



# THÈSE

En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

---

**Présentée et soutenue par :**

**Damien L'HARIDON**

le jeudi 2 mai 2019

**Titre :**

Décision collective optimisée en milieu opérationnel extrême, application aux situations inconnues en vol spatial habité

---

**École doctorale et discipline ou spécialité :**

ED AA : Neurosciences, comportement et cognition /Astrophysique, Sciences de l'Espace, Planétologie

**Unité de recherche :**

CReA ONERA Salon de Provence

**Directeur(s) de thèse :**

M. Laurent CHAUDRON (directeur de thèse)

M. Yves GOURINAT (co-directeur de thèse)

**Jury :**

Mme Colette FAUCHER Maître de Conférences Sorbonne Université Sciences, UPMC - Présidente

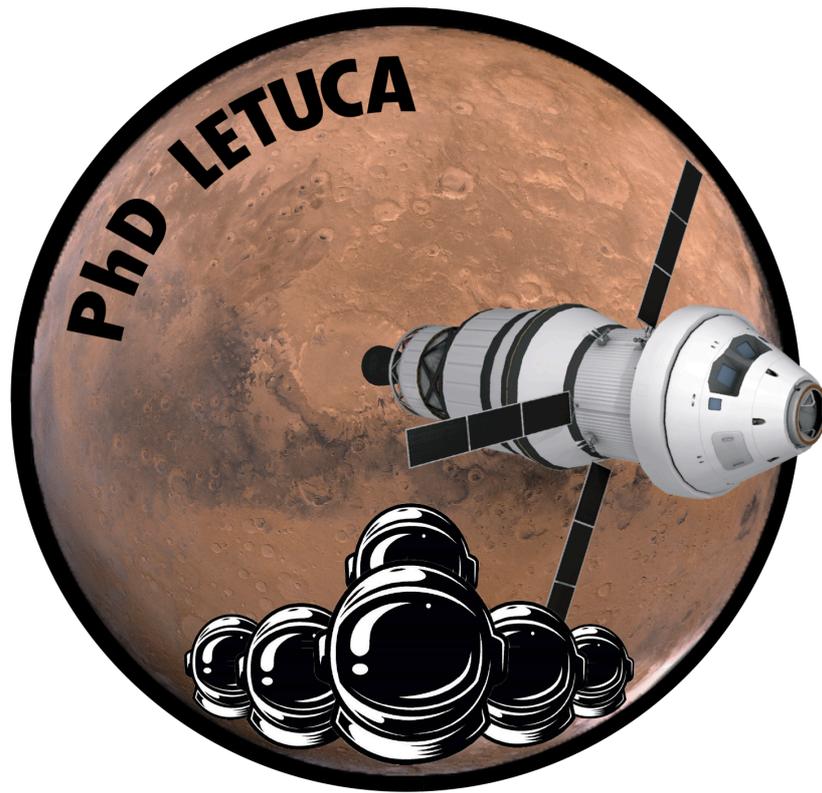
M. Laurent CHAUDRON Maître de recherche ONERA Provence - Directeur de thèse

M. Jean-Marc SALOTTI Professeur École Nationale Supérieure de Cognitique - Rapporteur

Mme Cécile GODÉ Professeure Aix-Marseille Université - Rapporteur

M. Yves GOURINAT Professeur ISAE-SUPAERO - Co-directeur de thèse

Mme Anne-Lise MARCHAND Enseignante chercheuse Centre de Recherche de l'Armée de l'air



Le possible est juste un petit peu après l'impossible

Jacques Salomé

à ma famille

## REMERCIEMENTS

Cette thèse est le fruit d'un long processus rendu possible grâce à des confrontations d'idées, des orientations, des réorientations, des corrections mais aussi à des soutiens. Je ne me risquerai pas à établir une liste exhaustive des apports de mon entourage tant ils ont été nombreux et précieux. Ainsi, ce doctorat est le fruit d'un travail d'équipe dont les membres ont toute ma gratitude.

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à l'équipe ayant dirigé ce travail doctoral, j'ai la plus haute estime et un profond respect à leur égard.

Dès le début, le **Docteur Laurent Chaudron**, mon directeur de thèse, a cru à ce projet situé à la croisée des activités opérationnelles et de la recherche et pris le risque de l'initier. Ses conseils, ses idées et sa motivation dans l'accomplissement de cette thèse ont été des catalyseurs de progrès.

Mes remerciements s'adressent à mon co-directeur de thèse, le **Professeur Yves Gourinat**. Grâce à son expérience académique et opérationnelle, il a su apporter un précieux recul à chaque étape majeure de cette thèse et renforcer son application à l'exploration de Mars.

Mes remerciements s'adressent à ma co-encadrante de thèse, la **Docteur Anne-Lise Marchand**. Son investissement, sa disponibilité, son argumentation et son soutien indéfectible ont indiscutablement repoussé mes limites vers des horizons « inconnus. »

Je tiens à remercier la Professeur Cécile Godé, de l'Université d'Aix-Marseille et le Professeur Jean-Marc Salotti, de l'Université de Bordeaux, pour l'honneur qu'ils m'offrent d'être rapporteur de cette thèse et de siéger à ce jury.

Mes remerciements sont également destinés à la Docteur Colette Faucher, de la Faculté des Sciences et Ingénierie Sorbonne Université, pour avoir accepté d'évaluer ce travail de thèse et de participer à ce jury de thèse.

Je remercie également le Général Michel Tognini et le Général Léopold Eyharts, tous deux spationautes de l'Agence Spatiale Européenne, le Capitaine J, de l'Antenne d'Orange du Groupement d'Intervention de la Gendarmerie Nationale et Franck Maurice, entraîneur principal de l'USAM Nîmes Gard, club de handball, pour avoir échangé sur les différentes facettes du travail en équipe dans leur milieu respectif.

Mes remerciements sont naturellement destinés aux dix-huit participants du protocole LETUCA. Leur participation sérieuse et longitudinale a permis l'acquisition d'une base de données dont les bénéfices seront petit à petit pleinement exploités : Alexandre, Anne, Dylan, Guillaume, Hugues-Audouin, Jean, Jean-François, Leïla, Marion, Maxime, Mohammed, Patrice, Quentin, Seydou, Thalia, Tony, Vaïk et Victoria.

Je tiens également à remercier les trente-quatre acteurs de milieux opérationnels ayant participé au questionnaire relatif à la préparation à traiter collectivement des situations inconnues. Leurs avis ont permis une avancée remarquable.

Ma gratitude est de même destinée aux chercheurs et doctorants du Centre de Recherche de l'Armée de l'air pour leur accueil et leur soutien. Je remercie également Florent Bollon pour son aide.

Mes remerciements vont à ma mère, la Docteur Arlette L'Haridon, mon père, Jean-Marie Meurant, Martine Carré et Emmanuelle Bonnet pour leur relecture du mémoire.

Je remercie ma mère également pour ses conseils avisés dès les premières ébauches de réflexions liées à ce projet de recherche.

Mon fils a ma reconnaissance car, sans le savoir, il m'obligeait de temps en temps à penser à autre chose.

Plus largement, mes beaux-parents, ma famille et mes amis ont su avoir une écoute et un accompagnement essentiels aux défis relevés.

Je remercie enfin mon épouse ; sans toi, cette thèse n'aurait tout simplement pas été possible.

## RÉSUMÉ

Les situations inconnues, *i.e.* jamais rencontrées ni anticipées, peuvent survenir lors de missions aérospatiales, comme dans le cas de la mission Apollo 13. Ainsi, l'équipage du premier vol habité vers Mars traitera probablement des situations inconnues (Orasanu, 2005) dans cet environnement potentiellement contraint, volatil et extrême tout en étant isolé de l'aide du centre de contrôle sol du fait des délais de communication. Or, un équipage ne peut pas être entraîné à traiter toutes les situations et *a fortiori* les situations inconnues (Noe, Dachner, Saxton et Keeton, 2011). Le présent travail de recherche est donc centré sur **l'amélioration de la performance opérationnelle collective face à une situation inconnue en vol spatial habité vers Mars.**

La littérature étudiée (McLennan, Holgate, Omodei et Wearing, 2006 ; Noe et *al.*, 2011) indique qu'une équipe partageant des expériences augmente sa compétence. En revanche, soit cette littérature est centrée sur une activité précise, soit elle ne discrimine pas les différents types d'expérience. De plus, la préparation d'une équipe pour réagir à une situation inconnue n'est pas abordée dans cette littérature. Potentiellement influencée par le partage d'expériences au niveau collectif, la métacognition est un levier reconnu d'augmentation de la performance en résolution de problèmes. La métacognition est définie comme la cognition sur la cognition (Flavell, 1979) et est modélisée en différentes étapes de raisonnement lors de résolutions de problèmes. Néanmoins, il n'est pas établi de lien entre d'une part le suivi de ces étapes ou leur mélange entre elles (*i.e. la netteté métacognitive*) et d'autre part l'amélioration de la performance opérationnelle collective en résolution de problème.

