenabilité dans la conception seront réduites.

Dans 12 SES sur 43 (soit 28%), les concepteurs en maintenabilité évoquent un déficit de ressources temporelles ou matérielles (C1.4). **Les ressources temporelles et matérielles** à disposition des concepteurs en maintenabilité sont conditionnées par le budget attribué par le service projet et de la phase de conception du système technique.

Un hélicoptère en service requiert parfois des modifications de design pour répondre à de nouveaux besoins clients ou résoudre des problèmes techniques rencontrés en service (insatisfaction ou incident). A ce moment, les marges de manœuvre des concepteurs des bureaux d'études sont réduites par rapport à un nouveau développement du fait des contraintes d'architecture et industrielles. Les concepteurs en maintenabilité subissent ces mêmes contraintes qui s'ajoutent à des contraintes de planning et de budget. Leurs objectifs et méthodes

s’adaptent en conséquence pour assurer le respect des critères de maintenance fixés sur chaque modèle d'hélicoptère. Les concepteurs en maintenabilité peuvent alors être amenés devoir diminuer leurs attentes concernant les moyens alloués pour les analyses des tâches de maintenance, donc pour l’identification des contraintes dans le travail des mécaniciens, et pour influencer la conception.

Ces **contraintes matérielles et temporelles** s’appliquent également aux **autres acteurs de la conception (C1.7)** (11 SES sur 43, soit 26%) et impactent leurs capacités à répondre aux demandes des concepteurs de la maintenabilité, donc le résultat des négociations pour la construction d’un compromis macrocentré. D’autres types de contraintes des autres acteurs de la conception peuvent entrer en conflit avec les objectifs et les contraintes des concepteurs en maintenabilité. Les contraintes des autres concepteurs sont le type de contraintes dans le travail des concepteurs le plus évoqué dans le corpus de SES (40 apparitions, voir Figure 36).

Les bureaux d’études doivent satisfaire des contraintes liées aux technologies, aux fonctions opérationnelles de l’hélicoptère, à sa masse et à l’intégration des systèmes dans l’hélicoptère. Par exemple, dans EM1ES2, le bureau d’études en charge de la structure (le fuselage) a prévu de mettre des carénages autour du rotor pour conserver de bonnes performances aérodynamiques sans risque de « choc à l’oiseau » au niveau du rotor. Ces carénages empêchent l’inspection journalière du rotor par les mécaniciens ce qui amène le concepteur en maintenabilité à demander d’ajouter des trappes ouvrantes facilement. Le concepteur en maintenabilité négocie l’ajout des trappes avec le concepteur des rotors qui refuse l'ajout de trappes car la possibilité d'un choc à l'oiseau dans cette zone impose un renforcement de la structure, ce qui entre en contradiction avec l'idée d'une trappe d'accès. L’ajout d’une trappe augmenterait également la masse de l’hélicoptère, ce qui est une raison supplémentaire pour le concepteur des rotors de refuser.

Le service de maintenabilité travaille régulièrement avec **le service support de rédaction des cartes de travail** (document indiquant la procédure). Les contraintes de ce service impactent également le travail des concepteurs en maintenabilité. Le service de rédaction des cartes de travail a des règles de rédaction et des contraintes liées aux outils numériques qu’ils utilisent et à leur effectif qui cadrent à ce qu’ils sont capables de réaliser. Par exemple, une règle de rédaction est de ne pas indiquer les outils standards à utiliser. Le type d’outils standard à utiliser par les mécaniciens sont considérés par le service de rédaction des cartes de travail comme relevant de la compétence des mécaniciens. Des empêchements dans la rédaction ou

l'illustration peuvent également venir des logiciels que les rédacteurs utilisent. Par exemple, les contraintes de rédaction des cartes de travail sur les logiciels et standards utilisés par le service de rédaction des cartes de travail interdisent l'ajout d'une photo pour illustrer une procédure afin de faciliter sa compréhension.

Les rédacteurs des cartes de travail peuvent donc refuser des demandes du service de maintenabilité qui entrent en conflit avec leurs règles ou qui ne sont pas permises par leurs outils.

5.3.3.3 Modèle d'une tâche de maintenance sûre

L'analyse des contraintes prises en compte par les concepteurs en maintenabilité dans les SES nous permet d'identifier ce qu'est, pour eux, **une tâche de maintenance sûre**. La tâche de maintenance sûre est un résultat de la construction de la sécurité réglée par les concepteurs en maintenabilité. Une tâche de maintenance sûre satisfait cette liste de contraintes mêlant contraintes dans le travail des mécaniciens et contraintes dans le travail des concepteurs en maintenabilité. Ici nous considérons ces contraintes comme des limitations du champ des possibles guidant la conception :

- Suivre la procédure ne doit pas amener de risques d'endommagement de l'hélicoptère (C2.3).
- Le design de l'hélicoptère ne doit pas empêcher le mécanicien de suivre la procédure de maintenance (C2.1), il doit au contraire amener voire contraindre le mécanicien à suivre la procédure ;
- Tout élément de l'hélicoptère doit pouvoir être accessible sans besoin de déposer d'autres éléments (C2.1) ;
- La procédure doit être retranscrite sur une carte de travail claire et donnant toutes les informations nécessaires à un mécanicien pour pouvoir réaliser la procédure. Une procédure claire et exhaustive est une « *solution clés en main* » pour l'opérateur (C2.2) ;
- Les procédures contenant des opérations de mesure doivent prioriser les moyens de mesure à l'aide d'outillage donnant des valeurs « objectives » et supprimer les mesures « subjectives » qui se basent sur une évaluation manuelle/visuelle réalisée par le mécanicien (C2.3) ;

- La procédure doit être applicable par tous les clients, quelles que soient leurs conditions opérationnelles tout en adressant les cas particuliers (C2.5)
- La tâche de maintenance doit contenir des barrières pour supprimer les risques dans l'action des mécaniciens, risques liés aux déviations de la procédure (C2.4)
- La procédure doit respecter la réglementation et la certification (C1.1) ;
- La tâche de maintenance doit être acceptée par les autres acteurs de la conception au vu de leurs propres contraintes (C1.7).

Les contraintes dans le travail des mécaniciens identifiées par les concepteurs en maintenabilité sont considérées comme des risques lorsqu'elles entrent en conflit avec ce modèle de la tâche de maintenance sûre. Le modèle de la tâche de maintenance sûre donne à voir un modèle de la sécurité centré sur le suivi des procédures mais de procédures qui doivent prendre en compte la variabilité du travail des mécaniciens. La sécurité y est vu comme l'absence de risque, toute intervention d'un mécanicien sur un système technique pouvant être à priori un risque, ce qui correspond au modèle classique de la sécurité. Les concepteurs en maintenabilité cherchent dans leurs analyses et la recherche de solution à réduire voire supprimer l'écart entre la sécurité réglée et la sécurité gérée, écart qui est considéré comme un risque.

Nous présenterons dans la section suivante les stratégies et ressources mobilisées par les concepteurs pour intégrer les contraintes du travail des mécaniciens identifiées dans la conception.

5.3.4 Ressources et Stratégies pour la construction des compromis macrocentrés

Dans cette section nous présenterons les stratégies que les concepteurs en maintenabilité mettent en place pour défendre leur modèle de la tâche de maintenance sûre dans le processus de conception et participer à la construction des compromis macrocentrés visant la conception d'une maintenance sûre.

Puisque la méthode Human Hazard Analysis est l'outil analyse des risques et de négociation avec le collectif développée par le service de maintenabilité, nous analyserons plus particulièrement la construction des compromis micro et macrocentrés dans le cas d'analyses HHA et de leur usage pour la conception de la sécurité.

5.3.4.1 Evaluation du niveau d'acceptabilité des contraintes (S1.2), construction du compromis microcentré pour la construction du compromis macrocentré

Tout au long de son analyse, le concepteur en maintenabilité **évalue le rapport entre le degré d'acceptabilité des contraintes des mécaniciens et sa propre capacité à les défendre face aux contraintes que lui impose le processus de conception (S2.1).** Il peut choisir alors d'accepter certains risques pour la maintenance au vu des contraintes élevées du processus de conception, ou au contraire, de refuser ces risques et de chercher un moyen de contourner ses propres contraintes.

Par exemple, dans SM2ES1 (cf. §5.3.1.2), le concepteur en maintenabilité réalise une analyse de maintenabilité suite à une modification de design sur un hélicoptère déjà existant. Le concepteur en maintenabilité identifie 2 contraintes de design, des contraintes d'accessibilité physique et visuelle. Ces contraintes de design amènent, selon le concepteur en maintenabilité, 3 contraintes entrant en conflit avec la sécurité : l'ajout d'une tâche de démontage/remontage, une défaillance dans l'action du mécanicien lors du vissage et une perte d'objet dans l'hélicoptère (Foreign Object Damage) difficilement rattrapable. Il évalue les deux premières contraintes comme étant acceptables.

« *Donc nous on a dit ok l'accessibilité n'est pas bonne, on passe là-dessus. La visibilité elle est vraiment médiocre. Mais l'architecture elle est bloquée, donc c'est un risque avec lequel*

on est obligé de vivre. […] *Et ok je peux mettre un miroir. On a déjà un RETEX, ça se fait déjà chez le client. Et on ne vient pas tous les quatre matins le faire. Ok je valide* » (SM2ES1).

Le concepteur en maintenabilité base son évaluation de l'acceptabilité des contraintes sur des critères de faisabilité de la tâche par les mécaniciens (Accessibilité, visibilité et usage du miroir), un critère de fréquence (Tâche non fréquente) et un critère de conception (l'architecture est bloquée). Le concepteur en maintenabilité évalue la troisième contrainte, le risque de perte de la vis, comme inacceptable.

« *Le dernier risque qui nous a semblé plus prédominant que le problème d'accessibilité ou de visibilité, c'était le risque de FOD. […] Le risque que je perde ma vis est vraiment présent et si jamais c'est le cas, on est obligé de tout démonter pour retrouver cette vis. Donc là le MMH est hyper impacté et pour juste une vis* » (SM2ES1).

Le critère qu'il utilise pour évaluer le caractère inacceptable de cette contrainte est un critère de temps de maintenance (MMH). En effet, perdre une vis dans cette partie de l'hélicoptère demanderait au mécanicien de réaliser des opérations de démontage et remontage non prévues pour récupérer la vis, ce qui augmenterait le temps de maintenance. Malgré les contraintes du processus de conception, il cherche alors à mobiliser tous les moyens à sa disposition pour l'intégrer dans la conception et à imposer ses contraintes.

Certaines contraintes peuvent également être jugées inacceptables par le concepteur en maintenabilité sans pour autant qu'il ne prenne la responsabilité de l'intégrer au processus de conception. C'est le cas des contraintes induites par une déviation volontaire de la procédure ou le non suivi des recommandations par le mécanicien. Par exemple, dans la SESO9, le Spécialiste Facteur Humain (SFH) rédige un rapport HHA après l'observation d'une tâche impliquant l'utilisation d'un outillage spécifique de mesure, un comparateur. Le SFH identifie un risque de choc du comparateur si celui-ci n'est pas correctement fixé sur une table. Il recommande donc une procédure de fixation du comparateur qu'il juge comme étant la meilleure façon de faire. Le SFH imagine ensuite que le mécanicien ne réalise pas cette procédure mais qu'il utilise un étau. Cette déviation peut selon lui amener un risque de choc, mais ce risque est de la responsabilité du mécanicien.

« *Parce qu'au moment où on aura dit clairement comment on fixe le comparateur, comment on maintenait, je me dis que s'il le tape, c'est que ça vient d'autre part. Ca ne viendra pas de ce qu'on n'aura pas dit. S'ils le mettent dans un étau alors qu'on ne l'a pas dit, c'est de leur faute*. » (SESO9).

La responsabilité du risque induit par une déviation de la procédure est alors reportée sur le client ou le mécanicien.

Les concepteurs en maintenabilité construisent un premier niveau de compromis microcentré dans l'évaluation des contraintes acceptables qu'ils pourront mettre de côté dans la négociation et des contraintes inacceptables qu'ils chercheront à défendre par tous les moyens à leur disposition dans la construction du compromis macrocentré avec le collectif de conception.

5.3.4.2 Construction des compromis macrocentrés pour la conception (S2.4)

La construction de compromis macrocentrés pour la conception passe par des phases de négociation à proprement parler et des phases d'imposition par des arguments d'autorité. Nous montrerons que ces deux phases participent à la construction des compromis macrocentrés pour la conception.

Au cours du processus de conception, les autres acteurs de la conception peuvent refuser de prendre en compte les contraintes qu'apportent les concepteurs en maintenabilité et leurs propositions de solution si celles-ci entrent en conflit avec les leurs (S3.3) (14/43 SES, soit 33%). Pour ce faire, les autres acteurs de la conception :

- Rejettent les contraintes de la maintenabilité et imposent leurs propres contraintes et leurs propres solutions (6 SES sur 43, soit 14%) par des arguments d'autorité.
- Rejettent les résultats de l'analyse en minimisant les contraintes des mécaniciens (6 SES sur 43, soit 14%) ;
- Rejettent les recommandations et solutions proposées (5 SES sur 43, soit 12%), entre autres en déclarant le risque de la seule responsabilité de l'opérateur en invoquant la cause d'erreur humaine (3/43 SES, soit 7%) ;
- Rejettent les résultats des analyses en remettant en question la pertinence des outils d'analyses (3 SES sur 43, soit 7%) ;

Lorsque les concepteurs en maintenabilité anticipent le refus des autres acteurs de la conception, ou une fois confrontés au refus, ils cherchent soit à entrer en négociation en construisant avec les autres acteurs de la conception des compromis macrocentrés pour arriver à une solution acceptable par tous, soit en cherchant à imposer leurs contraintes au collectif.

Dans toutes les SES impliquant **une négociation avec le collectif de conception** (S2.4) (39/43 SES, soit 91%), les concepteurs en maintenabilité cherchent à un moment une construction de compromis macrocentré (39/43 SES, soit 91%). La construction des compromis macrocentrés pour la conception alterne avec des approches de conception distribuée, où les concepteurs poursuivent des buts qui leur sont propres et sont engagés simultanément dans le processus de conception pour réaliser des tâches bien déterminées, et des approches de co-conception, avec des acteurs qui partagent un but identique et rassemblent leurs compétences spécifiques pour construire conjointement une solution. Par exemple, les SES impliquant une analyse HHA (10 SES sur 43, soit 23%), les concepteurs en maintenabilité réalisent les analyses HHA du point de vue des facteurs humains en maintenabilité, analyse qu'ils communiquent ensuite aux autres acteurs de la conception, par exemple les rédacteurs des cartes de travail, sous forme de recommandations qui seront acceptées ou non. Ils sont dans une phase de conception distribuée. Cependant, lorsqu'ils se réunissent avec les rédacteurs des cartes de travail pour construire ensemble des règles de rédaction des cartes comme c'est le cas dans la SES SESO11, ils entrent dans une phase de co-conception.

Entrer en co-conception demande un travail d'organisation de la part des concepteurs. Les concepteurs en maintenabilité peuvent organiser des séances de « conception collaborative » (S2.3) (27 SES sur 43, soit 63%), qui réunissent différents acteurs de la conception autour d'un même problème de conception lié à la maintenance et d'un support de discussion (3D, réalité virtuelle, plan, maquette physique). Par exemple, dans la SES SM2ES2, le concepteur en maintenabilité n'arrive pas à trouver seul de solution à un problème d'accessibilité. Il organise alors 2 séances de « workshop » avec les autres acteurs de la conception pour construire ensemble une solution.

« *Donc avant d'envisager un maquettage bois parce qu'on allait vers une solution qui était un peu risible par tout le monde, ce que j'ai fait c'est que j'ai fait un workshop avec tous les chefs, je n'ai pas pris les gens en bas, j'ai pris les chefs. […] J'ai donné des croquis à tout le monde. Donc j'ai donné un hélico vierge vu du côté et vu de face et chacun a fait ses croquis de son côté. […] Et on a passé en revue les solutions et on a essayé de retenir, on a*

fait des petits groupes, et on a essayé de retenir les meilleures solutions. […] Il y en a un qui a dit « eh bien on va se hisser là avec un treuil et on va monter », un autre qui t'a dit « on va monter là puis on va se pencher », voilà on avait plein de solutions comme ça qui sont sorties. […] Après on les a passé en revue et on a fait des pour et des contres et puis on a dit est-ce qu'on part là-dessus ? Oui, on a retenu ça. Puis après on a testé. » (SM1ES2)

Organiser une conception collaborative demande un fort engagement et de l'énergie aux concepteurs en maintenabilité, mais elle leur permet, en plus de discuter des contraintes de la maintenabilité et de trouver des solutions collectivement, d'influencer la pratique des autres services à plus long terme.

Cependant, confronté à un conflit pour lequel les différents acteurs ne trouvent pas de résolution acceptable, le résultat sera en fonction du rapport de force entre les différents groupes et favorisera certaines contraintes par rapport à d'autres. Sans soutien par des décideurs, les concepteurs en maintenabilité pourront alors avoir du mal à faire appliquer leurs critères d'une tâche de maintenance sûre ce qui peut les amener à essayer d'imposer leurs contraintes. Dans la SES racontée par le spécialiste facteur humain (SFH1ES2), les recommandations qu'il proposait lors d'une réunion aux rédacteurs de carte ont été pour 95% refusées. Le rapport de force n'était pas en faveur du SFH qui était seul pour défendre des recommandations que les rédacteurs de carte pouvaient refuser en invoquant des contraintes techniques. Il a alors organisé une nouvelle réunion à laquelle participaient son supérieur hiérarchique et un architecte de maintenance. Leur présence a permis au SFH de faire accepter aux rédacteurs de carte 80% des recommandations.

La construction de compromis macrocentrés est alors accompagnée de stratégies de recherche **d'imposition de leurs contraintes** et solutions dans la conception (7 SES sur 43, soit 16%). Pour imposer leurs contraintes, les concepteurs en maintenabilité ont besoin d'un soutien ayant autorité face à l'autre acteur de la conception. Comme nous l'avons vu dans l'exemple précédent, cette autorité peut être un supérieur hiérarchique, un membre du processus de conception ayant un rôle central ou même un client. Par exemple, dans la SES SM2ES1, le concepteur en maintenabilité cherche à imposer ses recommandations au collectif de conception en utilisant l'autorité du client. Son analyse de la tâche de maintenance conclue à un risque inacceptable du point de vue de la maintenabilité. La solution qu'il recommande est rejetée par le collectif de conception. Le concepteur en maintenabilité indique alors que la tâche de maintenance, évaluée comme non accessible au regard des critères de maintenabilité, peut

être présentée au client lors de la revue de conception. Le concepteur en maintenabilité espère que, lors de la revue de conception, le client final prenne conscience de la contrainte d'accessibilité et relève le problème au collectif de conception Ici, avant d'en appeler à l'autorité du client, le concepteur en maintenabilité essaye d'argumenter auprès des autres concepteurs et essaye de défendre les points de son analyse qu'il considère comme les plus importants. C'est le rejet des recommandations selon lui les plus importantes qui amène le concepteur en maintenabilité à développer cette stratégie.

5.3.4.3 HHA, machine à créer des risques pour intégrer le travail réel à la conception ?

Un des outils d'intégration à la conception des risques et des contraintes identifiés par les concepteurs en maintenabilité est la méthode Human Hazard Analysis (HHA) (cf. §1.3.1). Cette méthode a été pensée pour analyser les risques d'erreur, donc aider à la construction du compromis microcentré, et être un objet intermédiaire de discussion entre les concepteurs en maintenabilité et les autres acteurs de la conception, donc aider à la construction de compromis macrocentrés. Nous décrirons ci-dessous succinctement l'usage de HHA dans l'identification des contraintes dans le travail des mécaniciens. Dans l'analyse HHA, les contraintes recherchées par les SFHs sont identifiées sous formes de risques.

HHA, outil de focalisation du compromis microcentré sur les risques – Le tableau HEMEA est un outil d'analyse de risque basé sur les observations/simulations des tâches de maintenance. Cette analyse est basée sur le découpage de la procédure par opération de maintenance. Pour chaque opération de maintenance décrite dans la carte de travail, le Spécialiste Facteur Humain (SFH) doit chercher le risque associé et lui donner une valeur de risque de 1 à 5. Cette manière de découper la tâche de maintenance amène les SFH à associer des risques potentiels à chaque opération de maintenance. Le compromis microcentré dans cette analyse consiste à décider si les risques identifiés sont suffisamment graves ou fréquents pour être adressés dans le rapport. Dans l'analyse HHA, chaque action du mécanicien demandée par la procédure est considérée comme étant une source de risque pour la sécurité de la maintenance. De plus, depuis 2020, les principaux risques identifiés dans les rapports précédents ont été standardisés sous forme de codes avec des solutions standards et une valeur de risque automatiquement attachée. Cette standardisation de l'identification du risque et sa valeur est un moyen pour les SFHs d'utiliser l'expérience acquise au cours des analyses

précédentes pour la construction de la sécurité réglée, au risque de perdre l'intention initiale derrière le risque. Par exemple, lors des premières analyses, les SFHs ont identifié certains risques liés à des oublis d'objet dans l'hélicoptère (risque FOD). En fonction de la zone de l'hélicoptère où se trouve cet objet oublié, la gravité de la conséquence de l'oubli sera plus ou moins grande, la valeur du risque fluctuait donc. La standardisation des différents risques FOD et de leur valeur de risque ne leur permet plus dans les rapports plus récents d'indiquer les risques FOD ayant des conséquences les plus graves et qui seraient donc à prioriser.

HHA, outil d'intégration du travail réel et des « bonnes pratiques » dans le compromis microcentré par l'approche des risques - L'observation des tâches de maintenance (cf. § 5.3.2.4) permet aux SFHs d'accéder au travail réel des mécaniciens et à la sécurité gérée dans les conditions cadrées par la situation. Les SFHs notent les écarts à la procédure, ce qui leur permet d'intégrer du travail réel et des connaissances sur la sécurité gérée dans la construction des compromis microcentré et finalement dans le rapport HHA et dans leurs recommandations. Par exemple, dans la SES SFH1ES3 le SFH réalise une observation d'une tâche d'inspection d'une pièce tournante pour réaliser une analyse HHA. En cours de tâche le mécanicien réalisant la tâche d'inspection doit s'absenter. Pendant son absence, un autre mécanicien vient sur l'hélicoptère et tourne les pales arrières. Ce mouvement des pales arrières modifie le positionnement de la pièce inspectée par le premier mécanicien. Lorsque ce mécanicien revient inspecter la pièce il ne sait plus où il en est et aurait dû recommencer sans l'intervention du SFH qui avait repéré où il s'en était arrêté. Le SFH utilise cette observation dans le rapport pour montrer le risque de ne pas inspecter une partie de la pièce si ce genre d'évènement se produit chez un client, avec un mécanicien qui ne se rend pas compte du mouvement de la pièce. Il propose alors d'ajouter des repères visuels sous forme de chiffres pour aider le mécanicien à repérer les zones qu'il a déjà inspectées et ce qui lui reste à faire. Le SFH a utilisé ce qu'il a observé du travail réel du mécanicien, lui a associé un risque et a proposé une solution guidant le mécanicien pour réaliser la tâche de maintenance demandée et être en conformité avec la procédure.

Non intégration du travail réel dans l'analyse et les recommandations- Nous avons vu qu'en se basant sur des observations et simulations les spécialistes facteurs humains peuvent observer le travail réel des mécaniciens. Cependant, la richesse des données observées ne se retrouve pas toujours dans l'analyse finale. Nous prenons pour exemple l'observation faite par deux SFHs chez un client pour réaliser des analyses HHA (SESO12). Les SFHs observent un

mécanicien réaliser une tâche d'inspection d'une pièce aéronautique. Les notes qu'ils prennent de cette observation leur serviront de base pour la rédaction du rapport HHA. Avant de réaliser une tâche, le mécanicien lit la procédure d'inspection d'une pièce aéronautique et la commente pour le SFH présent.

« Mécanicien 1 *: Tu vois ça, ça me fait rigoler ce genre de mesure. Au-dessus de 0,05, comment on mesure ? Pareil, le pourcentage comment on calcule ?*

SFH1 : *Tu prends la surface et tu calcules.*

Mécanicien 1*: On a un niveau BEP, comment tu veux qu'on fasse ça ?*

SFH1 : *Oui, il faudrait mettre le calcul.*

Mécanicien 1 *: Au moins oui.* »

Face à la question d'exécution de la tâche du mécanicien, le SFH apprend que ce qui lui semblait ne pas devoir poser de problème, n'est pas compris par le mécanicien. Il propose alors de clarifier dans la procédure ce qui n'est pas compris, le calcul. Cet échange permet au SFH d'intégrer les questionnements du mécanicien et ses conditions de travail (manque d'outillage approprié, manque d'information dans la carte de travail) dans la conception de la carte de travail et au mécanicien de lui signifier son accord et ces réserves concernant cette solution (« au moins oui »). Le fait d'être dans un atelier chez le client permet ensuite au mécanicien de lancer un débat sur cette question avec un autre mécanicien présent à proximité et partager au SFH les pratiques réelles, au-delà de la question du calcul. Les mécaniciens discutent de l'impossibilité pour eux de comparer la mesure aux critères chiffrés donnés par la carte de travail. Ils disent réaliser la mesure alors en fonction de l'état général de la pièce et décident si elle nécessite un remplacement ou non en fonction de leur expérience. Les mécaniciens discutent alors de l'intérêt d'avoir des cartes de travail qui ne laissent pas place au doute et à l'interprétation mais tout en insistant sur le besoin pour tout mécanicien inexpérimenté de pouvoir être aidé par un mécanicien expérimenté qui saura interpréter la carte de travail. Cet échange nous apprend, selon nous, plusieurs choses du travail des mécaniciens. Les mécaniciens ne peuvent pas utiliser les critères de qualité de la pièce indiqués dans la procédure. Ils se reposent alors sur leur expérience pour décider de remplacer la pièce ou non. S'ils considèrent la pièce « limite », ils la remplacent sans chercher à savoir exactement la profondeur ou l'étendue du défaut comme demandé dans la procédure. Cette pratique d'adaptation de la règle de sécurité semble acceptable aux mécaniciens, car ils partent du

principe qu'un mécanicien peu expérimenté qui aurait du mal à prendre une décision sera aidé par un autre plus expérimenté. Cette situation n'est pas jugée comme idéale par un des mécaniciens qui préférerait que la procédure d'inspection lui permette, et permette à des mécaniciens moins expérimentés, de ne pas avoir de doute. Les informations partagées par les mécaniciens lors de cet échange sont prises en note par les SFHs, mais nous ne retrouvons que la question de la mesure dans le rapport HHA correspondant. Il est alors mis dans le rapport qu'il y a un risque « d'action inappropriée » lié au fait que la procédure ne précise pas l'outil à utiliser pour réaliser la mesure. Le SFH propose dans le rapport, d'ajouter un document recensant les bonnes pratiques de mesures et d'ajouter les outils à utiliser. Le rapport HHA simplifie à l'extrême la situation observée par les SFH et se focalise sur le manque d'information dans la carte de travail pouvant amener le mécanicien à commettre une erreur, sans intégrer les informations relevant du travail collectif et de l'expérience des mécaniciens pour agir en sécurité.

HHA, outil de négociation risque par risque et de distribution de la responsabilité –

Le rapport HHA est un outil de communication et de négociation auprès des autres services pour la construction de la sécurité réglée. Les discussions avec les autres acteurs de la conception sur les recommandations du rapport HHA devant diminuer les risques se font autour de chaque risque séparément, risques ou recommandations qui vont être soit acceptés soit rejetés en fonction des contraintes des autres acteurs de la conception.

La décision d'appliquer la recommandation ou non n'est pas contrôlée par les SFHs. Par exemple, une règle de rédaction des cartes de travail est de ne jamais indiquer les outils standards à utiliser dans la tâche. Selon le SFH, cette contrainte dans le travail des rédacteurs de carte de travail (C1.7) est un problème car elle entre en conflit avec le travail des mécaniciens. En effet, les mécaniciens vont devoir chercher eux même quels outils utiliser pour l'exécution de la tâche de maintenance. Dans la SESO10, le SFH a observé des mécaniciens amener sur l'hélicoptère plusieurs clés de différentes tailles d'un coup pour pouvoir trouver la taille de clé nécessaire à l'opération de maintenance tout en évitant des aller-retours au niveau de la caisse à outil située plus loin. Le SFH identifie le risque d'oublier un de ces outils dans l'hélicoptère, ce qui peut amener à un accident en vol (C2.4). Dans 1 SES, Le SFH indique avoir demandé, avec l'aide de sa hiérarchie, au service de rédaction des cartes de travail de modifier cette règle, sans succès. Dans la SES SESO10, il utilise alors le rapport HHA pour communiquer le risque dans l'action du mécanicien d'oublier ses outils dans l'hélicoptère

(C2.4), mais sans pouvoir indiquer les outils adaptés et permettre au mécanicien de choisir le bon outil du premier coup. Il protège sa responsabilité en indiquant le risque et anticipe un éventuel changement de règle chez les rédacteurs des procédures en gardant une trace des outils standards nécessaires. La responsabilité d'un accident est anticipée par le SFH qui la distribue entre lui et les rédacteurs de carte.

La méthode HHA est la mise en forme méthodologique du modèle de la sécurité du service de maintenabilité cherchant à réduire l'écart entre le réglé et le géré et de la nécessité des concepteurs en maintenabilité à s'intégrer dans le processus de conception. Comme les autres types d'analyses de risques réalisées par les concepteurs en maintenabilité, cette méthode est construite autour de l'observation des tâches de maintenance et l'identification des risques liés au design, à la procédure et aux comportements de déviations involontaires des mécaniciens. Sa particularité est la systématisation de la recherche du risque à chaque opération de maintenance et sa mise en forme conçue pour la négociation des recommandations.

5.4 Synthèse des résultats du chapitre 5

Nous avons montré que les SES en conception peuvent être des situations dans lesquelles il y a un conflit entre les contraintes identifiées par les concepteurs dans le travail des mécaniciens et les contraintes des concepteurs. Pour construire les compromis microcentrés, ils cherchent à recueillir des informations sur le travail des mécaniciens en mobilisant différentes méthodes d'enquête, de simulations et d'observations en fonction de leurs ressources, leurs propres contraintes et du niveau de détail souhaité dans l'analyse. L'expérience des mécaniciens y est recherchée par les concepteurs en maintenabilité pour enrichir leurs analyses, mais ils ne la jugent pas comme étant strictement nécessaire. Les concepteurs en maintenabilité conçoivent une sécurité réglée à travers des analyses de tâche de maintenance qui se veulent prendre en compte la réalité du travail des mécaniciens.

Les SES conception peuvent également être des situations dans lesquelles les contraintes des mécaniciens identifiées entrent en conflit avec le modèle de la sécurité de la tâche de maintenance sans que les contraintes propres aux concepteurs ne soient mises en avant. Les contraintes dans le travail des mécaniciens identifiées par les concepteurs en maintenabilité sont considérées comme des risques lorsqu'elles entrent en conflit avec ce modèle de la tâche de maintenance sûre. Le modèle de la tâche de maintenance sûre donne à voir un modèle de la sécurité centré sur le suivi des procédures, procédures qui doivent prendre en compte la variabilité du travail des mécaniciens. La sécurité y est vue comme l'absence de risque, toute intervention d'un mécanicien sur un système technique pouvant être à priori un risque. Par leurs analyses, les concepteurs en maintenabilité cherchent également à identifier les pratiques des mécaniciens qu'ils considèrent comme des pratiques améliorant la sécurité. Ces bonnes pratiques correspondent à des ajouts de règles de sécurité de la part du mécanicien pour appliquer la procédure de maintenance en sécurité. Les déviations de la procédure ne peuvent être considérées comme des bonnes pratiques par les concepteurs que s'ils jugent la procédure dangereuse en l'état. Les concepteurs en maintenabilité insèrent donc une partie de la sécurité gérée dans la sécurité réglée. Cependant, le géré déviant de procédure jugée sûre par les concepteurs sera vu comme un risque à supprimer.

Les SES en conception peuvent aussi être des situations dans lesquelles les contraintes des concepteurs les empêchent de réaliser les analyses qu'ils souhaitent pour la construction des

compromis microcentrés ou les empêchent d'intégrer les contraintes des mécaniciens dans la conception par la construction de compromis macrocentrés, sans que les contraintes des mécaniciens ne soient mises en avant.

Dans tous les types de SES en conception, les concepteurs en maintenabilité construisent des compromis pour gérer les conflits entre contraintes. Les concepteurs articulent la construction de compromis micro et macrocentrés pour concevoir pour la sécurité. Ils construisent un premier niveau de compromis microcentré dans l'évaluation des contraintes acceptables qu'ils pourront mettre de côté dans la négociation et des contraintes inacceptables qu'ils chercheront à défendre par tous les moyens à leur disposition face au collectif. Ils entrent alors dans un processus de négociation pour la construction de compromis macrocentré. Cette négociation se fait dans la conception et alterne entre des approches de conception distribuée et des approches de co-conception soutenues par les outils de simulation de tâches. La construction de compromis macrocentré est aussi accompagnée de stratégies de recherche d'imposition des contraintes et solutions dans la conception, du côté des concepteurs en maintenabilité comme des autres acteurs de la conception. Pour imposer leurs contraintes, les concepteurs en maintenabilité ont besoin d'un soutien ayant autorité face à l'autre acteur de la conception

La méthode HHA est la mise en forme méthodologique du modèle de la sécurité du service de maintenabilité et de la nécessité des concepteurs en maintenabilité à s'intégrer dans le processus de conception. Comme les autres types d'analyses de risques réalisées par les concepteurs en maintenabilité, cette méthode est construite autour de l'observation des tâches de maintenance et de l'identification des risques liés au design, à la procédure et aux comportements de déviations involontaires des mécaniciens. Sa particularité est la systématisation de la recherche du risque à chaque opération de maintenance et sa mise en forme conçue pour la négociation des recommandations.

6. Chapitre 6 : Agir en sécurité dans la maintenance – Situations à Enjeux de Sécurité en maintenance

6.1 Introduction

Les mécaniciens sont les opérateurs finaux de la maintenance. Leurs situations de travail sont en partie déterminées par le résultat du travail de conception de l'hélicoptère et des procédures de maintenance auquel participent les concepteurs en maintenabilité. Chercher à comprendre le travail des mécaniciens et la manière dont ils agissent en sécurité est nécessaire pour la construction d'une sécurité articulant Sécurité Réglée et Sécurité Gérée.

Cette partie empirique s'intéresse alors au travail des mécaniciens et à leur contribution à la construction de la sécurité. Cette partie aura pour but de caractériser les situations à enjeux de sécurité dans le travail des mécaniciens et d'investiguer ces questions de recherche :

- Quel est l'impact de la conception de l'hélicoptère et des procédures sur le travail des mécaniciens et sur leur capacité à sécuriser la maintenance ? La conception de l'hélicoptère et des procédures de maintenance est-elle une ressource dans le travail des mécaniciens ou une contrainte ?
- A quels conflits de contraintes sont confrontés les mécaniciens et quelles stratégies mobilisent-ils pour construire les compromis microcentrés leur permettant d'agir en sécurité ?
- Comment les mécaniciens s'intègrent ils dans les processus de négociation pour participer à la construction des compromis macrocentrés pour la construction de la sécurité réglée ?

Grâce à la méthode d'entretien des évènements significatifs, nous montrerons que les SES maintenance sont des situations de conflits entre des contraintes de service, des contraintes liées à la conception de l'hélicoptère et des procédures et la construction de la sécurité. Nous montrerons également que pour agir en sécurité, les mécaniciens construisent des compromis pour intégrer la sécurité dans le service de maintenance rendu aux « clients » en adaptant les procédures de maintenance.

6.2 Codage CSR maintenance

Le codage CSR maintenance est construit de telle sorte qu'il réponde aux questions de recherche spécifiques à l'analyse de l'activité des mécaniciens, c'est-à-dire à caractériser les Situations à Enjeux de sécurité en maintenance, situations ayant eu un impact sur la capacité des mécaniciens à sécuriser la maintenance, par l'identification des contraintes, stratégies et ressources de la situation.

Ci-dessous sont représentés les trois premiers niveaux de catégorisation de la grille de codage CSR maintenance (Figure 37). Le quatrième niveau de catégorie n'est pas représenté pour des soucis de lisibilité de la figure. La totalité de la grille de codage est présentée en annexe 5

Chaque catégorie a un code d'identification. Par exemple le thème Contraintes est codé (C). La catégorie de niveau 1 « Conception de l'hélicoptère et de la procédure » est codée (C1) et la catégorie de deuxième niveau « Procédure » est codée (C1.1). Ce codage d'identification nous permettra dans les résultats de faire référence aux catégories correspondantes.

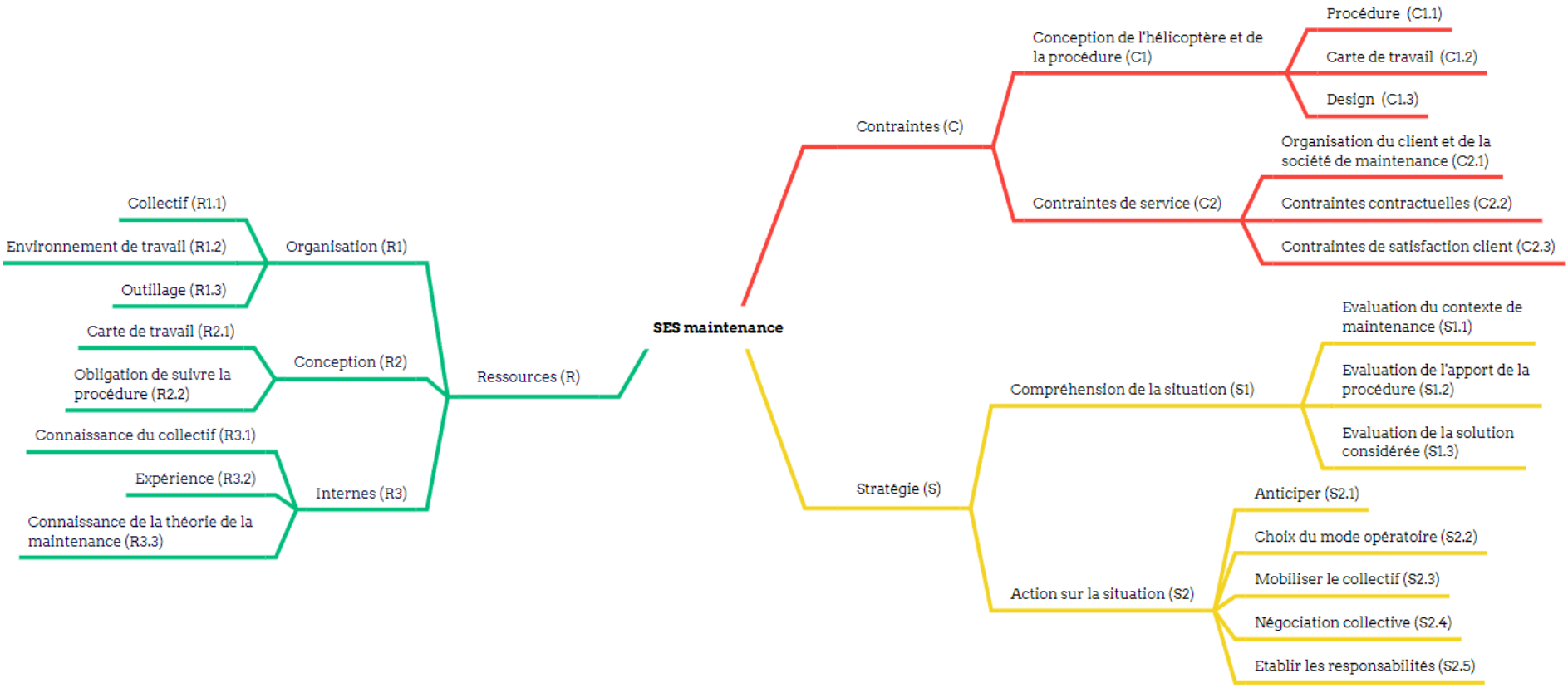


Figure 37 : Vue d'ensemble du codage CSR maintenance

6.3 Résultats

6.3.1 Les SES en maintenance

Le codage CSR maintenance met en évidence deux principaux types de contraintes que doivent gérer les mécaniciens dans les SES maintenance :

- Les contraintes liées à la conception de la maintenance (C1) (dans 9 SES/11, soit 81 %).
- Les contraintes de service (C2) (dans 11 SES/11, soit 100 %).

Nous détaillerons ces différentes contraintes dans les sous-sections suivantes 6.3.1.1et 6.3.1.2

Dans toutes les SES de maintenance sauf une, la conception de la maintenance est considérée à un moment de la SES comme une contrainte, c'est-à-dire empêchant la réalisation des opérations de maintenance. De plus, dans toutes les SES de maintenance le service est considéré comme une contrainte. La caractérisation des SES maintenance ne peut donc pas se faire en fonction de la présence ou non d'un type de contrainte plus qu'un autre comme nous l'avons fait pour les SES conception, mais plutôt par le type de contraintes entrant en conflit avec la construction de la sécurité. Les situations de maintenance désignées par les mécaniciens comme à enjeux de sécurité sont des situations dans lesquelles les mécaniciens font face à 3 types de conflits (voir Figure 38) :

- Conflit entre des contraintes liées à la conception de l'hélicoptère, de la procédure et la construction de la sécurité en action (C1) (4/11 SES, soit 36%) ;
- Conflit entre des contraintes de service (C2) et construction de la sécurité en action (4/11, soit 36%) ;
- Triple conflit entre les contraintes de la conception, les contraintes de service et construction de la sécurité en action (3/11, soit 27 %)

La Figure 38 présente la catégorisation des SES de maintenance en fonction des conflits évoqués.

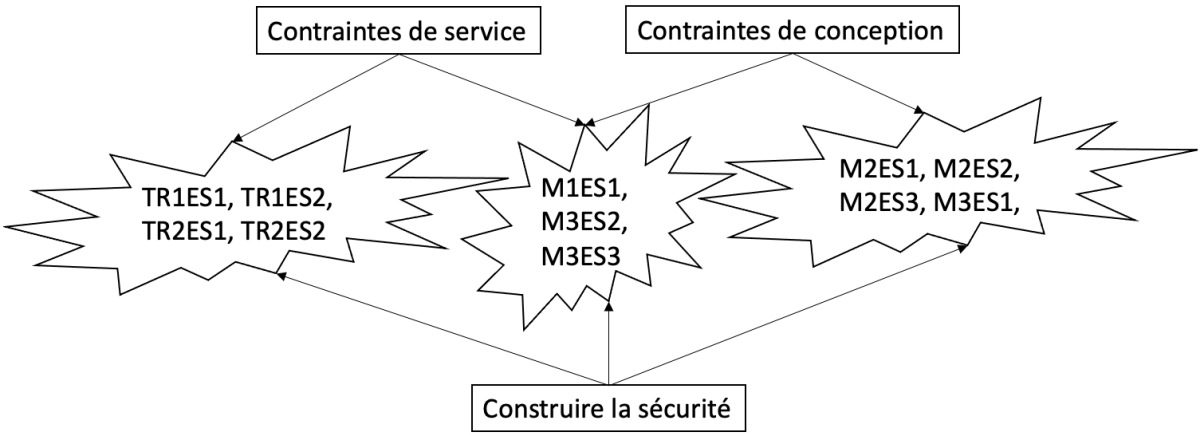


Figure 38 : Catégorisation des SES de maintenance en fonction des conflits de contraintes évoquées avec la construction de la sécurité

Les sections suivantes présentent les situations dans lesquelles le service de maintenance et la conception sont des contraintes et les situations dans lesquelles elles peuvent devenir des ressources pour les mécaniciens.