Pour répondre à ces problématiques, un protocole spécifique (LETUCA) a été conduit durant vingt mois. Trois équipes stables ont été mises à l'épreuve de douze problèmes conçus pour ce travail ou adaptés de la littérature. La première a partagé un maximum d'expériences, la deuxième était constituée d'équipiers vivant les mêmes expériences, mais majoritairement séparément. La troisième n'a pas vécu d'expérience particulière. Ces trois équipes sont caractérisées selon les qualités des expériences vécues relativement à un entraînement fictif à l'inconnu. Ces qualités sont déterminées par des professionnels pouvant faire face collectivement à des situations inconnues.

Les résultats obtenus soutiennent l'existence d'un lien entre le partage d'expériences diversifiées et de qualité et la performance opérationnelle collective en résolution de problèmes inconnus. L'étude de la métacognition permet de préciser ce lien : aucune relation n'est établie entre la performance et le suivi ou non du modèle de métacognition retenu. En revanche, un lien est confirmé entre les hautes valeurs de netteté métacognitive et l'augmentation de la performance opérationnelle. Finalement, l'ensemble des résultats permet de construire un *modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème.*

## ABSTRACT

Unknown situations, i.e. neither expected nor experienced, may happen during aerospace missions; notably, like in the case of the Apollo 13 mission. Then, the crew of the first manned flight to Mars will probably treat unknown situations (Orasanu, 2005) in this potentially constrained, volatile, and extreme environment whilst being isolated from ground control support due to communication delays. Yet, a crew cannot be trained to treat all situations, including the unknown situations (Noe, Dachner, Saxton et Keeton, 2011). The present research work deals with the **improvement of the operational and collective performance while coping with an unknown situation during a manned space flight toward Mars.**

The studied literature (McLennan, Holgate, Omodei et Wearing, 2006; Noe et *al.*, 2011) indicates that a team sharing experiences increases its skill. However, either this literature is focused on a precise activity or it does not discriminate the different types of experience. Moreover, the training of a team to react to an unknown situation is not discussed in this literature. Potentially influenced by experience sharing at collective level, the metacognition is a recognized lever to improve performance during problem resolutions. Metacognition is defined as cognition about cognition (Flavell, 1979) and is modeled into different reasoning steps during problem resolutions. Nonetheless, no link is established between on one side the follow-up of these steps or their possible mixture (i.e. metacognitive clearness) and, on the other side, the increase of the collective operational performance during problem resolutions.

To deal with these problematics, a specific protocol (LETUCA) was build and applied during twenty months. Three stable teams coped with twelve problems designed for this study or adapted from the literature. The first one shared a maximum of experiences; the second one was formed with teammates living the same experiences, but mainly separately from each other. The third team did not live specific experience. These three teams are characterized according to the lived experiences' qualities relative to a fictive training to the unknown. These qualities are determined by professionals that may face collectively unknown situations.

The obtained results support the existence of a relation between the sharing of quality and diversity experiences and the collective operational performance during unknown problem resolutions. The study of metacognition enables to specify this relation: no link is established between the operational performance and the tracking or not of the selected metacognitive model. However, a relation is confirmed between high metacognitive clearness values and the operational performance's increase. Finally, the results enable the construction of an empirical model of collective metacognition during problem resolution.

# TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	17
LISTE DES FIGURES .....	19
GLOSSAIRE .....	22
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	23
PARTIE I : ÉQUIPES OPERATIONNELLES, INCONNU ET MÉTACOGNITION .....	30
Chapitre 1 : Les vols spatiaux habités sont mis en œuvre par une équipe singulière .....	34
1. Équipage de spationautes, une équipe à part entière .....	34
1.1. Définitions d'une équipe : points communs et divergences .....	34
1.2. Pertinence face aux spécificités d'un vol habité à destination de Mars .....	39
1.3. Définition correspondant au cas d'un vol habité à destination de Mars .....	40
2. Partage d'expériences, utilité pour l'équipe .....	40
Chapitre 2 : Les équipes peuvent faire face à des situations inconnues .....	43
1. L'imprévu est soit anticipé, soit déjà expérimenté, soit les deux .....	43
1.1. Problèmes imprévus déjà anticipés et déjà expérimentés.....	44
1.2. Problèmes imprévus déjà anticipés mais jamais expérimentés .....	45
1.3. Problèmes imprévus déjà expérimentés jamais anticipés .....	45
2. L'inconnu n'est ni expérimenté ni anticipé.....	45
Chapitre 3 : Besoin de performance opérationnelle.....	48
1. Une exploration à risques .....	48
1.1. Un contexte extrême et volatil.....	48
1.2. Un contexte contraint .....	48
1.3. Un risque accru.....	49
2. Nécessité de performance opérationnelle .....	50
Chapitre 4 : La métacognition est un axe d'amélioration de la performance .....	53
1. La métacognition, ou la cognition sur la cognition .....	53
2. La métacognition déclinée en activités métacognitives variées .....	54
2.1. Variété des activités métacognitives individuelles.....	54
2.2. Variété des activités métacognitives collectives .....	58
3. La métacognition et gain de performance .....	58
Chapitre 5 : Développement de métaconnaissances et métacompétences.....	61
1. Métaconnaissances interindividuelles .....	61
2. Métacompétences interindividuelles .....	62

Chapitre 6 : Modélisation de la métacognition collective en résolution de problème.....	65
1. Absence de modèle <i>ad hoc</i> .....	65
2. Étapes métacognitives à retenir .....	77
3. Provoquant les lectures macro et micrométacognitive .....	81
4. Des modèles comparés à la métacognition réelle : le mélange métacognitif .....	82
Conclusion.....	85
PARTIE II : COMPOSITION D'ÉQUIPES SELON LEUR PARTAGE D'EXPÉRIENCES DIVERSIFIÉES ET DE QUALITÉ.....	87
Introduction .....	88
Chapitre 1 : Création d'équipes selon le vécu d'expériences diversifiées et de qualité .....	89
1. État de l'art du partage d'expériences diversifiées et de qualité .....	89
1.1. Réaliser une tâche collectivement .....	89
1.2. Relations sociales .....	91
1.3. Participations actives et passives à des expériences.....	92
1.4. Participations d'équipiers isolés.....	93
2. Typologie de la diversité des expériences .....	94
Chapitre 2 : Des équipes à caractériser précisément selon leur préparation à l'inconnu ..	99
1. Matériel et procédure de soumission .....	99
2. Participants .....	100
3. Résultats et discussion .....	101
Chapitre 3 : Caractérisation de trois équipes.....	103
1. Méthode de répartition des expériences vécues.....	103
2. Méthode de caractérisation d'une équipe .....	104
2.1. Pourcentage de partage $p_j$ d'expériences .....	104
2.2. Pertinence $P_j$ traduisant la préparation à l'inconnu.....	104
3. Composition de trois équipes théoriques.....	105
Chapitre 4 : L'École de l'air, terrain de recherche pour la composition des équipes .....	107
1. Un entraînement diversifié vécu par les élèves.....	107
2. Des élèves réunis par brigade .....	108
3. Des équipes composées en fonction des hypothèses.....	108
3.1. Des équipes réalistes.....	108
3.2. Respectant des contraintes hiérarchisées.....	109
3.3. Constitution pratique des équipes .....	110
3.4. Synthèse des équipes .....	111
3.5. Caractérisation des préparations à l'inconnu des équipes.....	113
3.6. Limites des coefficients de pertinence des expériences diversifiées .....	114

Conclusion.....	116
PARTIE III : MISES À L'ÉPREUVE DES ÉQUIPES AVEC LE PROTOCOLE LETUCA.....	117
Introduction .....	118
Chapitre 1 : Contexte d'application du protocole LETUCA .....	120
1. Expériences diversifiées et de qualité.....	120
2. Acquisition des données de performance .....	122
2.1. La performance mesurée avec une quantité de points ou un temps .....	122
2.2. La « relativité générale » .....	123
3. Acquisition des données de métacognition .....	123
3.1. Métaconnaissances et métacompétences étudiées .....	124
3.1.1. Métaconnaissances interindividuelles.....	124
3.1.2. Métaconnaissances générales .....	124
3.1.3. Métacompétences interindividuelles .....	125
3.1.4. Métacompétences générales .....	125
3.2. Modèle de métacognition en résolution de problème .....	125
3.2.1. La détection du problème.....	126
3.2.2. Définition et identification du problème .....	127
3.2.3. Représentation mentale .....	127
3.2.4. Planification .....	128
3.2.5. Choix entre plusieurs planifications possibles .....	128
3.2.6. Monitoring.....	128
3.2.7. Évaluation .....	129
3.2.8. Contrôle .....	129
Chapitre 2 : Méthodologie.....	130
1. Participants .....	130
1.1. Composition des équipes au début du protocole LETUCA.....	130
1.2. Adaptation des équipes à mi-vie du protocole .....	131
2. Matériel : le protocole LETUCA.....	132
2.1. Généralités .....	132
2.2. Trois types d'origines des exercices .....	134
2.3. Qualification d'inconnu ou non des exercices.....	134
2.4. Logigramme récapitulatif de création des exercices.....	135
2.5. Douze exercices.....	136
2.5.1. 1 <sup>ère</sup> expérience : Survie lunaire .....	137
2.5.1.1. Contexte.....	137

2.5.1.2.	Intérêt .....	137
2.5.1.3.	Organisation pratique .....	137
2.5.1.4.	Énoncé .....	138
2.5.1.5.	Mesure de la performance.....	139
2.5.2.	2 <sup>ème</sup> expérience : Mercury 21 .....	139
2.5.2.1.	Contexte.....	140
2.5.2.2.	Intérêt .....	140
2.5.2.3.	Organisation pratique .....	140
2.5.2.4.	Énoncé .....	142
2.5.2.5.	Mesure de la performance.....	142
2.5.3.	3 <sup>ème</sup> expérience : Missionnaires et cannibales.....	143
2.5.3.1.	Contexte.....	143
2.5.3.2.	Intérêt .....	143
2.5.3.3.	Organisation pratique .....	143
2.5.3.4.	Énoncé .....	144
2.5.3.5.	Mesure de la performance.....	144
2.5.4.	4 <sup>ème</sup> expérience : le Sac et l’Euro .....	144
2.5.4.1.	Contexte.....	144
2.5.4.2.	Intérêt .....	144
2.5.4.3.	Organisation pratique .....	145
2.5.4.4.	Énoncé .....	146
2.5.4.5.	Mesure de la performance.....	146
2.5.5.	5 <sup>ème</sup> expérience : Untangle .....	147
2.5.5.1.	Contexte.....	147
2.5.5.2.	Intérêt .....	147
2.5.5.3.	Organisation pratique .....	149
2.5.5.4.	Énoncé .....	149
2.5.5.5.	Mesure de la performance.....	150
2.5.6.	6 <sup>ème</sup> expérience : Procédure feu .....	150
2.5.6.1.	Contexte.....	150
2.5.6.2.	Intérêt .....	150
2.5.6.3.	Organisation pratique .....	152
2.5.6.4.	Énoncé .....	153
2.5.6.5.	Mesure de la performance.....	153

2.5.7.	7 <sup>ème</sup> expérience : Système électrique .....	153
2.5.7.1.	Contexte.....	153
2.5.7.2.	Intérêt .....	154
2.5.7.3.	Organisation pratique .....	154
2.5.7.4.	Énoncé .....	155
2.5.7.5.	Mesure de la performance.....	156
2.5.8.	8 <sup>ème</sup> expérience : compte rendu Mars .....	156
2.5.8.1.	Contexte.....	156
2.5.8.2.	Intérêt .....	156
2.5.8.3.	Organisation pratique .....	157
2.5.8.4.	Énoncé .....	157
2.5.8.5.	Mesure de la performance.....	158
2.5.9.	9 <sup>ème</sup> expérience : Évitement d'astéroïde.....	158
2.5.9.1.	Contexte.....	158
2.5.9.2.	Intérêt .....	160
2.5.9.3.	Organisation pratique .....	160
2.5.9.4.	Énoncé .....	161
2.5.9.5.	Mesure de la performance.....	161
2.5.10.	10 <sup>ème</sup> expérience : Qualités pilote de drone sur Mars .....	161
2.5.10.1.	Contexte.....	162
2.5.10.2.	Intérêt .....	162
2.5.10.3.	Organisation pratique .....	162
2.5.10.4.	Énoncé .....	163
2.5.10.5.	Mesure de la performance.....	163
2.5.11.	11 <sup>ème</sup> expérience : Transfert de point d'amarrage.....	163
2.5.11.1.	Contexte.....	163
2.5.11.2.	Intérêt .....	164
2.5.11.3.	Organisation pratique .....	165
2.5.11.4.	Énoncé .....	165
2.5.11.5.	Mesure de la performance.....	167
2.5.12.	12 <sup>ème</sup> expérience : Monument Valley.....	168
2.5.12.1.	Contexte.....	168
2.5.12.2.	Intérêt .....	169
2.5.12.3.	Organisation pratique .....	170

2.5.12.4. Énoncé .....	170
2.5.12.5. Mesure de la performance.....	171
3. Procédure.....	172
3.1. La nécessité d'expériences organisées en laboratoire .....	172
3.2. Méthode d'observation de la métacognition.....	173
3.2.1. Observation passive de la métacognition.....	173
3.2.1.1. Un choix fondamental : l'absence d'intervention du doctorant .....	173
3.2.1.2. Réduisant le spectre des mesures réalisables.....	174
3.2.1.2.1. État de l'art des techniques d'observation existantes .....	174
3.2.1.2.2. Besoin d'une technique d'observation passive : la grille d'observation ..	176
3.2.2. Optimisation de l'observation des équipes .....	179
3.2.2.1. L'observation, un outil aux capacités diversifiées et de qualité .....	179
3.2.2.2. Qu'il convient d'optimiser pour répondre aux hypothèses .....	180
Chapitre 3 : Acquisition des données .....	183
1. Traitements mathématiques des résultats du protocole LETUCA .....	183
1.1. Formule de la « relativité générale ».....	183
1.2. Point proportionné.....	184
1.2.1. Règles d'emploi du point proportionné.....	184
1.2.2. Méthode d'utilisation du point proportionné .....	184
1.2.3. Méthode du point proportionné appliquée à trois expériences .....	186
1.3. Méthode des intégrales .....	186
1.3.1. Règles d'emploi de la méthode des intégrales .....	186
1.3.2. Méthode d'utilisation de la méthode des intégrales.....	187
1.3.3. Méthode des intégrales appliquée à trois expériences .....	187
2. Traitements de la métacognition mise en œuvre .....	188
2.1. Les interventions collectées sont codées .....	188
2.1.1. Un codage mettant à l'épreuve les hypothèses .....	188
2.1.2. Un codage standardisé .....	190
2.2. La netteté, outil de mesure du mélange métacognitif .....	200
2.2.1. Le mélange s'observe dans les retranscriptions .....	200
2.2.2. La netteté métacognitive comme indicateur du mélange.....	201
2.2.3. Permet donc le test de l'hypothèse 5 .....	202
Conclusion.....	203
PARTIE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS .....	204
Introduction .....	205