Ensuite, les sous-sections 6.3.2 et 6.3.3 décrivent les conflits entre les contraintes de service, les contraintes de conception et la construction des compromis et les stratégies de construction de compromis mises en place par le mécanicien pour agir en sécurité. Nous nous appuierons sur l'analyse détaillée des SES de maintenance.

6.3.1.1 Les contraintes et les ressources liées à la conception (C1 et R2)

Cette section présente les contraintes de conception évoquées dans les SES et les SES dans lesquelles elles entrent en conflit avec la sécurité.

Les contraintes liées à la conception sont les contraintes résultant directement du travail des concepteurs du constructeur. Les contraintes liées à la conception (C1) sont :

- La procédure (C1.1) (comprendre le mode opératoire prescrit par le constructeur) dans 4SES/11 (soit 36%) ;
- La carte de travail (C1.2) (le document papier ou numérique de support de la procédure) dans 4 SES/11 (soit 36%) ;
- Le design de l'hélicoptère (C1.3) dans 3 SES /11 (soit 27%).

64% des contraintes de conception évoquées dans les SES maintenance sont des contraintes liées au travail prescrit, c'est-à-dire à la procédure ou à la carte de travail (voir Figure 39). Les 36 % restants sont des contraintes liées au design de l'hélicoptère.

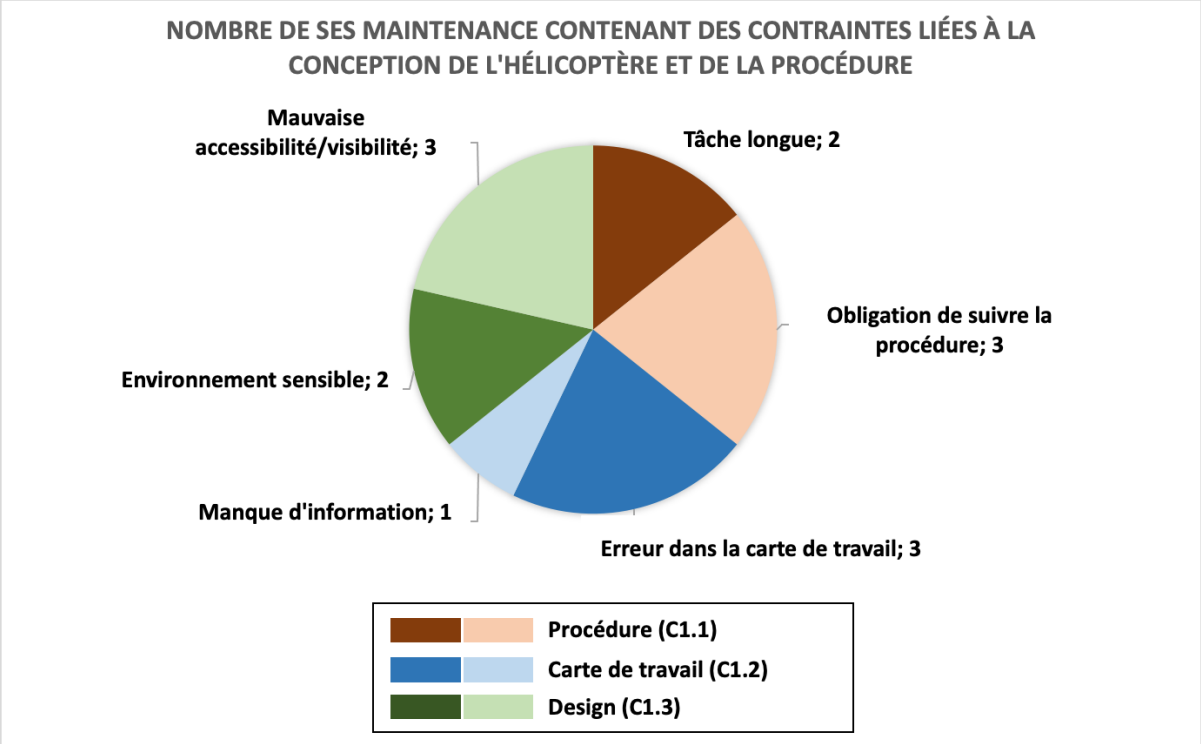


Figure 39 : Nombre de SES maintenance contenant des contraintes de conception

Les procédures pensées par les concepteurs deviennent des contraintes dans la situation lorsque les mécaniciens les considèrent comme trop longues par rapport au temps qu'il lui est imparti pour réaliser l'opération de maintenance (2 SES sur 11, soit 18%). L'obligation de suivre les procédures, impulsée par l'organisation, peut elle aussi être considérée comme une contrainte (3 SES sur 11, soit 27 %). Cette obligation peut empêcher les mécaniciens de réaliser un mode opératoire qu'ils considèrent comme plus adapté à la situation. Si les mécaniciens décident tout de même de réaliser un mode opératoire différent que celui prescrit, ils engagent alors leur propre responsabilité. C'est cet engagement qui peut freiner l'adaptation de la procédure à la situation.

Cette obligation entre en conflit direct avec la construction de compromis pour la sécurité dans 2 SES de maintenance (M1ES1 et M3ES2). Dans une de ces deux SES (M1ES1), un mécanicien travaillant pour un SAMU doit réaliser une tâche de prélèvement d'huile située dans le fond de la boite de transmission. La procédure lui demande de réaliser le prélèvement à l'aide d'un tuyau passant par le bouchon de remplissage d'huile, situé en haut de la boite de transmission. Cette façon de faire occasionne des difficultés pour atteindre le bas de la boite de transmission avec le tuyau. Après plusieurs tentatives, le mécanicien perd le tuyau dans la boite

de transmission. Il doit alors chercher un moyen de le récupérer. Suite à cet incident, le mécanicien décide, lorsqu'il n'arrive pas rapidement à réaliser l'opération par le bouchon de remplissage, de réaliser le prélèvement par une autre entrée, située en bas de la boite de transmission. Cependant, cet autre mode opératoire risque selon lui de contaminer le prélèvement d'huile et de fausser les résultats de l'analyse de l'huile mais évite le risque de faire tomber le tuyau dans la boite de transmission. Cette stratégie de prélèvement pour gérer le risque de perte du tuyau entre en conflit direct avec l'obligation de suivre la procédure. Il porte alors lui-même la responsabilité de ce changement de mode opératoire.

L'obligation de suivre les procédures peut cependant être une ressource dans la construction des compromis avec les clients (R2.2) (2 SES sur 11, soit 18%). Par exemple, suite à une demande d'un client qui impliquerait de ne pas appliquer la procédure d'inspection des hélicoptères avant le vol (SES TR1ES2), un mécanicien utilise la procédure comme d'un argument pour faire abandonner la demande du client et pouvoir continuer à réaliser l'inspection, indispensable à la sécurité aérienne.

Les cartes de travail écrites par les concepteurs deviennent des contraintes dans la situation lorsque les mécaniciens identifient une erreur (3 SES sur 11, soit 27%) ou lorsqu'il manque une information dans la carte de travail (1 SES sur 11, soit 9%). Dans les deux cas, les mécaniciens s'appuient sur leurs propres connaissances de la théorie de la maintenance, sur leur expérience et sur le collectif pour combler les manques et corriger les erreurs. Les cartes de travail entrent en conflit avec la construction de la sécurité dans 4 SES sur 11 (soit 36%). Par exemple, un mécanicien travaillant pour un constructeur réalise une tâche d'inspection de pale (M2ES1). Il doit identifier d'éventuels défauts sur la pale et se référer à la carte de travail pour savoir si ce défaut est acceptable ou non. Les critères d'acceptabilité et de rejet des défauts se font en fonction de zone sur la pale décrite par une illustration sur la carte de travail. En faisant la tâche d'inspection, il s'aperçoit d'un décalage de dimension entre la pale réelle et l'illustration. Reporter sur la pale réelle les zones de critère de rejet de défauts décrites sur l'illustration l'amènerait potentiellement à appliquer des critères de rejet faux. Pour le mécanicien, la carte de travail est en conflit avec la construction de la sécurité car elle donne des informations qui peuvent être fausses, ce qui ne permet pas au mécanicien d'écarter les défauts risquant d'engendrer un incident. Dans cette SES, le mécanicien s'en aperçoit et contacte les bureaux d'étude pour avoir des informations justes, mais, selon lui, les mécaniciens

travaillant pour les clients auraient pu ne pas se rendre compte du décalage et appliquer de mauvais critères de rejet des défauts.

Les cartes de travail sont mobilisées comme des ressources dans 7 SES sur 11 (soit 64 %) (R2.2). Les mécaniciens y cherchent les informations leur permettant de savoir quelles opérations de maintenance doivent être réalisées, les valeurs de mesure à respecter, de comprendre de design d'une pièce etc. Par exemple, le mécanicien travaillant au SAMU et qui a perdu le tuyau de prélèvement dans la boite de transmission (M1ES1), utilise les schémas éclatés du bouchon de remplissage présents dans la carte de travail pour essayer de comprendre s'il peut enlever le bouchon et récupérer le tuyau (cf. § 6.3.2.1).

Le design conçu par les concepteurs devient une contrainte dans les situations de maintenance lorsque les mécaniciens jugent l'accessibilité ou la visibilité mauvaise (3 SES sur 11, soit 27%) ou lorsqu'ils considèrent que les pièces aéronautiques situées aux alentours immédiats de la zone à maintenir sont sensibles, c'est-à-dire ne supporteraient pas le moindre choc (2 SES sur 11, soit 18%). Le design entre en conflit avec la construction de la sécurité dans 3 SES sur 11 (soit, 27%). Dans une SES dans laquelle un mécanicien doit réaliser une tâche de resserrage d'axe (M3ES1), la mauvaise accessibilité couplée à un environnement que le mécanicien juge comme sensible entre en conflit avec la construction de la sécurité. Selon le mécanicien, ces contraintes ne permettent pas au mécanicien de réaliser la tâche sans prendre le risque d'abimer des pièces aéronautiques sensibles. Il préfère alors ajouter des tâches de démontage longues pour améliorer l'accessibilité et éviter de passer dans la zone sensible.

Le design peut aussi être considéré comme une ressource pour les mécaniciens (2 SES sur 11, soit 18%) lorsqu'il leur permet de réaliser l'opération de maintenance la plus adaptée à la situation. Par exemple, dans la SES impliquant le mécanicien travaillant pour le SAMU (M1ES1), le design du bouchon permet au mécanicien de dévisser facilement le bouchon de remplissage pour améliorer l'accessibilité à l'intérieur de la boite de transmission et récupérer le tuyau tombé (cf. § 6.3.2.1).

Les mécaniciens doivent donc gérer des contraintes liées aux procédures, aux cartes de travail et au design. Dans les SES de maintenance, ces contraintes peuvent entrer en conflit avec la capacité des mécaniciens à agir en sécurité. Cependant, les procédures, les

cartes de travail et le design peuvent également être mobilisés par les mécaniciens comme des ressources pour la compréhension des situations de travail et pour agir en sécurité.

6.3.1.2 Les contraintes de service (C2) et ressources de l'organisation (R1)

Cette section présente les contraintes de service évoquées dans les SES de maintenance et les SES dans lesquelles elles entrent en conflit avec la sécurité.

Pour rappel, les conditions de travail des mécaniciens dépendent de l'organisation d'une maintenance distribuée entre l'opérateur de vol et la société de maintenance (cf. §1.2). Ce que nous appelons les contraintes de service sont les contraintes ayant pour origine (voir Figure 40):

- L'organisation du client et de la société de maintenance pour lequel travaille le mécanicien (C2 .1) (6 SES/11, soit 54 %) ;
- Le contrat passé entre la société de maintenance (le prestataire) et l'opérateur de l'hélicoptère (le client) (C2.2) (6 SES/11, soit 54 %) ;
- La recherche de satisfaction client en dehors des obligations contractuelles (C2.3) (8 SES/11, soit 72 %).

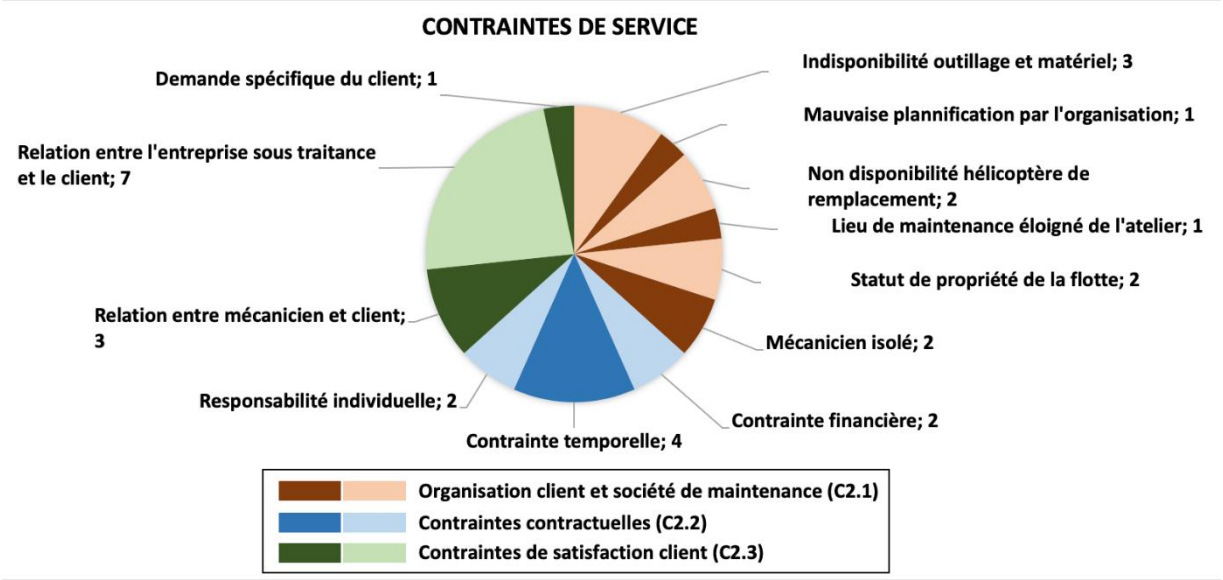


Figure 40 : Nombre de SES maintenance dans lesquelles sont évoquées les contraintes de service

Les organisations du client et de la société de maintenance (C2.1) peuvent devenir des contraintes dans le travail des mécaniciens lorsqu'elles ne mettent pas à disposition les outillages et matériel nécessaires (3 SES sur 11), de possibilité d'appeler un hélicoptère de remplacement (2SES sur 11) ou ne planifie pas les bonnes tâches de maintenance en omettant de mettre à jour leur procédure en fonction des évolutions réalisées par le constructeur (1SES sur 11). Un atelier de maintenance éloigné du lieu de mission de l'hélicoptère est également considéré comme une contrainte car l'acheminement des pièces et du matériel nécessaire à certaines opérations de maintenance est alors long (1SES sur 11). De plus, certaines opérations de maintenance ne peuvent se faire qu'au sein d'ateliers agréés. Le statut de propriété des hélicoptères à maintenir est évoqué comme une contrainte dans 2 SES sur 11, lorsque ce sont les opérateurs de vol qui sont les propriétaires. Dans ces cas-là, les mécaniciens considèrent que le client a une légitimité à vouloir gérer sa flotte comme il le souhaite. Le mécanicien devra alors s'adapter aux demandes du client, demandes qui peuvent entrer en conflit avec le programme de maintenance prévu par le mécanicien et avec la sécurité (dans 1 SES). Dans 2 SES, les mécaniciens ont évoqué le fait d'être isolé et de devoir à un moment des SES agir seul comme d'une contrainte. C'est le manque de la ressource collectif (R1.1) qui fait ici la contrainte. En effet, en fonction de l'organisation dans laquelle travaille le mécanicien, celui-ci aura accès ou non à des collègues travaillant sur le même site, à la chaine hiérarchique ou aux services supports du constructeur.

Les contraintes de l'organisation du client et de la société de maintenance entrent en conflit avec la construction de la sécurité dans 4 SES sur 11 (soit 36 %). Par exemple, un mécanicien travaillant pour un constructeur participe à une enquête d'accident survenu chez un client suite à une défaillance de pièces de roulement. Il se rend compte que le service de planification des tâches de maintenance ne met pas à jour les procédures de maintenance lorsque le constructeur les modifie. Ils n'ont alors pas pris connaissance de la modification d'un intervalle de temps de remplacement des roulements et n'ont donc pas planifié le remplacement des roulements à temps. L'organisation de la planification est alors une contrainte pour le mécanicien qui ne lui permet pas d'avoir les bonnes informations et d'éviter cet incident.

Le service de maintenance peut être en partie cadré par les contrats passés entre les sociétés de maintenance et leurs clients. En fonction du type de client et du type de mission des hélicoptères, les obligations des sociétés de maintenance et du mécanicien envers le client peuvent varier. Dans 6 SES sur 11 (soit 55%), les mécaniciens gèrent des contraintes **liées au**

contrat passé entre son employeur et son client (C2.2). Ces contraintes sont financières (2 SES sur 11), temporelles (4 SES sur 11), et de responsabilité individuelle du mécanicien à honorer le contrat (2 SES sur 11).

Les contraintes liées au contrat passé entre l'employeur et le client entrent en conflit avec la construction de la sécurité dans 5 SES sur 11 (soit 45%). Par exemple, le mécanicien travaillant au SAMU est salarié d'une entreprise qui loue des hélicoptères au SAMU et qui réalise la maintenance (M1ES1). Le contrat entre cette entreprise et le SAMU stipule que l'entreprise doit pourvoir fournir au SAMU un hélicoptère en état de vol au maximum 4h après une demande (contrainte temporelle). La situation est significative pour le mécanicien car la perte du tuyau dans la boite de transmission principale lors de l'opération de prélèvement d'huile remet en question sa capacité à honorer cette clause du contrat (responsabilité individuelle) tout en garantissant la sécurité en retirant le tuyau. En effet, dans un premier temps il pense que la perte du tuyau entrainera une opération de maintenance lourde et coûteuse en temps et une immobilisation de l'hélicoptère.

> « *Le moment de stress c'est le moment où il [le tuyau] est tombé dedans. Là je me suis que je ne vais plus pouvoir le récupérer et ça va faire une grosse maintenance. Parce que dans ma tête je voyais déjà qu'on changeait d'hélico et qu'il fallait déposer la boite de transmission.* » (M1ES1).

Déposer (c'est-à-dire désinstaller) la boite de transmission est effectivement une opération très lourde, impossible à réaliser seul sur le toit de l'hôpital. Faire cette opération demanderait un rapatriement de l'hélicoptère dans un atelier agréé. Une fois dans l'atelier, l'opération en elle-même serait longue. Pour respecter les 4h contractuelles, l'entreprise de maintenance a théoriquement la possibilité de fournir à l'hôpital un autre hélicoptère. Mais dans le cas présent, demander un hélicoptère de remplacement aurait pris plus de 4h et aurait demandé de mobiliser des ressources coûteuses pour l'entreprise de sous traitance. La contrainte temporelle issue du contrat entre la société de maintenance et le SAMU (C2.2) entre en conflit avec la nécessité de prendre le temps nécessaire au retrait du tuyau pour garantir la sécurité aérienne. Cependant, satisfaire les contraintes contractuelles contribue à la satisfaction client et permet au mécanicien de gérer les relations entre son employeur et son client. Par exemple, pour le mécanicien de M1ES1, la perte du tuyau dans la boite de transmission principale de

l'hélicoptère met en péril sa capacité à honorer le contrat de maintenance et à répondre à une potentielle demande urgente du SAMU de mise en disponibilité rapide de l'hélicoptère.

> « *Et si il y a une demande d'urgence et que l'hélico est indisponible ça peut poser des soucis entre la boite et l'hôpital. Des fois ils ne sont pas tendres.* » (M1ES1)

Ici le mécanicien anticipe un éventuel conflit entre son employeur et le client de son employeur avec des conséquences négatives pour « sa boite ». Être mécanicien sous-traitant implique donc la gestion des bonnes relations entre l'entreprise de maintenance et son client.

Lorsque les besoins du client sont jugés légitimes, les mécaniciens cherchent à aller au-delà des contraintes contractuelles et se donnent **des contraintes supplémentaires pour la satisfaction du client (8 SES sur 11)** (C2.3). Les contraintes supplémentaires de satisfaction client entre en conflit avec la construction de la sécurité dans 1 SES sur 11 (soit 9%). Le mécanicien lui-même peut chercher à maintenir une bonne relation avec le client, au-delà de la protection de la relation employeur/client. Dans une SES de maintenance impliquant un mécanicien en sous-traitance pour une armée du Moyen Orient (TR1ES2), un officier demande à faire changer l'hélicoptère qu'avait prévu le mécanicien pour une mission prévue 2h plus tard. Cette demande spécifique est une contrainte pour le mécanicien qui n'a pas le temps pour préparer au vol l'hélicoptère souhaité par le client. Il va alors chercher à trouver une solution qui lui permette de refuser la demande tout en construisant avec le client une solution. Il cherche ici à maintenir une bonne relation personnelle avec le client pour pouvoir dans le futur éviter ce même type de demande. Nous verrons plus dans le détail dans la sous-section 6.3.3.1 comment le mécanicien négocie avec le client pour contrôler la situation.

Ces contraintes supplémentaires peuvent avoir pour but de protéger la relation entre l'employeur du mécanicien et son client, donc être utilisées comme des ressources (7 SES sur 11). Reprenons l'exemple de la SES racontée par le mécanicien travaillant pour un SAMU (M1ES1). Il sait que le SAMU demande des hélicoptères pour répondre à des urgences vitales. De plus, le mécanicien prend en compte le fait que lors de cet évènement, le SAMU est « en saison », c'est-à-dire qu'il y a une forte demande de secours. Le mécanicien scinde les tâches de maintenance en ensemble d'opérations pouvant être réalisé dans les 15 minutes pour pouvoir en tout temps répondre à une demande d'hélicoptère du SAMU. Cette règle qu'il s'impose n'est pas liée au contrat entre son employeur et le SAMU mais est un moyen pour lui d'agir en

sécurité pour participer aux secours d'urgence et préserver la relation entre son employeur et son client.

Les mécaniciens doivent donc gérer des contraintes liées à l'organisation du client et de la société de maintenance, au contrat passé entre la société de maintenance et le client et à la recherche de la satisfaction client. Une partie importante du service de maintenance rendu au client est d'assurer la sécurité aérienne. La sécurité est donc intégrée dans le service. Cependant, dans les SES de maintenance, ces contraintes peuvent entrer en conflit avec la capacité des mécaniciens à agir en sécurité.

Dans les SES de maintenance, les mécaniciens gèrent des contraintes de conception et des contraintes de service. Ces contraintes peuvent entrer en conflit avec la construction de la sécurité. C'est-à-dire qu'elles ne permettent pas aux mécaniciens d'agir en sécurité. Mais ces mêmes contraintes, peuvent être utilisées par les mécaniciens comme de ressources.

Nous montrerons dans les sections suivantes que le mécanicien cherchera à construire des compromis gérant les conflits entre des contraintes de conception, de service et la construction de la sécurité.

6.3.2 La sécurité est intégrée au service par la construction de compromis pour gérer les conflits entre contraintes de service et sécurité en action

6.3.2.1 Compromis microcentrés pour adapter les procédures dans une situation de service

Les mécaniciens sont amenés à devoir gérer des situations dans lesquelles les opérations de maintenance visant la sécurité aérienne entrent en conflit avec les contraintes de service d'un point de vue de l'exploitation de l'hélicoptère.

Pour montrer la nécessité de l'adaptation des procédures en SES de maintenance nous nous appuierons sur la SES racontée par le mécanicien travaillant comme sous-traitant pour un SAMU (M1ES1) (voir Figure 41).

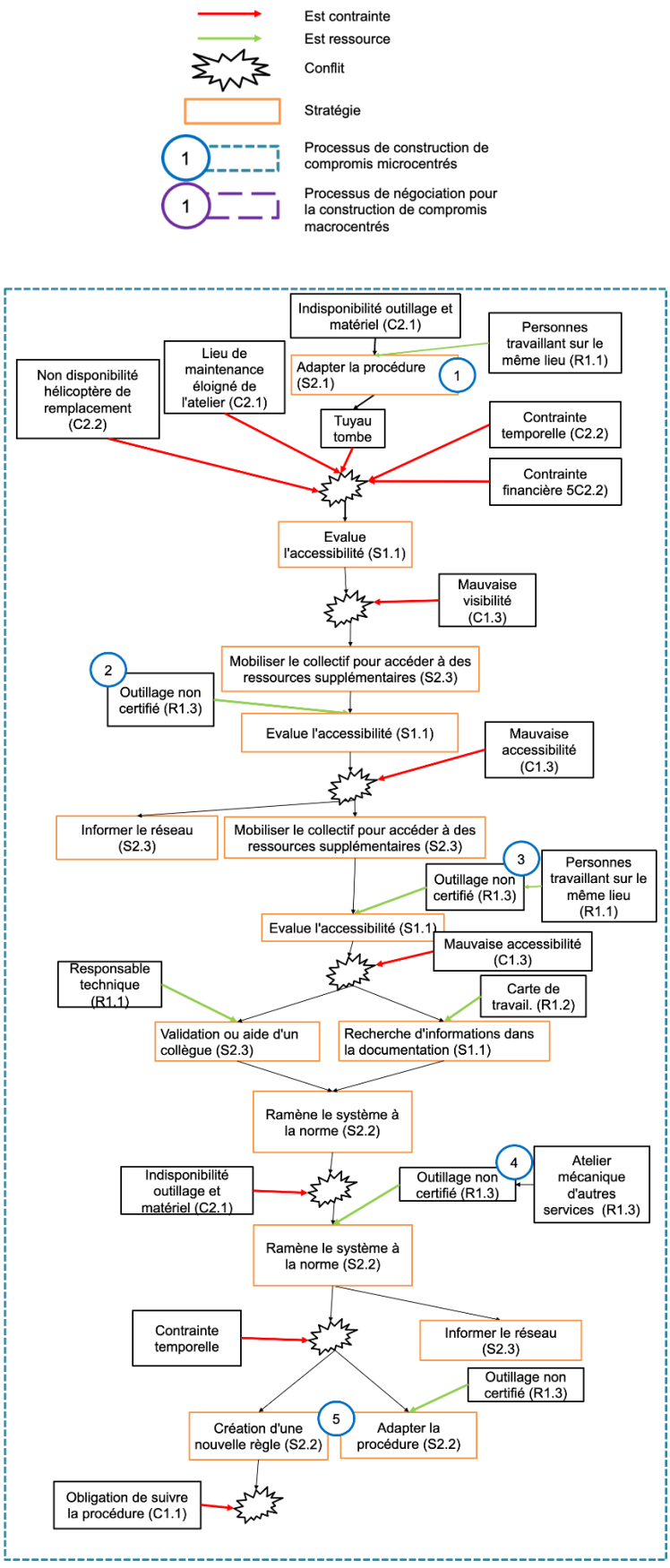


Figure 41 : Modélisation du codage CSR de la SES M1ES1

Dans l'ES M1ES1, le mécanicien construit par cinq fois un compromis adaptant la procédure à la situation.

Le mécanicien de M1ES1 est un mécanicien salarié d'une entreprise de prestation spécialisée dans la location et la maintenance des hélicoptères. Sa mission est d'assurer l'entretien d'un hélicoptère appartenant à son entreprise et loué au SAMU. Il travaille à l'hôpital auquel le SAMU est rattaché. Lors de la SES, le mécanicien réalise une « 100h », c'est-à-dire un ensemble d'opération de maintenance devant être réalisée toutes les 100h de vol.

Le mécanicien nous raconte ici une opération de prélèvement d'huile, opération considérée comme banal pour lui, qui tourne mal. L'analyse du prélèvement d'huile doit permettre de détecter la présence de « particules » dans la boite de transmission principale, symptôme de l'usure de pièces de roulement indispensables au vol. La boite de transmission principale est l'ensemble des éléments mécaniques permettant la transmission de la puissance du moteur au rotor qui permet de faire tourner les pales. La procédure de prélèvement d'huile prévoit un kit spécial de prélèvement fourni par le constructeur mais le mécanicien n'a pas connaissance de son existence et n'a jamais reçu de la part de son employeur d'outillage spécifique pour cette tâche de maintenance. Cette contrainte d'indisponibilité d'outillage (C2.1) amène le mécanicien à adapter la procédure (S2.1) en construisant son propre outillage. Pour cela, il utilise une seringue et un tuyau donnés par les infirmières de l'hôpital (R1.1). Cette construction d'outillage « maison » est le premier compromis construit par le mécanicien pour réaliser l'opération de maintenance sans immobiliser l'hélicoptère pour attendre l'arrivée d'un outillage spécifique certifié par le constructeur (cercle 1 sur la Figure 41).

La tâche de prélèvement d'huile demande au mécanicien d'insérer le tuyau de prélèvement dans la boite de transmission depuis le bouchon de remplissage d'huile situé dans la partie haute de la boite de transmission. L'huile est présente au fond de la boite de transmission. Dans la SES, le mécanicien a du mal à accéder au fond de la boite de transmission car le tuyau qu'il utilise est souple et se bloque régulièrement dans les éléments mécaniques de la boite de transmission. Il s'y prend à plusieurs fois et au moment de retirer le tuyau pour ressayer, il se rend compte que le tuyau s'est détaché de la seringue et est tombé dans la boite de transmission. Un corps étranger tombé dans la boite de transmission principale ne permet pas la remise en vol de l'hélicoptère sans risquer un accident. Cette immobilisation forcée entre en conflit avec les contraintes contractuelles et financières (C2.2) qui lient la société de maintenance et le SAMU. Selon le contrat de maintenance, la société de maintenance doit pouvoir fournir un hélicoptère dans les 4h maximum suite à une demande du SAMU. Le non-respect de ce délai

entraine une obligation de paiement de compensations financières. De plus, l'atelier de la société de maintenance se situe à plusieurs centaines de kilomètre de l'hôpital où se réalise la maintenance (C2.1). Cet éloignement ne permettrait donc pas au mécanicien de faire appel rapidement au matériel présent dans l'atelier qui pourrait l'aider en cas de besoin pour gérer cet incident. Le mécanicien sait également qu'il n'y a pas d'hélicoptère de remplacement de disponible permettant d'honorer le contrat de maintenance si la récupération du tuyau prenait plus de 4h.

L'objectif du mécanicien à ce moment est donc de récupérer au plus vite le tuyau, et pour cela il évalue l'accessibilité (S1.1) de l'intérieur de la boite de transmission pour savoir où il est tombé. Il n'arrive pas à voir l'intérieur de la boite de transmission, ni où est le tuyau (C1.3). Il choisit pour la deuxième fois d'utiliser un outillage non certifié (R1.3) par le constructeur, un fil de fer, pour essayer de sentir si le tuyau est dans une zone proche du bouchon ou s'il est tombé plus bas dans la boite de transmission. L'utilisation de ce fil de fer est le résultat de la construction d'un compromis microcentré (cercle 2 sur la Figure 41) visant la compréhension d'une situation imprévue ne faisant pas l'objet de procédures prescrites en utilisant un outil non certifié.

Grâce à cela il comprend que le tuyau est coincé dans les rebords intérieurs du bouchon mais il n'arrive pas encore à comprendre quelle est sa position ni comment le récupérer. Il pense maintenant être capable de récupérer ce tuyau dans les 4h imparties par le contrat.

Il appelle donc le SAMU pour les prévenir de l'indisponibilité immédiate de l'hélicoptère. (S2.3). Il fait également appel à son responsable technique basé à l'atelier (R1.1) pour lui demander de l'aide dans la résolution du problème (S2.3). Maintenant qu'il sait que le tuyau est bloqué à proximité du bouchon, son nouvel objectif est de comprendre quelle est la position du tuyau. Il pense alors à aller chercher auprès des dentistes de l'hôpital un miroir coudé (R1.3) qui lui permet de voir les rebords intérieurs du bouchon. Comme pour le fil de fer, l'utilisation de ce miroir est le fruit de la construction d'un compromis (cercle 3 sur la Figure 41) pour gérer le conflit entre obligation en tout temps d'utiliser des outillages certifiés et le besoin de retirer au plus vite le tuyau tombé et de libérer l'hélicoptère pour le SAMU. L'utilisation d'un outil non certifié ici une ressource pour gérer les contraintes de service et pour construire la sécurité.

Grace au miroir, il comprend que le tuyau est bloqué par les rebords du bouchon lui-même et qu'il suffirait d'enlever ce bouchon pour accéder facilement au tuyau. Aidé de son responsable technique (R1.1), le mécanicien trouve dans la documentation (R1.2) un schéma décrivant le

design du bouchon et comprend que le bouchon est dévissable. Le nouvel objectif du mécanicien est alors de dévisser ce bouchon pour récupérer le tuyau et ramener la situation à la normale. N'ayant pas d'outil à disposition pour dévisser le bouchon (C2.1), il cherche à l'atelier de l'hôpital une clé. C'est le quatrième compromis (cercle 4 sur la Figure 41) résultant en l'utilisation d'un outillage non certifié pour agir en sécurité. Il réussit à dévisser le bouchon et à récupérer le tuyau à l'aide d'une pince. Une fois le tuyau récupéré il prévient le SAMU et son responsable technique de la résolution du problème (S2.3) et demande au SAMU si ce retard a eu un impact sur les secours.

Le mécanicien a réussi à récupérer le tuyau mais cet incident l'a mis 1h en retard par rapport à ce qu'il avait prévu pour réaliser la visite 100h. Afin que cette situation ne se reproduise pas, le mécanicien construit un compromis final, résultat de la SES et des compromis construits tout au long de la gestion de cette SES (cercle 5 sur la Figure 41). Il choisit d'adapter son outillage de prélèvement et d'utiliser un tuyau différent de celui qu'il utilisait jusqu'ici, un tuyau plus rigide qui facilite l'introduction et l'extraction du tuyau dans la boite de transmission. Ce changement diminue le nombre d'essai nécessaire pour réussir le prélèvement. Le mécanicien se créé ici une nouvelle ressource à travers ce changement de tuyau. Il se crée également une nouvelle règle : Si malgré le changement de tuyau il n'arrive pas à réaliser le prélèvement au bout de la 5ème tentative, il récoltera l'huile d'une autre manière, en passant par une ouverture dans la partie basse de la boite de transmission. Cette autre manière est plus simple de réalisation mais peut fournir des prélèvements ne répondant pas au standard de qualité. Il y a ici un conflit entre sa volonté de modifier le mode opératoire de prélèvement et la règle de qualité qui l'en empêche. Le mécanicien sait qu'à cet endroit l'huile contient naturellement plus de particules ce qui peut fausser les résultats de l'analyse du prélèvement. Mais pour le mécanicien, un test faussé a moins de conséquence que de perdre le tuyau dans la boite de transmission. Le changement de tuyau lui permet de construire ce compromis car le fait d'avoir facilité le prélèvement réduit le risque de devoir faire le prélèvement avec son alternative ce qui le rend plus acceptable aux yeux du mécanicien.

Les compromis que le mécanicien construit tout au long de cet évènement favorisent la poursuite de l'opération de maintenance afin de rendre l'hélicoptère disponible le plus vite possible. Cependant cela ne veut pas dire qu'il fait selon lui un compromis sur la sécurité du vol de l'hélicoptère. Il met de côté la règle lui demandant de suivre strictement la procédure, c'est à dire de n'utiliser que des outils certifiés, car il ne voit pas de risque à agir ainsi.

Le mécanicien communique à son responsable technique les résultats de la construction des compromis pour qu'il puisse prévenir les autres mécaniciens de l'entreprise. Il partage donc son expérience aux autres mécaniciens. Cependant, les compromis microcentrés réalisés par le mécanicien ne sont pas discutés avec les autres mécaniciens ou avec l'organisation de maintenance. En ce sens, la construction de compromis pour gérer cette SES ne passe jamais par une phase de négociation pour la construction d'un compromis macrocentré.

Face à des situations de conflit entre les contraintes de service et la construction de la sécurité, les mécaniciens cherchent les moyens de construire un compromis microcentré visant la rencontre des contraintes de service, des besoins opérationnels des clients avec la sécurité en action. Pour cela ils peuvent être amenés à adapter les procédures, ou pour reprendre les termes des concepteurs, dévier de la procédure. Cette déviation n'est pas vue comme une prise de risque mais comme une nécessité pour agir en sécurité.

6.3.2.2 Compromis macrocentrés pour la construction de règles de service respectant la sécurité

Les compromis microcentrés sont des compromis construits par le mécanicien pour agir en sécurité dans une situation et un instant donné. Les mécaniciens peuvent également être amenés à participer à des négociations sur les règles au niveau de l'organisation de la maintenance pour la construction de compromis macrocentrés (2 SES sur 11, soit 18 %). Ils peuvent même en être les initiateurs comme le montre l'exemple présenté ci-dessous.

Dans la SES TR1ES2 (voir Figure 42)., un mécanicien en sous-traitance pour une armée du Moyen Orient prépare un hélicoptère pour un vol prévu 2h plus tard.

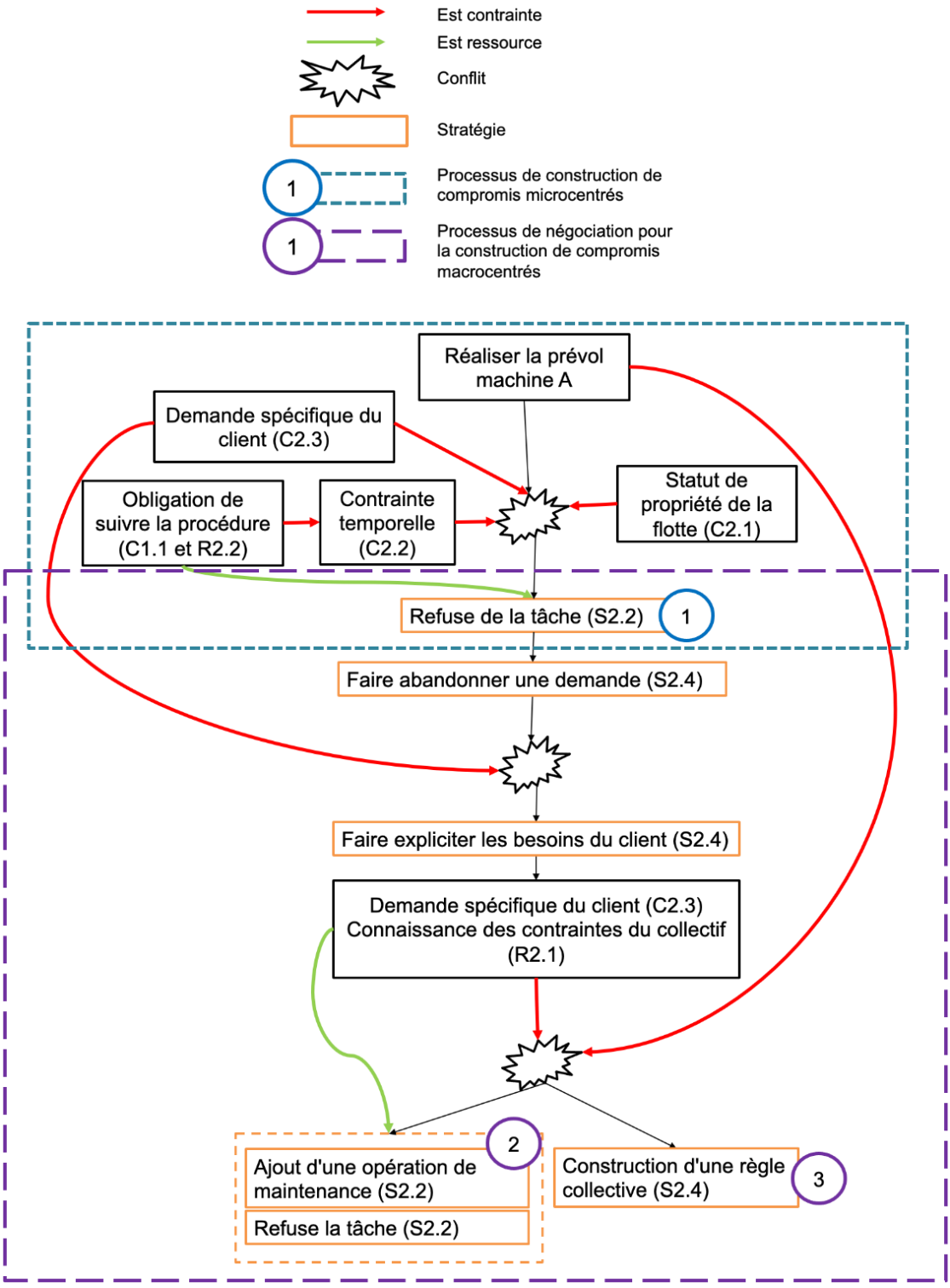


Figure 42 : Modélisation du codage CSR de la SES TR1ES2

A ce moment, un officier militaire demande à utiliser un autre hélicoptère pour ce même vol (C2.3). La réalisation de cette demande impliquerait l'arrêt de la visite prévol en cours et de recommencer une visite prévol sur l'autre hélicoptère. Or, une visite prévol dure 4h (C1.1). Le mécanicien n'a donc pas le temps de préparer l'hélicoptère demandé dans les temps. La

demande de l'officier entre en conflit avec la procédure jugée indispensable par le mécanicien pour assurer la sécurité du vol. La règle de sécurité demanderait de refuser la demande du client et de ne pas envoyer en vol une machine qui n'a pas été correctement inspectée. Cependant, dans cette SES, le demandeur est propriétaire de la flotte d'hélicoptère (C2.1).

> « *C'était un peu particulier parce qu'on était qu'une entreprise de prestation de service et les appareils étaient tous à lui »* (TR1ES2).

A ce titre le mécanicien trouve légitime le fait que le client puisse choisir l'hélicoptère qui partira en mission.

Le mécanicien tente de résoudre ce conflit dans un premier temps en transformant une contrainte en ressource « argumentaire ». Il utilise la procédure comme une ressource (R1.2) pour justifier auprès du client le refus d'accéder à sa demande (S2.2**).** Dans cette SES, le mécanicien cherche à faire abandonner à l'officier sa demande (S2.4). Le choix de refuser la demande du client est le résultat d'un premier compromis microcentré réalisé par le mécanicien pour assurer la sécurité aérienne (1). **L'utilisation de la carte de travail comme d'un argument d'autorité face au client se retrouve dans 3 SES sur 11 (soit 27%).** Le fait de communiquer à l'officier son refus l'engage ensuite dans un processus de négociation avec l'officier pour la construction d'un compromis macrocentré. L'officier insiste et maintient sa demande (C2.3) et donc maintien le conflit.

Le mécanicien cherche alors à faire expliciter les besoins de l'officier et lui demande de préciser ce qui le motive à demander un changement d'hélicoptère. Le mécanicien cherche ici à mieux comprendre la situation et à engager l'officier dans le processus de négociation pour sortir d'une relation de conflit.

> *« Parce que l'objectif c'est quand même d'avoir un client satisfait et pas juste lui refuser sa demande.* […] *Mais lui il préférait la couleur de l'autre. Il y avait une histoire aussi de symbole sur la boite de secours. Celui qui était prévu avait un autocollant en forme de croix et lui il voulait l'appareil avec l'autocollant en forme de croissant. Je crois aussi qu'il préférait l'autre parce qu'il y avait des sièges en cuir. Enfin voilà, ce ne sont pas des choses très importantes » (*TR1ES2).