Chapitre 1 : Le partage d'expériences améliore la performance.....	207
1. Participation équilibrée aux expériences.....	207
2. Les résultats bruts.....	208
3. Analysés statistiquement.....	210
3.1. Soutien des résultats du test de Wilcoxon.....	210
3.2. Nuances de la lecture des boîtes à moustaches.....	212
4. Soutien de l'hypothèse 1.....	213
Chapitre 2 : Métaconnaissances et métacompétences non significatives.....	214
1. Les résultats bruts.....	214
2. Analysés statistiquement.....	218
2.1. Absence de soutien des résultats du test de Wilcoxon.....	218
2.2. La lecture des boîtes à moustaches s'en rapproche.....	223
3. Absence de soutien aux hypothèses 2 et 3.....	226
Chapitre 3 : Correspondance non significative du suivi du modèle métacognitif avec la performance.....	229
1. Les résultats bruts.....	229
2. Analysés statistiquement.....	234
2.1. Absence de soutien des résultats du test de Wilcoxon.....	234
2.2. Absence de soutien des boîtes à moustaches s'en rapproche.....	235
2.3. Synthèse de l'analyse statistique des positions normalisées moyennes des catégories.....	238
3. Approche des résultats par niveau des classements de performance.....	240
4. Absence de soutien de l'hypothèse 4.....	245
Chapitre 4 : Correspondance significative de la netteté et de la performance.....	248
1. Résultats par équipe.....	248
1.1. Les résultats bruts.....	248
1.2. Analysés statistiquement.....	250
1.2.1. Soutien des résultats du test de Wilcoxon.....	250
1.2.2. La lecture des boîtes à moustaches confirme.....	251
1.3. Soutien de l'hypothèse 5.....	252
2. Résultats par groupe de performance.....	252
2.1. Les résultats bruts.....	252
2.2. Analysés statistiquement.....	253
2.2.1. Absence de confirmation du test de Wilcoxon.....	253
2.2.2. La lecture des boîtes s'en rapproche.....	254
2.3. Soutien de l'hypothèse 5.....	255

Chapitre 5 : Les écarts de performance dépendent de la tâche à effectuer .....	256
1. Rassemblement de solutions ou construction d'un résultat ou des multiples interdépendants .....	256
2. Augmentation de la performance de l'équipe soudée lors d'un exercice de construction .....	257
3. Accentuation de la netteté lors d'un exercice de construction .....	259
Chapitre 6 : Un nouveau modèle de métacognition collective empirique .....	261
1. Fondé sur des données réelles.....	261
1.1. Nettetés métacognitives réduites de chaque catégorie .....	261
1.2. Quantités d'items métacognitifs .....	263
1.3. Ordre chronologique des catégories métacognitives.....	264
2. Des données représentées .....	266
3. Précisions ultérieures du modèle .....	267
4. Écarts et correspondances entre les modèles de la littérature et le modèle empirique.....	268
Chapitre 7 : Des choix limités mais existants entre plusieurs planifications possibles .....	270
Chapitre 8 : Recommandations de formation collective pour réagir à l'inconnu .....	271
Chapitre 9 : Futures perspectives de recherche .....	274
1. Relatives aux équipes.....	274
2. Relatives au protocole LETUCA .....	275
3. Relatives à l'analyse des données .....	276
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	277
BIBLIOGRAPHIE .....	284
ANNEXES .....	299

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. synthèse des caractéristiques des définitions d'une équipe.....	38
Tableau 2. critères de mesure de la performance opérationnelle .....	50
Tableau 3. répartition des professions des participants au questionnaire.....	101
Tableau 4. coefficients de pertinence des expériences par rapport à l'objectif de performance face à une panne inconnue en vol spatial de longue distance.....	101
Tableau 5. éléments principaux décrivant les participants aux équipes .....	113
Tableau 6. caractérisation des équipes par rapport à la préparation à l'inconnu .....	114
Tableau 7. caractérisation des équipes par rapport à la préparation à l'inconnu, extrait du tableau 6 .....	131
Tableau 8. caractéristiques des équipes après la recomposition .....	132
Tableau 9. synthèse des exercices du protocole LETUCA .....	172
Tableau 10. codage appliqué aux données du protocole LETUCA.....	189
Tableau 11. participations aux fonctions du protocole LETUCA de l'équipe soudée.....	207
Tableau 12. participations aux fonctions du protocole LETUCA de l'équipe moins soudée .	208
Tableau 13. participations aux fonctions du protocole LETUCA de l'équipe absconse .....	208
Tableau 14. résultats relatifs des performances opérationnelles des équipes .....	209
Tableau 15. analyse des résultats du tableau 14 .....	210
Tableau 16. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats de performance .....	212
Tableau 17. métaconnaissances interpersonnes codées lors du protocole LETUCA.....	214
Tableau 18. métaconnaissances générales codées lors du protocole LETUCA.....	215
Tableau 19. métacompétences interpersonnes codées lors du protocole LETUCA .....	216
Tableau 20. métacompétences générales codées lors du protocole LETUCA .....	217
Tableau 21. analyse des métaconnaissances interpersonnes isolées .....	218
Tableau 22. analyse des métaconnaissances générales isolées .....	219
Tableau 23. analyse des métacompétences interpersonnes isolées .....	220
Tableau 24. analyse des métacompétences générales isolées.....	221
Tableau 25. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats des métaconnaissances interpersonnes .....	223
Tableau 26. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats des métaconnaissances générales .....	223
Tableau 27. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats des métacompétences interpersonnes.....	223
Tableau 28. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats des métacompétences générales.....	223
Tableau 29. synthèse des différences statistiques relatives aux métaconnaissances et métacompétences .....	227
Tableau 30. nombres d'items codés de chaque catégorie du modèle de métacognition ....	230
Tableau 31. moyennes des positions normalisées .....	234
Tableau 32. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux positions normalisées par couple d'équipe.....	235
Tableau 33. synthèse des différences statistiques relatives aux positions normalisées moyennes des catégories par équipe .....	239

Tableau 34. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux positions normalisées par groupe de performance .....	240
Tableau 35. synthèse des différences statistiques relatives aux positions normalisées moyennes des catégories par groupe.....	244
Tableau 36. résultats de netteté par équipe .....	248
Tableau 37. analyse des résultats du tableau 36 .....	250
Tableau 38. signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux nettetés des équipes .....	250
Tableau 39. synthèse des différences statistiques relatives aux nettetés par équipe.....	251
Tableau 40. résultats de netteté par classement de performance.....	252
Tableau 41. analyse des résultats de netteté par classement de performance .....	253
Tableau 42. signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux nettetés par classement de performance .....	253
Tableau 43. synthèse des différences statistiques relatives aux nettetés par classement de performance .....	255
Tableau 44. données de performance des exercices de rassemblement.....	257
Tableau 45. données de performance des exercices de construction.....	258
Tableau 46. données de netteté des exercices de rassemblement.....	259
Tableau 47. données de netteté des exercices de construction.....	259
Tableau 48. nettetés métacognitives réduites de chaque catégorie.....	262
Tableau 49. moyennes des quantités d'items codés .....	263
Tableau 50. positions moyennes fictives des trois équipes.....	264
Tableau 51. positions moyennes et écarts-types des catégories métacognitives .....	265
Tableau 52. résultats des codages de planification unique et multiples .....	270

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. sous-divisions des métaconnaissances .....	55
Figure 2. précisions sur l'autorégulation .....	56
Figure 3. précision sur l'évaluation .....	57
Figure 4. schéma des flux des processus cognitifs dans le modèle de résolution de problème (notre traduction, Yimer et Ellerton, 2006, p.7) .....	69
Figure 5. un modèle fondé sur l'expérience d'activités métacognitives en résolution de problème (notre traduction, Goos et <i>al.</i> , 2000) .....	72
Figure 6. nature cyclique de la résolution de problème (notre traduction, Carlson et Bloom, 2005).....	73
Figure 7. modèle de métacognition en résolution de problème inconnu .....	77
Figure 8. niveau élevé de mélange métacognitif .....	83
Figure 9. bas niveau de mélange métacognitif .....	83
Figure 10. modèle de classification des expériences diversifiées et de qualité.....	103
Figure 11. diversification des expériences de l'ES .....	111
Figure 12. diversification des expériences de l'EMS .....	112
Figure 13. diversification des expériences de l'EA .....	112
Figure 14. logigramme de création des exercices du protocole LETUCA.....	136
Figure 15. disposition de l'exercice Survie lunaire .....	137
Figure 16. disposition de l'exercice Mercury 21 .....	140
Figure 17. interface de contrôle des pannes .....	141
Figure 18. disposition de l'exercice Missionnaire et Cannibales.....	144
Figure 19. disposition de l'exercice Sac et Euro .....	145
Figure 20. écran de départ de l'exercice Untangle .....	147
Figure 21. points répartis de l'exercice Untangle .....	148
Figure 22. disposition de l'exercice Untangle .....	149
Figure 23. exemple de page du manuel technique du rover d'exploration sur Mars.....	152
Figure 24. disposition de l'exercice Procédure feu .....	152
Figure 25. disposition de l'exercice Système électrique .....	154
Figure 26. système électrique de l'Airbus A340.....	155
Figure 27. disposition de l'exercice Compte rendu Mars.....	157
Figure 28. représentations des trajectoires du véhicule spatial et de l'astéroïde .....	159
Figure 29. disposition de l'exercice Évitement d'astéroïde .....	160
Figure 30. disposition de l'exercice Qualités de pilotes de drone .....	162
Figure 31. interface homme machine du logiciel soyuzSim (Baroncini, 2012) .....	164
Figure 32. disposition de l'exercice Transfert de point d'amarrage.....	165
Figure 33. trajectoire générale d'évolution du module Soyuz.....	167
Figure 34. alignement du module Soyuz sur le point d'amarrage ciblé.....	167
Figure 35. scène du logiciel Monument Valley de Ustwo (2014).....	169
Figure 36. disposition de l'exercice Monument Valley de Ustwo (2014).....	170
Figure 37. organisation des méthodes d'étude de la métacognition en fonction de la proximité à la tâche .....	176
Figure 38. résultats des équipes à l'exercice Mercury 21 .....	187
Figure 39. courbes des résultats relatifs des performances opérationnelles des équipes ...	210

Figure 40. histogramme des résultats relatifs des performances opérationnelles des équipes .....	211
Figure 41. boîtes à moustaches issues des résultats de performance.....	212
Figure 42. courbes des résultats des métaconnaissances interpersonnes .....	215
Figure 43. courbes des résultats des métaconnaissances générales.....	216
Figure 44. courbes des résultats des métacompétences interpersonnes .....	217
Figure 45. courbes des résultats des métacompétences générales .....	218
Figure 46. histogramme des métaconnaissances interpersonnes.....	219
Figure 47. histogramme des métaconnaissances générales.....	220
Figure 48. histogramme des métacompétences interpersonnes .....	221
Figure 49. histogramme des métacompétences générales isolées .....	222
Figure 50. boîtes à moustaches issues des résultats des métaconnaissances interpersonnes .....	224
Figure 51. boîtes à moustaches issues des résultats des métaconnaissances générales .....	225
Figure 52. boîtes à moustaches issues des résultats des métacompétences interpersonnes .....	225
Figure 53. boîtes à moustaches issues des résultats des métacompétences générales.....	226
Figure 54. histogramme des répartitions des positions normalisées des DE .....	231
Figure 55. histogramme des répartitions des positions normalisées des RE.....	231
Figure 56. histogramme des répartitions des positions normalisées des PL.....	232
Figure 57. histogramme des répartitions des positions normalisées des MO.....	232
Figure 58. histogramme des répartitions des positions normalisées des EV.....	233
Figure 59. histogramme des répartitions des positions normalisées des CT.....	233
Figure 60. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie DE par équipe.....	235
Figure 61. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie RE par équipe .....	236
Figure 62. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie PL par équipe .....	236
Figure 63. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie MO par équipe .....	237
Figure 64. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie EV par équipe .....	237
Figure 65. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie CT par équipe .....	238
Figure 66. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie DE par groupe .....	241
Figure 67. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie RE par groupe.....	241
Figure 68. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie PL par groupe .....	242
Figure 69. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie MO par groupe.....	242
Figure 70. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie EV par groupe.....	243
Figure 71. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie CT par groupe.....	243

Figure 72. courbes des résultats de netteté par équipe .....	249
Figure 73. histogramme des répartitions des valeurs de netteté.....	249
Figure 74. boîtes à moustaches issues des résultats des nettetés des équipes .....	251
Figure 75. courbes des résultats de netteté par classement de performance .....	253
Figure 76. boîtes à moustaches issues des résultats de netteté par classement de performance .....	254
Figure 77. courbes rassemblant les résultats de performance des exercices de rassemblement et de construction.....	258
Figure 78. courbes rassemblant les résultats de netteté des exercices de rassemblement et de construction.....	260
Figure 79. proportions inversement proportionnelles de la boucle MO-EV-CT et de la netteté métacognitive .....	263
Figure 80. positions chronologiques moyennes au cours du protocole LETUCA.....	265
Figure 81. modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème .....	266

## GLOSSAIRE

3ABDI : Annonce, Analyse, Action, Bilan, Décision et Information  
AAE : Académie de l'Air et de l'Espace  
AoA : Angle of Attack, angle d'incidence  
BEA-É : Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État  
CDB : Commandant de bord  
CENIPA : Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center  
CPGE : Classes Préparatoires aux Grandes Écoles  
CRM : Crew Resource Management  
CT : Contrôle  
DE : Définition et identification d'un problème  
EA : Équipe abscisse  
EMS : Équipe moins soudée  
ES : Équipe soudée  
ESA : Agence Spatiale Européenne  
EV : Évaluation  
ISS : Station Spatiale Internationale.  
IMT : Équipes de Gestion d'Incidents (Incident Management Team)  
LDSEM : Missions d'exploration de longue durée (Long Duration Space-flight Exploration Missions)  
LETUCA : Longitudinal Evaluation of Teams via Unknown and Collective Activities  
GIGN : Groupement d'Intervention de la Gendarmerie Nationale  
MO : Monitoring  
NASA : National Aeronautics and Space Administration  
NTSB : National Transportation Safety Board  
OEB : Operating Engineering Bulletins  
PGHM : Peloton de Gendarmerie de Haute Montagne  
PL : Planification  
PN : Personnel navigant  
QRH : Quick Reference Handbook  
RE : Représentation mentale  
SA : Conscience de la situation  
SFRM : Space Flight Resource Management

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

*Les équipes sont omniprésentes. Que l'on parle de développement de logiciels, de hockey olympique, de réponse aux épidémies ou de combat urbain, les équipes représentent l'unité critique qui « fait en sorte que les choses soient faites » dans le monde d'aujourd'hui. (notre traduction, Marks, 2006, p.1)*

Les exemples d'activités menées collectivement sont largement diffusés dans la littérature avec l'alpinisme, la lutte contre les incendies (Kozlowski et Ilgen, 2006), l'aviation (Salas, Wilson, Burke et Wightman, 2006 et Godé-Sanchez, 2008) et plus largement dans les domaines gouvernementaux, industriels et militaires (Fiore et *al.*, 2010a). L'exploration spatiale habitée s'inscrit dans cette dynamique collective avec aujourd'hui l'envoi systématique d'équipage à bord de la Station Spatiale Internationale (ISS) et demain avec l'objectif d'une première mission d'exploration humaine de Mars. Que les équipes soient composées dans un cadre militaire, de sauvetage en montagne, etc. elles ont toutes en commun la réalisation collective d'une même tâche, d'une même mission.

Néanmoins, ces missions ne se réalisent pas tout le temps selon une planification déterminée à l'avance. En effet, des éléments supplémentaires peuvent avoir lieu perturbant le cours de la tâche entreprise. Ces événements peuvent être anodins comme une légère modification de la trajectoire d'un navire non prévue pour en éviter un autre. Ils peuvent être aussi imprévus telle la survenance d'une panne requérant l'application d'une check-list conçue à l'avance et déjà connue de l'équipage. Dans le cadre d'une mission vers Mars, le traitement des défaillances d'un système revêt un caractère particulièrement critique. En effet, « la compétence la plus importante est la capacité à utiliser et réparer les nombreux systèmes à bord du véhicule spatial » (notre traduction, Salotti, 2011). Mais les événements rencontrés au cours d'une mission peuvent enfin ne pas être connus des équipes et des concepteurs d'un système, ces situations sont alors *inconnues*. La littérature mentionne l'existence de tels événements. Par exemple, pour Fornette et *al.* (2012), « un vol opérationnel exige d'être capable de gérer la complexité, l'incertitude, des situations imprévues et parfois des inconnues » (notre traduction). Dans le cadre de l'exploration spatiale habitée, la position de Noe, Dachner, Saxton et Keeton (2011) est similaire en faisant état du « besoin de travailler ensemble pour résoudre des problèmes et enjeux nouveaux et non familiers qui auront lieu dans un nouveau véhicule se dirigeant vers Mars » (notre traduction). De même, Orasanu (2005) présente des « problèmes non anticipés » dans le cadre des activités spatiales habitées (notre traduction). Néanmoins, la littérature étudiée ne caractérise pas une situation inconnue par rapport à une équipe y faisant face. En effet, c'est d'une équipe et de son traitement de l'évènement que l'issue sera déterminée et non de l'anticipation et de l'expérience globale du domaine d'activité concerné. Par exemple, en aviation, les check-lists pour faire face aux pannes moteur existent (évènement anticipé). Néanmoins, si un équipage l'applique mal pour des raisons diverses, le traitement peut être réalisé avec une performance médiocre. Le principal exemple de situation inconnue est l'explosion lors du vol spatial Apollo 13. Ce cas de figure n'avait été ni anticipé ni rencontré auparavant par les acteurs de la mission : l'équipage et les personnels au centre de contrôle et les ingénieurs concernés. L Haridon, Chaudron, Marchand et Gourinat (2017) définissent ainsi les *situations inconnues* comme « jamais rencontrées ni anticipées » (notre traduction).