Le mécanicien semble juger que la demande du client de faire voler une autre machine que celle en cours de préparation n'est pas légitime. Cependant, l'explicitation des demandes de l'officier est une ressource (R2.1) qui permet au mécanicien de refuser le changement

d'hélicoptère (S2.2) sans rejeter entièrement toutes ses demandes et d'entrer en négociation (S2.4). Le mécanicien propose au client d'accéder à une demande sur trois en expliquant en quoi il lui est impossible de répondre à toutes et en continuant à rappeler la procédure. Il propose d'ajouter un sticker modifiant le symbole de la boite de secours (S2.2). Ce compromis est accepté par le client car le mécanicien lui propose un deuxième compromis sous forme de règle partagée pour le futur (S2.4). Le mécanicien reconnait le droit et la légitimité du client à choisir les machines dans lesquels il vole. Afin d'être capable dans le futur de lui fournir la machine choisie en temps et en heure, il demande à l'officier de le prévenir au minimum 4h avant le vol. Cette reconnaissance et le fait que le mécanicien cherche à satisfaire au moins en partie les demandes du client pour ce vol amène le client à accepter d'abandonner sa demande de changement de machine.

La construction d'un compromis macrocentré avec le client a abouti à une solution qui respecte la procédure, assure la sécurité du vol, tout en réussissant à satisfaire une partie des demandes du client.

Nous voyons dans cette SES que le travail de service du mécanicien est de fournir au client un hélicoptère sécurisé et en même temps de satisfaire au mieux son client. La sécurité fait partie intégrante du service. Lorsque la demande du client entre en conflit avec la sécurité, les mécaniciens peuvent utiliser la carte de travail (R1.2) comme d'une ressource argumentaire pour la négociation avec le client (S2.4). Le mécanicien participe à la conception des compromis macrocentrés pour la construction de la sécurité réglée prenant en compte la sécurité en action.

Dans les SES de maintenance, les mécaniciens font face à des conflits de contraintes de service avec la construction de la sécurité en action. Pour gérer ces conflits, ils construisent dans la situation des compromis microcentrés cherchant à intégrer la sécurité dans le service de maintenance. Ces compromis peuvent nécessiter une adaptation des procédures pour satisfaire les contraintes de service en sécurité. Ces compromis microcentrés peuvent en pas être discutés par l'organisation du client ou de l'employeur. Cependant, les mécaniciens peuvent participer à la construction de compromis macrocentrés dans la négociation de règles de service avec les clients. Dans cette négociation, ils cherchent la conception de règles leur permettant de répondre aux besoins du client en sécurité.

6.3.3 Gérer les conflits entre des contraintes liées à la conception de l'hélicoptère, de la procédure (C1) et la sécurité

Dans cette section, nous présenterons les SES dans lesquelles les mécaniciens gèrent un conflit entre les contraintes de conception (C1) et la construction de la sécurité. Dans 6 ES sur 11 (soit, 55%), **la carte de travail et/ ou la procédure est évaluée par le mécanicien comme étant dangereuse au vu du contexte et du design de l'hélicoptère.** Autrement dit, dans 6 SES les mécaniciens font face à un conflit entre les contraintes liées au design et à la procédure et la sécurité. Face à ces conflits, les mécaniciens choisissent des stratégies de :

- Construction de compromis impliquant une adaptation de la procédure. (2/11 SES, soit 18%).
- Correction de la procédure dans l'action et dans la conception (4/11 SES, soit 36%).

Nous nous appuierons sur la présentation de deux SES pour décrire l'adaptation des procédures et leur correction.

6.3.3.1 Construire des compromis impliquant une adaptation d'une procédure jugée dangereuse pour agir en sécurité et satisfaire le client

En cours de réalisation d'une tâche de maintenance, les mécaniciens évaluent les risques qu'amènent le suivi strict des procédures dans la situation. Il est alors possible que les mécaniciens jugent les procédures prescrites comme étant dangereuses (7 SES sur 11, soit 64 %) et qu'ils cherchent un autre moyen, plus sûr pour réaliser la tâche de maintenance.

Nous prendrons l'exemple de la SES M3ES2 pour décrire la construction d'un compromis impliquant une adaptation de procédures jugées dangereuses par le mécanicien (voir Figure 43).

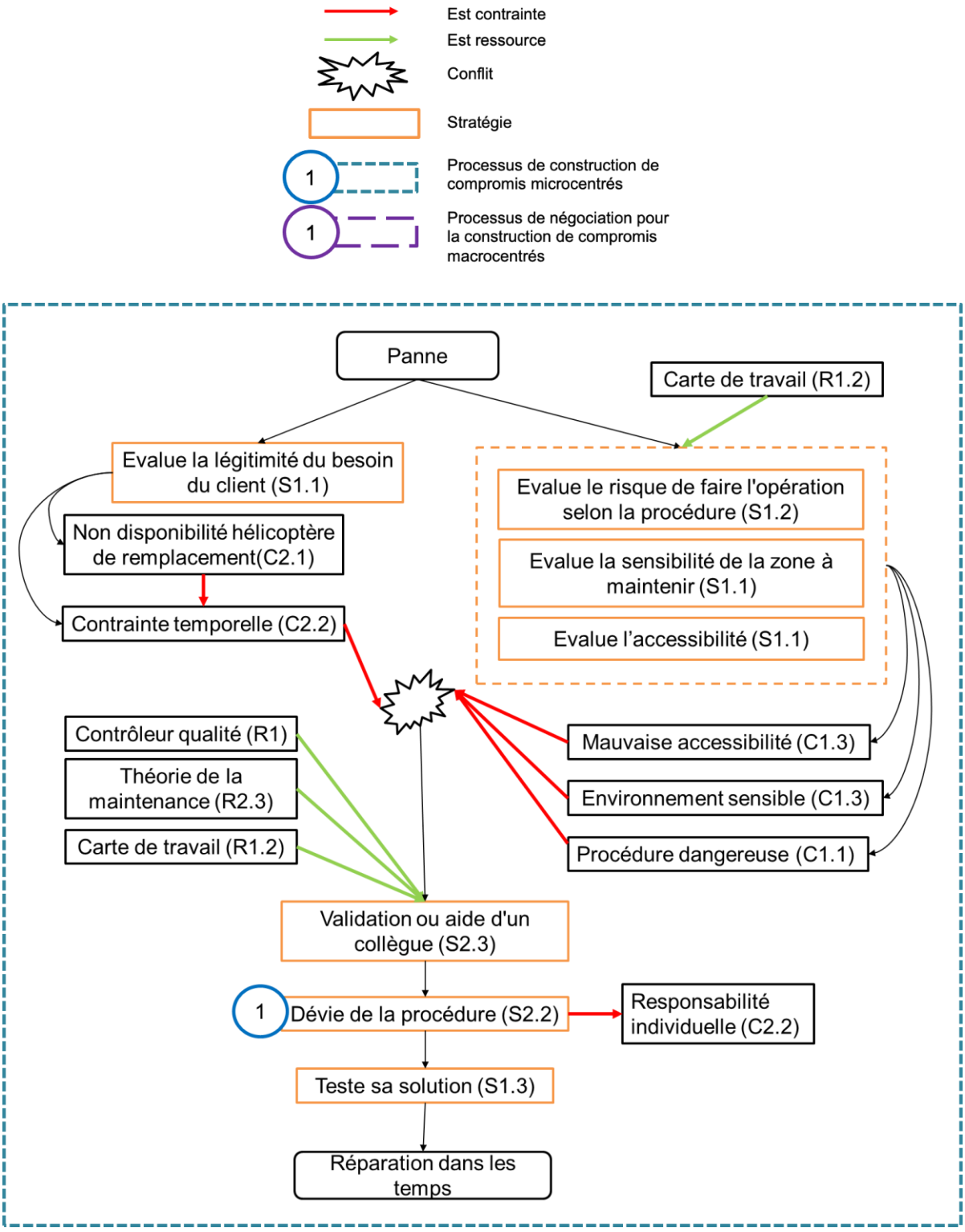


Figure 43 : Modélisation du codage CSR de la SES M3ES2

Le mécanicien, salarié dans la marine française, a pour tâche de réparer une panne de valve repérée par ses collègues.

Il commence par évaluer dans le même temps la légitimité du besoin du client, ici la partie opérationnelle de la marine, et la sensibilité de la zone à maintenir (S1.1), l'accessibilité (S1.1) et le risque de réaliser l'opération de maintenance en suivant la procédure dans ces conditions (S1.2).

Il sait que la flotte d'hélicoptère disponible de la marine est restreinte sans possibilité d'envoyer en mission un hélicoptère de remplacement (C2.1), ce qui fait que même un seul hélicoptère au sol peut avoir un impact sur les missions de la marine. Ceci explique le fait que la partie opérationnelle de la marine lui impose une contrainte temporelle pour la réparation de l'hélicoptère (C2.2)

Il prend connaissance de la procédure grâce à la ressource « carte de travail » (R1.2), évalue l'accessibilité et la sensibilité de la zone à maintenir. Il considère la zone à maintenir sensible, c'est-à-dire ne pouvant supporter de choc ou de dommages, et difficilement accessible. Il pense alors qu'appliquer la procédure dans ces conditions est une action dangereuse (C1.1).

> « *C'est tellement* [difficile d'accès] *comme endroit que pareil tu risques plus d'abimer les alentours [*les servo-commandes*] que de faire l'opération. Donc là on n'avait pas trop suivi la documentation »*. (M3ES2)

Les servo commandes sont des pièces qui permettent au pilote de contrôler la direction que prend l'hélicoptère. Sans elles, le vol n'est pas possible et une défaillance en vol de ces pièces peut conduire à un accident. La procédure ne demande pas au mécanicien d'intervenir sur les servo-commandes mais sur une valve située juste à côté. Le mécanicien a peur qu'en intervenant sur la valve à remplacer il abime les servo commandes sans s'en rendre compte.

Selon le mécanicien, il y a donc un premier conflit entre la procédure et la conception de l'hélicoptère et la sécurité. Sur ce conflit s'ajoute la contrainte de service de pression temporelle. Le mécanicien va alors chercher un moyen de réaliser le remplacement de la valve d'une manière qu'il considère comme sûre tout en respectant les contraintes temporelles.

Il fait appel au contrôleur qualité présent pour l'aider à trouver une solution (S2.3). Après avoir consulter les illustrations de la valve données dans la carte de travail (R1.2), ils décident de réaliser une adaptation de la procédure (S2.2) et de ne pas déposer l'entièreté de la valve comme demandé par la procédure, mais de ne déposer que la partie à remplacer sans son système d'accroche à la structure de l'hélicoptère. En effet, ce sont les vis fixant le support de la valve sur l'hélicoptère que le mécanicien considère comme difficilement accessibles. Ils choisissent

alors d'enlever les vis reliant le corps de la valve à son support. Selon la procédure, intervenir sur la pièce aéronautique valve dans son ensemble n'est pas autorisé. Cependant, ils considèrent tout de même que cette action sera plus sécurisante que ce que demande la procédure. Ce choix de mode opératoire est le résultat d'un compromis microcentré visant la sécurité (1).

> *Nous on avait trouvé une astuce, enlever 1 seule vis c'était beaucoup plus acceptable en fin de compte*. […] *Tu n'as pas le droit de toucher cette vis. Parce que comme c'est un équipement tu n'as pas le droit d'enlever la vis. Alors que tu enlèves une vis sur 6 ou 10 ça ne fera pas grand-chose*. (M3ES2)

De plus, il justifie sa décision car il a la possibilité de vérifier que l'alternative fonctionne avant d'envoyer l'hélicoptère en vol à l'aide d'un test (S1.3).

> *« Au pire à la suite du remplacement de cette pièce-là, tu vas au point fixe. Donc ton point fixe va te dire si la valve est étanche ou pas. Au point fixe on voit qu'elle est étanche donc elle est étanche. Tu vois c'est franc. Ça marche ou ça ne marche pas. »* (M3ES2).

L'adaptation de la procédure par le mécanicien est directement liée à l'évaluation du caractère sécurisant ou dangereux de la procédure dans la situation (S1.2) et de la possibilité ou de l'impossibilité de dévier de la procédure en toute sécurité (S1.3). Pour réaliser cette évaluation il utilise les cartes de travail comme d'une ressource (R1.2). Les cartes de travail sont explicitement utilisées pour l'évaluation de la situation et du caractère sécurisant de la procédure dans 4 SES sur 11 (soit, 36%).

Selon le mécanicien, ne pas suivre la procédure prescrite et dévisser une vis qu'il n'a pas le droit de toucher sont des actions sécurisantes. Ce mode opératoire lui permet dans le même temps de terminer le remplacement de la valve dans le temps imparti. Il ne considère pas cette adaptation comme une prise de risque. Pour lui, le seul risque est un risque de remise en cause par la hiérarchie de sa responsabilité suite à ce qui peut être considéré comme une violation (C2.2) :

> « *Le seul truc qu'on peut te reprocher c'est de ne pas avoir utilisé la carte pleinement et tu vas faire ce qu'on appelle malheureusement dans notre jargon une violation. Et ça ce n'est pas bien. Mais après voilà il y a des choses que tu fais parce que c'est comme ça. […] Si*

c'était à refaire je ne referai pas. Pas parce que c'était risqué, je ne prends pas de risque, mais parce que là où je travaille en ce moment tout est contrôlé. A l'époque on était que deux, moi et le contrôleur, donc on s'arrangeait. Donc faire ce que j'ai fait là ça ne serait plus possible. Aujourd'hui si un truc comme ça arrivait, je dirai sûrement que je ne peux pas remplacer la valve dans les temps et tant pis. » (M3ES2)

Dans cette SES, le mécanicien engage sa propre responsabilité pour adapter la procédure pour la sécurité et le service mais sans confronter son choix à l'organisation qu'il sait interdit les « violations ». Dans un environnement plus contrôlé que celui de la SES présentée, où l'organisation laisserait moins de marge de manœuvre aux mécaniciens pour adapter les procédures, la construction du compromis microcentré n'aurait pas été possible selon le mécanicien, ce qui aurait entraîné des conséquences sur la disponibilité de l'hélicoptère.

Dans cette SES de maintenance, le mécanicien juge dangereux le fait de suivre la procédure prescrite. Avec l'aide d'un membre du collectif de maintenance, il construit un compromis microcentré pour adapter la procédure jugée dangereuse pour agir en sécurité. Le compromis microcentré n'est pas soutenu par un compromis macrocentré au niveau de l'organisation. Au vu du caractère de « violation » de son action, le mécanicien considère au contraire comme impossible la discussion avec l'organisation autour de ce compromis et choisit de le passer sous silence. L'organisation n'a donc pas pu apprendre du compromis microcentré du mécanicien et le mécanicien n'a pas pu apprendre d'un éventuel compromis macrocentré qui aurait pu aboutir sur une conclusion différente que la sienne.

6.3.3.2 Corriger la procédure dans l'action et dans la conception

Lorsque les mécaniciens jugent qu'une procédure est dangereuse à appliquer dans la situation, ils vont chercher à la corriger dans l'action (7 SES sur 11, soit 64%). Ils peuvent aussi chercher à la corriger au niveau de la conception des cartes de travail (4 SES sur 11, soit 36%).

Nous prendrons l'exemple de la SES M3ES3 pour décrire comment, face à un conflit entre la procédure et la sécurité, les mécaniciens cherchent à corriger la procédure dans l'action et dans la conception (voir Figure 44).

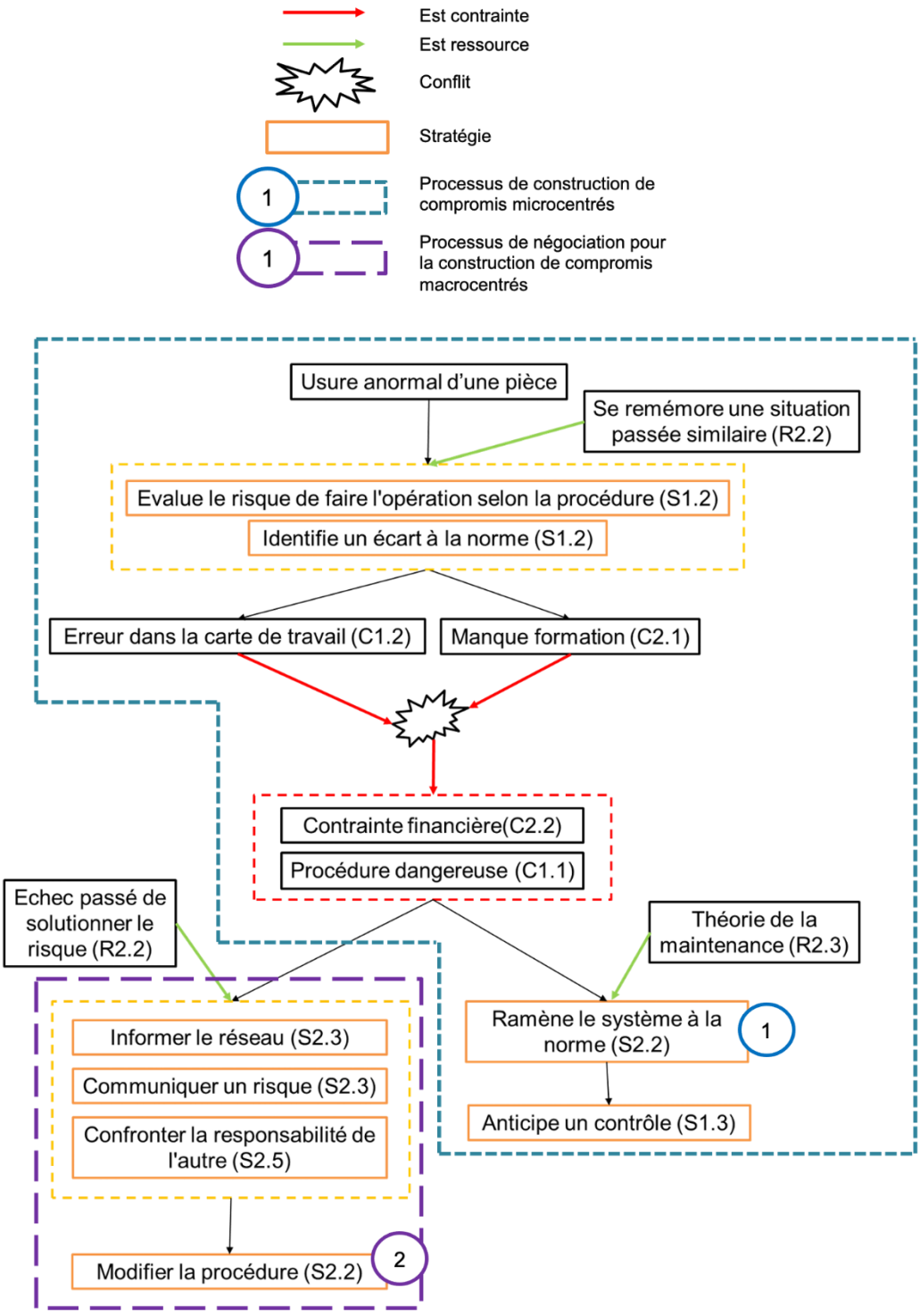


Figure 44 : Modélisation du codage CSR de la SES M3ES3

Dans la SES de maintenance M3ES3, un mécanicien du constructeur en mission longue chez un client est mis au courant par ses collègues d'une usure prématurée d'un amortisseur sur 4 due à un mauvais réglage des 3 autres. Son expérience lui permet de se souvenir d'une usure similaire qu'il a vécu dans les ateliers du constructeur un an et demi auparavant (R2.2). Cette

expérience lui permet d'identifier la cause de l'écart de réglage observé (S1.2) et l'amène à évaluer le risque de réaliser la procédure telle qu'écrite (S1.2).

Selon le mécanicien, le mauvais réglage des amortisseurs viendrait d'une erreur dans la carte de travail (C.2) non corrigée par des mécaniciens ayant un manque de formation (C2.1).

> « *Normalement tu dois ajuster la longueur de l'amortisseur et ensuite mettre au couple. L'outillage qui permet d'ajuster et de mettre au couple est le même mais avec 2 embouts différents. Il y a un embout fileté et un embout en forme de cylindre lisse. Le cylindre lisse sert pour l'ajustement et la partie filetée pour le couple. […]. Sauf que dans la carte on appelle cet outillage le screw centuring. Screw c'est vis. Et dans la carte on te demande de l'ajuster et de le mettre au couple avec le screw centuring. Donc les gens, ils ne savent pas, ils ajustent avec la partie filetée et ça crée un décalage qui peut aller à 3-4mm, ce qui est énorme.* » (M3ES3)

Appliquer la procédure telle que décrite et comprise amène, selon le mécanicien, les mécaniciens à réaliser un réglage non conforme et défaillant. La procédure présentée par la carte de travail est donc jugée à risque par le mécanicien (C1.1). En plus d'un problème de sécurité, l'usure prématurée d'un amortisseur amène à son remplacement ce qui engendre des coûts financiers non prévus par le client (C2.2).

Le mécanicien corrige alors le réglage des 3 amortisseurs en adaptant l'usage de l'outillage qu'il considère comme le bon pour les ramener à la norme prévue par la procédure. Il corrige donc la procédure dans l'action. Le client décide de demander au mécanicien, en plus de régler la longueur des 3 amortisseurs trop courts, de remplacer le 4eme usé prématurément. Le mécanicien ne considère pas normal le fait que le client ait besoin de remplacer une pièce prématurément suite à ce qu'il pense être une erreur du constructeur. Le mécanicien et ses collègues proposent alors de remettre 10 barres de pression dans le 4eme amortisseur et d'effectuer un contrôle de pression à 25h de vol (S1.3). Si après 25 h de vol le 4e amortisseur présente une baisse de pression ils le remplaceront. Le mécanicien construit ici un compromis microcentré (1) lui permettant de ramener à la norme le système d'amortisseurs tout en essayant d'impacter au minimum le client.

En parallèle le mécanicien va chercher à faire corriger la procédure par le constructeur.

« *Le client, il veut changer des pièces. Moi je n'accepte pas, je vais faire remonter que je ne suis pas content* ».

Il fait un compte rendu de fait technique alertant le constructeur de la situation et de sa responsabilité (S2.3 et S2.5). Il reprend dans son compte rendu des idées de solution auxquelles il avait déjà pensé (R2.2) et qu'il avait déjà communiqué un an et demi auparavant. Il propose au constructeur, via un outil de communication avec le service support client, de réaliser des corrections de vocabulaire dans la carte de travail et des modifications de l'outillage pour que l'erreur de réglage ne se reproduise plus (S2.2). Ces modifications permettraient aux mécaniciens d'avoir à disposition une procédure indiquant clairement ce que voulaient les concepteurs. Il reste cependant septique sur l'utilité de sa démarche. En effet, le même compte rendu envoyé un an et demi avant n'a pas fait l'objet de réponse de la part du constructeur. On retrouve cette stratégie de partage d'information avec le constructeur dans un but de modification des procédures dans 4 SES (soit 36%) ; la SES que nous venons de présenter pour laquelle le mécanicien est un employé du constructeur réalisant des missions chez un client, et dans 3 SES vécues par un mécanicien employé dans les ateliers du constructeur. Ce dernier, faisant partie de l'équipe de maintenance d'un hélicoptère en cours de conception était en lien avec les bureaux d'études. Dans les 3 SES, il a pu prévenir directement les bureaux d'étude concernés et rester en contact avec eux pour sa correction. Un retour rapide de la part des concepteurs encourage le mécanicien à partager les stratégies qu'il met en place pour corriger la carte de travail. Dans M3ES3 l'absence de dialogue entre les concepteurs et le mécanicien et l'absence de changements visibles de la carte de travail et de l'outillage suite à un premier partage d'information l'amène à réaliser un deuxième signalement pour amorcer un processus de négociation (2), sans réel espoir d'être entendu et qu'un compromis macrocentré se construise.

Dans cette SES, pour le mécanicien travaillant pour le constructeur, demander la modification et la correction de la carte de travail est un moyen de participer à la conception des procédures et d'y intégrer son expérience. Il fournit aux concepteurs les informations nécessaires pour que la carte de travail reflète ce qu'il pense être la procédure initialement pensée par les concepteurs. Son but est de fournir aux mécaniciens travaillant pour des clients des cartes de travail pouvant être des ressources et non des contraintes. Cependant, pour aboutir à la construction d'un compromis macrocentré

pour la conception intégrant la sécurité en action des mécaniciens, il faut que les retours du mécanicien soient pris en compte par l'organisation et au final les concepteurs.

Les mécaniciens gèrent des conflits entre des contraintes de conception et la construction de la sécurité au travers de la gestion de procédures de maintenance jugées dangereuses au vu de la situation et du design de l'hélicoptère. Ils agissent en sécurité en adaptant les procédures, autrement dit en déviant des procédures, ou en les « corrigeant » pour réaliser ce qu'ils pensent être la procédure réellement pensée par les concepteurs. Les mécaniciens ne partagent ensuite pas systématiquement leur expérience avec l'organisation de maintenance ou avec le constructeur. L'entrée des mécaniciens dans un processus de construction de compromis macrocentrés avec le constructeur ou l'organisation de maintenance se fait en fonction des marges de manœuvre offertes par l'organisation, du statut de la déviation dans l'organisation et des retours que les mécaniciens reçoivent suite à un partage de connaissance avec le concepteur.

6.4 Synthèse des résultats du chapitre 6

Les situations de maintenance désignées par les mécaniciens comme à enjeux de sécurité sont des situations dans lesquelles les contraintes liées à la conception de l'hélicoptère et de la procédure et les contraintes de service entrent en conflit avec la construction de la sécurité.

Le travail ou activité de service amène les mécaniciens à chercher à satisfaire des contraintes de service liées à l'organisation du client et de la société de maintenance, au contrat passé entre la société de maintenance et le client et à la recherche de la satisfaction client, tout en garantissant une maintenance sûre et en gérant les contraintes de conception liées aux procédures, aux cartes de travail et au design. La construction de la sécurité est en ce sens intégrée dans le service et dans l'activité de maintenance.

Lorsque les contraintes de service entrent en conflit avec la construction de la sécurité, les mécaniciens cherchent à construire des compromis microcentrés par l'adaptation des procédures afin de satisfaire les contraintes de service en sécurité. L'adaptation des procédures est vue alors par les mécaniciens comme un moyen d'agir en sécurité et non comme une prise de risque.

Les mécaniciens peuvent être également amenés à construire avec le client ou l'opérateur de vol des compromis macrocentrés pour la construction de règles permettant de satisfaire les contraintes de service en sécurité. Lorsque le mécanicien considère qu'agir en sécurité demande d'appliquer la procédure telle qu'écrite dans la carte de travail et que le client lui demande de faire autrement, il peut utiliser la carte de travail comme d'une ressource argumentaire pour amener le client à entrer en négociation.

La conception de l'hélicoptère et la procédure devient une contrainte pour les mécaniciens lorsqu'ils l'évaluent comme étant dangereuse dans la situation de travail. Les mécaniciens réalisent eux-mêmes une évaluation des risques attachés à la tâche de maintenance pour agir en sécurité, dans la situation, en prenant en compte les contraintes de service. Pour cela ils peuvent utiliser les cartes de travail et le collectif de maintenance comme de ressources. Ils agissent en sécurité en adaptant les procédures, autrement dit en déviant des procédures, ou en les « corrigeant » pour réaliser ce qu'ils pensent être la procédure réellement pensée par les concepteurs.

Les déviations ne sont pas partagées par les mécaniciens à l'organisation lorsqu'ils savent que leurs actions peuvent entrainer des sanctions de la part de la hiérarchie. Au contraire, ils taisent l'adaptation et engagent leur responsabilité propre en cas d'incident.

Les corrections de procédure peuvent être partagées par les mécaniciens au constructeur pour participer à la conception des procédures, des outillages et du design. Mais le partage de l'expérience du mécanicien auprès des concepteurs se fait en fonction des retours qu'ils reçoivent ensuite de la part des concepteurs.

L'analyse des SES de conception et de maintenance nous permet d'identifier les types de contraintes identifiées par les concepteurs dans le travail des mécaniciens correspondant à celles évoquées dans les SES de maintenance. Les tableaux de comparaison des types de contraintes entre SES de maintenance et de conception sont présentés en annexe 6. La comparaison des codages de contraintes des SES maintenance et conception nous permet de constater que sur 21 catégories de contraintes qui ont été évoquées dans les SES de maintenance, 16 correspondent à une catégorie de contraintes évoqué par les ingénieurs dans les SES de conception, soit 76%. Nous constatons également que la part du nombre de catégories de contrainte concernant les contraintes de service est plus élevée dans les SES de maintenance (14 catégories de contraintes sur 21, soit 67%) que dans les SES de conception (7 catégories de contraintes sur 34, soit 21%). En contrepartie la part du nombre de catégories de contraintes liées à la conception du design, des cartes de travail et des procédures est plus élevée dans les SES de conception (22 catégories de contraintes sur 34, soit 65%) que dans les SES de maintenance (7 catégories de contraintes sur 21, soit 33%).

Ces résultats nous montrent que même si les mécaniciens évoquent plus en détail les contraintes liées au service et les concepteurs les contraintes en lien avec la conception de la maintenance, ce qui nous semble cohérent avec leurs fonctions respectives, les contraintes identifiées par les concepteurs en maintenabilité dans le travail en conception correspondent en majorité à des contraintes évoquées par les mécaniciens.

Les résultats des chapitres 5 et 6 montrent que, même si les contraintes identifiées par les concepteurs en maintenabilité dans le travail en conception correspondent en majorité à des contraintes évoquées par les mécaniciens, le modèle de sécurité mobilisé par les concepteurs diverge de la manière dont les mécaniciens agissent en sécurité dans les SES de maintenance. Les concepteurs cherchent des solutions de modification des procédures,

carte de travail et design qui permettent aux mécaniciens d'appliquer des procédures de façon sécurisée. Selon eux, la seule manière pour un mécanicien d'être assuré d'agir en sécurité est de se conformer aux procédures. Cependant, face à la variabilité du travail de maintenance, les mécaniciens sont amenés à adapter les procédures pour agir en sécurité et ce, même si cela implique une « déviation » de la procédure. Ce constat nous amène à chercher à concevoir une démarche de conception participative faisant dialoguer concepteurs et mécaniciens et organisant l'articulation entre la sécurité réglée portée par les concepteurs et la sécurité gérée portée par les mécaniciens. Le chapitre empirique suivant présente la méthodologie mise en place et ses résultats.

7. Chapitre7 : Réflexions sur une tentative de développement d'un processus de conception articulant sécurité gérée et sécurité réglée

7.1 Introduction

Au cours des 6 derniers mois du contrat de thèse, nous avons conçu une démarche de conception participative de la maintenance, visant à réunir concepteurs en maintenabilité et mécaniciens, pour favoriser l'articulation de la Sécurité Réglée et la Sécurité Gérée (SR/SG). Nous avons appelé cette démarche la « démarche CSR ». La démarche CSR est basée sur l'analyse Contraintes/Stratégies/Ressources (CSR) des Situations à Enjeux de Sécurité (SES) de maintenance, réalisée conjointement par un concepteur en maintenabilité et un mécanicien.

Cette démarche a été conçue à l'aide d'une méthodologie ayant évolué au cours du temps. En effet, nous nous sommes confrontés aux contraintes déjà évoquées dans le chapitre 5 par les concepteurs en maintenabilité dans leur travail (cf. §5) mais nous avons également découvert d'autres contraintes limitant la mise en place de la méthodologie de conception de la démarche CSR et de son usage. Face à ces contraintes, notre méthodologie a évolué, tant dans ses objectifs que dans sa forme. Finalement, la méthodologie de conception de la démarche CSR est constituée de 4 groupes de travail avec des concepteurs et des managers de mécaniciens et d'un essai dans l'usage (voir Figure 45). Nous décrirons plus finement cette démarche dans la section 7.3.1.

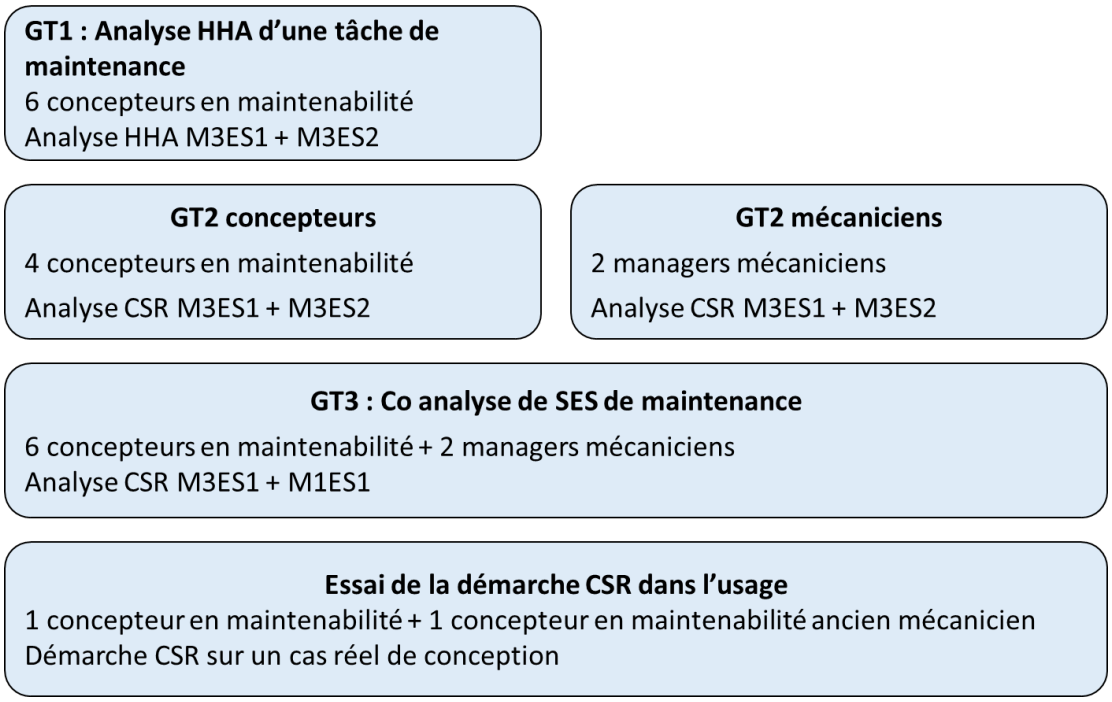


Figure 45 : Version finale de la méthodologie de conception de la démarche CSR

Ce chapitre empirique a deux objectifs soutenus par deux méthodologies et sections de résultats distinctes.

La première section des résultats de ce chapitre empirique a pour objectif de réaliser une analyse des contraintes limitant la mise en place de la démarche CSR au sein de l'organisation de conception de la maintenance (cf. §1.2.3), et des ressources la soutenant. Ces résultats se basent sur une analyse réflexive secondaire de notre propre activité au cours de la conception de la démarche CSR. Cette analyse nous permettra de discuter par la suite des limites d'organisation des approches de conception participatives visant l'articulation de la SR/SG au sein d'organisations ultrasûres.

La deuxième section des résultats identifiera les apports et limites de la démarche CSR conçue par rapport à ses objectifs initiaux. Nous nous appuierons sur l'analyse des groupes de travail utilisant l'analyse CSR et de l'essai de la démarche CSR pour la résolution d'un problème de conception réel (voir Figure 45). Nous cherchons à savoir si la démarche CSR conçue permet le développement d'une conception de la maintenance articulant Sécurité Réglée et Sécurité Gérée. Pour cela nous nous intéresserons au processus de construction par les participants des

problèmes que posent les SES de maintenance, de leurs résolutions et des modes d'articulation des SR/SG dans ce processus.

L'articulation de ces deux objectifs et méthodes nous permettra de répondre à la question suivante : la démarche CSR permet-elle l'articulation de la Sécurité Réglée/Sécurité Gérée (SR/SG) au sein d'une organisation dominée par un modèle de sécurité classique ?

7.2 Méthodologie

7.2.1 Analyse réflexive du processus de conception de la démarche CSR

7.2.1.1 Recueil de données

Dans la première section des résultats, nous réalisons une analyse secondaire des données recueillies au cours de la conception de la démarche CSR dans une perspective réflexive de notre propre travail. Nous utilisons l'accumulation des données de la démarche de conception de la démarche CSR pour pouvoir en reconstituer un récit et en tirer des leçons sur notre propre pratique (Petit et al., 2007). Notre analyse relève d'une activité réflexive – au sens de Schön (1994, cité par Perrenoud, 2004) - c'est-à-dire que nous prenons notre propre action comme objet de réflexion. Nous réalisons une réflexion non pas dans l'action mais sur l'action, une fois l'action passée (Perrenoud, 2004). Ces données s'ancrent dans l'environnement dans lequel nous évoluons au cours de la conception de la démarche CSR, environnement que nous partageons avec les concepteurs en maintenabilité et au travail des concepteurs en maintenabilité. Dans ce sens, une analyse réflexive de notre propre activité nous permet d'analyser l'environnement de travail des concepteurs en maintenabilité.

Notre analyse est secondaire car nous réexploitons les traces de notre propre travail au sein de l'organisation de conception de la maintenance à des fins de recherche, ce qui n'était pas notre but initial (Hakim, 1982 cité par Dale, 1993). Cette analyse secondaire est permise par la tenue d'un journal de bord tout au long de la thèse servant de carnet de note d'observation et de réflexion. L'objectif initial de ces prises de note dans la période de conception de la démarche CSR était de recueillir des données concernant l'usage de la démarche CSR par les concepteurs en maintenabilité, et non de documenter son processus de conception.

75 pages de notes constituent les données sur lesquelles nous construisons cette première section de résultat. Ces 75 pages contiennent nos propres réflexions sur la méthodologie de conception de la démarche CSR, le contenu de la démarche CSR et des prises de notes de différentes réunions réalisées dans le même temps que la conception de la démarche CSR :

- 12 « suivis de thèse » (ST) avec l'équipe de recherche soutenant cette thèse (la directrice et les co-directeurs de la thèse) ;
- 1 séminaire de recherche avec l'équipe de recherche du laboratoire ;
- 4 réunions avec le comité de pilotage industriel de la recherche réunissant un expert en maintenabilité, un spécialiste facteur humain et un manager ;
- 13 réunions avec les participants aux groupes de travail et aux essais de la démarche CSR ;
- 1 réunion avec l'équipe de concepteurs en maintenabilité.

7.2.1.2 Traitement des données

Ces données nous ont permis de reconstituer a posteriori et sous forme de chroniques (Barcellini, 2015 p 35-36) les étapes du processus de conception de la démarche CSR. La Figure 46 montre la méthode de représentation de ce processus. Nous avons distingué 2 dimensions dans notre activité : la mise en place d'une méthodologie de conception de la démarche CSR (encadré bleu) et le contenu de la démarche CSR (encadré vert). Au sein de ces dimensions nous avons cherché à représenter :

- Les différentes versions prises par la méthodologie de conception de la démarche CSR au cours du temps
- Les différentes formes prises par le contenu de la démarche CSR au cours du temps.
- Les contraintes limitant la mise en place de la méthodologie de conception de la démarche CSR et son usage (étoile rouge)
- Les ressources que nous avons mobilisées pour faire face à ces contraintes (étoile verte).
- Les stratégies que nous avons mobilisées pour faire face à ces contraintes (indiquées par les flèches oranges)

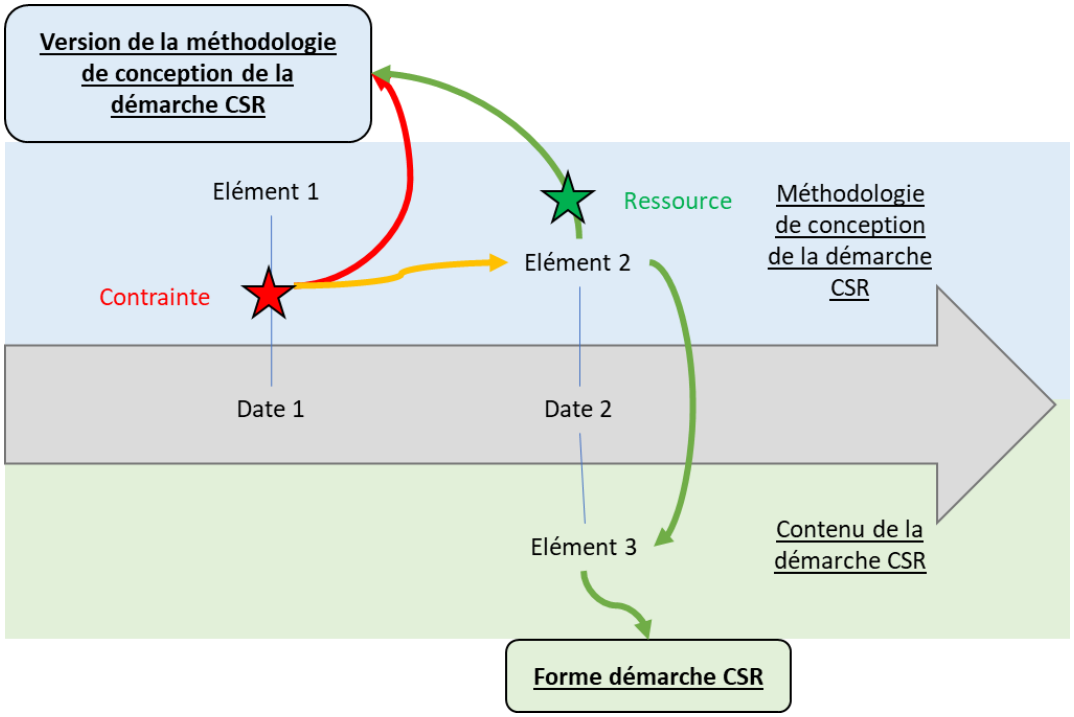


Figure 46 : Méthode de représentation du processus de conception de la démarche CSR au cours du temps

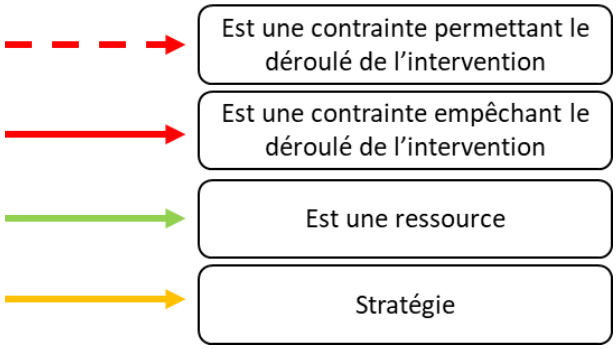


Figure 47 : Légende des flèches faisant les liens entre les éléments de l'activité

Les flèches vertes, rouges et oranges indiquent quel élément de l'activité est une contrainte/ressource ou stratégie pour quel autre élément de l'activité (voir Figure 47). Par exemple, dans la Figure 46, l'élément 1 est une contrainte empêchant la mise en œuvre de la méthodologie de la conception de la démarche. L'élément 2 est le résultat d'une stratégie cherchant à gérer la contrainte générée par l'élément 1. L'élément 2 est également une ressource pour la mise en place de la méthodologie de conception de la démarche CSR et une ressource pour impulser une modification/un enrichissement du contenu de la démarche CSR (Elément 3). Les flèches rouges représentant les contraintes peuvent être représentées en

pointillés lorsque la contrainte limite, sans empêcher complétement, la conception ou l'usage de la démarche CSR (voir Figure 47). Nous ne réalisons pas ici une analyse CSR à proprement parler car nous ne codons pas une situation à enjeux de sécurité. Nous utilisons seulement les thématiques Contraintes, Stratégies et Ressources du codage CSR pour présenter nos résultats et faire les liens entre 2 dimensions de notre activité.

7.2.2 Analyse des groupes de travail et de l'essai dans l'usage

7.2.2.1 Recueil de données

La deuxième section de résultat s'appuiera sur le traitement des retranscriptions de 8h d'enregistrements recueillis lors des groupes de travail et de l'essai de la démarche CSR dans l'usage. Quatre groupes de travail de 2h chacun et un essai de la démarche CSR dans l'usage de 2h ont été réalisés et enregistrés. Les groupes de travail sont des moments d'usage de l'analyse CSR sur des SES données par la chercheuse en dehors de problèmes de conception spécifique. Nous fournissons aux participants des récits de gestion de situations à enjeux de sécurité dans lesquels apparaissent les éléments de la situation que doit gérer le mécanicien et les stratégies qu'il mobilise. L'analyse CSR demande aux participants d'identifier dans ce récit les contraintes auxquelles fait face le mécanicien, les stratégies qu'il adopte pour les gérer et les ressources mobilisées. « L'essai dans l'usage » réfère à l'essai de la démarche CSR dans le cadre de la résolution d'un problème réel de conception, intégré dans le processus de conception. Le contenu de cet essai n'est pas contrôlé par la chercheuse mais par l'expert en maintenabilité.

Le Tableau 10 présente une synthèse des données recueillies et analysées lors de ces groupes de travail et essai dans l'usage. Le premier groupe de travail porte sur l'analyse de tâches de maintenance en utilisant la méthode Human Hazard Analysis[2]. L'analyse de ce groupe de travail n'est pas présentée dans cette section car il ne porte pas sur l'usage de la démarche CSR. Les deux groupes de travail suivants portent sur l'usage de l'analyse CSR par un groupe réunissant exclusivement des concepteurs en maintenabilité, appelé « GT 2 concepteurs » et un autre groupe réunissant deux managers de proximité supervisant une équipe de mécaniciens,

[2] Un des objectifs du GT1 était d'initier une discussion sur l'apport et les limites des analyses de risques centrées sur la tâche telles que HHA et sans participation des mécaniciens.

appelé « GT2 mécaniciens ». Le quatrième groupe de travail porte sur l'usage de l'analyse CSR par un groupe réunissant les concepteurs en maintenabilité et les managers de proximité supervisant des mécaniciens. Ce groupe de travail est appelé GT3. À la suite de ces groupes de travail, la démarche CSR a fait l'objet d'un essai dans l'usage lors d'une situation réelle de résolution de problème de conception réunissant deux concepteurs en maintenabilité dont un est un ancien mécanicien d'avion. L'analyse des données porte sur le GT2 concepteurs, le GT2 mécaniciens, le GT3 et l'essai dans l'usage. Lors des GT2 concepteurs, GT2 mécaniciens et GT3, plusieurs SES de maintenance ont fait l'objet de l'analyse CSR. Une seule SES (M3ES1, voir annexe 3) a été l'objet d'analyse dans tous les groupes de travail et permet de comparer les résultats des trois groupes de travail. Nous centrerons alors notre analyse sur les résultats émanant de l'analyse de cette SES. La discussion des résultats d'analyse des trois groupes nous permet de caractériser les apports et les limites de l'analyse CSR des SES de maintenance réalisée par un groupe exclusivement composé de concepteurs en maintenabilité, par un groupe composé exclusivement de managers de proximité encadrant des mécaniciens et par un groupe réunissant ces deux métiers.

Tableau 10 : Synthèse des données recueillies et analysées

	GT1	GT2 /concepteurs	GT2 mécaniciens	GT3	« Essai dans l'usage »
Date	27/01/22 (2h)	18/02/22 (2h)	23/03/22 (2h)	23/03/22 (2h)	17/05/22 (2h)
Participants	6 concepteurs en maintenabilité	4 concepteurs en maintenabilité	2 managers de proximité de mécaniciens	2 managers de proximité de mécaniciens + 6 concepteurs en maintenabilité	1 expert en maintenabilité et 1 concepteur en maintenabilité ancien mécanicien
Rôle de l'ergonome chercheur	Animation du GT	Animation du GT	Animation du GT	Animation du GT	Observation participante
Données analysées lors du GT	Carte de travail des tâches de maintenance réalisées dans M3ES1 + M3ES2	SES : M3ES1 + M3ES2	SES : M3ES1 + M3ES2	SES : M3ES1 + M3ES2	Problème de conception
Méthode utilisée	Analyse HHA	Analyse CSR	Analyse CSR	Analyse CSR	Démarche CSR
Corpus analysé	NON	Analyse M3ES1 soit, 16 pages de retranscription	Analyse M3ES1 soit, 16 pages de retranscription	Analyse M3ES1 soit, 31 pages de retranscription	33 pages de retranscription

7.2.2.2 Traitements

Le traitement des groupes de travail et de l'essai cherche à identifier :

- La construction, par les participants, des problèmes que posent la SES sur la base de l'analyse CSR (
    - Quelles contraintes/stratégies/ressources posent problème pour la conception ?
    - Comment les participants posent ce problème ?
- La résolution des problèmes
    - Comment les participants articulent-ils la sécurité gérée donnée à voir dans la SES à la sécurité réglée ?

Nous cherchons à caractériser l'articulation de la Sécurité Réglée et Sécurité Gérée (SR/SG) lors de la construction des problèmes et de leur résolution. Pour cela, nous identifions dans la discussion :

1) Les champs lexicaux relevant respectivement de la SG et de la SR
2) La fonction de ces moments de discussion SR/SG dans la construction des problèmes et leur résolution (par exemple, tel moment de discussion orientée « sécurité gérée » permet de reconstruire une règle, ou tel moment de discussion orientée sécurité réglée aboutit à la fermeture du débat).

Tableau 11 : Champs lexicaux de la sécurité réglée (SR) et gérée (SG) pour leur identification dans l'analyse CSR

	Champ lexical	Exemple
SR	Devoir, obligation, droit, carte de travail, norme/normalement	« C'est-à-dire que s'il n'y a pas de pièces freinées et collées par le fabricant, normalement, tu n'as pas le droit de les accoupler »
SG	« Il » (récit singulier, situé (présent), incarné (émotion)), stratégie, risque, pouvoir, essai/test/hypothèse	« Là, on avait l'option d'utiliser la rallonge. C'est l'une des stratégies qu'il essaye pour traiter le conflit, mais il arrête parce qu'il a peur. Il analyse et il a peur. Celle-là, il la stoppe : stratégie d'utilisation de la rallonge = non, danger. Après, qu'est-ce qu'il fait ? Il voit avec ses collègues et il dépose la SARIB. »

7.3 Résultats

7.3.1 Contraintes, Stratégies et Ressources dans la conception de la démarche CSR

7.3.1.1 Vue globale des évolutions de la méthodologie de conception de la démarche CSR et de son contenu

Cette première section de résultats présente les contraintes auxquelles nous avons fait face pour la mise en place de la méthodologie visant la conception de la démarche CSR, ainsi que les stratégies et ressources mobilisées pour les gérer. Nous présenterons ici les liens existants entre l'évolution de la méthodologie et le contenu de la démarche. Les Figure 48 et Figure 49 présentent sous forme de frise chronologique l'évolution conjointe de la méthodologie de la conception de la démarche CSR et du contenu de cette démarche. Ces figures seront détaillées dans la suite des résultats.

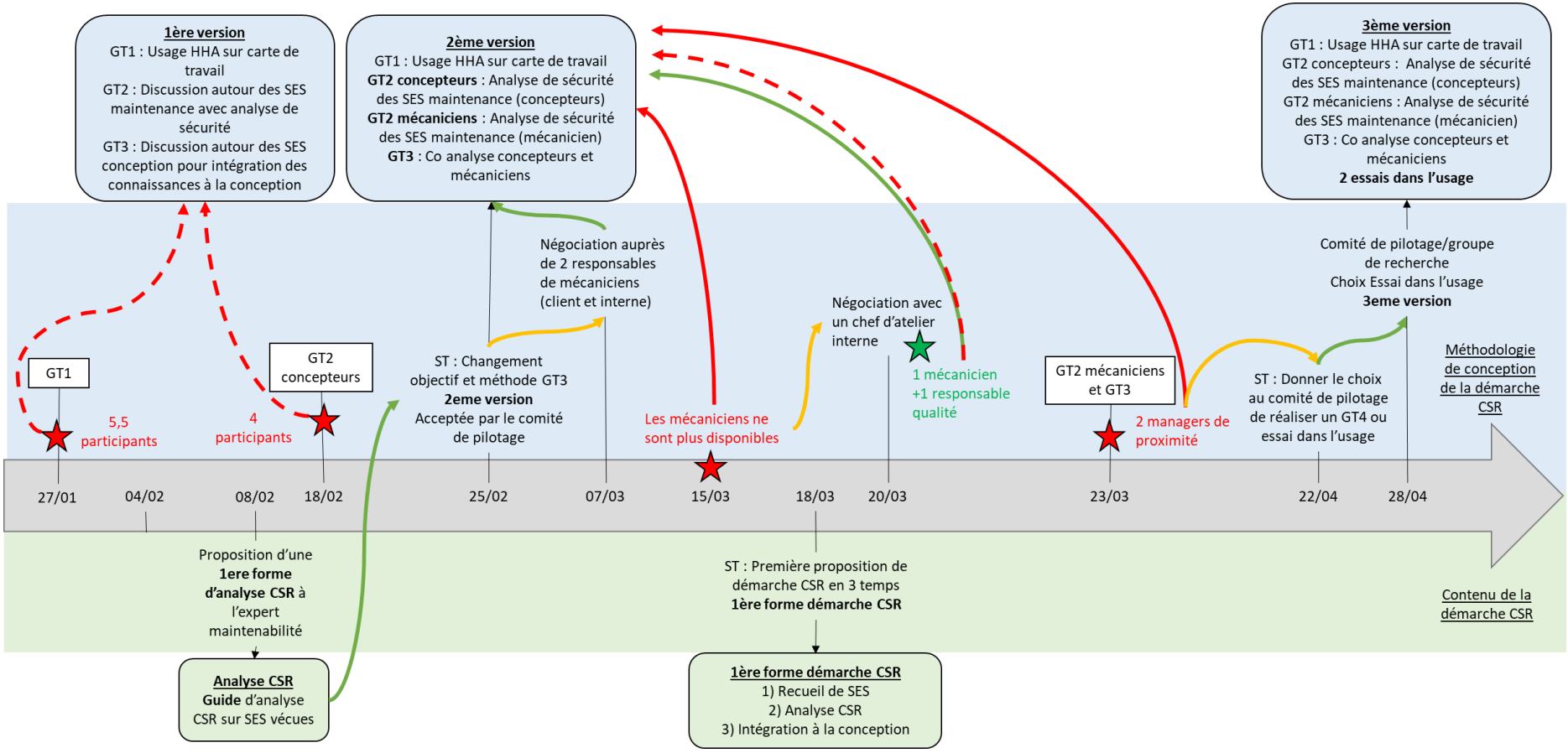


Figure 48 : Déroulé chronologique de la conception de la démarche CSR du 27 janvier 2022 au 28 avril 2022 (GT = Groupe de travail ; ST= Suivi de thèse)

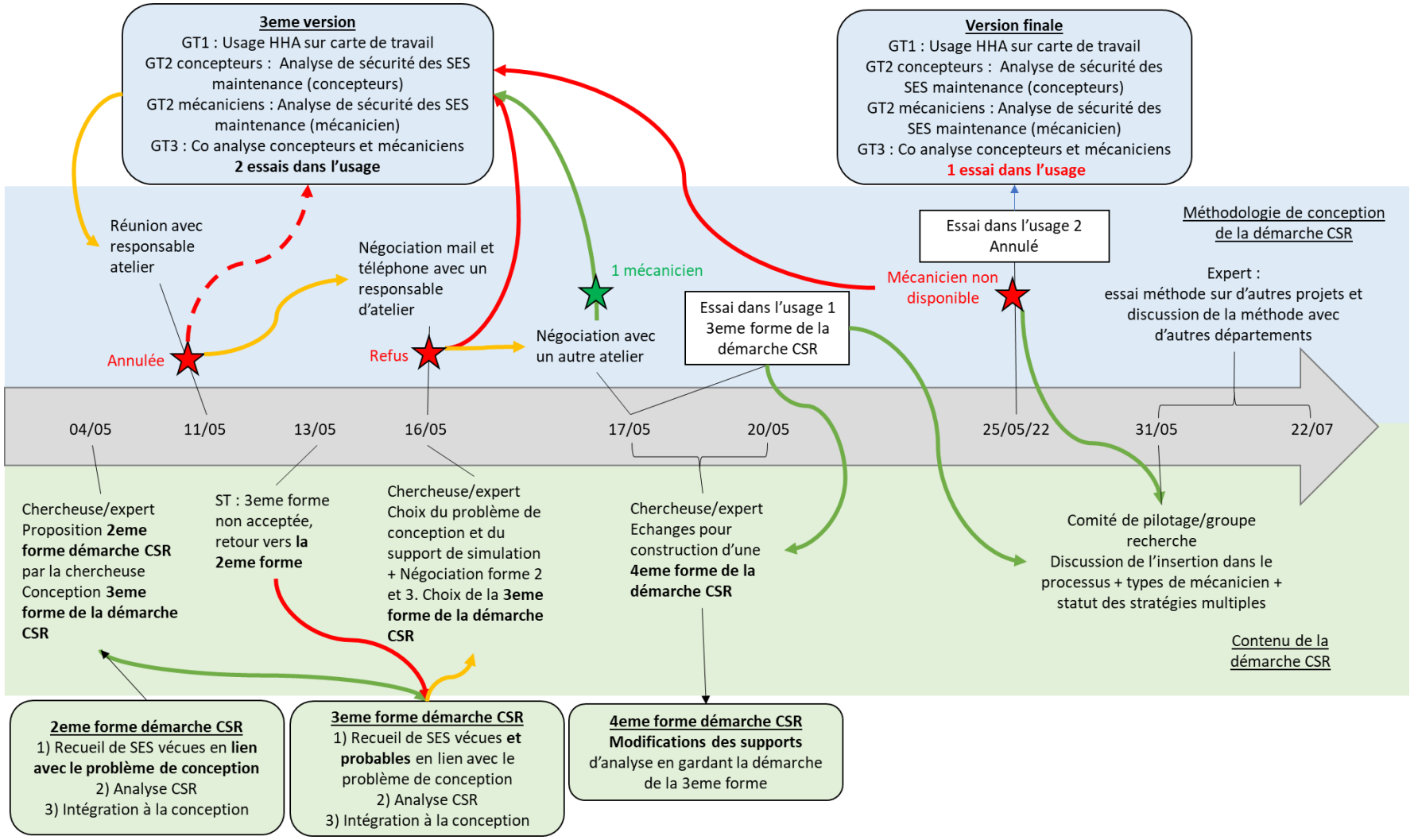


Figure 49 : Déroulé chronologique de la conception de la démarche CSR du 4 mai 2022 au 22 juillet 2022 (GT = Groupe de travail ; ST= Suivi de thèse)

Ces deux figures nous serviront de base pour présenter les résultats. Dans les sections de résultat suivantes nous présentons tout d'abord la forme finale de la démarche CSR, résultat de sa méthodologie de conception. Nous mettrons ensuite en évidence les deux principales contraintes qui ont limité la mise en œuvre de la méthodologie de conception de la démarche CSR et qui ont influencé son évolution ; la contrainte de non-disponibilité des concepteurs et de non-disponibilité des mécaniciens. Nous décrirons en quoi ces contraintes nous ont amené à faire évoluer la méthodologie de conception de la démarche CSR. En effet, la méthodologie de conception de la démarche CSR est passée par 3 versions distinctes avant de prendre sa version finale. Nous décrirons ensuite les évolutions de la forme de la démarche CSR au cours de ce processus de conception.

7.3.1.1 La démarche CSR dans le processus de conception

La démarche CSR vise à permettre aux concepteurs et aux mécaniciens de définir ensemble des exigences de conception de la maintenance qui permettent aux mécaniciens d'agir en sécurité face à des situations de travail variables. La démarche CSR doit être réalisée par un binôme réunissant un mécanicien et un concepteur en maintenabilité. La démarche se réalise à l'aide de supports visuels tels que la réalité virtuelle, des plans, l'hélicoptère.

La démarche CSR dans sa forme finale contient 3 étapes. Le détail de la méthode est présenté en annexe 7.

La première étape est une étape de recueil de SES vécues par le mécanicien en lien avec la question de conception posée. Après discussion de cette étape avec un expert en maintenabilité (04/05, Figure 49), il a été ajouté un recueil de SES probables. Le recueil de SES vécues et probables se réalise d'un guide de recueil de SES. Il est composé de questions à destination du mécanicien et d'une la grille de codage CSR adaptée. Ce guide doit alors servir à questionner le mécanicien sur la probabilité d'apparition des contraintes et sur sa capacité à utiliser les stratégies possibles pour gérer ces contraintes. A la demande du concepteur en maintenabilité, l'ajout de la recherche des SES probables doit être un moyen de ne pas se restreindre au vécu du mécanicien, non exhaustif, mais d'utiliser l'expérience du mécanicien et du concepteur pour l'identification d'autres SES à prendre en compte dans la conception. La recherche de SES probables permet également aux concepteurs de ne pas devoir obtenir la disponibilité de plusieurs mécaniciens pour accéder à un vaste panel de SES.

La deuxième étape consiste à repérer dans le récit de la SES de maintenance les contraintes, stratégies et ressources en les surlignant de différentes couleurs puis en reconstruisant la SES à l'aide de post-it de couleurs correspondantes. La reconstruction des SES par les post-it a pour objectif d'amener les concepteurs à faire les liens entre les éléments de la situation de travail qu'ils considèrent comme des contraintes et des ressources et ce qu'ils comprennent des stratégies de d'adaptation du mécanicien.

La troisième étape consiste à juger l'acceptabilité des stratégies identifiées selon le concepteur et le mécanicien du point de vue de la sécurité et de la performance. Les participants cherchent alors des moyens de favoriser les stratégies acceptables à travers la conception des procédures et du design et à empêcher la mise en œuvre des stratégies jugées inacceptables.

7.3.1.2 Evolution de la méthodologie de conception de la démarche CSR face aux contraintes de disponibilité des concepteurs et aux résultats des GT1 et GT2 concepteurs (du 27/01 au 25/02, Figure 48)

La première version de méthodologie de conception de la démarche CSR (du 27/01 au 25/02, Figure 48)

La première version de la méthode de conception de la démarche CSR est constituée de 3 groupes de travail réunissant 6 concepteurs en maintenabilité (voir Figure 48). Cette première version est la méthodologie que nous souhaitions mettre en œuvre jusqu'au 25 février 2022, soit lors de la réalisation des groupes de travail 1 (GT1) et 2 (GT2). L'intervention débute par des simulations d'analyses HHA autour de cartes de travail lors du GT1. L'objectif du GT1 est d'introduire auprès des concepteurs en maintenabilité les tâches de maintenance qu'ils analyseront lors du GT2 et d'initier une discussion sur l'apport et les limites des analyses de risques centrées sur la tâche et sans participation des mécaniciens. Lors du GT2, les concepteurs en maintenabilité sont amenés à réaliser une analyse de SES de maintenance centrée sur une analyse de la sécurité et non des risques. L'idée de réaliser une analyse de la sécurité donnera naissance à l'analyse CSR. Cette première version de méthodologie prévoyait un groupe de travail 3 (GT3) intégrant les connaissances acquises lors des 2 premiers groupes de travail au processus de conception à travers la mise en discussion des SES de conception.

GT1, Première contrainte de disponibilité des concepteurs (27/01, Figure 48)

Le groupe de travail 1 ne s'est pas déroulé comme prévu dans la première version de la méthodologie. En effet, un des participants a dû quitter le groupe de travail avant la mise en commun car il avait une autre réunion prioritaire. C'est pourquoi nous avons indiqué sur la Figure 48 la présence de 5,5 participants. Son départ prématuré est considéré comme une contrainte. Cependant, bien qu'il n'ait pas pu participer à toutes les analyses collectives du groupe 1, son absence n'empêchait pas l'organisation du groupe de travail. Nous ne rentrerons pas dans le détail concernant ce premier groupe de travail. Les résultats de ce chapitre se focalisent sur les contraintes survenues ensuite empêchant la mise en place d'une démarche de conception réunissant concepteurs et mécaniciens.

Groupe de travail 2 auprès des concepteurs en maintenabitlié, confirmation de la contrainte de non-disponibilité des concepteurs (18/02, Figure 48))

Le groupe de travail 2 réunissant les concepteurs en maintenabilité s'insère dans le déroulement de la 1ère version de la méthodologie de conception de la démarche CSR. Le déroulé prévu détaillé du groupe de travail 2 réunissant les concepteurs est donné en annexe 8. Ce groupe de travail a pour objectifs de :

- Faire un premier essai de l'analyse CSR auprès des concepteurs en maintenabilité ;
- Organiser un débat sur l'écart entre SR/SG basée sur l'analyse des SES de maintenance ;
- Débuter une réflexion sur l'impact dans le travail des concepteurs de voir l'écart SR/SG comme une ressource pour les mécaniciens pour agir en sécurité.

Ce groupe de travail prévoit la réalisation de l'analyse CSR par deux trinômes. Un trinôme est constitué des concepteurs en maintenabilité considérés comme experts dans le service de maintenabilité (l'architecte, l'expert en maintenabilité et le spécialiste facteur humain). L'autre trinôme est constitué des trois System Design Responsible en maintenabilité (SDR, c'est-à-dire des ingénieurs spécialistes en maintenabilité). Chaque trinôme est assigné à l'analyse CSR d'une SES. Un temps de mise en commun permet ensuite aux deux trinômes de discuter de chaque analyse. Cette séparation par fonction a ainsi pour objectif de comparer les analyses des deux groupes et d'identifier un éventuel écart de modèle de la sécurité entre les fonctions au sein du bureau d'études de maintenance. Cependant, deux participants ayant une fonction d'experts (l'expert en maintenabilité et le Spécialiste Facteur Humain) n'ont pas pu participer au groupe de travail 2 car une réunion prioritaire s'est ajoutée deux jours avant. Le changement d'emploi du temps de ces deux participants est alors pour nous une contrainte entrant en conflit avec notre stratégie de conduite du groupe de travail en deux trinômes. Notre stratégie a alors été de transformer les trinômes par un binôme de System Design Responsibles en

maintenabilité et un binôme réunissant un SDR et l'architecte, même si cela supprimait la possibilité de réaliser une comparaison entre les analyses réalisées par un groupe de SDR et un groupe d'experts. Après le groupe de travail, nous avons partagé les supports d'analyse avec les deux personnes n'ayant pas pu participer et nous leur avons demandé de réaliser l'exercice sur leur temps de travail afin qu'ils aient les mêmes informations que les autres participants au groupe de travail 3. La contrainte de non-disponibilité de ces deux participants n'a pas empêché l'atteinte des objectifs principaux du groupe de travail, c'est pourquoi elle est indiquée en pointillés dans la Figure 48.

Changement d'objectif et de version de méthodologie suite aux 2 premiers GT (25/02, Figure 48)

Une première analyse des résultats du groupe de travail 2 réunissant les concepteurs en maintenabilité (cf. § 7.3.2) nous a amené à modifier les objectifs du groupe de travail 3. Cette première analyse mettait en avant le fait que, même si les concepteurs en maintenabilité discutaient des stratégies réalisées par les mécaniciens au cours des SES, ils considéraient toujours l'écart entre SR/SG comme un risque inacceptable. Notre objectif était de les amener à faire évoluer cette vision de l'écart pour qu'ils puissent le considérer comme une source de sécurité. La mise en discussion des SES de maintenance auprès d'un groupe composé entièrement de concepteurs n'a pas permis cela. Nous avons donc choisi de ne pas faire le groupe de travail centré sur la discussion des SES de conception mais de favoriser la mise en discussion de l'écart entre SR/SG, non seulement entre les concepteurs, mais entre les concepteurs et les mécaniciens. La 2ème version de la méthodologie (voir Figure 48) modifie alors l'objectif et le contenu du groupe de travail 3 pour en faire un espace de co-analyse entre concepteurs en maintenabilité et mécanicien de SES de maintenance en utilisant l'analyse CSR.

La nouvelle version du GT3 nécessite la réalisation d'un groupe de travail préliminaire réunissant les mécaniciens participants au groupe de travail 3 pour permettre aux mécaniciens de prendre connaissances des SES et d'en faire leur propre analyse. Nous l'appelons le groupe de travail 2 mécaniciens. Le groupe de travail 2 mécaniciens suit la même méthodologie d'analyse des mêmes SES de maintenance que le groupe de travail 2 des concepteurs. Le détail du déroulé du GT2 mécaniciens est présenté en annexe 9 et celui du GT3 en annexe 10. Ce groupe de travail a pour objectifs de :

- Présenter l'analyse CSR aux mécaniciens ;

- Amener les mécaniciens à discuter des pratiques d'adaptation des procédures (compromis microcentrés du mécanicien) pour agir en sécurité sans la présence des concepteurs en maintenabilité ;
- Expliquer et discuter des attendus pour le groupe de travail 3 ;
- Pouvoir confronter les résultats des analyses CSR des concepteurs en maintenabilité à celles des mécaniciens.

Il nous était alors nécessaire de trouver des mécaniciens volontaires et disponibles pour y participer. L'objectif initial était de réunir un mécanicien volontaire interne à l'entreprise et le mécanicien ayant raconté les SES de maintenance analysées lors des groupes de travail 1 et 2 des concepteurs. Ce mécanicien est salarié d'Airbus et travaille chez un client de l'entreprise. Ce groupe de travail aurait été une auto-confrontation croisée (c'est-à-dire la confrontation de traces de l'activité d'un travailleur auprès de ce même travailleur et d'une autre personne) cadrée par l'analyse CSR. Ce binôme aurait ensuite participé au groupe de travail 3 le même jour pour confronter leur propre analyse et vision de la sécurité en action à celle des concepteurs en maintenabilité. La présence du mécanicien ayant raconté les SES dans ces groupes de travail est motivée par la compréhension du travail réel qu'il peut apporter aux concepteurs. La présence du deuxième mécanicien travaillant pour un atelier de maintenance de l'entreprise, est motivée par l'objectif de la création de liens plus facilement reproductibles suite à ces groupes de travail entre mécaniciens internes à l'entreprise et concepteurs, ce qui est matériellement plus difficile avec un mécanicien travaillant pour un client.

7.3.1.3 Contraintes de non-disponibilité des mécaniciens empêchant l'atteinte du nouvel objectif (du 15/03 au 23/03, Figure 48)

Le GT2 mécaniciens et le GT3 n'ont pas pu avoir lieu comme nous le souhaitions en raison d'une contrainte de non-disponibilité des mécaniciens issue de contraintes organisationnelles d'imprévisibilité de la maintenance, de division du travail et de modèles de la sécurité de la hiérarchie des ateliers impactant la mise en disponibilité des mécaniciens volontaires (voir Figure 48). Dans cette section nous présenterons la stratégie que nous avons mobilisée pour les gérer, c'est-à-dire une modification de version de la méthodologie de conception de la démarche CSR. Nous présenterons ensuite les autres contraintes organisationnelles nous ayant empêchés de mettre en place la méthodologie de conception de la démarche CSR prévue ; des contraintes issues du manque d'institutionnalisation de la collaboration entre atelier et bureau d'études et des contraintes liées à la gestion des effectifs en atelier.

Imprévisibilité de la maintenance

La participation de deux mécaniciens a été autorisée 2 semaines avant le GT2 mécaniciens et le GT3 par leurs responsables respectifs à une date donnée (07/03, Figure 48), sur une même journée, car la charge de travail estimée à ce moment par les responsables le permettait. En effet, le mécanicien travaillant chez le client est à plusieurs heures de route de l'entreprise. Cet éloignement est une contrainte tant pour le mécanicien qui devra faire le trajet, pour l'organisation de l'atelier du client qui perdra un mécanicien pendant une journée entière et pour le service de maintenabilité qui devra financer la mise en disponibilité du mécanicien et les frais de déplacement. Un compromis a alors été construit entre la chercheuse, le responsable du mécanicien participant, le mécanicien et la hiérarchie du service de maintenabilité qui a conduit à organiser le groupe de travail 2 auprès des mécaniciens le même jour que le groupe de travail 3 les réunissant avec les concepteurs en maintenabilité. Ceci permettait la réalisation par le mécanicien travaillant chez le client d'un seul aller-retour au lieu de deux, donc de l'absence d'un seul jour et non deux, condition d'accord du responsable. L'atelier du mécanicien travaillant dans l'entreprise est situé sur le même site géographique que les bureaux des concepteurs en maintenabilité. Le trajet n'est donc pas ici une contrainte et n'extrait pas le mécanicien de l'atelier pour toute la journée. La faible charge de travail estimée, la possibilité de financer la mise en disponibilité du mécanicien travaillant chez le client, la volonté de ce mécanicien à participer aux groupes de travail et la proximité des ateliers de maintenance internes ont été des ressources permettant la mise en disponibilité des mécaniciens pour les groupes de travail.

Cependant, une semaine avant la date convenue (15/03, Figure 48), l'atelier du client dans lequel travaille le mécanicien ayant raconté les SES de maintenance a pris connaissance de l'arrivée précoce d'un hélicoptère pour une visite de maintenance. La charge de travail de l'atelier du client allait alors être supérieure à ce qui avait été estimé lors du choix de la date. De plus, le mécanicien interne à l'entreprise ne pouvait plus se rendre disponible pour des raisons personnelles. Nous étions alors face à une contrainte de non-disponibilité des mécaniciens occasionnée par la contrainte organisationnelle chez le client du manque de visibilité de la charge de travail et à des contraintes d'ordre personnelles d'un des mécaniciens. De plus, nous avions déjà réservé la date et le créneau horaire auprès des concepteurs en maintenabilité, date pour laquelle certains participants avaient dû annuler d'autres réunions. Repousser la réunion aurait reporté le groupe de travail à une date ultérieure inconnue du fait

du manque de visibilité de la charge de travail dans les ateliers et aux emplois du temps remplis des concepteurs en maintenabilité.

Modèle de la sécurité de la hiérarchie de l'atelier et division du travail

Notre stratégie de gestion de ces contraintes a été d'entrer en négociation avec le responsable d'un atelier interne à l'entreprise ayant déjà accepté de mettre à disposition le mécanicien interne (20/03, Figure 48). Nous lui avons alors demandé de permettre à deux mécaniciens de son atelier de participer aux groupes de travail. Le responsable a accepté de mettre à disposition deux personnes pour le groupe de travail et a proposé d'y participer accompagné d'un mécanicien. La participation du responsable à des groupes de travail discutant des adaptations des procédures, considérées par l'organisation comme étant des violations à combattre, ne nous semblait pas souhaitable. Nous avons alors mis en avant la nécessité d'avoir un espace dans lequel les mécaniciens puissent le plus librement possible exposer leur point de vue, ce que la présence d'un responsable compromettrait. Le responsable a ensuite discuté du contenu des groupes de travail et questionné la nécessité de la participation des mécaniciens pour organiser un espace d'apprentissage mutuel entre membres des ateliers et les concepteurs. Selon lui, nous ne pourrions pas trouver de mécaniciens parlant de déviation ou d'adaptation des procédures. De plus, la conception pour la sécurité ne devrait selon lui pas s'orienter sur ces adaptations mais sur la création de procédures de maintenance applicables et appliquées. Sa propre stratégie a été d'accepter de ne pas participer lui-même aux groupes de travail, comprenant l'argument de la nécessité d'un espace de discussion non contraint par les relations hiérarchiques, mais de proposer de mettre à disposition un ancien mécanicien aujourd'hui responsable qualité qui « *pense comme lui* ». Par cette proposition, son objectif de transmettre un message correspondant à sa propre vision de la sécurité pouvait encore être atteint. La mise à disposition d'un mécanicien était conditionnée à notre acceptation de la participation du responsable qualité. Cette négociation a pour résultat un compromis macrocentré dans lequel nous avons accepté la participation du responsable qualité car la présence d'au moins un mécanicien nous semblait indispensable pour réaliser les groupes de travail prévus dans la 3ème version de la méthodologie. De plus, le responsable qualité n'a pas de position hiérarchique officielle sur les mécaniciens et il était un ancien mécanicien. Nous considérions la présence du mécanicien comme une ressource et la présence du responsable qualité comme une contrainte limitant l'atteinte des objectifs des groupes de travail prévus pouvant potentiellement devenir une ressource au vu de son passé de mécanicien.

Le jour du groupe de travail (23/03, Figure 48), le responsable qualité et un « leader » mécanicien, c'est-à-dire deux managers de proximité, ont été libérés pour participer. Le leader mécanicien est un mécanicien travaillant dans l'atelier de maintenance de l'entreprise mais ayant des fonctions de manager de proximité auprès des mécaniciens. Le chef d'atelier a libéré un leader mécanicien car la participation aux réunions hors ateliers concernant les mécaniciens fait partie de leurs rôles. La division du travail instaurée par l'organisation a participé à sa mise en disponibilité plutôt qu'un mécanicien. Ce choix de participant n'a pas été discuté entre la chercheuse et le chef d'atelier. La participation de deux managers de proximité est considérée alors par la chercheuse comme une contrainte entrant en conflit avec les objectifs du groupe des groupes de travail 2 des mécaniciens et 3. Deux possibilités s'offraient à la chercheuse, soit annuler les groupes de travail du jour, soit les réaliser avec le responsable qualité et le leader mécanicien. Nous avons décidé de ne pas annuler ces groupes de travail pour les mêmes raisons que lorsque nous avions appris la non-disponibilité des mécaniciens initialement prévus. Cette décision est le résultat d'un compromis microcentré construit par la chercheuse.

Le groupe de travail 3 devant réunir des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens n'a donc pas pu avoir lieu comme prévu dans la 2ème version de la méthodologie de conception de la démarche CSR.

Nouveau changement de version de la méthodologie pour gérer la contrainte de non-disponibilité des concepteurs et des mécaniciens (28/04, Figure 48)

Notre stratégie de gestion de cette contrainte de non-disponibilité des mécaniciens pour le groupe de travail 3 a été de proposer au comité de pilotage de l'entreprise deux possibilités (28/04, Figure 48) :

- Réaliser un 4-ème groupe de travail suivant la méthodologie prévue initialement au risque de faire face aux mêmes contraintes de non-disponibilité des participants ;
- Réaliser des essais de la démarche CSR lors de résolution de problèmes de conception réels ne demandant la participation que d'un concepteur et un mécanicien par analyse.

Le comité de pilotage a décidé de tester la démarche CSR dans l'usage lors d'analyses réelles de maintenabilité visant un changement de conception (voir Figure 48). Cette option suppose la mise en disponibilité d'un moins grand nombre de concepteurs (1 seul pour une analyse) et donc une plus grande souplesse dans les choix des dates d'analyses mobilisant un mécanicien. L'organisation de ces essais a fait l'objet de négociations entre l'équipe de recherche et le comité de pilotage. Nous souhaitions réaliser au moins un essai réunissant un mécanicien et un

concepteur en maintenabilité réalisant la démarche CSR. Au vu des difficultés à mobiliser un mécanicien des ateliers pour participer aux groupes de travail, les concepteurs en maintenabilité ont proposé d'organiser en premier lieu un essai regroupant un concepteur en maintenabilité et un autre concepteur en maintenabilité anciennement mécanicien d'avion. Les contraintes de mise en disponibilité des deux concepteurs dans le même temps sont moindres que pour la mise en disponibilité d'un mécanicien des ateliers. En effet, ils peuvent tous les deux contrôler leur emploi du temps et bloquer un temps dédié. Un expert en maintenabilité membre du comité de pilotage propose de réaliser lui-même l'essai avec la participation de cet ancien mécanicien d'avion. Cet ancien mécanicien est arrivé quelques mois avant dans le service de maintenabilité et a eu l'occasion de réaliser des analyses sur l'hélicoptère visé par les projets de conception portés par l'expert. Le concepteur en maintenabilité recommandant sa participation pense alors que l'ancien mécanicien sera capable d'utiliser son expérience de mécanicien d'avion sur l'hélicoptère. Pour nous, l'organisation rapide d'un essai était une ressource pour le développement de la démarche CSR mais cette proposition ne correspondait pas à la méthodologie prévue de co-conception entre un concepteur en maintenabilité et un mécanicien d'hélicoptère pouvant raconter des SES de maintenance. Le besoin opérationnel d'un premier essai de la démarche CSR assuré et le fait que le participant soit tout de même un mécanicien aéronautique nous a cependant amené à accepter ce compromis. Nous avons accepté ce compromis car nous avions pour ambition de réaliser un deuxième essai, plus long à organiser mais correspondant à la méthodologie initialement pensée réunissant un concepteur en maintenabilité et un mécanicien d'hélicoptère des ateliers de l'entreprise. La 3ème version de la méthodologie contient donc 2 essais dans l'usage de la démarche CSR (voir Figure 48 et Figure 49).

Confirmation de la non-disponibilité des mécaniciens liée au manque d'institutionnalisation de la collaboration entre atelier et bureau d'études (16/05, Figure 49)

Afin d'organiser l'essai réunissant un concepteur et un mécanicien, nous sommes entrés en processus de négociations avec le responsable d'atelier ayant déjà accepté de mettre à disposition les managers de proximité un mois et demi avant (du 11/05 au 16/05, Figure 49). Avec l'appui de l'expert en maintenabilité membre du comité de pilotage nous avons organisé une réunion de retour sur le groupe de travail 3 et de discussion de la continuité du projet avec l'atelier, notamment par l'organisation de l'essai de la démarche CSR dans l'usage. Cette

réunion devait également débuter une discussion pour l'organisation pérenne de la collaboration entre l'atelier et le département de maintenabilité. Une contrainte de disponibilité du chef d'atelier l'a amené à annuler cette réunion. Nous étions face à une contrainte temporelle imposant que cet essai se réalise dans les trois semaines. Pour cela, nous ne pouvions pas organiser une nouvelle réunion et nous avons envoyé par courriel au chef d'atelier la synthèse de l'objet de la réunion en demandant la mise en disponibilité d'un mécanicien. La négociation s'est alors faite cinq jours plus tard au téléphone entre le responsable d'atelier et la chercheuse (16/05, Figure 49). Notre demande a été rejetée pour trois raisons :

- L'absence d'objectifs de participation aux projets de conception des bureaux d'études et de budgets dédiés. Mettre à disposition un mécanicien régulièrement entre en conflit avec l'atteinte des objectifs existants de performance.
- Le découpage de l'organisation en programmes. Pour rappel (cf. § 1.2.3), le développement des hélicoptères est organisé par des services programmes spécialisés par type d'hélicoptère. Le projet de conception que nous proposions d'analyser avec un des mécaniciens de cet atelier concernait le développement d'un système technique sur un autre type d'hélicoptère que celui pris en charge par l'atelier. Nous avions choisi de demander la mise en disponibilité d'un mécanicien venant de cet atelier car ces hélicoptères sont équipés du même système technique que celui en conception. Un mécanicien de cet atelier aurait pu évoquer des SES en lien avec ce système technique même s'il est installé sur un autre type d'hélicoptère. Cependant, le service géré par le responsable d'atelier n'est pas financé par le programme concerné par le problème de conception. La division de l'organisation en programmes est une contrainte en l'absence de budget dédié ; ce qui conforte le responsable d'atelier dans son refus.
- Le manque de certification des mécaniciens sur les hélicoptères concernés par le problème de conception. Il est nécessaire pour un mécanicien d'avoir la qualification (dans le sens certification) adaptée au type d'hélicoptère sur lequel il travaille. Selon le responsable d'atelier, les mécaniciens de l'atelier ne sont pas qualifiés sur l'hélicoptère concerné par le problème de conception. Ils ne peuvent alors selon lui conseiller le bureau d'études dans sa conception.

Confirmation de la non-disponibilité des mécaniciens liée à la gestion des effectifs en atelier (17/05 au 25/05, Figure 49)

A l'aide du concepteur en maintenabilité volontaire pour réaliser l'essai dans l'usage, nous avons cependant trouvé un mécanicien travaillant pour un autre atelier qui avait eu l'occasion

de travailler sur une première version du système en cours de conception sur un appareil prototype (17/05, Figure 49). À la suite d'une négociation sous forme d'échange de courriel avec le mécanicien et sa hiérarchie, une date a été trouvée pour la réalisation de l'essai. Cependant, nous avons dû annuler l'essai dans l'usage de la démarche CSR le jour même car le mécanicien ayant accepté de participer n'était plus disponible (25/05, Figure 49). Un autre mécanicien du même atelier travaillant en soirée était absent pour la semaine pour cause familiale. La hiérarchie du mécanicien devant participer à l'essai lui a demandé de le remplacer. La fin du contrat de thèse deux semaines plus tard ne nous a pas permis de trouver une nouvelle date pour l'essai qui a dû être abandonné.

La version finale de la méthodologie de conception de la démarche CSR ne contient alors qu'un essai dans l'usage entre deux concepteurs en maintenabilité dont un ancien mécanicien.

7.3.2 La démarche CSR permet elle l'articulation SR/SG ?

Cette section de résultats a pour objectif de décrire ce qu'ont pu apporter les groupes de travail et l'essai de la démarche CSR dans l'usage à la construction d'une démarche de conception participative articulant SR/SG ainsi que ses limites. Nous montrerons dans un premier temps que l'analyse CSR de SES de maintenance favorise une articulation entre sécurité réglée et sécurité gérée visant la réduction voire la suppression de l'écart SR/SG. Au cours de la conception de la démarche CSR, nous avons fait évoluer cette analyse CSR pour concevoir la démarche CSR adaptée au processus de conception. Nous décrirons dans une deuxième section les apports et limite de la démarche CSR insérée dans le processus de conception.

7.3.2.1 L'analyse CSR de SES entre concepteurs de maintenabilité et managers de proximité de mécanicien – Articulation de la SRSG pour la suppression de l'écart

Dans les groupes de travail 2 et 3, les concepteurs en maintenabilité et les managers de proximité ont eu pour consigne de réaliser une analyse CSR de la SES M3ES1. Cette analyse n'a pas encore la forme de la démarche CSR adaptée au processus de conception (cf. §7.3.1). Dans la SES M3ES1, le mécanicien a pour tâche de resserrer un axe d'une pièce critique. Le mécanicien considère que l'accessibilité de cet axe est mauvaise et qu'il risque d'abimer des éléments sensibles en essayant de passer par le chemin prescrit lui demandant de passer par le haut. Après en avoir discuté avec d'autres mécaniciens, il choisit alors de déposer un élément (la membrane) étant sous l'axe et de réaliser le resserrage par en dessous.

Le Tableau 12 montre que les concepteurs et les managers de mécaniciens identifient comme étant des problèmes les mêmes stratégies identifiées dans le récit de la SES. Ces problèmes se construisent par des questionnements sur les stratégies, les contraintes et les ressources du mécanicien racontant la SES et sur des jugements d'acceptabilité des stratégies. Tous les problèmes (sauf un, celui concernant le collectif de maintenance) sont ensuite rediscutés dans le GT3. Le détail des questionnements liés à chaque problème sont donnés dans l'annexe 11.