Au-delà des activités terrestres, le milieu des vols spatiaux habités impose des contraintes supplémentaires et condensées dans chaque exploration, notamment à destination de Mars (Salotti, Labache, Pellet, Riffaud et Chator, 2015). Extrêmement variées, ces contraintes existent à cause de

« la durée des missions (au moins deux ans), d'un sentiment sévère d'éloignement et de séparation connu sous le terme de 'Earth-out-of-view phenomenon' (phénomène de terre hors de vue) » (Nicolas, Gaudino, Martinet et Weiss, 2016), mais aussi de « la rareté ou l'impossibilité d'être ravitaillé, de l'impossibilité d'évacuation sanitaire médicale ou psychiatrique » (Nicolas et *al.*, 2016), du confinement (Noe, et *al.*, 2011), etc. Les délais de communications font partie des spécificités remarquables des missions à longues distances comme les futures explorations vers Mars (Nicolas et *al.*, 2016 ; Noe et *al.*, 2011). Les équipages de ces dernières devront notamment gérer leurs missions en prenant en compte des communications avec le centre de contrôle sol différées jusqu'à quarante-quatre minutes pour un aller et retour du signal radio (Drake et Watts, 2014) voire une absence totale de liaison durant un « black out » de deux semaines selon la position du véhicule spatial par rapport à Mars et la Terre (Landon, Rokholt, Slack et Pecena, 2016). Ainsi, « il sera difficile pour les équipages en mission de longues durées d'interagir avec le sol et les types d'évènements et de crises, auxquels ils feront face, pourront différer significativement de ceux vécus lors de vols à bord de la navette spatiale et de la Station Spatiale Internationale (ISS) » (notre traduction, Noe et *al.*, 2011). Ces équipes devront donc être autonomes (Nicolas et *al.*, 2016 ; Noe et *al.*, 2011), autosuffisantes, indépendantes et ne pourront donc pas « compter sur le sol » (notre traduction, Noe et *al.*, 2011). Finalement, le soutien de « l'arrière<sup>1</sup> » sera retardé significativement (notre traduction, Drake et Watts, 2014) avec la perte des bénéfices possibles pour l'équipage (soutien, surveillance et contrôle en temps réel, développement, optimisation et tests de nouvelles procédures et dans certains cas, l'envoi de spationautes nouvellement formés, Barshi et Dempsey, 2016).

L'équipage d'un vol spatial habité vers Mars « doit être capable de stabiliser les systèmes pour tous les évènements imprévus jusqu'à quarante-quatre minutes sans l'assistance du sol » (notre traduction, Drake et Watts, 2014). Noe et *al.* (2011) vont même plus loin en annonçant que les spationautes devront « résoudre les problèmes et agir, consulter des experts dans un second temps seulement si la situation l'autorise » (notre traduction). La situation peut être d'autant plus problématique que l'évènement est inconnu. En effet, « quand les problèmes survenant ne correspondent pas à un modèle existant (*i.e.*, problèmes non anticipés ou ceux impliquant des interactions complexes), le défi pour l'équipage est bien plus important » (notre traduction, Orasanu, 2005). Notamment, le risque de prendre les mauvaises décisions est plus important du fait du manque de connaissances pertinentes, de la faible qualité des informations, de la difficulté d'interprétation d'informations adéquates et l'imprécision des projections des conséquences des options possibles (Orasanu, 2005). Toutes ces situations sont probables face à une situation inconnue. Additionnées avec un milieu d'exploration particulièrement contraignant, la sécurité nécessaire de l'équipage, du rayonnement médiatique, etc. un niveau minimal de performance est donc à atteindre pour éviter les écarts avec le déroulement nominal de la mission. Compte tenu de l'emploi d'équipes pour réaliser cette exploration, « notre point de vue est simple : les équipes sont centrales et vitales » (notre traduction, Kozlowski et Ilgen, 2006). Elles « sont de plus en plus appelées à réagir à des résolutions de problèmes complexes dans des situations nouvelles. Cela représente un domaine de la performance qui a été à ce jour sous représenté dans la littérature étudiée » (notre traduction, Fiore et *al.*, 2010a). Ainsi, « l'entraînement précédant la mission vers Mars aura besoin d'évoluer vers une méthode associant l'entraînement à bord de la navette (...) et la Station Spatiale Internationale (...) et de capitaliser de nouvelles méthodes » (notre traduction,

---

<sup>1</sup> Drake et Watts parlent de « back room » (2014).

Landon et O’Keefe, 2018). Le besoin général de performance, plus précisément face à des situations inconnues, est ainsi saillant en aérospatial du fait de son lien direct avec, entre autres, la survie de l’équipage dans un environnement contraignant et plus largement dans les activités opérationnelles.

Néanmoins, « il n’est pas possible de s’entraîner à l’avance à tous les scénarios ou problèmes qui peuvent être rencontrés durant les missions [spatiales] de longue durée » (notre traduction, Noe et *al.*, 2011). De plus, les entraînements et les procédures actuels aéronautiques ne donnent pas les outils pour agir d’une manière différente (Hamman, 2004) et pourtant cette manière différente ou encore cette remise en question des standards de travail peut être pertinente face à une panne inconnue. En effet, par définition des situations inconnues, ni le système employé, ni l’équipage ne disposent des outils ou procédures pour réagir exactement à cet évènement. Par exemple, pour réagir à l’évènement inconnu, « “oubliez le plan de vol” a été ordonné durant la mission Apollo 13 » (notre traduction, Lia Schlact et Ono, 2009). Il était donc question de quitter un déroulement standard de la mission pour un non standard voire un nouveau déroulement selon les difficultés rencontrées. Dans ce second cas, la créativité est essentielle et aucun entraînement à la gestion de pannes inconnues dans la littérature étudiée n’a été relevé. Pourtant, les besoins pour faire face aux situations inconnues sont avérés. Notamment pour les vols vers Mars, les exigences de succès seront différentes par rapport aux précédentes missions de la NASA et les entraînements devront donc être adaptés (Noe et *al.*, 2011). La formation des équipes aux pannes inconnues est ainsi pertinente dans ce contexte d’autant plus qu’« il y a une grande demande pour des connaissances au sujet de ce qui les<sup>2</sup> fait réussir » (notre traduction, Marks, 2006).