Tableau 12 : Comparaison des problèmes et résolutions de problèmes des SES dans les GT2 concepteurs, GT2 managers de mécaniciens et GT3

GT2 concepteurs		GT2managers de mécaniciens		GT3	
Problèmes	Résolution	Problèmes	Résolution	Problèmes	Résolution
Est-ce que l'accessibilité est mauvaise ?	Déposer des éléments gênant l'accessibilité	Est-ce que l'accès est un problème ?	Se faire couvrir par le BE	Qu'est ce qui est le plus simple à faire pour accéder à l'axe ?	Dépose de cloison par feu
			Il est possible de protéger l'environnement		Détailler la carte
Est-ce que l'utilisation de la rallonge aurait vraiment abimé les alentours ?	Propose un autre outillage		Défaire la cloison par feu		
			Déposer des éléments gênant l'accessibilité		
Est-il acceptable d'utiliser la SARIB comme trappe d'accès	Modification de carte de travail + changements de design préférable	Est-ce que la dépose de la SARIB est un gain ?	Défaire la cloison par feu	Est-il acceptable d'utiliser la SARIB comme trappe d'accès	Supprimer certaines opérations de la procédure par changement de design
Les mécaniciens savent-ils si une pièce est critique ou non ?	Modification de carte de travail + changements de design préférable	Le jugement d'accessibilité et de criticité est subjectif	Doit appeler des mécaniciens plus expérimentés	Est-ce que le mécanicien peut juger de la criticité des pièces et de l'accès ?	Indiquer la criticité d'une pièce (pas résolu)
			Doit appeler des mécaniciens plus expérimentés et la hiérarchie		
L'appel au collègue est-il une ressource ?	Appeler support client	Est-ce que le collectif est ressource ?	Doit appeler des mécaniciens plus expérimentés		
			Doit appeler la hiérarchie		
	Appeler support client		Doit appeler la hiérarchie		Suivre la règle

Est-ce que le temps pris pour la dépose de la SARIB est justifié et acceptable ?		Le temps pris n'est pas acceptable		Est-ce que le temps pris pour la dépose de la SARIB est justifié et acceptable ?	Indiquer un ordre de grandeur de la durée d'une tâche

Articulation SR/SG dans la construction des problèmes de la SES-Jugement d'acceptabilité de l'écart SR/SG

Les concepteurs et les managers de mécaniciens identifient les mêmes stratégies réalisées par le mécanicien comme étant des problèmes mais la construction des problèmes peut diverger. Par exemple, la stratégie de dépose de la membrane mobilisée par le mécanicien lors de la SES de maintenance a questionné dans les deux groupes le fait que le mécanicien ait réalisé un diagnostic de la criticité de la membrane. Selon le mécanicien racontant la SES, déposer la membrane est moins risqué que réaliser la tâche de resserrage d'axe proche de pièces qu'il juge critique (c'est-à-dire ne supportant aucun choc ou dommage). Les groupes de concepteurs et de managers de mécaniciens en déduisent que le mécanicien juge la membrane comme étant une pièce non critique. Le Tableau 13 indique la manière dont chaque groupe de travail problématise cette stratégie de pose de diagnostic, les questions et les réponses apportées au cours de leurs discussions.

Tableau 13 : Exemple de construction des problèmes et des réponses apportées concernant une même stratégie lors des GT2 concepteurs, GT2 managers de mécaniciens et GT3.

Problème concepteurs (GT2 concepteurs)	
Les mécaniciens savent-ils si une pièce est critique ou non ?	Non, ils n'ont pas les informations dans la carte
	Oui, ils ont des compétences, font des formations
Problème managers mécaniciens (GT2 mécaniciens)	
Le jugement de criticité est-il objectif et juste ?	Non : Manque d'expérience
	Est-ce que c'est la première fois qu'il fait la tâche ?
	Non : Ce n'est pas le rôle d'un jeune mécanicien de juger de la criticité d'une pièce ou d'une accessibilité
Problème Concepteurs + managers mécanicien (GT3)	
Est-ce que le mécanicien peut juger de la criticité des pièces et de l'accès ?	Est-ce que le mécanicien lit la carte ?
	Non : manque d'expérience
	Est-ce qu'indiquer la criticité dans les cartes de travail est une ressource ?

Nous remarquons que la construction du problème que pose ce diagnostic est partiellement commune aux trois groupes de travail car les mêmes contraintes et stratégies sont la source du problème posé mais le problème n'est pas formulé de la même manière. Le groupe de travail 2 réunissant les concepteurs juge la membrane comme pièce critique. Les participants se demandent si le mécanicien avait la connaissance de la criticité de cette pièce avant de faire le choix de la déposer. Au cours de la discussion, les avis divergent, certains concepteurs considérant que puisque l'information n'est pas indiquée dans la carte de travail, le mécanicien

n’est probablement pas au courant et a dévié du prescrit sans avoir conscience des risques encourus. D’autres considèrent que les mécaniciens ont une formation et une expérience leur permettant de connaitre la criticité de la pièce aéronautique et donc de dévier de la procédure en maîtrisant les risques. Lors des discussions, la première position s’est imposée. Le groupe de travail réunissant les managers de mécaniciens pose la question de l’objectivité et de la justesse du diagnostic. Selon eux, la membrane est une pièce critique dont la dépose est risquée. Ils en concluent que le mécanicien ayant fait le choix de déposer cette pièce et de dévier de la procédure devait être inexpérimenté. Selon eux, le diagnostic réalisé par ce mécanicien est « subjectif » car il ne dit pas reposer sur les cartes de travail ni sur l’avis explicite d’un hiérarchique ou d’un mécanicien expérimenté. Ils concluent en posant une règle stipulant qu’un mécanicien inexpérimenté ne doit pas poser de diagnostic sur la criticité d’une pièce qui permettrait une déviation de la procédure. Lors du groupe de travail 3 réunissant les concepteurs et les managers de mécaniciens, la déviation de la procédure a été jugée risquée et inacceptable. La discussion de ce point a amené les managers à poser la nécessité pour un mécanicien de s’en remettre à la carte de travail et si besoin aux mécaniciens expérimentés ou à la hiérarchie. Les concepteurs posent la question de l’effet qu’aurait l’indication du statut critique de la pièce dans les cartes de travail sur le choix des mécaniciens. Nous discuterons de la solution qu’ils construisent par la suite.

Une autre discussion partagée entre les deux groupes est celle des opérations supplémentaires de maintenance que supposent la dépose de la membrane. Ces opérations supplémentaires de vérification du couple de serrage et de remplacement de vis ne sont pas mentionnées dans la SES. Le fait que ces opérations ne soient pas mentionnées dans la SES mènent les concepteurs comme les managers de mécaniciens à penser que le mécanicien ne les a pas réalisées et donc n’a pas appliqué la procédure sécurisant la première déviation étant la dépose de la membrane. Cette hypothèse amène dans le groupe des concepteurs une discussion autour de la règle de contrôle et de traçage des manipulations de ces vis et du risque de ne pas les remplacer au bon moment. Ils discutent d’une règle de sécurité au regard des pratiques des mécaniciens.

La démarche CSR permet aux participants de discuter des stratégies mobilisées par le mécanicien dans la SES (la sécurité géré), et de l’acceptabilité de ces stratégies et de l’écart entre la sécurité gérée et réglée. Les concepteurs en maintenabilité se basent sur leurs propres connaissances des règles de la maintenance et de l’hélicoptère pour questionner ces stratégies, mais utilisent également ces stratégies pour questionner les règles de maintenance. C’est ainsi que les concepteurs articulent la sécurité réglée et gérée

dans la construction des problèmes posés par les SES. Néanmoins, les résultats montrent que ces analyses nécessitent de leur part des inférences concertant les intentions, l'expérience, les enjeux ayant motivé l'activité réelle du mécanicien. Ces inférences provoquent des divergences. Elles sont généralement closes pas un jugement d'inacceptabilité. Les managers de mécaniciens utilisent leur propre expérience pour juger de l'acceptabilité des déviations aux cartes de travail. Le principal critère d'acceptation d'une déviation est selon eux sa validation par des mécaniciens expérimentés et par la hiérarchie.

Articulation SR/SG dans la construction des solutions– Réduire l'écart SR/SG

Nous avons vu que l'analyse CSR amène les participants à problématiser les pratiques de sécurité gérée identifiées dans la SES, les règles de sécurité et à poser un jugement d'acceptabilité sur l'écart entre réglé et géré. Nous verrons ici comment les concepteurs et les manager de mécaniciens mobilisent les SES dans la construction des solutions.

Lors de l'analyse CSR de la SES M3ES1, nous comptons 21 résolutions de problèmes dans les 3 groupes de travail. Sur les 21 résolutions, 13 sont des solutions intégrant les connaissances acquises sur la sécurité gérée dans les procédures, les cartes de travail ou le design et 8 sont des rappels à la règles et aux procédures. Le Tableau 14 présente la répartition de ces deux types de solutions par groupe de travail.

Tableau 14 : Répartition des types de solutions par groupe de travail

	GT2 concepteurs	GT2 managers mécaniciens	GT3 Concepteurs et managers mécaniciens
Solutions modifiant SR pour intégrer SG	4	4	5
Solutions de rappel de la SR	2	6	1

Nous remarquons que dans les groupes de travail auxquels les concepteurs en maintenabilité participent, 2 fois plus de solutions intégrant la sécurité gérée dans la sécurité réglée sont proposées. A l'inverse, le groupe réunissant exclusivement des managers de mécaniciens fournit 1,5 fois plus de solutions consistant en des rappels aux règles. Le résultat des groupes de travail non mixte nous semble être cohérent avec les fonctions organisationnelles de chaque participant. Les concepteurs en maintenabilité ont pour mission de rendre la maintenance faisable et sûre. Leur capacité d'action réside dans la modification des procédures et du design. Les managers sont garants de l'application des règles. Leur pouvoir d'agir réside dans leur mise

en application par les mécaniciens. Ils ont tout de même la capacité de proposer des solutions de changement de procédure et de design rendant les règles de maintenance acceptables et acceptées. Le groupe de travail 3 n'est pas une moyenne des résultats des groupes de travail 2. Au contraire, la mise en discussion des concepteurs et des managers de mécaniciens les amène à chercher des solutions applicables par les concepteurs en maintenabilité, donc concernant la modification des procédures, des cartes de travail et du design.

Par exemple, le temps passé par le mécanicien dans la SES pour réaliser la dépose de la membrane a été discuté dans tous les groupes de travail. Les deux groupes ont conclu au fait que l'allongement de la durée de la tâche de maintenance (passant de 1h30 à une journée) n'est pas acceptable d'un point de vue opérationnel. Le groupe de travail 2 réunissant les concepteurs a conclu sur le besoin pour le mécanicien d'appeler le service support de l'entreprise en cas de doute pour éviter un tel allongement du travail de maintenance. Le groupe 2 réunissant les managers de mécaniciens préconise aux mécaniciens de se référer à leurs hiérarchies. Les deux groupes de travail non mixtes proposent donc une solution de rappel à la règle. Cependant, le groupe de travail 3 les réunissant a été le lieu de la discussion sur les temps de travail pris en compte dans la conception des tâches de maintenance et leur indication dans les cartes de travail. Les concepteurs et les managers réfléchissent ensemble au caractère sécurisant ou non d'une indication du temps de maintenance dans les cartes de travail pour permettre aux mécaniciens et aux organisations de maintenance de s'organiser et de repérer les incohérences. Autrement dit, le groupe de travail pluri métier (GT3) permet de dépasser les inférences relatives à l'activité du mécanicien (inexpérimenté, méconnaissance du risques) pour mettre en lumière le réseau de contraintes (ici contraintes temporelles) qui pèsent sur son activité. L'extrait de la conversation ci-dessous montre deux moments de la construction partagée de la solution entre les concepteurs et les managers de mécaniciens. La question posée est de savoir si indiquer le temps estimé d'une tâche de maintenance sur la carte de travail serait bénéfique pour la sécurité ou non.

Tableau 15 : Extrait issu du GT3 du 23/03/22

« Manager mécaniciens 1 *: Ça peut être favorable ou défavorable. Ça peut t'empêcher de dire : « je démonte la membrane ». Mais tu peux te dire : « j'ai 15 minutes, je sens que ça va être grave, je me mets sous pression » et ça ce n'est pas bon. Ça peut être une contrainte, mais ça peut aussi être quelque chose de bien. Ça permet à la personne de se dire qu'elle a 2 heures pour faire ça. Si on n'a jamais fait la tâche, peut-être que ce sera le temps*

nécessaire. Alors qu'une personne qui l'aura fait plusieurs fois va le faire en une heure et du coup, elle sera zen.

Concepteur 1 *: Ce qu'il ne faut pas, c'est qu'une personne attaque une opération de maintenance le soir à 5 heures et qu'elle se rende compte, à 6 heures 30, qu'elle n'a toujours pas fini. Il en a ras-le-bol parce qu'il veut partir et il fait une erreur. Si on lui dit dans la tâche : « attention, temps estimé de la tâche : une demi-journée », il ne va pas l'attaquer dans l'après-midi.*

[…]

Concepteur 2 : *À la limite, il faudrait une échelle de temps : tâches courtes, tâches moyennes, tâches longues.*

Manager mécaniciens 2 : *Juste donner une estimation, voilà. Ne pas donner un temps réellement, mais court, moyen, long, ce serait pas mal.*

Concepteur 2 : [à concepteur 1] *C'est ce que tu disais tout à l'heure, le fait que le mec démarre quelque chose alors qu'il n'aura peut-être pas le temps de le faire*. »

Dans cet extrait, les participants cherchent à construire une solution intégrant le travail réel des mécaniciens dans la carte de travail pour que la carte de travail devienne une ressource pour l'organisation du temps de travail et la réalisation des tâches dans des temps adaptés. Ils cherchent une forme de prescription qui laisse des marges de manœuvre aux mécaniciens, qui prend en compte les variabilités d'expérience des mécaniciens et de contexte de la maintenance. Dans le même temps, l'indication d'une échelle de temps vise la conformité des actions des mécaniciens à la procédure. L'objectif est d'empêcher, ou de ne pas faciliter un écart trop important entre le temps prévu par les concepteurs et l'organisation et le temps réellement mis à l'exécution de la tâche.

Dans ce sens, les concepteurs en maintenabilité et les managers de mécaniciens articulent ici la sécurité gérée et la sécurité réglée pour réduire, voire supprimer l'écart SR/SG, écart jugé porteur de risque.

La connaissance de la sécurité gérée mise en évidence aux concepteurs par l'analyse CSR de la SES est utilisée par les concepteurs pour penser un réglé intégrant le géré tout en réduisant l'écart SR/SG identifié dans la SES et jugé inacceptable. La mise en discussion de l'adaptation des procédures auprès des managers de proximité amène les concepteurs

en maintenabilité à affirmer leur modèle de la sécurité basée sur la réduction de l'écart entre SR/SG.

Ce résultat et les négociations en cours de conception avec un expert en maintenabilité nous ont amené à concevoir une nouvelle forme de la démarche CSR intégrant les phases de jugement d'acceptabilité des stratégies et d'articulation SR/SG. Nous voulions ensuite organiser une rencontre entre un concepteur en maintenabilité et un mécanicien pour observer l'usage de la démarche CSR dans la confrontation entre mécanicien et concepteur en maintenabilité. Notre objectif était de faire évoluer la vision de l'écart entre SR/SG portée par les concepteurs en maintenabilité dans l'usage de la démarche CSR. Comme nous l'avons vu nous n'avons pas pu organiser un essai avec un mécanicien actuellement en poste mais avec un ancien mécanicien d'avion récemment reconverti en concepteur en maintenabilité. La section suivante analyse cet essai.

7.3.2.2 La coconception permet un apprentissage mutuel mais a un apport limité sur l'articulation SRSG dans la conception.

Dans cette section nous présenterons les résultats de l'essai dans l'usage de la démarche CSR appliquée à un problème réel de conception. Cet essai est réalisé par un expert en maintenabilité et un concepteur en maintenabilité ancien mécanicien d'avion avec le soutien de la chercheuse. Nous présenterons dans cette section la manière dont le concepteur en maintenabilité a adapté la démarche CSR pour son problème de conception et nous montrerons que la démarche CSR permet une forme d'articulation de la sécurité réglée et gérée en conception mais ne suffit pas à la mise en place d'une conception réellement coconstruite.

<u>Adaptation de la démarche CSR à un problème de conception</u>

L'expert en maintenabilité a choisi un problème de conception à discuter avec l'ancien mécanicien concernant une tâche d'inspection d'un élément situé au-dessus d'un autre élément et accessible seulement en passant sous l'hélicoptère. L'expert veut savoir si cette tâche d'inspection est faisable, n'amène pas de risque et comment les mécaniciens la réaliseraient. Il a déjà réalisé une première analyse de maintenabilité et a identifié un problème d'accessibilité à l'élément à inspecter. Il a également déjà pensé à une solution. Il souhaite savoir si cette

solution est approuvée par le mécanicien ou s'ils peuvent en trouver d'autres ensemble. Pour ne pas focaliser la discussion sur sa solution il choisit de ne discuter de sa solution avec l'ancien mécanicien qu'à la fin de l'analyse. L'analyse se réalise à l'aide d'un casque de réalité virtuelle dans lequel est projetée la numérisation de l'hélicoptère concerné.

Au cours de l'analyse l'expert demande au mécanicien de décrire les contraintes empêchant la réalisation de la tâche, les ressources qu'il souhaiterait mobiliser et les stratégies auxquelles il pense pour réaliser la tâche. L'expert demande régulièrement si le mécanicien a pu rencontrer des situations similaires dans son expérience et si oui, de les raconter. Au fur et à mesure que le mécanicien verbalise, le concepteur utilise un diaporama pour schématiser les contraintes, stratégies et ressources identifiées. Une fois que l'ancien mécanicien pense avoir tout dit, et après relances sur la base des tables de ressources et contraintes contenues dans la méthode CSR, l'expert et l'ancien mécanicien discutent de l'acceptabilité des stratégies du point de vue de la sécurité, de la performance et des contraintes de conception.

Une fois l'essai fini, l'expert en maintenabilité retravaille les notes prises pour constituer des schémas lisibles et communicables aux autres concepteurs. Le concepteur divise les contraintes et stratégies données par le mécanicien en 3 grands types de problèmes : les problèmes d'accessibilité (problème d'accès à l'élément à inspecter), les problèmes d'environnement (organisation, ambiance lumineuse, bruit, perturbation par des collègues) et les problèmes de conditions de travail (sécurité du mécanicien et sécurité du matériel). Lors de l'essai dans l'usage de la démarche CSR les participants ont identifié 11 contraintes, 17 stratégies, et 2 ressources. Sur 17 stratégies, 8 ont été jugées acceptables, 3 à éviter et 5 inacceptables. Huit solutions favorisant les stratégies acceptables et 2 solutions empêchant les stratégies inacceptables ont été trouvées.

Nous présenterons ci-dessous deux moments de discussion de l'acceptabilité de stratégies qui nous semblent significatifs :

- Le premier dans lequel l'ancien mécanicien change d'avis concernant une pratique qu'il considérait comme sûre ;
- Le second dans lequel le concepteur se rend compte que la solution qu'il avait imaginée ne supprime pas toutes les contraintes des mécaniciens.

Apprentissage des contraintes de conception par le mécanicien, intégration du réglé dans le géré ?

La tâche de maintenance demande à l'ancien mécanicien de sentir manuellement si une rotule placée derrière un élément fixe présente un jeu. A l'aide de la réalité virtuelle, l'ancien mécanicien identifie une contrainte de design qui l'empêche d'attraper cette rotule. L'expert lui demande alors quelles contraintes il identifie et quelles stratégies il mettrait en œuvre pour réaliser cette tâche. L'ancien mécanicien indique deux stratégies possibles :

- Au lieu d'essayer de sentir le jeu au niveau de la rotule, il peut essayer de le sentir en attrapant les leviers connectés à cette rotule. Ceci lui demanderait de déposer quelques pièces aéronautiques qui sont sur le chemin de ces leviers.

- Il propose aussi de réaliser la tâche avec l'aide d'une deuxième personne. Cette personne actionnerait les commandes de vols à l'intérieur du cockpit ce qui permettrait au mécanicien de voir directement s'il y a du jeu au niveau de la rotule. L'ancien mécanicien précise que cette stratégie ne fait pas partie des cartes de travail mais qu'il choisirait cette solution car cette stratégie lui permet d'éviter toute dépose et qu'il considère que le jeu serait mieux visible de cette manière car plus proche du comportement réel de l'hélicoptère.

Une fois l'analyse CSR réalisée, le concepteur en maintenabilité et l'ancien mécanicien discutent de chaque stratégie évoquée.

L'expert revient sur la stratégie de détection du jeu dans la rotule à l'aide d'un collègue actionnant les commandes de vol. Selon lui, le fait de penser qu'un jeu de rotule puisse se voir en actionnant les commandes de vol relève d'une croyance commune dans les ateliers et ne serait pas acceptée par les concepteurs spécialistes des commandes de vol car non efficace. Il pointe ici les différences de perspective entre mécaniciens et concepteurs de bureau d'études sur le caractère sécurisant de cette pratique. Pour l'expliquer à l'ancien mécanicien il raconte une pratique similaire concernant une autre opération d'inspection par le toucher. Selon la procédure, la pièce à inspecter doit être démontée et inspectée sur une table. Un retour client montre que les mécaniciens clients ne réalisent pas la dépose et font l'inspection directement sur l'hélicoptère en pensant que le résultat serait le même, ce qui a amené des non-détections de défauts et des incidents. L'expert souhaite ici faire comprendre à l'ancien mécanicien

l'intérêt de la règle ne recommandant pas la stratégie évoquée. Après cet échange, l'ancien mécanicien accepte d'indiquer cette stratégie comme non acceptable. L'écart entre le réglé et le géré est solutionné par un rappel de la règle.

Ce passage peut, selon nous, montrer deux choses. Soit l'ancien mécanicien est convaincu par les explications du concepteur et a changé son évaluation du caractère sécurisant de la stratégie proposée. Il y a alors remplacement de la sécurité gérée par la règle. Soit l'ancien mécanicien n'a pas souhaité entrer dans un débat avec l'expert. Il nous semble que dans le cas présenté, l'ancien mécanicien était dans une dynamique de partage avec le concepteur menant l'analyse qui l'aurait amené à dire un éventuel désaccord. Cependant, il n'est pas à exclure qu'une différence de statut et de pouvoir entre un concepteur menant l'analyse CSR et un mécanicien n'amène pas une discussion sincère sur le caractère sécurisant des stratégies, mais soit le lieu d'un jugement unilatéral de la part du concepteur sur les stratégies proposées par le mécanicien.

Apprentissage des contraintes de la maintenance par le concepteur – limites de l'intégration de la sécurité gérée à la sécurité réglée

Une fois que l'ancien mécanicien a partagé toutes les stratégies auxquelles il pensait durant l'analyse CSR, le concepteur lui partage la solution de modification de design à laquelle il a pensé. Cette solution implique une dépose partielle de l'élément empêchant l'inspection. Cette dépose partielle a été pensée par le concepteur pour être réalisée rapidement, avec le moins de contraintes possibles et pour permettre un accès simplifié à la zone à inspecter. Il sait que cette solution n'est pas sans contraintes pour les mécaniciens mais veut savoir s'ils choisiraient tout de même de réaliser la dépose partielle ou s'ils choisiraient une autre stratégie malgré l'apport d'une meilleure accessibilité. Le concepteur et l'ancien mécanicien ont alors relancé une analyse CSR sur la base de cette proposition de modification de design.

Le mécanicien confirme, à l'aide de la réalité virtuelle, que la dépose partielle améliore l'accessibilité mais doute de sa réalisation par les mécaniciens car elle leur demande d'ajouter du temps de dépose à l'opération d'inspection. L'extrait de conversation ci-dessous montre l'explicitation des contraintes et le raisonnement du mécanicien à destination de l'expert.

Tableau 16 : Extrait issu de l'essai dans l'usage du 17/05/22

"Ancien mécanicien *: Definitely, the access now is improved. But it is also a matter of time. Even if it is written in the manual, some people will not do it. They will not do it if there is no time; there is pressure; or they just think, 'Instead of removing this, I can perform some other task', or can go for a cigarette, or something. Because, to be honest, this will take place. People say, 'Okay, it is nice to have but if I can access somehow with mirror and torch and to move some other components to check for play', they will not do it. Even if it is written in the manual, definitely. They say, 'Oh, it is not necessary', and I think the more experienced you get, the more you do that.*
Expert en maintenabilité *: If I understood correctly, we still have a risk that the task is not perfectly done in the best conditions?*
Ancien mécanicien *: Yes, definitely.* »

Selon l'ancien mécanicien, face au choix de réaliser la dépose partielle pour améliorer l'accessibilité de la zone à inspecter, et la possibilité d'utiliser une torche, un miroir ou de réaliser un contrôle de jeu de roulement de manière indirecte, les mécaniciens choisiront la méthode consommant moins de temps, c'est-à-dire la deuxième. L'ancien mécanicien indique ensuite au concepteur la liste des contraintes qui prennent du temps, liées à la dépose partielle de l'élément.

L'expert conclut en disant qu'il n'est malheureusement pas possible de modifier le design de la zone pour supprimer complétement le problème d'accessibilité. Il choisit de continuer avec la solution de dépose partielle car, même si elle n'est pas parfaite, c'est une possibilité donnée aux mécaniciens qui le souhaitent d'améliorer les conditions de l'inspection. Cependant, il propose une stratégie permettant d'éviter des situations d'inspection sous pression temporelle, ce qui devrait permettre aux mécaniciens de réaliser la dépose partielle. Il propose de placer le moment demandé pour faire cette inspection au moment d'une visite de maintenance (étape obligatoire de maintenance regroupant de nombreuses autres opérations de maintenance). De cette manière, l'opération d'inspection concernée se fera sur un hélicoptère au sol, sans pression opérationnelle immédiate. L'expert ne cherche pas ici à rendre obligatoire la dépose partielle de l'élément, stratégie qu'il considère comme la plus sûre, mais à faciliter au maximum sa réalisation pour que les mécaniciens la choisissent. L'ancien mécanicien indique être d'accord avec cette solution.

La démarche CSR a permis à l'ancien mécanicien de rendre compte de la réalité de la sécurité gérée qui prend en compte d'autres critères que ceux anticipés par le concepteur expert en maintenabilité. L'intégration de la sécurité gérée est ici limitée par les contraintes de conception que l'expert doit gérer. Celui-ci cherche alors la construction d'un compromis favorisant les stratégies qui vont dans le sens de la réduction de l'écart entre sécurité réglée et sécurité gérée. La co-conception et l'intégration du point de vue de l'ancien mécanicien sont alors limitées par les possibilités effectives de l'expert en maintenabilité à modifier le design et les procédures.

7.3.3 Synthèse des résultats du chapitre 7

La mise en place de la méthodologie de conception de la démarche CSR met évidence plusieurs type de contraintes limitant la rencontre des concepteurs en maintenabilité avec les mécaniciens mais également de ressources sur lesquelles s'appuyer dans le futur.

Les contraintes sont :

- Contraintes de disponibilité des concepteurs en maintenabilité et de difficulté de synchronisation avec les disponibilités des mécaniciens
- Des contraintes d'imprévisibilité à moyen terme (sur plusieurs semaines) de la maintenance et de la gestion des ressources humaines dans les ateliers
- Un modèle de la sécurité classique partagé par la hiérarchie des ateliers freinant la participation de mécaniciens et favorisant la participation de managers de proximité
- L'absence d'objectifs stratégiques de collaboration entre ateliers et Bureau d'études qui oblige la hiérarchie des ateliers à arbitrer la possibilité de participation des mécaniciens au cas par cas
- Des contraintes de découpage des budgets entre programmes limitant les analyses s'appuyant sur une analogie entre hélicoptère

Les ressources sont :

- Des concepteurs et mécaniciens volontaires pour échanger sur leurs pratiques
- Des hiérarchies volontaires à la mise en lien entre atelier et BE tant du côté du bureau d'études en maintenabilité que de l'atelier
- La possibilité pour les concepteurs de réaliser des analyses ponctuelles avec des mécaniciens en suivant le rythme de la planification de la maintenance.

Ces contraintes et ressources nous ont amené, avec les équipes de recherche et le département de maintenabilité à concevoir une démarche favorisant la discussion de la sécurité gérée pour la conception de la maintenance. La démarche visait également la mise en discussion de l'écart SR/SG en maintenance pour sa reconnaissance par les concepteurs en maintenabilité comme d'un élément indispensable à la construction de la sécurité et non comme une source de risque. Les premiers usages montrent bien une mise en discussion de la sécurité gérée pour concevoir la sécurité réglée, mais dans une forme d'articulation cherchant à réduire l'écart entre sécurité réglée et gérée, écart encore considéré comme un risque.

Partie IV Discussion et Perspectives

8. Chapitre 8 Discussion et Perspectives

Ce chapitre a pour objectif de discuter tout d'abord des résultats issus de l'analyse des SES de conception et de maintenance pour réaliser une approche croisée du travail des concepteurs en maintenabilité et des mécaniciens ainsi que les apports et limites de la méthodologie d'identification des Situations à Enjeux de Sécurité (SES) et de leurs analyses à travers le triptyque Contraintes/Stratégies/Ressources (CSR). Nous discuterons ensuite de ce que les premiers résultats sur l'usage de la démarche de conception participative d'une maintenance sûre (démarche CSR) nous révèlent des possibilités de transformation du processus de conception de la sécurité réglée (SR) dans des organisations ultrasûres et des limites des approches de conception participatives pour y articuler la Sécurité Gérée (SG).

8.1 Articulation de la SR/SG dans la construction des compromis

Cette section discute des résultats concernant la construction des compromis dans le travail de maintenance et de conception et la manière dont ces compromis articulent SR/SG dans les SES.

8.1.1 Concevoir la maintenance pour la sécurité – Le travail des concepteurs en maintenabilité

8.1.1.1 Construction des compromis microcentrés sous tendue par le modèle de la sécurité et orientée vers les compromis macrocentrés

Les résultats du chapitre 5 montrent que les SES en conception sont des situations dans lesquelles :

- Il y a un conflit entre les contraintes identifiées par les concepteurs dans le travail des mécaniciens, les contraintes des concepteurs et leur modèle d'une tâche de maintenance sûre.
- Les contraintes des concepteurs les empêchent de réaliser les analyses qu'ils jugent de qualité ou les empêchent d'intégrer les contraintes des mécaniciens dans la conception.

Pour gérer ces SES, les concepteurs construisent un premier niveau de compromis microcentré entre leurs propres évaluations des risques que représentent les contraintes dans le travail des

mécaniciens et l'identification des contraintes acceptables qu'ils pourront mettre de côté dans la négociation et des contraintes inacceptables qu'ils chercheront à défendre par tous les moyens à leur disposition face aux autres acteurs de la conception. La capacité des concepteurs en maintenabilité à construire ce compromis microcentré est conditionnée par leur capacité à mobiliser les ressources nécessaires pour identifier les contraintes des mécaniciens et à les intégrer dans le processus de conception collectif, c'est-à-dire dans la construction de macrocentrés. Cette construction s'appuie sur des négociations collectives et le résultat de ce compromis doit prendre en compte non seulement les contraintes et exigences amenées par les concepteurs en maintenabilité, mais les contraintes et exigences des autres acteurs de la conception. La construction des compromis microcentrés est donc orientée par et pour la construction du compromis macrocentré.

Ce résultat nous amène à questionner la construction des compromis par les autres concepteurs et acteurs de la conception et leurs propres modèles de la sécurité. L'analyse des SES de conception doit alors s'étendre auprès de ces acteurs pour pouvoir comprendre plus en détail les contraintes qui peuvent les amener à refuser d'intégrer les exigences de maintenabilité à la conception et ainsi comprendre la construction des compromis macrocentrés.

La construction du compromis microcentré et la manière dont les concepteurs cherchent à l'intégrer dans la construction du compromis macrocentré est également orientée par et pour la conception d'une tâche de maintenance sûre, c'est-à-dire par la conception de la sécurité réglée. Pour cela ils cherchent à concevoir des barrières à des déviations potentiellement dangereuses selon eux. Ces barrières ont pour fonction d'empêcher une erreur de se transformer en incident, en ceci elles rejoignent le concept des barrières de Hollnagel (2008), et d'amener les mécaniciens à réaliser la procédure jugée sûre par les concepteurs. Les concepteurs en maintenabilité cherchent alors à identifier et réduire l'écart entre ce que nous considérons comme la sécurité gérée et la sécurité réglée et ce qu'ils nomment les écarts à la procédure. Le modèle de la sécurité des concepteurs rejoint un modèle de la sécurité classique (Hollnagel, 2015) visant le suivi de procédures « sûres » pour éviter les erreurs. En ceci, ils confirment l'affirmation de Dekker (2014a) qui place l'aviation civile dans l'ancienne vision de l'erreur et de la vision classique de la sécurité

Cependant, les concepteurs en maintenabilité cherchent également à identifier des écarts à la procédure jugés plus sûrs que les procédures et qui seraient possible de réintégrer dans les

procédures, dans une forme de conception continuée de la sécurité réglée (Béguin & Cerf, 2004). Les concepteurs en maintenabilité sont donc conscients qu'il peut exister des écarts entre les procédures de maintenance et le travail réel des mécaniciens et que cet écart ne mène pas systématiquement à un accident. Cependant, leur modèle de sécurité est basé sur l'idée que le suivi strict des procédures par les mécaniciens est garant de la sécurité totale du système. Même si une déviation de la procédure peut ne pas amener d'erreur ni être source d'incident, elle reste considérée comme une prise de risque. Ils cherchent alors à modifier les procédures pour permettre les pratiques d'écart à la procédure qu'ils évaluent comme étant sûres via leurs outils d'analyses et à empêcher les écarts jugés risqués. Ainsi ils utilisent leur connaissance de la sécurité gérée pour transformer les règles et supprimer l'écart avec la sécurité réglée. Dans ce sens, ils se placent dans la première façon d'articuler la Sécurité Réglée/Sécurité Gérée décrite par Cuvelier (2022), celle de la réconciliation entre la sécurité réglée et gérée par la suppression de l'écart. Il est important de souligner que cette réduction ne se fait pas uniquement en contraignant le travail réel, c'est-à-dire en conformant les pratiques de sécurité gérée. Elle passe aussi par une modification des règles de sécurité (SR) afin que les procédures correspondent désormais à la sécurité gérée. « Cette voie, qui consiste à donner au réel une valeur normative est une voie fréquemment rencontrée en ergonomie » (Cuvelier & Woods, 2019) : la sécurité gérée devient finalement le fondement pour un nouveau prescrit et se transforme en sécurité réglé. Cela permet d'anticiper au mieux la sécurité gérée pour concevoir une sécurité réglée la plus adaptée possible. Mais certains travaux sur la conception mettent en garde sur le risque de voir cette nouvelle sécurité réglée aboutir à des situations de travail aussi rigides que les précédentes (Maline & Guérin, 2009). Nous argumenterons dans la section suivante que cette recherche de réduction de l'écart SR/SG soutient la satisfaction des critères de qualité des concepteurs travaillant dans une organisation ultrasûre

8.1.1.2 Le modèle de sécurité permet de satisfaire les critères de qualité du travail

Dans cette partie nous soutenons que le modèle de sécurité mobilisé par les concepteurs en maintenabilité n'est pas le fruit d'une idéologie préexistante déterminant les actions. Nous nous appuyons sur les travaux de Nascimento (2019) sur la culture de sécurité. Le modèle de la sécurité mobilisé par les concepteurs en maintenabilité pour concevoir la sécurité réglée s'inscrit dans leur activité productive (l'analyse de maintenabilité et l'analyse des risques en maintenance), médiée par des artefacts (outils de simulations, méthodes d'analyses) au sein d'un collectif de conception, modèle de la sécurité qui en retour transforme l'activité productive. Pour comprendre pourquoi et comment les concepteurs en maintenabilité mobilisent un modèle de la sécurité visant la diminution de l'écart entre sécurité réglée et sécurité gérée il faut alors s'intéresser à la manière dont ce modèle s'insère dans leur activité productive et ce qu'il permet.

L'activité productive des concepteurs en maintenabilité vise la production de la sécurité réglée en maintenance. "*La sécurité réglée n'est pas une pratique, mais le résultat cristallisé, dans les artefacts, des pratiques de concepteurs*." (Nascimento, 2019, p 81). Cette production de la sécurité réglée est cadrée et évaluée par des objectifs de performance et de qualité donnés par l'organisation ainsi que par des critères de qualité de leur propre travail traduisant le modèle de sécurité en exigences pour le travail de conception. Les critères de qualité renvoient à la conception et à l'évaluation de l'efficacité du travail réel par les acteurs eux-mêmes (Bonnefond & Clot, 2018). Ici l'efficacité du travail n'est pas à comprendre comme l'atteinte des objectifs donnés par l'organisation, mais fait appel au « travail bien fait », ce que les travailleurs considèrent comme étant un travail soigné, au-delà des objectifs court-termistes de l'organisation. Comme le soulignent Nascimento et al. (2013) le parallèle entre les notions de qualité et de sécurité est aisé et n'est pas neuf : « Ce que l'on pourrait appeler qualité réglée repose sur la formulation de règles (procédures, référentiels, prescriptions, etc.), leur diffusion auprès des acteurs et la volonté de s'assurer de leur application. La qualité gérée repose à l'inverse sur les capacités d'initiative des opérateurs, seuls ou en groupe, à faire face à l'imprévisible et à la variabilité naturelle du réel ».

Les résultats du chapitre 5 montrent à voir les critères de qualité du travail des concepteurs en maintenabilité dans la conception de la sécurité réglée. Ces critères de qualité sont :

- Se rapprocher au plus près du réel de la maintenance avec ou sans participation des mécaniciens
- Identifier les contraintes des mécaniciens et les intégrer dans la solution
- Réaliser des analyses objectives c'est-à-dire qui s'appuient sur les outils méthodologiques approuvés par l'organisation
- Faire prendre en compte leurs analyses dans le processus de conception
- Participer à la conception d'une tâche de maintenance sûre supprimant l'écart entre SR/SG (cf. §5.3.3.3)
- Satisfaire les exigences de la maintenabilité autre que la sécurité (coût de la maintenance, temps de maintenance, conformité à la politique de maintenance, etc.).

Les critères de qualité du travail des concepteurs supposent la possibilité d'identifier les écarts entre SR/SG. Nous avons présenté dans le chapitre 7 les contraintes organisationnelles empêchant la rencontre entre les mécaniciens et les concepteurs. Certaines de ces contraintes (non-disponibilité des mécaniciens) se retrouvent dans les contraintes évoquées dans les SES de conceptions et limitent la capacité des concepteurs à identifier les écarts aux procédures, donc les écarts entre SR/SG, en se basant sur l'observation du travail réel de maintenance. Lorsque la rencontre avec un mécanicien est impossible, les concepteurs cherchent alors des ressources (simulations numériques et physiques sans mécanicien) leur permettant tout de même une identification de l'écart SR/SG sans apport des mécaniciens (cf. §5.3.3.2 et §7.3.1). Le fait que les outils de simulation numérique tels que la réalité virtuelle permettent dans certains cas d'économiser « du temps et de l'argent » et permettent une collaboration synchrone entre concepteurs (Paquin & Bernard, 2022 ; Shahrokhi, 2006) favorise son utilisation comme soutien d'identification des contraintes des mécaniciens. Ces contraintes et ressources favorisent alors l'utilisation d'outils d'analyses ne nécessitant pas systématiquement l'apport du vécu d'un ou plusieurs mécaniciens.

Pour finir, ces résultats nous amènent à faire l'hypothèse que ce modèle de sécurité permet aux concepteurs en maintenabilité de s'insérer dans la construction des compromis macrocentrés au sein d'une organisation ultrasûre. En effet, l'entreprise accueillant la recherche fait partie de l'industrie aéronautique considérée comme ultrasûre. Les organisations ultra sûres sont caractérisées par une forte sécurité réglée (ultra-réglée), par un très faible taux d'accident (inférieur à 1 pour 1 million pour certaines organisations) avec des accidents émanant de combinaisons de facteurs difficilement détectables par des outils d'analyses de risques

traditionnels, et par une inertie forte des systèmes avant d'être capable d'évaluer les effets à long terme de nouvelles mesures de sécurité (Amalberti, 2001b). Ces industries font également partie d'un marché concurrentiel cherchant la rentabilité. Cette recherche de sécurité et de rentabilité se traduit par des objectifs stratégiques émanant de la direction de l'entreprise. Ces objectifs sont ensuite traduits en critères de qualité du travail prescrit par l'organisation à travers la conformité aux obligations réglementaires, aux obligations de traçabilité, de responsabilité, de suivi des process et de suivi de méthodes standards. Le modèle de sécurité des concepteurs en maintenabilité prônant la réduction de la sécurité réglée et gérée permet la conformité au modèle de sécurité ultra-réglée de l'organisation dans le sens où il amène les concepteurs à produire des procédures de maintenance, ce qui permettrait aux mécaniciens d'agir en se conformant aux procédures et aux règles de sécurité de l'organisation. Mais dans le même temps, la recherche par les concepteurs en maintenabilité de l'écart entre la sécurité réglée et gérée suppose son existence, existence qui est jugée comme dangereuse par l'organisation. Il existe alors un conflit entre le modèle de sécurité des concepteurs et de l'organisation du travail. Face à ce conflit, la sécurité ne peut être construite que dans la mise en débat, dans l'organisation, du conflit et des compromis réalisés par les concepteurs pour concevoir pour la sécurité (Nascimento et al., 2013). Ce conflit peut également être la source de travail empêché coûteux pour la santé des concepteurs (Clot, 2015) et impactant leur capacité à effectivement sécuriser la maintenance. La mise en visibilité et en débat du conflit entre la recherche des concepteurs en maintenabilité de réduction de l'écart SR/SG et le rejet de cet écart par l'organisation, est une des conditions de la construction de la sécurité. Nous verrons que la démarche CSR peut rendre ce conflit visible en amenant les concepteurs en maintenabilité à supposer l'existence de différentes manières de ne pas suivre la procédure tout en agissant en sécurité tout en cherchant un moyen d'intégrer cette connaissance à la conception.

Dans cette section nous avons avancé l'hypothèse que le modèle de la sécurité des concepteurs est une ressource pour les concepteurs en maintenabilité pour concilier leurs propres critères de qualité et ceux de l'organisation ultrasûre. Le modèle de la sécurité des concepteurs serait donc en partie déterminé par l'organisation. Des recherches plus détaillées sur les liens entre les objectifs stratégiques de l'entreprise, les critères de qualité du travail des concepteurs et leur modèle de la sécurité nous permettraient de comprendre la fonction de ces modèles de sécurité dans l'activité de conception, la manière dont ils se forment et ce qui freine le développement de modèles constructifs de la sécurité. La mise en parallèle d'études de ces liens au sein

d'organisations ultrasûres et de systèmes considérés comme régulés (conducteur routier, industrie chimiques) ou encore dangereux (par exemple le bâtiment) peut nous permettre d'identifier les conditions organisationnelles à la construction de la sécurité et les moyens de soutenir le développement d'un modèle de la sécurité articulant SR/SG en fonction du contexte de l'organisation.

La section suivante discute également de la construction des compromis micro et macrocentrés pour la construction de la sécurité mais dans les SES de maintenance.

8.1.2 Agir en sécurité dans le travail des mécaniciens

Les résultats du chapitre 6 montrent que les critères de qualité du travail des mécaniciens sont de rendre l'hélicoptère utilisable par l'opérateur de vol, en sécurité. Les situations de maintenance désignées par les mécaniciens comme à enjeux de sécurité sont des situations dans lesquelles les contraintes liées à la conception de l'hélicoptère et de la procédure et les contraintes de service entrent en conflit avec la construction de la sécurité. Face à ces conflits de contraintes, les mécaniciens adaptent les procédures à la situation. En effet, face à une procédure qu'ils jugent dangereuse, les mécaniciens vont soit chercher à faire corriger la carte de travail lorsqu'ils pensent qu'elle contient une erreur, soit l'adapter, c'est-à-dire dévier de la procédure et appliquer un mode opératoire différent. Les mécaniciens choisissent ces nouveaux modes opératoires, car ils jugent qu'ils sont plus sûrs que la procédure prescrite. Ils s'appuient sur leur propre expérience et sur le collectif de maintenance pour évaluer le caractère « sécurisant » ou non des procédures. Le caractère sécurisant d'une procédure n'est pas le seul critère de choix d'un mode opératoire. Lorsqu'il y a conflit de contraintes, le mécanicien choisira ce qui lui permet d'agir dans l'intérêt du client c'est-à-dire de manière opérationnelle et en sécurité. Il arrive qu'il doive défendre sa décision auprès des opérateurs de vol contre les objectifs d'opérationnalité. Cette défense de la sécurité ne se fait pas contre les intérêts du client, au contraire, les actions des mécaniciens intègrent la sécurité dans le service de maintenance rendu au client. Ces résultats s'inscrivent dans la continuité des travaux sur la sécurité en action (de Terssac & Gaillard, 2009) appliqués à l'activité de maintenance aéronautique. Nous ajouterons que les mécaniciens agissent en sécurité au sein d'une relation de service (Cerf & Falzon, 2005) existante entre les mécaniciens et les opérateurs de vol. Gadrey (1994), définit les relations de service comme étant « *des relations qui se nouent entre des individus, et parfois entre des organisations, à l'occasion d'une prestation de service*

délivrée par les uns (A) [les mécaniciens] *à l'intention des autres (B)* [opérateurs de vols] *et le plus souvent à la demande de (B), à propos d'un problème ou d'une réalité (C)* [la maintenance de l'hélicoptère] *sur laquelle on demande à A d'intervenir »*. Le mécanicien et l'opérateur de vol/le client engagent alors des processus de négociation pour la construction d'un compromis macrocentré. Analyser la sécurité en action chez des mécaniciens, c'est analyser la relation de service. « *L'analyse de la relation commence lorsqu'on se demande ce que les uns mobilisent comme ressources orientées en direction des autres (informations, actions, comportements) dans le cadre de cette relation.* » (Gadrey, 1994). Les mécaniciens sont dans une relation de service, car nous avons vu qu'ils orientent la construction de leurs compromis microcentrés vers la production de la sécurité pour la satisfaction client tout en gardant le contrôle sur leur situation de travail (par exemple, contrôle sur le planning, les décisions de maintenance).

Construire des compromis entre la relation de service et la procédure, c'est-à-dire être capable d'adapter la procédure à la situation de service, est la manière pour les mécaniciens d'agir en sécurité. Articuler relation de service et sécurité peut être vu comme un critère de qualité du travail des mécaniciens.

La situation des mécaniciens d'hélicoptère semble être différente de celle des agents de la poste dont le travail est analysé par Caroly (2010, p 152). Elle prend l'exemple des agents de la poste guichetiers travaillant dans une relation de service et qui éprouvent des difficultés pour résoudre des conflits entre les prescriptions, les obligations implicites et le réel de l'activité dû à une « absence de collectif de travail, l'impossibilité de modifier les règles de l'action, les conditions organisationnelles ne permettant pas la coopération du client ». Les conflits de buts sont vu comme des sources de contraintes nécessitant de trouver des moyens de résolution au niveau individuel mais aussi collectif. Les mécaniciens d'hélicoptères interrogés nous ont donné à voir des SES de maintenance dans lesquelles ils ont pu adapter la procédure à leur situation de service donc modifier les règles dans l'action, parfois avec l'aide d'autres mécaniciens, de contrôleurs qualité ou de responsables techniques. Cependant les SES de maintenance donnent à voir des situations dans lesquels les mécaniciens mobilisent leurs compétences pour gérer les contraintes, quitte à prendre individuellement la responsabilité d'une déviation des procédures. Aucune des SES de maintenance ne donnent à voir des situations dans lesquelles les mécaniciens n'ont pas été en capacité de construire leur compromis macrocentré avec le client. Cette différence de résultats est peut-être en partie due à une différence temporelle dans la construction de la relation, les mécaniciens ayant plus de

temps pour construire avec les clients des relations de service « durables » que les guichetiers de la poste. « *La preuve de l'existence de relations (interactions) de service "durables" est le fait que les uns agissent en direction des autres, afin d'influer sur leurs comportements, ou en tenant compte de l'action et des comportements des autres, au-delà de l'horizon temporel d'une prestation ponctuelle* » (Gadrey, 1994).

Nous ne pouvons déduire de ces résultats que les mécaniciens d'hélicoptères ne vivent jamais de conflits de contraintes qu'ils ne peuvent pas résoudre, ni qu'ils arrivent toujours à entrer en négociation avec les clients. Est-ce que les mécaniciens vivent des situations de travail empêché dans les relations de service ? Quelles sont leurs caractéristiques ? Une étude se focalisant sur les SES dans lesquelles les mécaniciens ont eu des difficultés à réaliser ce qu'ils considèrent comme un travail de qualité et/ou n'ont pas réussi à négocier avec le client et à construire une relation de service durable apporterait un complément à notre diagnostic.

De plus, dans certaines SES, les mécaniciens nous font part de leur impossibilité à mobiliser le collectif hiérarchique par peur de représailles suite à une action considérée comme étant une violation et de leur difficulté à communiquer avec le constructeur pour faire modifier des procédures. Les mécaniciens peuvent donc aussi se retrouver dans des situations dans lesquelles ils ne peuvent pas modifier les règles de l'action en mobilisant le collectif. Par la suite, il serait intéressant de réaliser une étude du processus de remontée et de partage de la sécurité gérée tout au long de la chaine d'information (du mécanicien au concepteur) et des contraintes que rencontrent les acteurs tout au long du processus pour l'intégrer à la construction de la sécurité réglée.

Pour finir, l'analyse des SES de maintenance nous a permis de préciser les mécanismes de la sécurité en action dans une relation de service de maintenance. Cependant, il serait intéressant de chercher à identifier, comme nous l'avons fait pour les concepteurs en maintenabilité, quel modèle de la sécurité les mécaniciens d'hélicoptère mobilisent. Est-ce que ce modèle entre en conflit avec celui de l'organisation ultrasûre dans lequel ils travaillent, avec celui des clients et/ou en conflit avec leur propre action ?

8.1.1 Le modèle de la sécurité des concepteurs entre en conflit avec la sécurité en action des mécaniciens

Dans sa première partie empirique de thèse, Bernard (2019), propose une évaluation du niveau de prise en compte du facteur humain des concepteurs en maintenabilité dans les projets de conception à l'aide d'un questionnaire semi-directif et de l'étude de documents internes d'analyses techniques de maintenabilité. L'auteur interroge le niveau de connaissance et d'usage des critères ergonomiques les plus couramment utilisés au cours des analyses ergonomiques selon la littérature. L'auteur montre que la volonté d'intégrer le facteur humain en maintenabilité est réelle, mais se limite souvent aux critères d'ergonomie physique. Cette limitation est imputée à un manque de connaissance des concepteurs en maintenabilité concernant le facteur humain, ne leur permettant pas de l'intégrer efficacement dans les projets de conception. Notre recherche confirme l'intérêt des concepteurs en maintenabilité à intégrer à leurs analyses les contraintes des mécaniciens. En effet, 97% des SES de conception évoquent au moins une contrainte identifiée dans le travail des mécaniciens. Cependant, au moment de notre étude nous remarquons que les contraintes liées à la composante physique du travail des mécaniciens (dans notre codage CSR, regroupés au sein de la catégorie Design) ne représentent que seuls 23% des contraintes identifiées par les concepteurs dans le travail des mécaniciens dans les SES de conception. La majorité des contraintes identifiées par les concepteurs concerne les cartes de travail, les procédures, les risques dans l'action des mécaniciens et des contraintes liées aux conditions de travail chez les clients exploitants. Et, les contraintes les plus évoquées dans les SES de conception sont les contraintes liées aux risques dans l'action du mécanicien (42%) (cf. §5.3.3.1). Nous avons également montré que les contraintes identifiées par les concepteurs en maintenabilité dans le travail en conception correspondent en majorité à des contraintes évoquées par les mécaniciens (cf. §6.4). Sur cette base nous pouvons faire l'hypothèse que, même sans utilisation de critères ergonomiques, les concepteurs en maintenabilité ont une connaissance du type de contraintes rencontrées par les mécaniciens dans leur travail et cherchent à les intégrer dans la conception. Cependant, vérifier cette hypothèse nous demanderait d'adopter une autre méthode que l'étude des SES. En effet, cette méthode n'est pas faite pour identifier d'éventuels écarts entre les résultats des analyses de concepteurs et le travail réel de maintenance, ce qui aurait été une ressource pour faire dialoguer les concepteurs et les mécaniciens autour des écarts entre SR/SG. Des observations et entretiens focalisés sur l'analyse et les résultats de l'analyse des concepteurs sur des problèmes de conception spécifiques et l'observation de la réalisation des tâches associées à ce problème de

conception par des mécaniciens nous auraient permis de poser un diagnostic plus précis sur les capacités des concepteurs à identifier les réelles contraintes dans le travail des mécaniciens.

Cependant, nous pouvons observer que la manière d'utiliser l'identification de contraintes similaires et d'en interpréter la signification au regard de la sécurité diffère entre les concepteurs en maintenabilité et les mécaniciens, voire entre en conflit. Par exemple, les contraintes identifiées par les concepteurs en maintenabilité de « risques dans l'action du mécanicien », par exemple la catégorie « les mécaniciens ne détectent pas et ne récupèrent pas un écart à la procédure » se retrouve dans le codage des contraintes des mécaniciens sous la forme de la contrainte « procédure dangereuse ». Les concepteurs identifient un risque de défaillance dans l'action du mécanicien. Les mécaniciens identifient également le risque d'être défaillant s'ils appliquent la procédure telle que décrite par la carte de travail (par exemple endommager une pièce sensible sans s'en rendre compte). L'écart ici réside dans le jugement du caractère sécurisant de la solution adoptée pour gérer ce risque. Comme nous l'avons vu plus haut, les concepteurs cherchent une solution de modification des procédures, carte de travail et design qui permette aux mécaniciens d'appliquer la procédure de façon sécurisée. Mais, en fonction du contexte de leur situation de travail, les mécaniciens adapteront la procédure pour agir en sécurité, et ce, même si cela implique une « déviation » de la procédure.

Il nous semble alors que le modèle de la sécurité intégré au travail des concepteurs entre en conflit avec la sécurité en action intégrée à la relation de service portée par les mécaniciens. Les concepteurs conçoivent et pensent les procédures comme étant le moyen d'agir en sécurité et les mécaniciens utilisent les procédures comme une ressource à adapter aux situations. Cette opposition rejoint la distinction entre les approches normatives de la sécurité et les approches adaptatives opposant (Nascimento et al., 2013):

- L'application des règles par la conformité aux règles comme seul moyen de sécuriser les systèmes pour les approches normatives ;
- L'application des règles comme une activité cognitive complexe fondée sur l'expérience et les compétences permettant de juger quand et comment adapter les procédures aux situations pour les approches adaptatives, la sécurité en action (de Terssac & Gaillard, 2009) faisant partie de ces approches.

La sécurité en action portée par les mécaniciens rejoint le modèle de la sécurité des concepteurs en maintenabilité lorsqu'ils utilisent la procédure comme d'une ressource pour négocier avec

l'opérateur de vol/le client leurs conditions de travail et lui imposer le suivi de la procédure. La sécurité en action portée par les mécaniciens rejoint le modèle de la sécurité des concepteurs également lorsque les concepteurs jugent qu'une pratique de déviation est plus sûre que le suivi de la procédure, jugée par eux risquée. Cependant, alors que les concepteurs en maintenabilité cherchent à réduire, voire supprimer l'écart entre sécurité réglée et gérée, les mécaniciens créent l'écart en adaptant les procédures aux situations de maintenance changeantes. Il peut alors être avancé que ce mouvement perpétuel de création et suppression de l'écart SR/SG distribué entre concepteurs et mécaniciens pourrait être une ressource pour la conception d'une sécurité réglée intégrant la sécurité gérée. Cependant, certains auteurs mettent en garde contre cette recherche de suppression de l'écart par la recherche de conformité aux procédures ou de modification des procédures qui ne tiendrait pas au-delà d'un certain niveau de systématisation. Cette stratégie ne peut gérer l'imprédictibilité des situations de travail et mène à la création d'un cercle vicieux avec la création de plus de procédures amenant plus d'écart (Nathanael et al., 2016 ; Reason, 1990).

Nous avons discuté des résultats des analyses des SES de maintenance et de conception. La section suivante discute de la méthodologie mobilisant les SES pour étudier la construction de la sécurité entre des concepteurs et des opérateurs.

8.1.2 Apports, limites et perspective des SES et du codage CSR

L'objectif du recueil de Situations à Enjeux de Sécurité (SES) était de nous permettre de comprendre la manière dont les concepteurs en maintenabilité et les mécaniciens construisent la sécurité et de construire une bibliothèque de situations de référence du travail des mécaniciens et des concepteurs en maintenabilité centrée sur la sécurité pour outiller la conception. Nous avons utilisé les SES de conception et de maintenance, codées avec les mêmes thèmes (Contraintes, Stratégies et Ressources), pour analyser de manière croisée la construction de la sécurité des mécaniciens et des concepteurs en maintenabilité. L'analyse croisée, par l'ergonome, des SES de conception et de maintenance permet d'identifier les divergences entre la conception de la sécurité portée par les concepteurs et la sécurité en action portée par les mécaniciens.

Il nous semble que notre méthodologie de recueil de SES par entretiens des événements significatifs et d'observation et le codage transversal utilisant les thèmes Contraintes,

Stratégies, Ressource sont utilisables par les ergonomes analysant la conception de la sécurité dans d'autres domaines que la maintenance.

Notre capacité à réaliser un diagnostic détaillé du travail des concepteurs en maintenabilité est directement lié au croisement d'une analyse de l'activité basée sur des données « intrinsèques » aux concepteurs, les Evènements Significatifs (ES) de conception, et des données « extrinsèques », les Situation à Enjeux de Sécurité Observées dont l'identification a été permise par notre immersion dans le service de maintenabilité. En effet, conjuguer différentes méthodes de recueil de données permet de détailler et contraster l'analyse de l'activité (Créno & Cahour, 2015).

Nous n'avons pas réalisé d'immersion dans un atelier de maintenance et n'avons donc pas pu croiser les ES de maintenance issues des entretiens d'évènements significatifs à des observations. Cette asymétrie entre le recueil des SES chez les concepteurs et les mécaniciens est justifiée dans cette thèse par son aspect opérationnel focalisé sur le soutien à l'activité des concepteurs. Cependant, une recherche souhaitant croiser l'analyse de l'activité de construction de la sécurité entre concepteurs et opérateurs gagnerait à prévoir deux moments d'immersion, chez les concepteurs et chez les opérateurs, afin d'être en capacité d'exploiter pour les deux cas des ES issus des entretiens d'événements significatifs et des SES Observées. Une double immersion chez les concepteurs et les mécaniciens aurait peut-être également permis de faciliter leur mise en relation et la mise en place de la démarche CSR. La partie suivante discute des enseignements que nous a apportés la mise en place de la démarche CSR sur la possibilité de transformation des organisations ultrasûres.

8.2 Possibilités de transformation des organisations ultrasûres – Enseignements de la démarche CSR

Cette section de discussion est basée sur les résultats exploratoires de l'usage d'une démarche de conception participative, la démarche CSR (chapitre 7). Nous débuterons par une discussion de l'approbation de la démarche CSR par les ingénieurs puis nous questionnerons les apports et limites de cette démarche pour transformer le modèle de sécurité des concepteurs. Nous discuterons pour finir des possibilités de transformation du processus de conception de la sécurité réglée au sein d'une organisation ultrasûre.

8.2.1 Appropriation de la démarche CSR

8.2.1.1 Les SES utilisées comme outil de simulation dans la conception

Comme pour les Situations d'Action Caractéristiques (SAC), les Situations à Enjeux de Sécurité (SES) de maintenance ont été pensées comme des situations de référence pour la conception. La mise en discussion des SES des mécaniciens lors de moments de résolution de problèmes de conception (démarche CSR) a amené les concepteurs à discuter de situations non identifiées par les outils existants d'analyse de risque (analyse HHA et PEAM, cf. §1.3).

Mais contrairement aux SAC (Falzon, 2004 ; van Belleghem, 2018), les SES n'ont pas été pensées comme un outil de simulation, mais de discussion sur les adaptations de procédure réalisées par les mécaniciens pour outiller la réélaboration des règles et procédures de maintenance par les concepteurs en maintenabilité. Au cours de la démarche CSR, notre intention initiale était de faire discuter un mécanicien et un concepteur en maintenabilité autour de SES singulières et vécues par le mécanicien. Cependant, la recherche de SES vécues, liée à un problème de conception précis, a rapidement amené la question des limites du vécu des mécaniciens face à la recherche d'exhaustivité et de projection des concepteurs. Lors de l'essai de la démarche CSR dans l'usage, le concepteur cherchait à dépasser les limites de l'expérience singulière du mécanicien et à utiliser son expérience en reconstituant des SES probables. Ces SES probables sont une tentative du concepteur d'enrichissement des SES vécues ou d'identification de SES non vécues. Ces résultats posent la question de l'articulation entre l'expérience singulière des situations de travail apportées par les opérateurs aux concepteurs et le besoin de généralisation de cette singularité pour la conception. Le suivi de la démarche CSR

nous permettrait d'étudier cette question dans le cadre des démarches de conception participatives.

Ces SES probables ont été « créées » par le concepteur et le mécanicien en questionnant soit la procédure, soit les stratégies mobilisées dans les SES vécues au regard de contraintes, stratégies et ressources probables. La probabilité de ces SES reconstituées est évaluée par le mécanicien et le concepteur. Le concepteur confronte ensuite les procédures à ces SES. Cette appropriation enrichit la démarche en améliorant sa capacité d'intégration dans le processus de conception de la maintenance. Cependant nous pouvons alors questionner l'apport de l'utilisation des SES vécues et probables comme scénarios de simulation. En effet, il nous semble qu'il existe un point de vigilance concernant l'utilisation des SES probables. Si, pour quelque raison que ce soit, le dialogue concepteur/mécanicien n'est pas permis par la démarche CSR, nous identifions une possibilité d'évolution de l'utilisation de SES probables amenant à la recherche d'identification des risques possibles centrés sur la tâche et non l'activité du mécanicien. La démarche CSR ne se distinguerait alors pas des autres analyses de risques réalisées dans le service. La clé de la démarche CSR est donc bien la mise en dialogue des concepteurs et mécaniciens.

8.2.1.2 Instrumentalisation de la démarche CSR pour réduire l'écart SR/SG

Les résultats du chapitre 7 ont permis d'observer le début de l'appropriation de la démarche CSR par les concepteurs en maintenabilité dans laquelle la sécurité gérée amenée par les SES a été instrumentalisée par les concepteurs pour réduire l'écart entre SR/SG. En effet, la démarche SCR peut être vue comme un artefact à destination des concepteurs et des mécaniciens. La fonction initiale que nous donnions à l'artefact « démarche CSR » était de permettre aux concepteurs en maintenabilité de passer d'un modèle de la sécurité considérant l'écart comme étant source de risque à un écart comme étant source de sécurité et de discuter des possibilités d'usage de cet écart dans l'activité de conception de la maintenance. Autrement dit, nous donnions à la démarche CSR une fonction de déclencheur de la reconceptualisation de l'écart SR/SG. La reconceptualisation est comprise comme étant le résultat d'un processus d'argumentation et d'apprentissage qui oblige à préciser, approfondir une question débattue jusqu'à sa transformation (Baker, 2004) p101-102).

Les concepteurs ont, eux, donné à l'artefact « démarche CSR » une fonction de d'identification de l'écart SR/SG et d'évaluation de son acceptabilité. Ils semblent être dans un processus d'instrumentalisation de la démarche CSR (Rabardel, 1995). L'instrumentalisation de la démarche CSR s'appuie sur des pratiques et un modèle de sécurité déjà existant dans le travail des concepteurs en maintenabilité produisant un conflit majeur ; La sécurité est assurée par le suivi des procédures, mais les mécaniciens peuvent parfois agir en sécurité en dehors des procédures. Dans leurs analyses de maintenabilité, les concepteurs géraient ce conflit en essayant de repérer l'écart entre la procédure et ce qu'ils observent lors des simulations et observations des tâches et en modifiant le géré pour qu'il corresponde au réglé et inversement. A travers l'explicitation des diverses stratégies mises en place par les mécaniciens pour réaliser une tâche dans des situations variables, la démarche CSR a rendu ce conflit plus saillant. En effet, lors de l'analyse, le concepteur est amené à gérer ce conflit stratégie par stratégie. L'exacerbation de ce conflit n'a pas amené de reconceptualisation de l'écart SR/SG par les concepteurs, mais plutôt l'adaptation de la démarche CSR. Lors de l'essai de la démarche dans l'usage, ce conflit était géré par la recherche de solutions empêchant les stratégies jugées inacceptables et favorisant les stratégies jugées acceptables voire sécurisantes. C'est-à-dire que les concepteurs mobilisent la démarche CSR comme un outil permettant de réconcilier la sécurité réglée et la sécurité gérée par la suppression de l'écart (Cuvelier, 2022). Dans ce sens, la démarche CSR est instrumentalisée pour lui donner la fonction de soutien à l'articulation SR/SG pour la diminution de l'écart SR/SG. Le modèle de la sécurité prédominant reste le suivi de la procédure par le mécanicien et l'écart SR/SG reste vu comme une source de risque.

Au moment de l'écriture de cette thèse, l'appropriation de la démarche est toujours en cours, ce qui ne nous permet pas de nous positionner de manière définitive sur les apports et limites de la démarche et de son appropriation pour la gestion de l'écart entre sécurité réglée et gérée. Est-ce que l'usage à moyen et long terme de la démarche CSR consolidera la gestion du conflit entre sécurité réglée et gérée développée dans son appropriation par les concepteurs, ou est-ce que ce conflit sans cesse rediscuté amènera à une reconceptualisation de l'écart entre réglé et géré ? Pour répondre à ces questions il est indispensable de suivre l'évolution de la démarche, son usage et son instrumentalisation par les concepteurs en maintenance et l'évolution du traitement de l'écart entre SR/SG dans la conception.

Ces résultats posent également la question de la conduite stratégique des interventions ergonomiques. La démarche CSR se veut être une démarche de conception de la maintenance

participative réunissant mécaniciens et concepteurs en maintenabilité. Seulement, la conception de cette démarche ne peut se dire elle-même participative seulement que jusqu'à un certain point. Pour sa conception, nous nous sommes basés sur les diagnostics et les retours des confrontations de ces diagnostics au comité de pilotage et à l'équipe de maintenabilité. La forme de la démarche CSR a également été discutée et coconstruite avec un expert en maintenabilité. Cependant, l'objectif de reconceptualisation de l'écart SR/SG émane seulement de l'équipe de recherche. Cet objectif répondait aux diagnostics et aux confrontations des diagnostics avec le comité de pilotage. L'idée de chercher à utiliser l'écart comme une source de sécurité a été jugée comme problématique au vu des standard aéronautiques existants. Ce qui a été partagé au cours de la conception de la démarche, est l'objectif d'identification de l'écart SR/SG. Ces résultats nous interrogent sur l'approche stratégique de construction des objectifs des interventions ergonomiques et de leurs possibles co-constructions ou non avec les opérateurs/participants. Pour avoir une possibilité réelle de transformation, les objectifs des ergonomes et des demandeurs doivent-ils être similaires ? Jusqu'à quel point les objectifs des ergonomes intervenants peuvent diverger des objectifs initiaux des demandeurs et jusqu'à quel point dans l'intervention ? Dans notre cas, au vu des différences de modèles de la sécurité mobilisés par les concepteurs et par l'équipe de recherche, une différence d'objectifs finals nous semble être une source d'apprentissage tant pour les concepteurs que pour nous-même. Cependant, un travail plus poussé de clarification des évolutions des objectifs de la recherche et de confrontation de ces différences tout au long de la recherche aurait peut-être pu permettre une transformation plus aboutie.

8.2.2 La démarche CSR, contrainte ou ressource pour la négociation de la sécurité et l'articulation SR/SG ?

Cette section questionne le statut participatif de la démarche CSR et la capacité des concepteurs à utiliser la sécurité gérée comme d'une ressource pour la conception d'une maintenance sûre.

8.2.2.1 Négocation de la sécurité dans les approches participatives?

Selon Barcellini et al. (2013) les démarches de conception participatives, soutenues par des simulations issues du travail réel permettent le dialogue entre les concepteurs et les opérateurs et l'élaboration de solutions négociées. Dans le chapitre 7, nous avons montré que la démarche CSR a permis une discussion autour des stratégies adoptées par les mécaniciens dans les SES. Dans les groupes de travail, les concepteurs en maintenabilité ont construit des problèmes de conception sur la base de ces stratégies et de leurs acceptabilités. Lors de l'essai dans l'usage, le dialogue entre le concepteur en maintenabilité et l'ancien mécanicien a permis une explicitation des compromis microcentrés tant du côté du concepteur que de l'ancien mécanicien. Mais le choix de la solution restait à la discrétion du concepteur et semblait se faire en fonction de sa capacité à effectivement intégrer cette solution dans la conception. Le concepteur garde le pouvoir de prendre ou non en compte les contraintes, stratégies et ressources dans le travail des mécaniciens et d'intégrer ou non la sécurité gérée dans la sécurité réglée. Dans ce sens, peut-on alors affirmer que les solutions émanant de la démarche CSR sont négociées et issues d'une conception participative ? Darses et Rezeau (2004) distinguent 5 degrés de participation dans les démarches de conception participative :

- Le degré 1 correspond à l'information des opérateurs sur les décisions des concepteurs ;
- Le degré 2 correspond en la récolte d'information et de l'expérience des opérateurs ;
- Le degré 3 correspond au recueil des avis des opérateurs et de leurs suggestions sur les actions en cours ;
- Le degré 4 correspond à des négociations formelles entre concepteur et opérateur ;
- Le degré 5 correspond en des prises de décision conjointe.

Il nous semble que la participation des mécaniciens dans la démarche CSR se situe au degré 3 éventuellement 4. En effet, la démarche CSR amène les concepteurs à recueillir l'avis des mécaniciens et leurs suggestions de solution, ce qui correspond au degré 3. Pour savoir si nous pouvons placer ou non les premiers usages de la démarche CSR dans le degré 4, nous

reprendrons la définition de la négociation de Stimec (2010) (cf. §2.2.3.2) : la négociation correspond à toute « *toute situation remplissant trois conditions : (1) l'existence d'un dialogue (2) l'existence d'un problème à résoudre, et (3) la recherche d'un accord mutuellement acceptable* ». Les groupes de travail et l'essai dans l'usage montrent l'existence d'un dialogue et de la construction d'un problème à résoudre. De plus, le moment de la coanalyste est un moment d'explicitation des compromis construits par les concepteurs et les mécaniciens et de leurs discussions formelles pour trouver une solution. Cependant ces échanges ne cherchaient pas systématiquement à trouver un accord mutuellement acceptable, mais plutôt un compromis acceptable par le concepteur visant la réduction de l'écart entre la sécurité réglée et la sécurité gérée apportée le mécanicien. La prise de décision finale reste de la responsabilité du concepteur qui doit s'assurer qu'elle puisse être intégrée au processus de conception et qu'elle soit adaptée aux contraintes de son propre travail. Ce constat pose la question des capacités d'agir des concepteurs placés dans un rôle d'intégrateur de la sécurité gérée à la sécurité réglée au sein du processus de conception, ce que nous discutons ci-dessous.

8.2.2.2 La mise en discussion de la sécurité gérée - contrainte ou ressource pour les concepteurs ?

Selon Barcellini et al. (2013), les concepteurs peuvent considérer la mise en discussion du travail réel comme étant une contrainte supplémentaire. La mise en discussion du travail réel permettrait également aux concepteurs de prendre conscience qu'il est la condition même du fonctionnement du système et deviendrait alors l'enjeu de la conception. Pour Rocha (2014, p 175), le développement d'un pouvoir débattre autour du travail réel nourrit le pouvoir penser, et ainsi le pouvoir d'agir aux niveaux opérationnels et managériaux, ici de conception.

Dans notre cas, est-ce que la connaissance et la mise en débat de la sécurité gérée suffisent pour qu'elle devienne aux yeux des concepteurs l'enjeu et la condition même d'une maintenance sûre ? Est-ce que cette connaissance et ce débat deviennent systématiquement ressource pour le concepteur, source d'élargissant le champ des possibles comme avancé par Barcellini et al. (2013) et terreau du pouvoir penser et du pouvoir d'agir ?

Nos résultats montrent qu'en fonction de la capacité effective du concepteur à impacter la conception, les connaissances acquises sur le travail des mécaniciens deviennent soit des ressources pour réduire l'écart entre SR/SG, soit, si le concepteur ne trouve pas de moyen de les intégrer dans la conception, deviennent des contraintes supplémentaires dont la mise de côté

devra être justifiée et dont le concepteur est responsable. Par exemple, les SES de maintenance peuvent porter sur des sujets sur lesquels les concepteurs n'ont pas la main, soit car leurs contraintes de maintenabilité entrent en conflit avec d'autres contraintes stratégiques de conception (par exemple les contraintes de budget ou de masse), soit par ce que la SES se déroule essentiellement sur le terrain de la relation de service sur lequel ils n'ont que peu de possibilités de transformation. La transformation en ressource de l'écart entre sécurité gérée et gérée est donc fonction de la capacité des concepteurs à gérer leurs propres contraintes et à s'intégrer dans la construction des compromis macrocentrés au niveau du collectif. La capacité des concepteurs en maintenabilité de débattre de la sécurité gérée avec les mécaniciens est donc liée à la capacité du concepteur en maintenabilité à débattre avec les autres concepteurs et à présenter les contraintes de la maintenabilité comme étant stratégiques pour le collectif de conception et les décideurs. Autrement dit, la capacité de débattre de la sécurité gérée avec les mécaniciens est liée à sa capacité à en débattre avec les autres concepteurs et à ce que la sécurité gérée soit effectivement prise en compte par les décideurs aux côtés des critères de conception considérés comme stratégiques.

Ces résultats précisent ceux amenés par la thèse de Thomas (Thomas, 2019 p258) qui discute de l'organisation des espaces de débat du travail entre des opérationnels et des concepteurs de documentation technique. Elle met en avant que la capacité des espaces de débat sur le travail à transformer l'organisation est conditionnée au pouvoir décisionnaire des participants et des personnes responsables de l'espace de débat. Elle donne à voir la nécessité d'instaurer des espaces de débats respectant le principe de subsidiarité tant au niveau des opérationnels que des managers et dont les solutions puissent être remontées, si nécessaire, aux niveaux hiérarchiques supérieurs décisionnaires permettant leur mise en place effective. Dans notre cas, la mise en place d'une démarche de conception participative doit donc pouvoir s'appuyer sur un réseau hiérarchique soutenant les échanges et les décisions prises entre concepteurs en maintenabilité et mécaniciens. Or, nous avons montré que le réseau de conception dans lequel travaillent les concepteurs en maintenabilité rassemble des acteurs de la conception dont les intérêts et contraintes peuvent entrer en conflits. Il ne s'agit donc pas seulement d'instaurer des espaces de discussion de façon verticale pour rendre effectives les décisions prises entre les concepteurs en maintenabilité et les mécaniciens, mais d'y associer les autres concepteurs des bureaux d'études et tous les acteurs concernés par la conception.

8.2.3 Limites stratégiques des approches de conception participatives de la sécurité dans des organisations ultrasûres

8.2.3.1 Les organisions ont des phases d'approches de sécurité

La discussion ci-dessus fait l'hypothèse que le développement et l'évolution du modèle de la sécurité des concepteurs en maintenabilité sont insérés dans le développement et l'évolution du modèle de la sécurité de l'entreprise et dans l'organisation du travail productif. Nous proposons ici de voir l'évolution des modèles de la sécurité portés par des organisations comme passant par différentes « phases » définies par les modèles classiques de la sécurité et les manières de traiter l'écart entre sécurité gérée et réglée. Si nous considérons que les modèles de sécurité sont évolutifs et reflètent les pratiques et discours des organisations qui les mobilisent, nous pouvons classer l'organisation des concepteurs en maintenabilité et l'organisation plus macroscopique de l'entreprise en fonction de la manière dont elles traitent l'écart SR/SG pour construire la sécurité. Nous nous basons sur les travaux de Hollnagel (2015), Dekker (2014a) et de Cuvelier (2022) pour proposer 4 phases d'évolution possibles des approches de la sécurité dans les organisations :

1. Rejet de l'existence de l'écart SR/SG et du besoin de sa prise en compte pour construire la sécurité (modèle classique de la sécurité et ancienne vision de l'erreur)
2. Recherche de réconciliation de l'écart SR/SG par la diminution voire la suppression de l'écart
3. Recherche d'arbitrage entre sécurité gérée et sécurité réglée. Cela suppose de départager les deux formes de sécurité en définissant des zones et des limites acceptables donc de gérer l'écart.
4. Faire dialoguer SG/SR c'est-à-dire reconnaître à la fois leur unité et leur opposition structurelle. Cela consiste à valoriser l'écart, car il est considéré comme le véritable reflet du travail humain, la source de la sécurité.

Nous positionnons l'organisation de l'entreprise accueillant la recherche dans la première phase. Le modèle de la sécurité mobilisé par les concepteurs en maintenabilité correspondrait à la deuxième phase. La démarche CSR cherche à amener les concepteurs en maintenabilité à reconceptualiser l'écart SR/SG pour qu'ils atteignent la troisième phase.

Nous proposons cette catégorisation pour soutenir la phase de diagnostic de l'état de la sécurité dans une organisation et au sein des sous-systèmes de l'organisation (BE, ateliers, service support etc.). Cette phase de diagnostic est indispensable avant de poser des objectifs d'évolution du modèle de la sécurité d'un groupe. En effet, nos travaux soulignent l'importance pour une intervention ou recherche-intervention ergonomique visant l'évolution du modèle de la sécurité et des pratiques de sécurité d'une organisation, de prendre en compte la phase de sécurité dans laquelle se trouve le collectif concerné, mais aussi l'organisation plus générale dans laquelle ils évoluent. Ceci nous amène à poser la question des moyens à disposition de l'ergonomie pour faire évoluer deux modèles de sécurité situés sur des échelles organisationnelles et hiérarchiques différentes. La question de la capacité des concepteurs à débattre de la sécurité gérée et à l'intégrer effectivement dans le processus de conception nous amène alors à changer d'échelle et à s'intéresser aux objectifs stratégiques de l'entreprise et aux moyens de les transformer.

8.2.3.2 La prise en compte de l'activité demande la mise en place d'objectifs stratégiques au niveau de l'organisation

Le chercheur et/ou l'ergonome s'intéressant à la conception de la sécurité réglée à travers les pratiques et les modèles de sécurité des concepteurs doit pouvoir interroger la capacité effective des collectifs étudiés à les faire évoluer dans l'organisation. Le développement des pratiques et modèles pour la construction de la sécurité ne dépend pas seulement de la capacité de l'ergonome et du collectif à concevoir des outils de prise en compte de l'activité. D'après Jensen (2002), les ergonomes s'efforcent d'intégrer leur vision du travail depuis des dizaines d'années en utilisant de multiples outils et procédures disponibles. Cependant, il considère que les efforts des ergonomes ne suffisent généralement pas à intégrer effectivement dans les processus de production les questions du travail. « *Tools, methods and procedures are not sufficient to promote ergonomics. From an organizational point of view it is important to establish or increase the organizational platform for ergonomics* » (Jensen, 2002). Jensen se détache de l'approche centrée sur le soutien aux activités des opérateurs/concepteurs à travers les méthodes ergonomiques et ramène donc la conversation sur le terrain de l'organisation et des objectifs stratégiques des entreprises. Les perspectives des ergonomes se trouveraient limitées par le contexte organisationnel, ce qui devrait amener les ergonomes à chercher à développer une « plate-forme » pour l'ergonomie au sein de l'organisation. Jensen cite Perrow pour questionner la structure sociale d'un top management ne mettant pas en avant et/ou ne

partageant pas les objectifs et les perspectives de l'ergonomie. Les ergonomes sont alors constitués de petits groupes sans influence formelle dans l'organisation, mal connus des concepteurs et décideurs, avec peu d'accès aux ressources stratégiques. Jensen argumente alors que l'ergonome a autant un rôle d'expert et de facilitateur qu'un rôle politique. Petit (2020) donne également un rôle politique à l'ergonome, plus particulièrement à l'organisation de la participation qu'il voit comme un acte politique. La mise en place durable de la participation serait selon lui alors conditionnée au sens que mettent les décideurs derrière cette participation et au fait qu'ils partagent, avec l'ergonome, cette stratégie de mise en place de la participation.

Jensen (2002) propose alors que les interventions ergonomiques développent des moyens d'étudier les organisations pour comprendre la place qu'y tiennent des ergonomes et de leurs méthodes. Dans le même objectif, Petit (2020) propose d'étudier quatre niveaux de l'organisation lors de l'intervention ergonomique :

- L'organisation formelle : Etude des règles officielles internes et externes
- L'organisation prescrite : Etude d'un niveau de règles adaptables par les managers intermédiaires et de proximité
- L'organisation informelle : Etude du résultat de la réélaboration des règles
- L'organisation réelle : Etude de l'organisation réellement observable à travers les pratiques

Petit (2020) considère alors que comprendre l'organisation « *c'est comprendre à la fois ces différentes strates de règles et les processus associés entre chacune des strates* ».

Les réflexions amenées sur le rôle politique de l'ergonome au sein d'une organisation fait écho à notre tentative de développement d'outil d'évolution d'un modèle de sécurité, évolution ne semblant pas être, au moment de la recherche, en accord avec les objectifs stratégiques de l'organisation et la réglementation dans laquelle elle est prise. Cependant, malgré une organisation macroscopique limitant nos perspectives, nous avons pu observer le début d'une évolution poussée par les concepteurs qui cherchent à faire évoluer leur propre organisation par la mise en discussion de l'écart SR/SG pour sa réduction, voire sa suppression. La pression impulsée par les concepteurs amènera-t-elle l'organisation à évoluer et à transformer les objectifs stratégiques et règles pour intégrer l'écart SR/SG à la conception ? Ou à l'inverse la pression de l'organisation amènera-t-elle les concepteurs à se conformer aux objectifs stratégiques de l'organisation et au modèle classique de la sécurité ? Ce qui nous amène à cette question ; est-ce que, dans le système de conception industriel et le modèle de sécurité de l'organisation étudié, les démarches de conception participatives peuvent-elles amener la

sécurité gérée à être considérée comme un critère stratégique par les décideurs ? Si oui comment ?

Bibliographie

AFIM (s.d.). *Qui sommes-nous ?* Accès https://afim.asso.fr/afim/association/

Allard-Poesi, F., & Perret, V. (2003). La Recherche-Action. Dans Giordano, Y. (dir.), *Conduire un projet de recherche, une perspective qualitative* (p. 85–132). EMS.

Amalberti, R. (1996). *La conduite de systèmes à risques : le travail à l'hôpital*. PUF.

Amalberti, R. (2001a). La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie Française*, *46*(2), 105–117.

Amalberti, R. (2001b). The paradoxes of almost totally safe transportation systems. *Safety Science*, *37*, 109–126.

Amalberti, R. (2004). De la gestion des erreurs à la gestion des risques. Dans Falzon, P. (dir), *Ergonomie* (pp. 285–300). Presses universitaires de France.

Amalberti, R. (2013). *Piloter la sécurité : théories et pratiques sur les compromis et les arbitrages nécessaires*. Springer.

Amalberti, R. (2021). Professionnels, experts et super experts : un éclairage supplémentaire sur la sécurité réglée-sécurité gérée. *Tribunes de La Sécurité Industrielle, 1*.

Amalberti, R., & Hoc, J. (1998). Analyse des activités cognitives en situation dynamique : Pour quels buts ? Comment? *Le Travail Humain*, *61*(3), 209–234.

Angelides, P. (2001). The development of an efficient technique for collecting and analyzing qualitative data: The analysis of critical incidents. *International Journal of Qualitative Studies in Education*, *14*(3), 429–442.

Atak, A., & Kingma, S. (2011). Safety culture in an aircraft maintenance organization: A view from the inside. *Safety Science*, *49*(2), 268–278. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.08.007

Baker, M. (2004). *Recherches sur l'élaboration de connaissances dans le dialogue* [Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Nancy 2]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00110314

Barcellini, F. (2015). *Comprendre le travail collectif de conception, agir sur la conception collective du travail*. [Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bordeaux].

Béguin, P. (2007). Innovation et cadre sociocognitif des interactions concepteurs opérateurs : Une approche développementale. *Travail Humain*, *70*(4), 369–390. https://doi.org/10.3917/th.704.0369

Béguin, P., & Cerf, M. (2004). Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception des systèmes de travail. *Activités*, *01*(1). https://doi.org/10.4000/activites.1156

Benchekroun, T.-H. (2017). Organiser la participation et l'agir collectif en situation de coopération conflictuelle. Dans Ulmann, A.L, Weill-Fassina, A. Benchekroun, T.H. (dir), *Intervenir : histoire, recherches, pratiques*.Toulouse Octarès Edition.

Bernard, F. (2019). *Intégration du facteur humain en maintenabilité aéronautique : apports des outils de simulation*. [Thèse de doctorat, Université Bourgogne Franche-Comté].

Bernard, F., Antoine, V., Mahdjoub, M., Bazzaro, F., Varret, A., & Sagot, J.-C. (2015). *Conception pour la maintenabilité : Etat de l'art des efforts d'intégration de l'ergonomie pour la maintenance aéronautique*. https://www.researchgate.net/publication/279981731

Bisseret, A., Sebillote, S., & Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*. Octarès.

Boudon, R. (2018). *Dictionnaire de la sociologie* (Larousse).

Bourmaud, G., & Rétaux, X. (2002). Rapports entre conception institutionnelle et conception dans I 'usage. *14ème Conférence de l'Interaction Homme-Machine*, 137–144.

Bucciarelli, L. L. (1988). An ethnographic perspective on engineering design. *Design Studies*, *9*(3), 159–168.

Butterfield, L. D., Borgen, W. A., Amundson, N. E., & Maglio, A. S. T. (2005). Fifty years of the critical incident technique: 1954-2004 and beyond. Dans *Qualitative Research* (Vol. 5, Issue 4, pp. 475–497). https://doi.org/10.1177/1468794105056924

Caroly, S. (2010). *Activité collective et réélaboration des règles : des enjeux pour la santé au travail*. [Habilitation à Diriger des Recherches, Université Victor Segalen Bordeaux 2].

Caroly, S., & Weill-fassina, A. (2004). Evolutions des régulations de situations critiques au cours de la vie professionnelle dans les relations de service. *Le Travail Humain*, *67*(4), 305–332. www.cairn.info

Cerf, M., & Falzon, P. (2005). *Situations de service : travailler dans l'interaction*. Presses Universitaires de France.

Chang, Y. H., & Wang, Y. C. (2010). Significant human risk factors in aircraft maintenance technicians. *Safety Science*, *48*(1), 54–62. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.05.004

Chauvin, C. (2003). Gestion des risques lors de la prise de décision en situation d'interaction dynamique : approches systémique et cognitive. *EPIQUE'2003*, 123–178.