Différents évènements aéronautiques et spatiaux sont qualifiés d’inconnus dans le cadre de ce travail et leurs issues ont été opposées. Par exemple, Apollo 13 a été qualifiée d’« échec réussi » (notre traduction, Lovell) et le vol d’un B737 EH de la compagnie aérienne Gol Transportes Aéreos S.A. a eu une fin tragique. Dans ces deux cas, les équipages ont fait face à des situations inconnues. Ainsi, certaines équipes, à l’inverse d’autres, peuvent réussir à traiter l’inconnu malgré les difficultés de résolution. Quel entraînement peut expliquer de tels écarts de performance entre ces équipes ? Parmi d’autres, une différence notable entre ces deux exemples réside dans le vécu partagé dans la durée par la première équipe par rapport à la seconde. En effet, l’équipage de la mission Apollo 13 se connaissait avant le vol et a reçu un entraînement partagé (comme une formation sur simulateur de vol) à la différence des équipages de l’aviation commerciale qui peuvent être amenés à exécuter une mission sans s’être jamais rencontrés (Kozlowski et Ilgen, 2006). Quelle peut être l’influence du partage d’une formation par une équipe sur sa performance ? Cette question a déjà été soulevée par Kozlowski et Ilgen (2006). Ces auteurs (2006) notent qu’« il est bien connu que les équipages techniques<sup>3</sup> qui ont travaillé ensemble pendant quelques temps, comme c’est le cas des vols spatiaux, obtiennent de meilleures performances que les équipes dont les membres ont été rassemblés pour la première fois » (notre traduction). Ce « il est bien connu » donne une origine intuitive au partage d’expériences, origine pouvant être étudiée. Une explication possible pourrait être fondée sur l’apprentissage par un équipier des connaissances d’un autre équipier ; l’équipe développe ainsi des connaissances détaillées de ses membres (Kozlowski et Ilgen, 2006). Ces connaissances peuvent alors être mises à profit dans le cadre d’une résolution de problème, par

---

<sup>2</sup> Les équipes

<sup>3</sup> Les pilotes de l’aviation commerciale

exemple un équipier connu pour être doué en mathématiques sera rapidement mis en avant face à ce type de problème pour *in fine* augmenter la performance de toute l'équipe.

À l'opposé des travaux de Kozlowski et Ilgen (2006), parmi les études analysées par Klein et al. (2009), très peu se sont portées sur les effets du partage d'un entraînement particulier : *i.e.* les *activités de construction d'équipes*<sup>4</sup> stables dans la durée. Klein et al. (2009) précisent notamment le caractère critique de la compréhension entre qualité du travail et suivi d'activités de construction d'équipes dans la durée et ainsi le besoin pour les chercheurs d'étudier cette question longitudinale. Dans le cadre des vols spatiaux habités, la formation Space Flight Resource Management (SFRM) proposée aux équipes de spationautes présente des points communs avec les activités de construction d'équipes. En effet, le SFRM a huit objectifs de développement de « compétences d'équipes reliées les unes aux autres ; [ces compétences] sont la communication, la formation interculturelle, le travail d'équipe, la prise de décision, l'attention portée à l'équipe, le commandement et le fait d'être commandé(e), la gestion des conflits et la conscience de la situation » (notre traduction, Noe et al., 2011). Dans la pratique :

*Par exemple, les membres d'un équipage pour l'ISS se rencontrent les uns les autres mais ne s'entraînent ensemble (dans certains cas, pas du tout) que plus tard dans la planification de l'entraînement (in fine, à 18 mois, les équipages sont impliqués dans un programme de simulation complet en équipage à la fois aux États-Unis et en Russie). La somme du temps consacré à s'entraîner ensemble est fondée sur la planification des transferts de l'équipage plutôt que les exigences de participation, l'évaluation des besoins ou une appréciation des compétences en SFRM de l'équipage. (notre traduction, Noe et al., 2011, p.26)*

Cependant, Noe et al. (2011) notent des « efforts significatifs » pour développer des contacts entre les équipages et leurs familles, interactions sociales et la compréhension des normes et valeurs culturelles. Finalement, des améliorations du partage des formations peuvent être étudiées notamment dans le cadre des missions vers Mars où les contraintes nécessitent l'adaptation des entraînements (Noe et al., 2011). Au-delà des situations déjà rencontrées ou anticipées, si une équipe est formée ensemble pour réagir spécifiquement à l'inconnu, quelle est l'influence de ce partage sur sa performance face à l'inconnu ? Comme aucun entraînement à l'inconnu n'a été mis en avant dans la littérature étudiée, cette dernière n'apporte pas non plus de réponse à cette nouvelle question. Un point de départ peut donc être l'étude du partage par une même équipe d'un entraînement relevant d'un autre objectif de formation opérationnelle comprenant des activités variées (formation technique, sportive, résolution de problèmes, aguerissement, vie en collectivité, etc.) bien que non spécifiquement tourné vers l'inconnu. Ce partage d'un entraînement commun pourrait alors se traduire en augmentation de performance face à l'inconnu.

La littérature s'accorde cependant sur un autre axe d'amélioration de la performance : la métacognition (entre autres : Goos, Galbraith et Renshaw, 2000). Elle est définie par Flavell (1979) comme la « connaissance et la cognition au sujet de phénomènes cognitifs » (notre traduction). Elle

---

<sup>4</sup> Klein et al. (2009) définissent « les activités de construction d'équipes comme une catégorie d'interventions formelles et informelles au niveau de l'équipe qui se concentrent sur l'amélioration des relations sociales et de la clarification des rôles mais aussi les résolutions de tâches et problèmes interpersonnels qui affectent le fonctionnement des équipes » (notre traduction).

peut être individuelle (entre autres : Valot, 1998) mais aussi collective (entre autres : Biryukov, 2004). Dans ce second cas, l'augmentation de la performance associée avec la métacognition peut potentiellement provenir du partage d'activités. Par exemple, l'entraînement aux compétences métacognitives « peut aboutir en une augmentation étonnante de la performance en résolution de problème » (notre traduction, Geiwitz, 1994) ou encore « une utilisation effective de la cognition est possible seulement via les compétences métacognitives » (notre traduction, Özsoy et Ataman, 2009). Cette utilisation effective de la cognition peut être atteinte via l'instauration de stratégie adéquate, elle-même applicable aux activités spatiales. En effet, lors de l'exécution de vols spatiaux habités, les équipages et les contrôleurs relèvent le « besoin d'acquérir une stratégie de gestion de crise et d'incertitude » (notre traduction, Noe et *al.*, 2011). La métacognition peut aussi se développer lors du partage d'un entraînement commun avec l'établissement de métaconnaissances et métacompétences. Les métaconnaissances correspondent à la conscience « de ce que l'on sait » et les métacompétences de « ce que l'on peut faire » (notre traduction, Biryukov, 2004). Si une équipe partage des formations, un des membres peut alors développer une conscience des connaissances et compétences de ses équipiers, potentiellement utiles pour une résolution ultérieure de problème. Les métaconnaissances et métacompétences et donc la métacognition s'inscrivent dans le développement des équipes proposé plus haut par Kozlowski et Ilgen (2006). Finalement, ces métaconnaissances et métacompétences sont-elles véritablement développées lors du partage d'un entraînement commun et sont-elles bénéfiques pour résoudre une situation inconnue ?

Appliquée aux résolutions de problèmes, des modèles individuels et quelques collectifs existent dans la littérature pour expliquer le raisonnement métacognitif dans diverses activités humaines, par exemple : Özsoy et Ataman (2009), Davidson, Deuser et Sternberg (1994) et Goos et *al.* (2000). Ces modèles sont composés d'étapes métacognitives séquencées les unes après les autres tout au long du processus de résolution. Ainsi, d'un côté les étapes sont importantes, comme le souligne Polya (1957) vis-à-vis de celles de son modèle et de l'autre, l'ordre des étapes établi par les auteurs n'est pas anodin. D'où la question : le suivi de ces étapes métacognitives est-il lié avec l'augmentation de la performance opérationnelle ? Ou au contraire, ces modèles théoriques ne traduisent-ils pas la réalité du terrain ? De plus, ces modèles ne sont pas étudiés dans le cadre d'une réaction collective face à l'inconnu. Néanmoins, comme la métacognition permet de contrôler le processus cognitif (Goos et *al.*, 2000), les modèles métacognitifs déjà établis sont-ils donc aussi pertinents ?

Parmi d'autres, Goos et *al.* (2000) décrivent l'absence de suivi rigoureux de ces étapes. Ainsi, la « pensée va et vient parmi des étapes de lecture, de planification, d'exécution d'opérations et de vérification » (Saint-Pierre, 1994). Un mélange métacognitif a donc lieu pouvant potentiellement altérer la qualité du raisonnement à cause d'une instabilité de la dynamique ou du traitement superficiel d'une étape du raisonnement. D'où la question : quel degré de mélange métacognitif est lié à une performance élevée lors de résolutions de problèmes inconnus ? Comment donner les moyens à une équipe d'accéder à un degré de mélange métacognitif optimum : le partage d'un entraînement par une même équipe lui permet-elle d'être plus ou moins stable dans son raisonnement métacognitif ?