Chevalier, A. (2003). Effet du niveau d'expertise des concepteurs sur la prise en compte de contraintes et sur la qualité ergonomique de maquettes de sites web. *Travail Humain*, *66*(2), 127–160. https://doi.org/10.3917/th.662.0127

Chevalier, A., & Cegarra, J. (2008). Une approche psychologique de la notion de contrainte en résolution de problèmes. *Travail Humain*, *71*(2), 173–198. https://doi.org/10.3917/th.712.0173

Clot, Y. (2015). *Le travail à cœur : pour en finir avec les risques psychosociaux*. La découverte.

CNRTL (2022) *Stratégie*. Accès https://www.cnrtl.fr/definition/strat%C3%A9gie

Coutarel, F., Caroly, S., Vézina, N., & Daniellou, F. (2015). Marge de manœuvre situationnelle et pouvoir d'agir : des concepts à l'intervention ergonomique. *Le Travail Humain*, *78*(1), 9–29.

Créno, L., & Cahour, B. (2015). Triangulation des méthodes pour une analyse de l'activité selon différents points de vue : exemple de la gestion des emails chez des cadres surchargés. *Psychologie Française*, *60*(2), 129–144. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2014.12.001

Cuvelier, L. (2011). *De la gestion des risques à la gestion des ressources de l'activité : étude de la résilience en anesthésie pédiatrique*. [Thèse de doctorat, CNAM] https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00665997

Cuvelier, L. (2022). Réglé-géré : éviter de jeter l'activité avec l'eau du bain. *Tribunes de La Sécurité Industrielle*, *1*. www.foncsi.org

Cuvelier, L., & Woods, D. D. (2019). Sécurité réglée et/ou sécurité gérée : Quand l'ingénierie de la résilience réinterroge l'ergonomie de l'activité. *Le Travail Humain*, *82*, 41–66.

Dale, A. (1993). Le rôle de l'analyse secondaire dans la recherche en sciences sociales. *Sociétés Contemporaines*, *14*(1), 7–21. https://doi.org/10.3406/socco.1993.1124

Dalkilic, S. (2017). Improving aircraft safety and reliability by aircraft maintenance technician training. *Engineering Failure Analysis*, *82*, 687–694. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.06.008

Daniellou, F. (2004). L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. Dans Falzon, P. (dir) *Ergonomie* (pp. 359–373). Presses Universitaires de France.

Daniellou, F., Simard, M., & Boissières, I. (2010). *Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : un état de l'art*. https://www.FonCSI.org/

Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2001). Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique. *ÉPIQUE 2001, Actes Des Journées d'étude En Psychologie Ergonomique*, 11–20.

Darses, F., & Falzon, P. (1996). La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. Dans de Terssac, G. & Friedberg, E. (dir), *Coopération et conception*. Toulouse Octarès.

Darses, F., Falzon, P., & Munduteguy, C. (2004). Paradigmes et modèles pour l'analyse cognitive des activités finalisées. Dans Falzon, P. (dir), *Ergonomie* (p. 191–212). Presses universitaires de France.

Darses, F., & Reuzeau, F. (2004). Participation des utilisateurs à la conception des systèmes et dispositifs de travail. Dans Falzon, P. (dir), *Ergonomie* (p. 405–420). Presses Universitaires de France.

Darses, F., & Wolff, M. (2006). How do designers represent to themselves the users' needs? *Applied Ergonomics*, *37*(6), 757–764. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.11.004

De la Garza, C., & Weill-Fassina, A. (1995). Méthode d'analyse des difficultés de gestion du risque dans une activité collective : l'entretien des voies ferrées. *Safety Science*, *18*, 157–180.

De Terssac, G., & Gaillard, I. (2009). *La sécurité en action*. Octarès.

de Terssac, G., & Mignard, J. (2011). *Les paradoxes de la sécurité - Le cas d'AZF*. Presses Universitaires de France.

Dekker, S. (2014a). *Safety differently*. CRC Press.

Dekker, S. (2014b). *The Field Guide To understanding "human error."* Ashgate.

Deslauriers, J.-M., Deslauriers, J.-P., & Laferrière-Simard, M. (2017). La méthode de l'incident critique et la recherche sur les pratiques des intervenants sociaux. *Recherches Qualitatives, 36*(1), 94–112. https://id.erudit.org/iderudit/1084358ar

Détienne, F. (2006). Collaborative design: Managing task interdependencies and multiple perspectives. *Interacting with Computers*, *18*(1 SPEC. ISS.), 1–20. https://doi.org/10.1016/j.intcom.2005.05.001

DGAC. (2019). *Rapport sur la sécurité aérienne 2019*. https://www.ecologie.gouv.fr/rapports-annuels-sur-securite-aerienne

Di Cioccio, A. (2012). *Articuler sécurité et performance : les décisions d'arbitrage dans le risque en aéronautique* [Thèse de doctorat, CNAM]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01674153v2

Dien, Y., Dechy, N., & Guillaume, E. (2012). Accident investigation: From searching direct causes to finding in-depth causes - Problem of analysis or/and of analyst? *Safety Science*, *50*(6), 1398–1407. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.010

Domette, L. (2019). *Les dispositifs de discussion sur le travail : conception pour l'usage, conception dans l'usage*. [Thèse de doctorat, CNAM].

EHEST analysis of 2006-2010 european helicopter accidents. (2015). www.easa.europa.eu/essi

Engeström, Y. (2001). Expansive Learning at Work: Toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of Education and Work*, *14*(1), 133–156. https://doi.org/10.1080/13639080020028747

Eydieux, J., Tillement, S., & Journé, B. (2018). Discuter la sûreté et sa démonstration : négocier ce qui fait preuve. *Négociations*, *n° 30*(2), 37–52. https://doi.org/10.3917/neg.030.0037

Falzon, P. (2008). Enabling safety: Issues in design and continuous design. *Cognition, Technology and Work*, *10*(1), 7–14. https://doi.org/10.1007/s10111-007-0072-1

Falzon, P. (2013). Pour une ergonomie constructive. Dans Falzon, P. (dir), *Ergonomie constructive* (p. 1–16). Presses Universitaires de France.

Falzon, Pierre. (2004). Nature, objectifs et connaissances de l'ergonomie. Dans Falzon, P. (dir) *Ergonomie* (p. 15–35). Presses universitaires de France.

Flanagan, J. C. (1954). The Critical Incident Technique. *Psychological Bulletin*, *51*(4).

Folcher, V. (2010). *Développement des hommes et des techniques, perspectives de conception pour et dans l'usage*. [Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris 8 Vincennes].

Fusulier, B. (2013). Le compromis : du concept descriptif au concept interprétatif. Une mise en chantier. *Négociations*, *n° 20*(2), 19–29. https://doi.org/10.3917/neg.020.0019

Gadrey, J. (1994). Les relations de service et l'analyse du travail des agents. *Sociologie Du Travail*, *36*(3), 381–389. https://doi.org/10.3406/sotra.1994.2183

Galey, L. (2019). *Comprendre les situations d'exposition aux nanoparticules par l'intégration de l'activité de travail à la mesure : vers une construction de la prévention* [Thèse de doctorat, Université de Bordeaux]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02318379

Gaulejac, V. (2019). *Dictionnaire de sociologie clinique*. Eres.

Gill, S., & Courteney, H. (2021). *Human Hazard Analysis - Standardised Approach for Airframe Designers*.

Grant, E., Salmon, P. M., Stevens, N. J., Goode, N., & Read, G. J. (2018). Back to the future: What do accident causation models tell us about accident prediction? *Safety Science*, *104*, 99–109. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.12.018

Gremler, D. D. (2004). The Critical Incident Technique in Service Research. *Journal of Service Research*, *7*(1), 65–89. https://doi.org/10.1177/1094670504266138

Grusenmeyer, C. (2013). *Les activités de maintenance. Exploitation d'une enquête et analyse ergonomique dans une entreprise*. https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420517

Guérin, F., Puevo, V., Béguin, P., Garrigou, A., Hubault, F., Maline, J., & Morlet, T. (2021). *Concevoir le travail, le défi de l'ergonomie*. Octarès.

Hadj-Mabrouk, Abderraouf., & Hadj-Mabrouk, Habib. (2004). *Approche d'intégration de l'erreur humaine dans le retour d'expérience : application au domaine de la sécurité des transports ferroviaires*. INRETS.

Hoc, J.-M., & Amalberti, R. (2007). Cognitive Control Dynamics for Reaching a Satisficing Performance in Complex Dynamic Situations. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, *1*(1), 22–55. http://cedm.webexone.com.

Hoc, J.-M., Amalberti, R., Cellier, J.-M., & Grosjean, V. (2004). Adaptation et gestion des risques en situation dynamique. In *Psychologie ergonomie : tendances actuelles* (pp. 15–48). PUF.

Hollnagel, E. (1993). The phenotype of erroneous actions. *Machine Studies*, *39*, 1–32.

Hollnagel, E. (2008). Risk + barriers = safety? *Safety Science*, *46*(2), 221–229. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.06.028

Hollnagel, E. (2014). *Safety-I and Safety-II: The past and future of safety management*. Ashgate.

Hollnagel, E., Wears, R., & Braithwaite, J. (2015). *From Safety-I to Safety-II: A White Paper*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4051.5282

Hollnagel, E., & Woods, D. D. (2006). Epilogue: Resilience Engineering Precepts. In Ashgate (Ed.), *Resilience engineering: Concepts and precepts*. https://www.researchgate.net/publication/265074845

Homer Saleh, J., Tikayat Ray, A., Zhang, K. S., & Churchwell, J. S. (2019). Maintenance and inspection as risk factors in helicopter accidents: Analysis and recommendations. *PLoS ONE*, *14*(2). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211424

INERIS. (2011). *Etat de l'art des méthodes d'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine*.

Jensen, L. (2002). Human factors and ergonomics in the planning of production. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *29*(3), 121–131.

Journé, B., & Stimec, A. (2019). Haute fiabilité et négociation : le cas du nucléaire français. *Négociations, n° 32*(2), 103–120. https://doi.org/10.3917/neg.032.0103

Keatinge, D. (2002). Versatility and flexibility: Attributes of the critical incident technique in nursing research. *Nursing & Health Sciences*, *4*(1–2), 33–39.

Kermisch, C. (2012). Vers une définition multidimensionnelle du risque. *Natures et Métropoles*, *12*(2).

Latorella, K. A., & Prabhu, P. v. (2000). A review of human error in aviation maintenance and inspection. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *26*, 133–161.

Lawrence, P., & Gill, S. (2007). Human hazard analysis: A prototype method for human hazard analysis developed for the large commercial aircraft industry. *Disaster Prevention and*

Management: An International Journal, *16*(5), 718–739. https://doi.org/10.1108/09653560710837028

Leclerc, C., Bourassa, B., & Filteau, O. (2010). Utilisation de la méthode des incidents critiques dans une perspective d'explicitation, d'analyse critique et de transformation des pratiques professionnelles. *Éducation et Francophonie*, *38*(1), 11–32. https://doi.org/10.7202/039977ar

Lémonie, Y. (2019). Des marges de manœuvre à la diversité et à la variabilité motrice dans la prévention des TMS. *Le Travail Humain*, *82*, 67–97. https://www.cairn.info/revue-le-travail-humain-2019-1-page-67.htm

Leplat, J. (1982). Fiabilité et sécurité. *Le Travail Humain*, *45*(1), 101–108.

Leplat, J. (2000). About implementation of safety rules. *Safety Science*, *29*, 189–204.

Leplat, J. (2006). La notion de régulation dans l'analyse de l'activité. *Perspectives Interdisciplinaires Sur Le Travail et La Santé*, *8–1*. https://doi.org/10.4000/pistes.3101

Leplat, J., & Hoc, J.-M. (1983). Leplat et Hoc 1983 Tache et activité. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, *3*(1), 49–63.

Leveson, N. (2004). A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*, *42*(4), 237–270.

Lichtenberger, Y. (2014). Négociation sociale et construction d'acteurs complexes. Éloge du conflit et du compromis. *Négociations*, *n° 20*(2), 5–18. https://doi.org/10.3917/neg.020.0005

Maline, J., & Guérin, F. (2009). L'ergonome : organisateur du travail ou travailleur de l'organisation ? *44ème Congrès de La Société d'Ergonomie de Langue Française*, 245–254.

Marais, K. B., & Robichaud, M. R. (2012). Analysis of trends in aviation maintenance risk: An empirical approach. *Reliability Engineering and System Safety*, *106*, 104–118. https://doi.org/10.1016/j.ress.2012.06.003

Moon, K., & Yakovlev, A. A. (2020). A comparative statistical analysis of global trends in civil helicopter accidents in the U.S., the EU, and the CIS. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *868*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/868/1/012020

Morel, G., Amalberti, R., & Chauvin, C. (2008). Articulating the differences between safety and resilience: The decision-making process of professional sea-fishing skippers. *Human Factors*, *50*(1), 1–16. https://doi.org/10.1518/001872008X250683

Nachi, M. (2011). Deux concepts de compromis : commun vs analogique. *Négociations*, *16*(2), 95–108. https://doi.org/10.3917/neg.016.0097

Nascimento, A. (2019). *La notion de culture et ses usages dans l'intervention ergonomique : contributions pour un positionnement critique*. [Habilitation à Diriger des Recherches, CNAM].

Nascimento, A., Cuvelier, L., Mollo, V., Dicioccio, A., & Falzon, P. (2013). Construire la sécurité : du normatif à l'adaptatif. Dans Falzon, P. (dir), *Ergonomie constructive* (p. 103–116). Presses Universitaires de France.

Nathanael, D., Tsagkas, V., & Marmaras, N. (2016). Trade-offs among factors shaping operators decision-making: the case of aircraft maintenance technicians. *Cognition, Technology and Work*, *18*(4), 807–820. https://doi.org/10.1007/s10111-016-0393-z

Neboit, M., Cuny, X., Fadier, E., & Ho, M. T. (1990). Fiabilité humaine : présentation du domaine. *Les Facteurs Humains de La Fiabilité Dans Les Systèmes Complexes*, 23–46.

Newell, K., van Emmerik, R. E. A., & McDonald, P. V. (1989). Biomechanical constraints and action theory Related papers. *Human Movement Science*, *8*, 403–409.

Norman, I. J., Redfern, S. J., Tomalin, D. A., & Oliver, S. (1992). Developing Flanagan's critical incident technique to elicit indicators of high and low quality nursing care from patients and their nurses. *Journal of Advanced Nursing*, *17*(5), 590–600.

O'Hare, D. (2000). The "wheel of misfortune": A taxonomic approach to human factors in accident investigation and analysis in aviation and other complex systems. *Ergonomics*, *43*(12), 2001–2019. https://doi.org/10.1080/00140130050201445

Paquin, R., & Bernard, F. (2022). Use of augmented reality for hybrid mock-up validation in aviation maintainability. *European Rotorcraft Forum*.

Pariès, J. (2021). A propos du réglé et du géré... Quelques éléments de réponse à René Amalberti. *Tribunes de La Sécurité Industrielle*, *7*. www.foncsi.org

Pellerin, D. (2008). Les erreurs médicales. *Les Tribunes de La Santé*, *3*(20), 45–56. www.cairn.info

Perrenoud, P. (2004). Adosser la pratique réflexive aux sciences sociales, condition de la professionnalisation. *Education Permanente*, *160*, 35–60.

Petit, J. (2020). *Intervention sur l'organisation : concevoir des dispositifs de régulation pour un travail plus démocratique* [Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bordeaux]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03035165

Petit, J., Querelle, L., & Daniellou, F. (2007). Quelles données pour la recherche sur la pratique de l'ergonome ? *Travail Humain*, *70*(4), 391–411. https://doi.org/10.3917/th.704.0391

Prost, L. (2019). *La recherche agronomique au prisme de la conception*. [Habilitation à Diriger des Recherche, Université Paris Est].

Rabardel, P. (1995). *Les Hommes et les technologies - une approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.

Raby, F., & Baillé, J. (1997). L'approche ergonomique des stratégies d'apprentissage dans l'apprentissage institutionnel d'une langue étrangère. *Recherche et Pratiques Pédagogiques En Langues de Spécialité - Cahiers de l'APLIUT*, *16*(3), 84–93. https://doi.org/10.3406/apliu.1997.1207

Rankin, W., Hibit, R., Allen, J., & Sargent, R. (2000). Development and evaluation of the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) process. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *26*, 261–276.

Rasmussen, J. (1982). Human errors, a taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, *4*, 311–333.

Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press.

Reason, J. (1995). A systems approach to organizational error. *Ergonomics*, *38*(8), 1708–1721. https://doi.org/10.1080/00140139508925221

Reason, J. (2004). Beyond the organisational accident: The need for "error wisdom" on the frontline. *Quality and Safety in Health Care*, *13*(SUPPL. 2). https://doi.org/10.1136/qshc.2003.009548

Reason, J., Hollnagel, E., & Paries, J. (2006). *Revisiting the Swiss Cheese Model of Accidents*. www.eurocontrol.int

Ribert-Van De Weerdt, C. (2011). Les contraintes de travail et les stratégies de Régulation Émotionnelle en centre de relation Clientèle. *Travail Humain*, *74*(4), 321–340. https://doi.org/10.3917/th.744.0321

Richard, J.-F., Pastré, P., Parage, P., Sander, E., Futtersack, M., & Labat, J.-M. (2009). Analyse des stratégies de correction de défauts en plasturgie à l'aide d'un modèle de résolution de problème à base de contraintes. *Le Travail Humain*, *72*(3), 267–292.

Rocha, R. (2014). *Du silence organisationnel au développement du débat structure sur le travail : les effets sur la sécurité et sur l'organisation*. [Thèse de doctorat, Université de Bordeaux].

Rocha, R., Mollo, V., & Daniellou, F. (2015). Work debate spaces: A tool for developing a participatory safety management. *Applied Ergonomics*, *46*(Part A), 107–114. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.07.012

Shahrokhi, M. (2006). *Intégration d'un modèle de situation de travail pour l'aide à la formation et à la simulation lors de la conception et l'industrialisation de systèmes*. [Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes & Université de Nantes]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00429644

Shanmugam, A., & Robert, T. P. (2015). Human factors engineering in aircraft maintenance: A review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *21*(4), 478–505. https://doi.org/10.1108/JQME-05-2013-0030

Stimec, A. (2010). Les négociations ordinaires et la santé au travail. *Négociations*, *n° 12*(2), 195–205. https://doi.org/10.3917/neg.012.0195

Thellier, S. (2017). *Approche ergonomique de l'analyse des risques en radiothérapie : de l'analyse des modes de défaillances à la mise en discussion des modes de réussites*. [Thèse de doctorat, CNAM].

Thomas, C. (2019). *La fabrique de la prescription " au carré " : conception participative d'un dispositif de travail d'organisation transverse d'un processus de conception documentaire.* [Thèse de doctorat, CNAM]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02074306

UFH (s.d.). *Activité de l'hélicoptère – Stop aux idées reçues : les faits & les chiffres.* Accès http://www.ufh.fr/activite-de-lhelicoptere-stop-aux-idees-recues-les-faits-les-chiffres/

Van Belleghem, L. (2018). La simulation de l'activité en conception ergonomique : acquis et perspectives. *Activités*, *15*(1). https://doi.org/10.4000/activites.3129

Villemain, A., & Lémonie, Y. (2014). Environnement capacitant et engagement des opérateurs : une mise en débat à partir de l'activité des techniciens de la base polaire Dumont D'Urville. *Activites*, *11*(2). https://doi.org/10.4000/activites.1063

Visser, W. (2001). *Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive*. [Rapport de recherche] RR-4257, INRIA. Inria-00072331

Ward, M., McDonald, N., Morrison, R., Gaynor, D., & Nugent, T. (2010). A performance improvement case study in aircraft maintenance and its implications for hazard identification. *Ergonomics*, *53*(2), 247–267. https://doi.org/10.1080/00140130903194138

Weill-Fassina, A., & Pastré, P. (2004). Les compétences professionnelles et leur développement. Dans Falzon, P. (dir), *Ergonomie* (p. 213–232). Presses Universitaires de France.

Zafiharimalala, H. (2011). *Étude ergonomique pour la consultation sur écran de petite taille de la documentation de maintenance aéronautique* [Thèse de doctorat, Université de Toulouse]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00630541

Annexes

Annexe 1 Grille d'entretien exploratoire lors de l'entretien des évènements significatifs

Phases de l'entretien	Questions posées aux participants
Informations personnelles	Nom/Prénom/Age
	Comment êtes-vous arrivé au métier de pilote/mécanicien ?
	Ou avez-vous travaillé ? Combien de temps ?
Question initiale	Pouvez-vous me dire en quoi consiste votre travail ?
Questions de relance	• Qu'est-ce qu'on vous demande de faire ? • Quels outils utilisez-vous ? • Avec qui travaillez-vous ? • Quels sont les rôles de chacun ? • Dans quel but faite-vous cela ? • Qu'est-ce que vous considérez comme étant du travail bien fait ?
Question finale	Je vous demanderai de vous souvenir d'évènements que vous avez vécu qui ont eu un impact sur votre capacité à sécuriser la maintenance de l'appareil. Il faut que vous les ayez vécus et qu'ils aient été marquants dans votre travail. Ce seront peut-être des évènements qui ont eu un impact très positif, très négatif ou un évènement au cours duquel vous avez presque échoué à atteindre votre objectif.

Annexe 2 Résumés des ES dans le travail des concepteurs en maintenabilité

Code de l'ES	Résumés des ES dans le travail des concepteurs en maintenabilité
SFH1ES1	Dans le développement d'un nouvel appareil, le SFH identifie des risques et un problème d'accessibilité sur une tâche de maintenance grâce à la simulation numérique. Il fait ensuite des simulations avec mécaniciens et d'autres acteurs de la conception sur une maquette physique. Avec les autres acteurs de la conception, le SFH identifie des risques pour l'opérateur et l'hélicoptère.
SFH1ES2	Le SFH organise une réunion avec les rédacteurs des cartes de travail pour leur présenter les recommandations issues des analyses facteurs humain. Lors de cette réunion les rédacteurs n'ont accepté que 5 % des recommandations soit pour des problèmes technique de rédaction soit car ils ne pensaient pas que la recommandation soit utile. Il mobilise le collectif de maintenabilité pour faire passer ses recommandations.
SFH1ES3	Lors de l'observation d'une tâche de maintenance pour une analyse HHA, le SFH a vu une erreur se produire. Le mécanicien devait faire une inspection d'une pièce aéronautique tournante. Il est allé faire une pause. En son absence un autre mécanicien intervient sur l'hélicoptère et tourne la pièce. En revenant le mécanicien ne sait plus où il en était. Le SFH utilise cette observation pour proposer une solution design.
SFHES4	Suite à une analyse de risque demandé par le BE, le SFH identifie des risques d'abimer des éléments de l'hélicoptère lors de l'opération de maintenance. Il construit avec le BE une solution applicable par le BE.
SFHES5	A la suite d'un incident, le SFH réalise une étude de risque. Il identifie des problèmes de clarté de présentation des informations dans la carte de travail. Il profite de la simulation organisée pour cette étude de risque pour avoir l'avis des mécaniciens sur les changements dans les cartes de travail issus des recommandations de HHA.
SM1ES1	Le SDR participe au développement d'une nouvelle machine. Il fait des simulations physiques sur maquette grâce auxquelles il identifie le besoin de modifier le design de l'hélicoptère. Il implique le collectif de conception dans les simulations. Malgré cela, les autres acteurs de la conception refusent la modification de design pour des problèmes de masses et d'intégration.
SM1ES2	L'accessibilité d'une tâche de maintenance est jugée mauvaise par le SDR. Il ne trouve pas de solution au problème. Il organise un workshop avec les décideurs des différents BE impliqué pour coconcevoir la solution à l'aide de plans.
SM1ES3	Lors du développement d'un nouvel hélicoptère, le SDR identifie un problème de poids et d'accessibilité concernant un élément. Il prévient les autres concepteurs qui souhaitent tout de même simuler la tâche physiquement en l'état. Malgré une simulation sur maquette bois montrant clairement les contraintes, le SDR n'a pas pu faire changer le design.
SM1ES4	Suite à un incident un SDR découvre que la TN d'origine de la tâche de maintenance venant du BE contient une erreur. Le responsable au bureau d'études n'a pas le temps de corriger cette erreur.

SM2ES1	Lors d'analyse numérique sur une modification de design d'un appareil déjà existant, le SDR maintenabilité identifie 3 risques en maintenance. Face aux contraintes budgétaires et de design il accepte deux de ces risques mais pas le troisième. Toutes ses propositions de solutions ont été rejeté par les décideurs. Il donne alors une mauvaise note de maintenabilité dans l'espoir de faire réagir le client et qu'il vienne en soutien.
SM2ES2	Suite à un incident le SDR et le SFH étudient la faisabilité d'une procédure de d'inspection sensitive. Ils organisent des essais à l'aveugle et se rendent compte que le check sensitif est inefficace.
SM2ES3	Le SDR construit des règles de stockage qui varient en fonction des appareils. Son but et de faire des règles de « manière transversal » applicable à tous mais prenant en compte les variabilités des conditions de stockage des appareils clients.
SM2ES4	Un client a utilisé une zone grise des règles de stockage pour ne pas faire les opérations de maintenance nécessaire. Les hélicoptères se sont corrodés et le client s'est retourné contre Airbus en disant qu'il n'y a aucune procédure pour prévenir ça.
SM2ES5	Un incident a impliqué la perte d'un outillage spécifique qui est parti en vol alors que l'équipe de maintenance est censée être déposer avant le vol.
SM2ES6	Dans un projet de développement le SDR identifie des risques de blessure des mécaniciens par une analyse de la tâche basée sur la procédure et l'analyse du système technique.
SM2ES7	Le SDR a eu connaissance d'un incident en production impliquant le stockage quand il a travaillé précédemment dans un autre service. Il fait le lien avec la maintenance.
SM2ES8	Suite à un accident le BE choisit de modifier le design de l'appareil. Le SDR n'a pas accès à beaucoup de maquette numérique et n'a pas le temps de faire une analyse poussée. Il va donc voir un mécanicien et lui demande de commenter le changement de conception.
SM3ES1	Un outillage avait été créé sur une machine proto par un SDR maintenabilité qui est parti entre temps. La SDR maintenabilité qui a repris le sujet se rend compte que l'outillage ne fonctionne pas et que le design de l'hélicoptère a changer entre temps sans évolution de l'outillage.
SM3ES2	Un outillage avait été réalisé par le BE maintenabilité mais le design de l'hélicoptère a été modifié sans qu'il ne le sache. L'outillage ne fonctionnait pas chez le client qui était bloqué. Le SDR a alors conçu en urgence en nouvel outillage.
EM1ES1	EM est impliqué dans un projet de recherche de développement d'un nouvel appareil. Puisque l'appareil ne sera qu'un démonstrateur le projet ne donne pas beaucoup de budget à la maintenabilité.
EM1ES2	EM participe au développement d'un nouvel appareil. Il identifie des risques pour la sécurité de la maintenance sur une tâche d'inspection. Il implique les BE dans les simulations de la tâche pour qu'ils prennent connaissance des contraintes du mécaniciens. Les contraintes techniques de autres BE ne permettent pas de mettre en place les solutions qu'il avait envisagées.
EM1ES3	Lors du développement d'un nouvel hélicoptère, EM a identifié des contraintes liées à l'accessibilité. Il n'arrive pas à faire prendre en compte ses contraintes auprès du collectif de conception.
EM1ES4	A la suite de nombreux incidents, le service de maintenabilité revoit les règles de contrôles sensitifs des rotules de bielles. Il coconstruit une solution avec le collectif de

	conception en se basant sur de nombreuses expérimentations et simulations de tâche et après avoir envisagé de nombreuses solutions.

Annexe 3 Résumés des SES maintenance

Code de l'ES	Résumés des ES des mécaniciens
TR1ES1	Le tech rep est appelé pour réaliser une expertise suite à un incident en vol. Une biellette de retors arrière s'est cassée lors d'un vol stationnaire d'un hélicoptère militaire. L'expertise a montré que les roulements étaient brignelés parce qu'ils n'avaient pas utilisé la bonne graisse. Ils ne peuvent pas avoir utilisé la bonne parce qu'elle n'existait plus. En fait dans la réglementation la limite du roulement était passé d'horaire à calendaire avec un changement de graisse. Le client lui il est resté en horaire.
TR1ES2	Le mécanicien, en sous traitance au Koweït, préparait un hélicoptère militaire qui devait partir en vol 2h plus tard. Le client lui demande à ce moment de préparer une autre machine. Le mécanicien refuse de faire une opération de 4h en 2h. Il modifie un élément de décoration de l'appareil qu'il prépare pour répondre à une des demandes du client.
TR2ES1	Le tech rep livre une machine au client. Un problème technique survient qui engendre de nombreux dégâts sur la machine. Le tech rep doit alors gérer la réparation de l'hélicoptère pour livrer le client le plus tôt possible. Avec une équipe de mécanicien ils livrent finalement l'appareil avec 3 semaines de retard.
TR2ES2	Le jour même de la livraison du H175 avec 3 semaines de retard le pilote annonce une perte d'un circuit hydraulique en vol. Le mécanicien qui a livré la machine trouve et répare facilement la fuite. Il doit ensuite expliquer et prouver que la fuite n'est pas due à son travail mais à un oubli en phase d'assemblage.
M1ES1	Lors d'une visite 100h au SAMU, le mécanicien réalise un prélèvement d'huile avec un outillage "fait maison". Il perd un tuyau dans la BTP. Il passe 1h à chercher et récupérer le tuyau dans un contexte de pression temporelle
M2ES1	Un mécanicien d'Airbus en Allemagne réalise une tâche de tapping sur une pale. Il y repère un défaut. En consultant la carte de travail pour savoir comment le réparer il se rend compte que l'illustration ne correspond pas à la pale qu'il a sous les yeux. Il se dit que l'illustration n'est pas à jour depuis la modification des pales. Il transmet l'information au constructeur pour faire changer l'illustration.
M2ES2	Un mécanicien d'Airbus en Allemagne réalise une opération de dépose, expertise et pose de pale. Lors de la fin de la tâche il ne voit pas de lien demandant une vérification alors qu'il sait par sa formation qu'il devrait en avoir un. Il doit alors appeler Airbus pour savoir quel test effectuer.
M2ES3	Un pilote fait un vol d'essai avec unEC135 en Allemagne. Il tente d'atteindre la limite de vol mais n'y arrive pas. Il prévient les mécaniciens. Les valeurs de test d'alignement des pales semblent bonnes par rapport à la carte. Le mécanicien se dit que la description du test n'est alors peut-être pas bonne. Il refait le teste en appliquant différentes valeurs pour que l'alignement réel soit le bon et transmet l'information aux rédacteurs de cartes pour qu'ils modifient la carte.
M3ES1	Lors d'une visite de 25h sur NH dans un centre de formation de l'armée les mécaniciens trouvent qu'un axe n'est pas bien serré. L'axe est difficile d'accès et la zone jugée sensible par le mécanicien. Il préfère prendre la journée pour déposer la membrane et

	avoir un accès facilité à l'axe pour éviter de casser quelque chose en faisant le resserrage.
M3ES2	Un hélicoptère de la marine est en panne à cause d'une vanne. Pour la réparer on demande au mécanicien de déposer un support. Il considère que les vis à déposer sont difficilement accessibles sans risque pour les éléments autour. Il décide de dévisser une vis de la valve qu'il n'était pas sensé toucher pour faire son opération. Il vérifie ensuite si le fait d'avoir enlevé cette vis a un impact sur l'étanchéité d'une valve lors du point fixe. Il n'y avait pas de fuite
M3ES3	A la réception d'une machine arrivant de Marignane le mécanicien se rend compte que les côtes des amortisseurs n'étaient pas les bonnes. Un des damper a donc encaissé plus de charge que les autres. Il les règle tous à la bonne longueur et attend de voir si le damper arrive à prendre la pression sur les prochaine 25h. Il pense que l'erreur a été faite à Airbus à cause d'une documentation qui n'est pas claire. Il avait vécu la même chose quand il travaillait au MSCF.

Annexe 4 Grille de codage CSR de conception

Contraintes (C)	Contraintes dans le travail des concepteurs en maintenabilité (C1)	Règles de conception (C1.1)	Règle certification pour la navigabilité
			Règle rédaction des cartes
			Standard d'évaluation des risques différents
		Conception par projet (C1.2)	Architecture hélicoptère déjà existante
			Phase avancée du projet
			Séquentialité du process de conception
		Processus de conception mouvant (C1.3)	Interlocuteurs différents et demandes différentes pour un même sujet
			Changement de design et DMU
			Ingénieurs pas mis au courant de Changement de design et DMU
			Ne suis pas la fin du projet
		Manque de ressources (C1.4)	Difficulté d'avoir un retour sur l'impact des recommandations
			Manque temps
			Budget
			Contraintes mécaniciens faibles
			Ajout de charge de travail
		Contraintes de l'usage des outils de simulations (C1.5)	Non représentativité
			Pas accès à la numérisation
			Maquette pas assez modulaire
			Coût d'une maquette physique
			Temps long pour construction de maquette
			Observation/essai conditionnée au rythme de la maintenance
			Non disponibilité d'hélicoptère
			Simulation longue
		Contraintes dans le travail avec des mécaniciens (C1.6)	Mécanicien n'a rien à dire sur la tâche
			Manque d'expérience du mécanicien
			Pas accès au mécanicien impliqué dans l'incident
			Non disponibilité de mécaniciens
			Le client ne veut pas communiquer sur ses pratiques
		Contraintes des autres concepteurs (C1.7)	Temporelle
			Budgétaire
			Organisationnel
			Technique
			Réglementaire
			Commerciale

			Sécurité au travail
	Contraintes dans le travail des mécaniciens (C2)	Design (C2.1)	Poids élément
			Posture
			Confort du geste
			Travail en hauteur
			Manque d'accessibilité
			Manque de visibilité
			FOD difficilement rattrapable
			Outillage non fonctionnel
			Design des autres hélicoptères
			Induit l'erreur
		Carte de travail (C2.2)	Carte de travail pas claire
			Carte de travail ne précise pas la tâche
			Pensée pour l'ordinateur alors qu'imprimée
			Carte de travail incohérente
		Tâche (C2.3)	Ajout d'une tâche de démontage/remontage
			Surmaintenance
			Tâche supplémentaire
			Tâche longue
			Mesure sensitive difficile
			Tâche fréquente
			Augmentation fréquence de la tâche
			Tâche peu fréquente
		Risque dans l'action du mécanicien (C2.4)	Action imprévue entraine dommages hélico
			Pense avoir bien fait une tâche alors qu'il dévie
			Non détection et récupération de l'erreur par le mécanicien
			Incapacité à réaliser la tâche
			Perturbé par le collectif
		Client exploitant (C2.5)	Manque de matériel/pièces aéronautiques
			Budget maintenance
			Pression temporelle
			Environnement bruyant
			Ambiance thermique
			Variabilité des clients
			Insatisfaction client
Stratégies (S)	Construction d'un modèle de	Choix du type d'analyse et des outils (S1.1)	HHA
			Phha
			PEAM

	l'activité du mécanicien (S1)		Root cause incident
			Analyse de maintenabilité
			Analyse de carte de travail
			Analyse de Technical Note
			Analyses des contraintes techniques
			Analyse du processus de conception
		Evaluation individuelle de l'acceptabilité des contraintes des mécaniciens (S1.2)	Acceptation du risque et des contraintes mécanicien
			Refus du risque et des contraintes des mécaniciens
	Défendre les contraintes des mécaniciens dans la conception, la construction collective de compromis (S2)	Négocier sa place et ses apports dans le processus (S2.1)	S'insérer dans le process
			Demande de ressource au collectif de conception et cherche à convaincre de l'intérêt de son travail et des recommandations
			Engager les ressources en fonction du degré de détail souhaité dans l'analyse et des ressources
			Diminuer ses exigences de qualité d'analyse
		Rendre visibles les contraintes des mécaniciens au collectif (S2.2)	Mettre un score pour prioriser les contraintes
			Présenter ses propres contraintes au collectif
			Présenter ses propres contraintes comme des contraintes partagées
		Mobiliser le collectif pour une co conception (S2.3)	Demande d'informations au collectif
			Chercher le soutien du projet/programme
			Chercher le soutien du support
			Appel au collectif de maintenabilité pour soutien
			Mobiliser les clients
			Chercher un retour mécanicien sur les solutions
			Chercher à influencer le travail des autres services
			Anticiper les besoins futurs du collectif
			Organiser une conception collaborative
			Contrôler la mise en place des recommandations
		Négociation du compromis final (S2.4)	Proposer une solution initiale
			Proposer une solution satisfaisant les contraintes de toutes les parties
			Proposer un compromis entre les contraintes
			Proposition d'une solution minimale

			Report de responsabilité
			Imposer les contraintes de la maintenabilité
			Passer au Human Factor Safety Board
			Refus de signature
		Type de solutions proposées (S2.5)	Solution de création ou modification de procédure
			Solution rappel au client de la procédure
			Proposer une solution supprimant l'action du mécanicien
			Proposer une solution sous forme de règle générale de conception
			Concevoir une règle applicable à tous les clients
			Proposer une solution standard
			Proposer une solution de création d'outillage
			Proposer une solution de changement de design
	Stratégies appliquées par les autres concepteurs (S3)	Mobiliser le collectif (S3.1)	Mobiliser le service de maintenabilité
			Mobiliser le collectif de BE
			Mobiliser la safety
		Construction de solutions (S3.2)	Présenter ses propres contraintes au collectif
			Propose solution satisfaisant BE et maintenabilité
			Propose un compromis entres les contraintes
			Essai des propositions de solutions du service de maintenabilité
			Propose une solution immédiate et une autre à plus long terme
			Proposer différentes méthodes pour une même tâche
			Remettre en question sa propre pratique
		Rejet des apports des concepteurs en maintenabilité (S3.3)	Minimisation des contraintes mécaniciens
			Rejet des solutions car erreur humaine
			Refus des contraintes maintenabilité
			Rejet des analyses des concepteurs en maintenabilité
		Prise de décision (S3.4)	Arbitrage par un responsable
			Reporte la décision à plus tard
	Organisation (R1)	Organisationnelle (R1.1)	Implication favorisée par le process

Ressources (R)			Position dans l'organigramme
	Collectif (R2)	Collectif de conception (R2.1)	Service support et training
			Autres BE
			Safety/IM
			HSE
			Navigabilité
			Projet/Programme
			Collectif de maintenabilité
			EASA et concurrent
		Mécaniciens (R2.2)	Interne
			Client
			Inexpérimenté
			Expérimenté
			Bonne pratique
	Supports d'analyse (R3)	Outils de simulation ou d'observation (R3.1)	Simulation numérique (3D, mannequin numérique, VR, RA)
			Simulation physique (maquette physique ou sur hélicoptère)
			Observation de l'hélicoptère
			Observation de tâche
			Essai chez le client
			Maquette impression 3D
		Documentation (R3.2)	Rapport
			Procédure
			DMU
			Webtek
			Enquête client HHA

Annexe 5 Grille de codage CSR maintenance

Contraintes (C)	Conception de l'hélicoptère et de la procédure (C1)	Procédure (C1.1)	Tâche longue
			Obligation de suivre la procédure
			Procédure dangereuse
		Carte de travail (C1.2)	Erreur dans la carte de travail
			Manque d'information
		Design (C1.3)	Environnement sensible
			Mauvaise accessibilité/visibilité
	Relation de service (C2)	Organisation client (C2.1)	Indisponibilité outillage et matériel
			Mauvaise planification/suivi des procédures par l'organisation
			Lieu de maintenance éloigné de l'atelier
			Non disponibilité hélicoptère de remplacement
			Statut de propriété de la flotte
			Manque de formation du mécanicien
			Mécanicien isolé
			Augmentation du temps de travail du mécanicien
		Contraintes contractuelles (C2.2)	Contrainte financière
			Contrainte temporelle
			Contrat société de maintenance/client
			Responsabilité individuelle
		Contraintes de satisfaction client (C2.3)	Relation entre mécanicien et client
			Relation entre l'entreprise sous traitance et le client
			Demande spécifique du client
Stratégie (S)	Compréhension de la situation (S1)	Evaluation du contexte (S1.1)	Identifier l'élément déclencheur
			Evalue l'accessibilité
			Evalue la sensibilité de la zone à maintenir
			Evalue la légitimité du besoin du client
			Evaluer l'accès aux ressources
			Evalue sa propre responsabilité
			Recherche d'informations dans la documentation

		Evalue l'apport de la procédure (S1.2)	Identifie un écart à la norme et à la procédure
			Evalue le risque de faire l'opération selon la procédure
		Evalue la solution considérée (S1.3)	Evalue le risque de dévier de la procédure
			Evalue l'acceptabilité de la solution
			Teste sa solution
			Anticipe un contrôle
	Action sur la situation (S2)	Anticiper (S2.1)	Anticiper les imprévus dans la planification des tâches
			Anticiper les imprévus pour être dans les temps
			Réorganiser l'ordre des tâches
		Choix du mode opératoire (S2.2)	Adapter la procédure
			Ramène le système à la norme
			Corriger la procédure
			Adapter la procédure sans dévier
			Ajout d'une opération de maintenance
			Création d'une nouvelle règle
			Refuse de réaliser la tâche
		Mobiliser le collectif (S2.3)	Validation ou aide d'un collègue
			Informer le réseau
			Communiquer un risque au réseau
			Pour planifier les tâches
			Pour accéder à des ressources supplémentaires
		Négociation collective (S2.4)	Faire expliciter les besoins du client
			Donner des recommandations
			Rappeler les règles
			Faire abandonner une demande
			Construction d'une règle partagée
		Etablir les responsabilités (S2.5)	Protéger sa propre responsabilité
			Confronter la responsabilité de l'autre
			Protéger la personne portant la responsabilité
	Externe (R1)	Collectif (R1.1)	Personnes travaillant sur le même lieu

Ressources (R)			Un tiers prévient de l'élément déclencheur
			Responsable technique
			Contrôleur qualité
			Service support du constructeur
			Autres mécaniciens
		Carte de travail (R1.2)	
		Outillage (R1.3)	Outillage non certifié
			Atelier mécanique de l'hôpital et les autres services
	Interne (R2)	Connaissance du collectif (R2.1)	Anticiper la réponse du collectif
			Connaissance des contraintes du collectif
		Expérience (R2.2)	Expérience d'une situation passée similaire
			Echec passé similaire
		Connaissance de la théorie (R2.3)	Théorie de la maintenance

Annexe 6 Tableaux comparatifs des contraintes dans le travail des mécaniciens identifiées par les concepteurs en maintenabilité dans les SES de conception avec les contraintes évoquées par les mécaniciens dans les SES de maintenance.

Contraintes dans le travail des mécaniciens identifiées par les concepteurs en maintenabilité dans les SES conception		Correspondance avec les contraintes évoquées dans les SES de maintenance	
Design (C2.1)	Travail en hauteur	Design (C1.3)	Mauvaise accessibilité/visibilité
	Manque d'accessibilité		Mauvaise accessibilité/visibilité
	Manque de visibilité		Mauvaise accessibilité/visibilité
	FOD difficilement rattrapable		Mauvaise accessibilité/visibilité
	Induit l'erreur		Environnement sensible
Carte de travail (C2.2)	Carte de travail pas claire	Carte de travail (C1.2)	Manque d'information
	Carte de travail ne précise pas la tâche		Manque d'information
	Carte de travail incohérente		Erreur dans la carte de travail
Tâche (C2.3)	Tâche longue	Procédure (C1.1)	Tâche longue
Risque dans l'action du mécanicien (C2.4)	Action imprévue entraine dommages hélico	Procédure (C1.1)	Procédure dangereuse
	Pense avoir bien fait une tâche alors qu'il dévie		Procédure dangereuse
	Non détection et récupération de l'erreur par le mécanicien		Procédure dangereuse
Client exploitant (C2.5)	Manque de matériel/pièces aéronautiques	Organisation du client et de la société de maintenance (C2.1)	Indisponibilité outillage et matériel
	Budget maintenance	Contraintes contractuelles (C2.2)	Contrainte financière
	Pression temporelle		Contrainte temporelle
	Insatisfaction client	Contraintes de satisfaction client (C2.3)	Relation entre l'entreprise sous traitance et le client

Contraintes SES Maintenance non retrouvées dans les contraintes identifiées par les concepteurs en maintenabilité		
Conception de l'hélicoptère et de la procédure (C1)	Procédure (C1.1)	Obligation de suivre la procédure
Contraintes de service (C2)	Organisation du client et de la société de maintenance (C2.1)	Mauvaise planification/suivi des procédures par l'organisation
		Lieu de maintenance éloigné de l'atelier
		Non disponibilité hélicoptère de remplacement
		Statut de propriété de la flotte
		Manque de formation du mécanicien
		Mécanicien isolé
		Augmentation du temps de travail du mécanicien
	Contraintes contractuelles (C2.2)	Responsabilité individuelle
	Contraintes de satisfaction client (C2.3)	Relation entre mécanicien et client
		Demande spécifique du client

Contraintes dans le travail des mécaniciens identifiées par les concepteurs en maintenabilité non retrouvées dans les SES de maintenance (C2) (SES conception)	
Design (C2.1)	Poids élément
	Posture
	Confort du geste
	Outillage non fonctionnel
	Design des autres hélicoptères
Carte de travail (C2.2)	Pensée pour l'ordinateur alors qu'imprimée
Tâche (C2.3)	Ajout d’une tâche de démontage/remontage
	Surmaintenance
	Tâche supplémentaire
	Mesure sensitive difficile
	Tâche fréquente
	Augmentation fréquence de la tâche
	Tâche peu fréquente
Risque dans l'action du mécanicien (C2.4)	Incapacité à réaliser la tâche
	Perturbé par le collectif
Client exploitant (C2.5)	Environnement bruyant
	Ambiance thermique
	Variabilité des clients

Annexe 7 Démarche CSR

Les groupes de travail nous ont permis d'ajuster l'analyse CSR en fonction de l'usage observé en groupe de travail et de concevoir une première proposition de démarche CSR s'intégrant dans le processus de conception existant.

Nous présentons ci-dessous la démarche CSR rédigée à destination des concepteurs en maintenabilité.

Objectif de la démarche CSR

La démarche CSR vise à faciliter l'échange entre les concepteurs en maintenabilité et les mécaniciens autour du travail réel de maintenance. Elle doit permettre au SDR de définir des exigences de conception de la maintenance qui permettent aux mécaniciens d'agir en sécurité face à des situations de travail variables.

La démarche CSR produit dans un premier temps une banque de situations à enjeu de sécurité en lien avec la question de conception posée.

Par l'analyse de ces événements significatifs, la démarche CSR vise à fournir des données sur :

- Les contraintes que doivent gérer les mécaniciens pour réaliser la tâche de maintenance
- Les stratégies mises en œuvre par les mécaniciens pour agir en sécurité face à ces contraintes
- Les ressources nécessaires pour réaliser ces stratégies

Ces données seront ensuite utilisées pour identifier des exigences de conception. L'annexe … présente les définitions des notions clés de l'analyse CSR fournie aux concepteurs en maintenabilité.

Cette démarche s'adresse en premier lieu aux SDR en maintenabilité et aux spécialistes Facteurs Humains. Elle peut également être mobilisée par les SDR GSE et SDR Ground Handling (cf. § 2.3).

L'analyse CSR peut se réaliser à tout moment de la conception.

Conduite de la méthode

La démarche CSR fait appel à la collaboration SDR/mécanicien pour le partage des compétences et connaissances sur la maintenance. Elle est entièrement réalisée avec au minimum un binôme SDR/mécanicien.

En fonction de la complexité de la tâche et des ressources disponibles, l'analyse peut se faire à l'aide de plusieurs supports : sur table avec la carte de travail, avec une modélisation 3D de l'hélicoptère, en réalité virtuelle, sur l'hélicoptère avec ou sans dépose.

La conduite de la méthode est dépendante du contexte de la demande d'analyse faite au SDR. Nous présenterons ci-dessous les différents scénarios de la démarche CSR en fonction du contexte d'analyse, l'analyse CSR suite à un changement de design ou de procédure et une analyse CSR suite à un incident majeur.

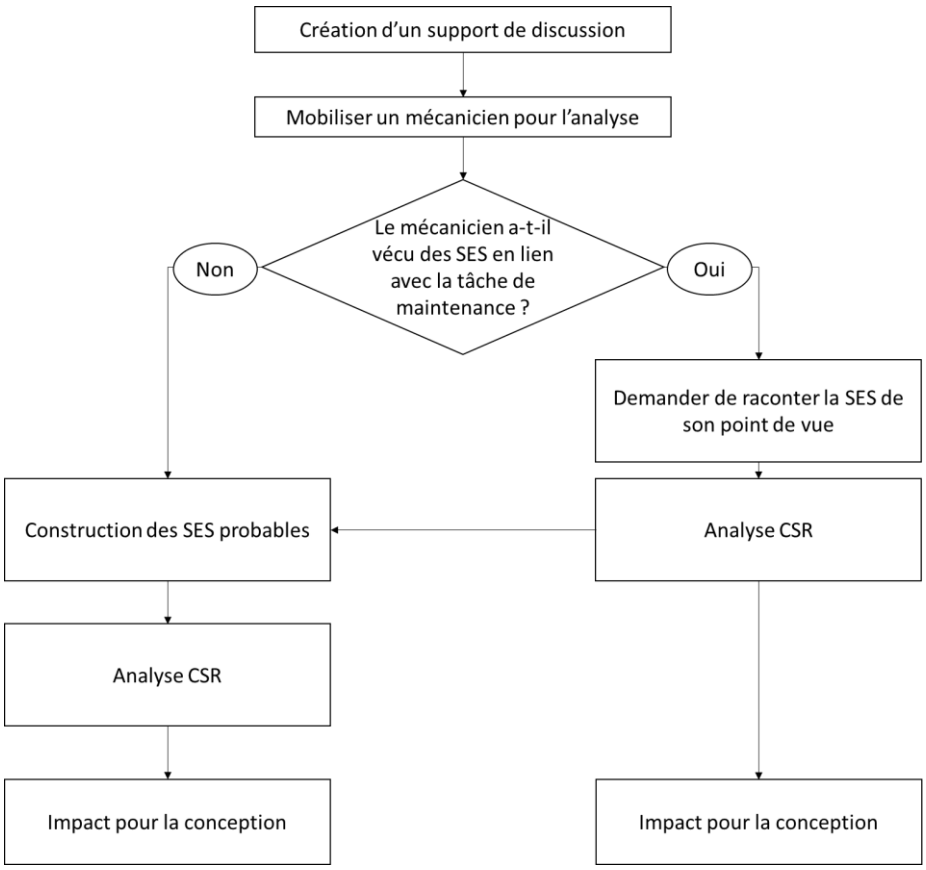


Figure 50 : Etapes de la démarche CSR dans un contexte de modification de design ou de procédure

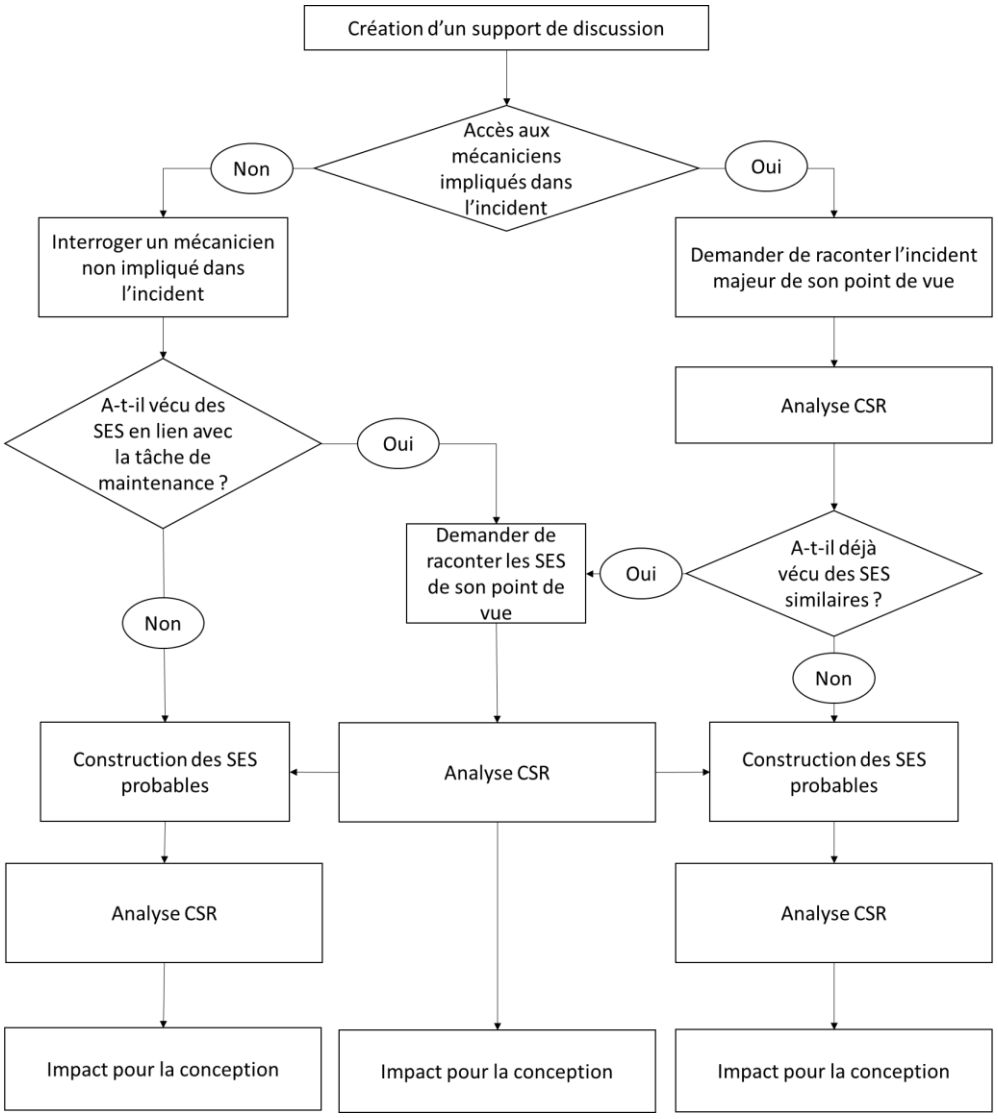


Figure 51 : Etapes de la démarche CSR dans un contexte de modification d'analyse d'incident majeur

Recueil de SES

1) Le SDR rassemble les informations qu'il a à sa disposition concernant le changement de design/l'incident ayant déclenché l'analyse qu'il présente ensuite à un mécanicien.

2) Avant de commencer l'analyse, **le SDR annonce au mécanicien l'objectif de l'analyse** :

Nous chercherons ensemble tout d'abord à identifier des d'évènements marquants dans votre travail et pour la sécurité en lien avec le changement de design/l'incident. Dans ces événements nous chercherons à identifier ce qui relève des :

- contraintes que doivent gérer les mécaniciens pour réaliser la tâche de maintenance
- stratégies mises en œuvre par les mécaniciens pour agir en sécurité face à ces contraintes

- ressources nécessaires pour réaliser ces stratégies

Cette analyse doit nous permettre de définir des exigences de conception de la maintenance qui permettent aux mécaniciens d'agir en sécurité face à des situations de travail variables.

3) Questions pour identifier une SES vécue ou probable

Ce nouveau design/cette nouvelle procédure/cet incident vous fait-il/elle penser à des évènements marquants que vous avez vécus dans votre travail, qui ont eu un impact sur votre capacité à sécuriser la maintenance de l'appareil ? Il faut que nous puissions en retirer des enseignements pour la conception de ce système et de la procédure.

Questions de relance et d'identification des SES probables:

- Avez-vous vécu des évènements en lien avec ce type d'opération de maintenance / dans cette zone / sur un autre appareil ?
- Y a-t-il des évènements dans lesquels vous n'avez pas pu/avez eu du mal à (choisir une stratégie) :
- Y a-t-il des évènements dans lesquels vous avez dû réaliser cette tâche alors que vous faisiez face à (choisir une contrainte ou une ressource) :

Demander au mécanicien de raconter ces SES et renseigner le fichier ppt.

Questions de relance lorsque le mécanicien raconte la SES.

Informations à retrouver dans le discours (Flanagan, 1954)	Quelles ont été les circonstances menant à cet événement ?
	Quelles actions ont été effectuées ?
	Par qui, en relation avec qui ?
	Quand l'évènement a-t-il eu lieu ?
	Quels sont les impacts de cet évènement sur l'activité et la sécurité ?

L'analyse CSR des SES avec le support diaporama de l'analyse

L'analyse CSR des SES se fait après la mise en récit des SES. Un fichier ppt permet au binôme SDR/mécanicien de guider et tracer leur analyse. Elle contient 3 étapes :

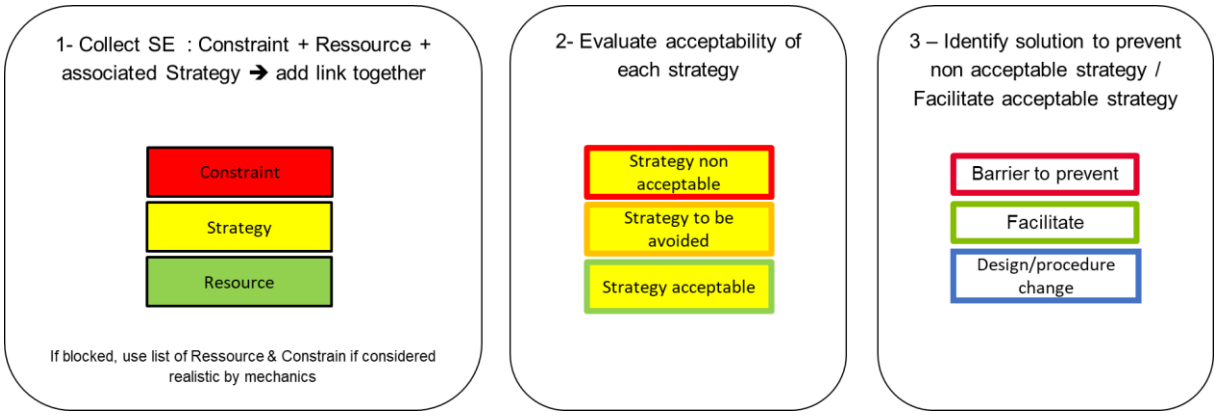


Figure 52 : Vision globale de l'analyse CSR

1) Le binôme SDR/mécanicien repèrent dans la SES ce qui relève des contraintes, stratégies et ressources du point de vue du mécanicien et reconstitue la SES vécue à l'aide d'un schéma.

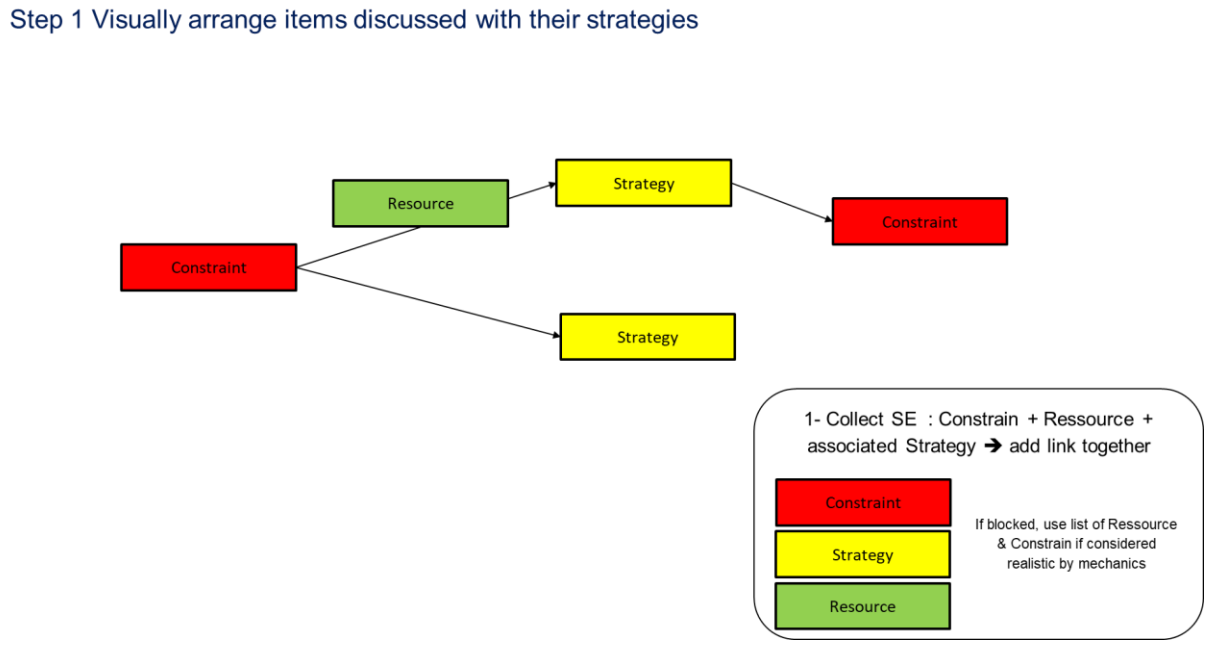


Figure 53 : Etape 1 de l'analyse CSR

2) Le binôme SDR/mécanicien évalue ensemble l'acceptabilité ou la non-acceptabilité des stratégies.

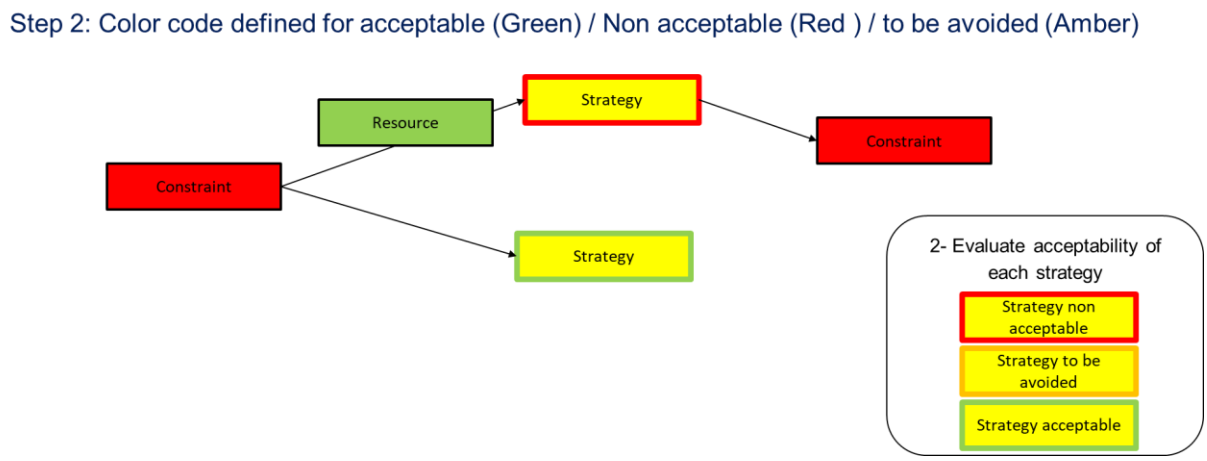


Figure 54 : Etape 2 de l'analyse CSR

3) Ils indiquent sur le schéma les actions à prendre du point de vue de la conception pour sécuriser la situation, c'est-à-dire faciliter ou mettre des barrières aux stratégies.

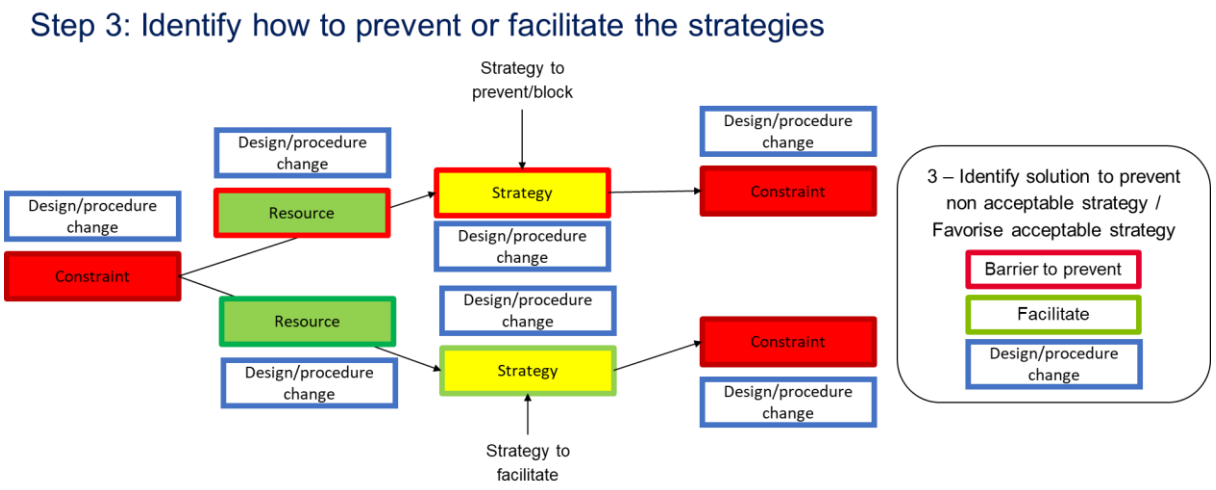


Figure 55 : Etape 3 de l'analyse CSR

Suite à l'analyse le SDR stocke le fichier Word et le schéma dans un dossier partagé réservés aux ES. Les titres des fichiers contiennent des mots clés décrivant l'ES. Les SDR construisent ainsi une bibliothèque d'ES qu'ils pourront exploiter pour d'autres analyses.

Définition des notions clés de la démarche CSR et grille de Contraintes/Stratégies/Ressources

Un évènement significatif : Un évènement :

- Passé ;
- Exceptionnel ou non ;
- Vécu par la personne elle-même ;
- Marquant dans son activité individuelle et celle du collectif ;
- Ayant eu un impact positif ou négatif sur sa capacité à agir en sécurité.

Ce nouveau design/cette nouvelle procédure/cet incident vous fait-il/elle penser à des évènements marquants que vous avez vécus dans votre travail, qui ont eu un impact sur votre capacité à sécuriser la maintenance de l'appareil ? Une situation similaire ?

Les contraintes. Restriction des actions possible :

- Contrainte imposée par la situation de travail ou par un tiers
- Contraintes que s'impose le mécanicien sous forme de règle

Est-ce qu'un élément de la situation de travail empêche le mécanicien de réaliser la tâche de maintenance ? Est-ce qu'un élément de la situation de travail empêche le mécanicien de réaliser la tâche de maintenance comme il le souhaite ?

Les stratégies de gestion des contraintes : Manières dont le mécanicien cherche à atteindre son objectif. Il peut gérer le conflit en effectuant une action, en adaptant ses objectifs à la situation, en cherchant à mieux comprendre la situation etc.

Les ressources : Objet important pour l'individu qui permet d'accéder à son objectif. Une ressource peut être :

- Matérielle (un outillage, un document, etc.)
- Immatérielle (une connaissance, un argument, l'aide d'un collègue etc.).

Qu'est-ce que le mécanicien utilise pour mettre en place sa stratégie de gestion des contraintes ? Qu'est ce qui permet cette stratégie ?

Attention : Un élément n'est jamais à priori une contrainte ou une ressource mais devient contrainte ou ressource dans la situation.

Grille des stratégies

Préparer la tâche	Anticiper les opérations de maintenance à réaliser
	Prendre connaissance des procédures et les comprendre
	Réunir le matériel nécessaire
	Construire sa propre organisation de travail
	Réorganiser l'ordre des tâches de maintenance si besoin
Evaluer la tâche	Evaluer sa capacité à atteindre la zone sans occasionner de dommages
	Evaluer les conséquences d'un dommage dans la zone
	Evaluer l'apport/le risque de suivre la procédure
	Identifier les imprévus probables
Choix du mode opératoire	Appliquer la procédure
	Mode opératoire plus rapide
	Mode opératoire moins couteux
	Mode opératoire plus sécurisant
	Refuser la tâche de maintenance
Evaluer l'impact de son action sur la sécurité	Evaluer par un test aux critères objectifs
	Evaluer par un ajout d'opération de maintenance
	Evaluer par appel au collectif
Construire une solution avec le collectif	Appeler AH
	Appeler sa hiérarchie
	Appeler des collègues
	Négocier une solution avec le client
Autre	

Grille des contraintes et ressources

Carte de travail	Présence ou non des informations importantes
	Clarté ou non des instructions / illustrations
Système technique	Bonne / Mauvaise accessibilité
	Bonne / Mauvaise visibilité
	Environnement critique/non critique
Planification des tâches	Anticipée ou non
Outillage (standard et GSE)	Disponible/non disponible
	Certifié aéronautique/ non certifié
	Adapté à la tâche/Non adapté à la tâche
Le matériel (pièces aéronautiques, infrastructure)	Disponible/ Non disponible
Opérateur exploitant	Type de mission (Civil/Militaire/parapublic)
	Taille de la flotte
	Besoin de disponibilité machine
	Appareil de remplacement disponible/ Non disponible
	Demandes spécifiques
Lieu	Proche ou loin d'un atelier
	Ambiance physique (lumière, température, humidité, bruit)
Le collectif (collègue, qualité, hiérarchie)	Disponible/ Non disponible
Statut du mécanicien	Intérim / sous-traitant/Interne
	Qualifié/Non Qualifié
Les pressions	Pression financière
	Pression temporelle
	Pression de la responsabilité
Autre	

Annexe 8 Déroulé du groupe de travail 2 concepteurs

1. INTRODUCTION (10 min)

La dernière fois vous aviez analysé deux procédures ave la méthode HHA. Cette méthode vous a permis de vous poser des questions sur les risques que le mécanicien ne puisse pas réaliser correctement la procédure. Vous aviez vu que dans les deux cas il y a des risques liés à une mauvaise accessibilité et a une procédure qui parfois n'est pas claire.

Aujourd'hui je vous propose de passer d'une vision centrée sur les risques à une vision centrée sur la sécurité en action, c'est-à-dire comment le mécanicien adapte les procédures à sa situation pour réaliser une maintenance sûre de son point de vue.

Pour faire ça, nous allons utiliser des récits d'évènements qu'ont vécus des mécaniciens en réalisant les tâches que vous aviez analysées la dernière fois. Les récits que vous allez voir décrivent des situations que le mécanicien considère comme significatives de sa capacité ou de ses difficultés à sécuriser la maintenance.

Je vais vous donner un récit par trinôme. Le trinôme de spécialistes vous aurez le récit lié au cas 1 (le resserrage d'axe de la servo commande) et le trinôme d'ingénieurs, le cas 2 sur le remplacement de la shut off valve.

Tout d'abord je vous laisserai le temps de lire ces récits individuellement. Ensuite au moins 1 personne par trinôme aura la tâche d'expliquer avec ses propres mots à tout le monde ce qu'il a compris, ce qui la peut être surpris et ce qu'il retient du récit. Les autres pourront compléter ou poser quelques questions pour la compréhension.

Après ça Je vous proposerai une méthode d'analyse de ces récits que vous réaliserez en trinôme.

Que ça soit pour la lecture du récit ou ensuite pour l'analyse, je vous demande de vous baser sur les éléments que vous avez dans le récit afin de rester factuel. Le but ici n'est pas de juger les mécaniciens mais d'essayer de comprendre le contexte dans lequel ils travaillent et comment ils s'adaptent pour agir en sécurité. Dans ce WS il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses aux questions que je vous pose, donc n'hésitez pas à dire ce que vous pensez.

2. LECTURE INDIVIDUELLE ET SYNTHESE (30 min)
3. PRESENTATION CONCEPTS D'ANALYSE (10 min)

Maintenant je vais vous demander de reprendre ces récits et de les analyser à l'aide de trois notions clés.

Les conflits tâche/situation : Dans le récit vous aller chercher les moments où il y a un conflit entre les tâches de maintenance et les contraintes de la situation

Est-ce qu'un élément de la situation de travail empêche le mécanicien de réaliser la tâche ? Est -ce qu'un élément de la situation de travail empêche le mécanicien de suivre la procédure ? etc.

Par exemple, le mécanicien doit faire un prélèvement d'huile mais il n'a pas d'outillage spécifique à disposition.

La stratégie de gestion du conflit tâche/Situation : Comment le mécanicien gère ce conflit ? Il peut gérer le conflit en effectuant une action, en adaptant ses objectifs à la situation, en cherchant à mieux comprendre la situation etc. Par ex le mécanicien choisit de fabriquer son propre outillage.

Les ressources : Qu'est-ce que le mécanicien utilise pour gérer le conflit ? Il peut utiliser des ressources matérielles (un outillage, un document, l'aide d'un collègue …) ou immatérielles (une connaissance, un argument etc.). Par ex, le mécanicien utilise une seringue et un tuyau que les infirmières de l'hôpital où il travaille lui ont donnés.

Ses ressources ici sont le tuyau et la seringue mais aussi les infirmières.

Dans les ES il se peut que vous trouviez un seul conflit ou plusieurs.

Vous pouvez commencer en surlignant dans le texte en rose les éléments entrant en conflit, en vert les ressources et en jaune les stratégies.

Ensuite vous pouvez noter les conflits/ressources/stratégies sur la couleur de post it correspondante et recréer les étapes clés de l'évènement sur la feuille A3. C'est cette feuille qui vous aidera ensuite à présenter l'évènement aux autres lors de la mise en commun.

Y a-t-il des questions ?

Si vous avez des questions pendant le travail en trinôme appelez-moi.

1. <u>TRAVAIL EN TRINOME (45 min)</u>

Support matériel :

Récit imprimé en plusieurs exemplaires

6 Surligneurs de 3 couleurs

Post it 3 couleurs (rose, vert, jaune) pour les 3 concepts

1 feuille A3 vierge sur laquelle ils pourront agencer leurs post it comme ils le souhaitent.

2. MISE EN COMMUN (30min)

Maintenant que vous avez fait l'analyse en trinôme, je vous demanderai de présenter à l'autre trinôme votre analyse en expliquant vos choix et les questionnements qui subsistent peut-être.

Les autres, n'hésitez pas à commenter ou questionner l'analyse.

Je rappelle qu'il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses, simplement des interprétations différentes qui doivent être discutées dans le respect de l'autre.

3. SI ON A LE TEMPS OU QUE LA DISCUSSION Y VA

Comparaison entre l'analyse HHA et ce qu'ils ont ressorti de l'analyse de la sécurité en action.

Discussion sur ce que chacune des approches amènent et des limites.

Annexe 9 Déroulé du groupe de travail 2 managers mécaniciens

1) ANNONCE DES OBJECTIFS

Expérimenter une méthode de conception pour la sécurité regroupant l'analyse d'évènements réels que m'ont raconté des mécaniciens et une analyse de ces ES en collaboration entre ingénieurs et mécanicien.

Ce que nous allons faire maintenant a déjà été fait par un groupe de 6 ingénieurs en maintenabilité.

On refera la même chose cet après-midi tous ensemble.

2) TOUR DE TABLE NOM PRENOM, FONCTION, EXPERIENCE EN TANT QUE MECANICIEN
3) ANNONCE DU CADRAGE DEONTOLOGIQUE + ENREGISTREMENT

Dans ce WS, vous serez amené à exposer votre point de vue sur le travail d'autres personnes. Les discussions ont pour but de chercher à comprendre les points de vue de chacun et non à chercher des fautes commises. Ce qui sera dit dans ce groupe de travail ne pourra pas être retenu contre des personnes et n'amènera pas de sanction par la suite.

Ce workshop est enregistré, les enregistrements seront confidentiels et les résultats de mes analyses seront anonymisés.

4) ANNONCE DU PROGRAMME

Nous aurons 2 ES à analyser

5) PRESENTATION DE L'ANALYSE CSR

Je vous laisserai le temps de lire l'ES individuellement. Quand vous avez finit, vous surlignerez en groupe les passages du texte relevant des conflits entre contraintes, des stratégies utilisées par le mécanicien et les ressources qu'il utilise.

Ensuite vous reporterez cette analyse sur les post it de couleur et indiquerez sur les post it jaune clair ce que vous pensez des stratégies utilisées par le mécanicien et les stratégies alternatives auxquelles vous pensez

6) LANCEMENT ANALYSE ES CAS 1
7) LANCEMENT ANALYSE ES CAS 2
8) CONCLUSION : D'abord question aux mécaniciens : Quelles informations avez-vous besoin pour agir en sécurité malgré les situations variables ?

Annexe 10 Déroulé du GT3

1. PARTICIPANTS

Les 6 ingénieurs initiaux + 2 mécaniciens internes.

2. INTRODUCTION (20 MIN)

Annonce des buts du WS :

- Expérimenter la méthode d'analyse CSR dans une démarche de diagnostic co construit entre mécaniciens et ingénieurs.
- Faire ressortir des discussions les points clés nécessaires aux concepteurs pour mieux prendre en compte le travail des mécaniciens et nécessaires aux mécaniciens pour prendre en compte les choix des concepteurs.

Annonce du cadrage déontologique

Dans ce WS, vous serez amené à exposer votre point de vue sur le travail d'autres personnes. Les discussions ont pour but de chercher à comprendre les points de vue de chacun et non à chercher des fautes commises. Ce qui sera dit dans ce groupe de travail ne pourra pas être retenu contre des personnes et n'amènera pas de sanction par la suite.

Ce workshop est enregistré, les enregistrements seront confidentiels et les résultats de mes analyses seront anonymisés.

Tour de table : nom prénom et fonction

Annonce de la structure du WS :

Vous commencerez par réaliser l'analyse CSR d'un nouveau cas en 2 groupes mixtes ingénieurs/mécaniciens

On prendra le temps de mettre en commun vos analyses.

Dans un deuxième temps, avec les mêmes groupes vous referez l'analyse d'un cas que vous avait déjà analysé lors du groupe de travail précédent.

3. ANALYSE DU NOUVEAU CAS (M1ES1) (20 MIN)

2 groupes en excluant le SFH qui connait trop bien le cas

- 3 ingénieurs +1 mécanicien
- 2 ingénieurs + 1 mécanicien

Rôle du SFH : Je lui demande d'observer les groupes travailler sans intervenir et de noter ses observations sur sa propre appropriation de la méthode.

Support : La fiche de cas + Les consignes avec les définitions des notions Conflit/Stratégie/Ressource et stratégies alternatives + Stabilo + Post it avec feuille A3.

4. MISE EN COMMUN DU NOUVEAU CAS (30 MIN)

La consigne est qu'une personne de chaque groupe présente l'analyse de son groupe et de discuter des éventuelles différences d'analyse et des stratégies alternatives.

5. ANALYSE DU CAS 1 (M3ES1) (20 MIN)

2 groupes avec le SFH:

- 3 ingénieurs +1 mécanicien
- 3 ingénieurs + 1 mécanicien

Support : La fiche de cas + Les consignes avec les définitions des notions Conflit/Stratégie/Ressource et stratégies alternatives + Stabilo + Post it avec feuille A3.

6. MISE EN COMMUN DU CAS 1 (20 MIN)

La consigne est qu'une personne de chaque groupe présente l'analyse de son groupe et de discuter des éventuelles différences d'analyse et des stratégies alternatives.

7. CONCLUSION (10 MIN)

D'abord question aux mécaniciens : Quelles informations avez-vous besoin pour agir en sécurité malgré les situations variables ?

Question aux ingénieurs : Quelles informations avez-vous besoin pour concevoir des procédures et un design qui soit une ressource pour le mécanicien et lui permette d'agir en sécurité ?

Annexe 11 Problèmes et Résolutions de la SES M3ES1 dans les GT2 et le GT3

Problèmes de la SES M3ES1					
Problèmes concepteurs (GT2 concepteurs)		Problèmes managers mécaniciens (GT2 managers mécaniciens)		Problèmes concepteurs + managers mécaniciens (GT3)	
Est-ce que l'accessibilité est mauvaise ? Est-ce que l'utilisation de la rallonge aurait vraiment abimé les alentours ?	Mise en doute du manque d'accessibilité.	Est-ce que l'accès est un problème ?	Que dit la carte ?	Qu'est ce qui est le plus simple à faire pour accéder à l'axe ?	Est-ce que déposer la cloison par feu est plus simple ?
	Non car pas d'effort à mettre sur la clé pour l'accès		Carte ne donne pas toutes les informations		
	Doute sur la capacité à ne pas réaliser de dommage		Possibilité de passer par un autre chemin qui serait moins risqué		
	Possibilité de déposer les éléments gênants l'accès ?		Possibilité de déposer les éléments gênants l'accès ?		
Est-il acceptable d'utiliser la SARIB comme trappe d'accès	Non car risque d'abimer une pièce critique	Est-ce que la dépose de la SARIB est un gain ?	Déposer la SARIB n'est pas si simple	Est-il acceptable d'utiliser la SARIB comme trappe d'accès	Non car opérations supplémentaires suite à la dépose risqué
	Non car opérations supplémentaires suite à la dépose risqué		La dépose peut être plus risquée que l'accès prescrit		Non : Ajoute des opérations risquées et non tracées
	Non car conséquence importante d'une défaillance		Ajoute des opérations risquées et non tracées		Non car risque d'abimer une pièce critique
	Oui, Ce n'est pas interdit par la carte				
	Oui car déposer la SARIB donne un bon accès à l'axe				
	Oui car conséquence faible d'une défaillance				
Les mécaniciens savent-ils si une pièce est critique ou non ?	Non, ils n'ont pas les informations dans la carte	Le jugement d'accessibilité et de criticité est subjectif	Pensent qu'il y a un manque d'expérience	Est-ce que le mécanicien peut juger de la criticité des pièces et de l'accès ?	Pensent qu'il y a un manque d'expérience
	Oui, ils ont des compétences, font des formations		Ce n'est pas le rôle d'un jeune mécanicien de juger de la criticité d'une pièce ou d'une accessibilité		Est-ce que le mécanicien lit la carte ?

			Est-ce que c'est la première fois qu'il fait la tâche ?		Est-ce qu'indiquer la criticité dans les cartes de travail est une ressource ?
L'appel au collègue est-il une ressource ?	Oui	Est-ce que le collectif est ressource ?	Non : Le mécanicien n'a pas suivi la carte de travail et n'a pas demandé aux plus expérimenter de trouver une meilleure solution		
	Non car la solution trouvée est inacceptable d'un point de vue opérationnel		Non : Les collègues concertés ne sont pas une ressource car ne permettent pas de trouver une solution acceptable		
			Non : Il a l'air seul		
			Est-ce que l'équipe s'entend bien ?		
Est-ce que le temps pris pour la dépose de la SARIB est justifié et acceptable ?	Est-ce que la dépose prend toute la journée ?	Est-ce que le temps pris pour la dépose de la SARIB est justifié et acceptable ?	Est-ce qu'un hiérarchique a validé ce choix ?	Est-ce que le temps pris pour la dépose de la SARIB est justifié et acceptable ?	Est-ce qu'indiquer la durée de temps permet aux mécaniciens de s'organiser ?
	Pas de contrainte de temps		Le temps pris n'est pas acceptable		
	Trop de temps pris				
	Participe à la formation				

Résolutions de la SES M3ES1 en fonction des problèmes					
GT2 concepteurs		GT2 managers mécaniciens		GT3	
Problèmes	Résolution	Problèmes	Résolution	Problèmes	Résolution
Est-ce que l'accessibilité est mauvaise ?	Résolutions centrées sur des problèmes spécifiques	Est-ce que l'accès est un problème ?	Se faire couvrir par le BE	Qu'est ce qui est le plus simple à faire pour accéder à l'axe ?	Dépose de cloison par feu
	Propose un autre mode opératoire : Déposer des éléments gênant l'accessibilité		Il est possible de protéger l'environnement		Détailler la carte
Est-ce que l'utilisation de la rallonge aurait vraiment abimé les alentours ?	Propose un autre outillage		Défaire la cloison par feu		
			Déposer des éléments gênant l'accessibilité		
Est-il acceptable d'utiliser la SARIB comme trappe d'accès	Propose une solution de changement de carte de travail + Discute de l'efficacité des changements de carte de travail +Discute de la préférabilité des changements de design	Est-ce que la dépose de la SARIB est un gain ?	Défaire la cloison par feu	Est-il acceptable d'utiliser la SARIB comme trappe d'accès	BE va supprimer les Perform One
Les mécaniciens savent-ils si une pièce est critique ou non ?	Propose une solution de changement de carte de travail + Discute de l'efficacité des changements de carte de travail + Discute de la préférabilité des changements de design	Le jugement d'accessibilité et de criticité est subjectif	Doit appeler des mécaniciens plus expérimentés	Est-ce que le mécanicien peut juger de la criticité des pièces et de l'accès ?	Indiquer la criticité d'une pièce (pas résolu)
			Doit appeler des mécaniciens plus expérimentés et la hiérarchie		
L'appel aux collègues est-il une ressource ?	Appeler support client	Est-ce que le collectif est ressource ?	Doit appeler des mécaniciens plus expérimentés		
			Doit appeler la hiérarchie		
Est-ce que le temps pris pour la dépose de la SARIB est justifié et acceptable ?	Appeler support client	Le temps pris n'est pas acceptable	Doit appeler la hiérarchie	Est-ce que le temps pris pour la dépose de la SARIB est justifié et acceptable ?	Suivre la règle
					Indiquer un ordre de grandeur de la durée d'une tâche

le cnam

Camille MURIE

AIRBUS

Articuler Sécurité Réglée et Sécurité Gérée dans les compromis en conception

Une approche croisée du travail de concepteurs et de mécaniciens pour une maintenance aéronautique sûre

Résumé

Notre recherche s'ancre dans une demande industrielle d'un constructeur d'hélicoptère centrée sur la diminution du risque d'erreur en maintenance aéronautique à travers la conception d'une maintenance sûre. Cette thèse cherche à comprendre la manière dont les concepteurs en maintenabilité conçoivent pour la sécurité et la manière dont les mécaniciens agissent en sécurité dans leurs situations de travail respectives. L'analyse de Situations de conception et de maintenance à Enjeux de Sécurité montre l'existence d'un conflit entre le modèle de sécurité des concepteurs en maintenabilité centré sur l'application des procédures et celui des mécaniciens, centré sur l'adaptation des procédures. Le processus de construction d'une démarche de conception participative de la maintenance et les premiers résultats de son usage mettent en évidence les contraintes organisationnelles limitant l'articulation de la sécurité réglée et gérée au sein d'une organisation ultrasûre.

Mots clés : Ergonomie– Maintenabilité – Situations à Enjeux de Sécurité – Sécurité Réglée et Gérée - Compromis – Conception participative

Résumé en anglais

Our research is based on an industrial demand from a helicopter manufacturer focused on reducing the risk of error in aeronautical maintenance through safe maintenance design. This thesis seeks to understand how maintainability designers design for safety and how mechanics act in safety in their respective work situations. The analysis of Safety Issue Situations in design and maintenance work shows the existence of a conflict between the safety model of maintainability designers focused on the application of procedures and that of mechanics, focused on the adaptation of procedures. The construction process of a participative maintenance design approach and the first results of its use highlight the organizational constraints limiting the articulation of regulated and managed safety within an ultrasafe organization.

Key words: Ergonomics– Maintainability – Safety Issues Situations– Regulated and Managed Safety – Trade-offs – Participatory Design