« Malheureusement, les pratiques d'entraînement actuelles n'ont pas encore été développées pour promouvoir les processus métacognitifs nécessaires pour que les équipes résolvent avec succès les problèmes » (notre traduction, Wiltshire, Rosch, Fiorella et Fiore, 2014), le domaine commenté par

ces auteurs relève des systèmes socio-technologiques des domaines de l'aviation, de l'aérospatial et des Armées. Ce travail s'inscrit finalement dans cette dynamique.

Une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité obtient-elle de meilleures performances opérationnelles face à des situations inconnues qu'une équipe sans un tel entraînement partagé ?

Pour répondre à cette problématique, il sera d'abord fait état de la littérature soulevée, permettant l'établissement d'hypothèses de recherche. Les tests des hypothèses imposent alors la composition d'équipes avec divers degrés de partage d'expériences diversifiées et de qualité. Ces équipes sont ensuite mises à l'épreuve d'un protocole longitudinal pour mesurer leurs performances. Enfin, les résultats sont discutés en regard des hypothèses.

## **PARTIE I : ÉQUIPES OPERATIONNELLES, INCONNU ET MÉTACOGNITION**

## Introduction

Les vols spatiaux habités sont actuellement exécutés par des équipages et des personnels au sol travaillant ensemble. Lorsque des problèmes surviennent, leurs gestions sont donc menées collectivement selon les spécialités de tous les acteurs. Ainsi, cette équipe est tournée vers un objectif commun, la réussite de la mission, qui intègre la résolution des problèmes survenant dans le processus. Au-delà de cette mission partagée, les équipages et personnels au sol doivent répondre à des défis propres aux activités aérospatiales démarquant donc cette équipe d'autres liées à des activités plus éprouvées. Dans ce second cas, les difficultés sont mieux connues et impliquent donc des traitements davantage standards. Par exemple, une équipe d'ingénieurs travaillant sur un projet ne doit pas réagir à un isolement de plusieurs mois. Par conséquent, il est nécessaire de définir l'équipe en lien avec les exigences spécifiques des missions des vols spatiaux habités.

Comme précisé par l'Office of Public Affair de la NASA (1970), tous les problèmes en exploration spatiale ne peuvent pas être anticipés. La première mission habitée vers Mars, en raison du peu de recul, sera sujette à faire face à des événements inconnus ou encore jamais rencontrés ni anticipés (L Haridon et *al.*, 2017). La probabilité d'avènement de situations inconnues sera augmentée car les équipements et la mission du futur équipage n'auront pas de précédent en condition d'exploration de Mars. Bien qu'extrêmement difficile, la réalisation d'une mission sur la Station Spatiale Internationale (ISS) s'appuie entre autres sur l'expérience des précédentes missions habitées. En revanche, le premier vol habité vers Mars ne sera pas réalisé grâce aux expériences des précédents vols habités vers Mars mais de mission sans équipage et d'efforts d'anticipation limités en exploration spatiale (Office of Public Affair - NASA, 1970). Plus largement, compte tenu du manque d'expérience pour cette mission habitée de longues distances, la probabilité de rencontrer des problèmes inconnus en condition opérationnelle existe donc.

L'histoire aérospatiale dénombre des situations inconnues dont les issues ont été des succès ou des tragédies, comme la mission Apollo 13 ou le crash de l'A400M à Séville en 2015. Le traitement de l'inconnu peut donc impliquer une situation de danger à laquelle une réaction performante collective doit être appliquée notamment dans le cas d'une mission d'exploration spatiale habitée à destination de Mars. En effet, le risque encouru par l'équipage mais aussi les moyens mis en œuvre et les répercussions médiatiques nécessiteront de préserver au maximum les objectifs initiaux mêmes des plus faibles écarts à la normalité. De plus, l'environnement de cette mission pourra être contraint, extrême (Godé, 2013) et volatil (Godé-Sanchez, 2008) selon les situations rencontrées augmentant d'autant plus le besoin de performance.

Un moyen d'augmenter cette performance collective est le partage d'évènements par une même équipe, par exemple un équipage constitué pour une mission à bord de l'ISS vit ensemble une formation à la survie en conditions hivernales. Ce type de partage d'une expérience par une équipe est abordé par la littérature étudiée, par exemple : Klein et *al.* (2009) et Mathieu, Heffner, Goodwin, Salas et Cannon-Bowers (2000). Néanmoins, aucune réponse n'a été trouvée dans la littérature étudiée quant à l'influence de la durée de ce partage d'évènements sur la performance de l'équipe concernée.

Un autre axe d'amélioration de la performance est mis en avant par la littérature : la métacognition (par exemple : Geiwitz, 1994 et Fleming et Lau, 2014). Flavell définit la métacognition comme la « connaissance et la cognition au sujet de phénomènes cognitifs » (notre traduction, 1979). Plus particulièrement, elle se traduit en différents efforts cognitifs améliorant la performance, comme les compétences temporelles (Geiwitz, 1994), la régulation et le contrôle (Goos et *al.*, 2000). Le vécu partagé d'évènements de toutes sortes par une équipe peut aussi améliorer la performance collective. En effet, si grâce à ce vécu commun, un équipier connaît les connaissances d'un autre, la résolution ultérieure d'un problème peut être adaptée et ainsi améliorer les performances de l'équipe. Par exemple : « mon équipier est meilleur que moi en mathématiques et doit être mis en avant pour la résolution de ce problème logique » (réflexion inventée). Le vécu partagé d'évènements de toutes sortes par une équipe peut donc bénéficier à la métacognition collective et donc à la performance. Pour étudier ce bénéfice possible, il est d'abord nécessaire de définir les types de métacognition impliqués pour ensuite étudier empiriquement leur présence réelle en résolution de problèmes en parallèle de l'augmentation ou non de la performance lors de résolutions de problèmes. La métacognition peut ainsi être une étape intermédiaire entre le partage d'évènements et l'augmentation de la performance.

En outre, la métacognition permet le contrôle de la cognition Chauvin (2003), si ce contrôle est mauvais la performance résultante est probablement dégradée. Le contrôle de la cognition et plus largement des processus métacognitifs lors de résolutions de problèmes sont explicités dans la littérature sous forme de modèles, *e.g.* Goos et *al.* (2000) ou Lamm et *al.* (2012). Ces modèles mettent en avant différentes étapes ayant pour but de décrire la progression du raisonnement métacognitif lors d'une résolution de problème. Si ces étapes sont dûment suivies la performance en résolution de problèmes inconnus sera potentiellement augmentée. Au-delà du suivi chronologique de ces étapes, la littérature décrit des allers et retours parmi les étapes de ces modèles de métacognition, comme proposés par Goos et *al.* (2000). Ces allers et retours sont ainsi des mélanges entre les étapes et révèlent par conséquent une instabilité métacognitive. Néanmoins, aucun lien n'est établi d'une part entre la performance et ces mélanges d'étapes du raisonnement métacognitif et d'autre part entre le partage commun d'expériences diversifiées et de qualité par une même équipe et la stabilisation de son raisonnement.

Finalement, une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité obtient-elle de meilleures performances opérationnelles face à des situations inconnues qu'une équipe sans un tel entraînement partagé ?

Afin de déterminer le périmètre théorique de la problématique, les équipes employées lors des explorations spatiales habitées doivent être définies. Or ces équipes peuvent avoir à réagir à des situations inconnues et d'où un besoin de performance collective pour préserver le déroulement standard de la mission. La métacognition est reconnue par la littérature comme un axe d'amélioration de la performance en résolution de problèmes (Geiwitz, 1994). Cette métacognition augmentant la performance peut être mise en valeur grâce au vécu par une même équipe d'expériences, vécu développant des connaissances et compétences d'un équipier sur un autre. En

parallèle, la métacognition peut aussi être construite selon différentes étapes de raisonnement. Ces étapes sont modélisées dans la littérature. Davidson et *al.* (1994) décrivent notamment l'intérêt des étapes qu'ils avancent pour augmenter la performance. Néanmoins, des mélanges d'étapes existent (Goos et *al.*, 2000) mais leur rapport potentiel avec la performance n'est pas décrit dans la littérature étudiée.

## Chapitre 1 : Les vols spatiaux habités sont mis en œuvre par une équipe singulière

### 1. Équipage de spationautes, une équipe à part entière

Salas, Dickinson, Converse et Tannenbaum (1992) définissent les équipes comme :

*Un ensemble morcelable de deux personnes ou plus qui interagissent dynamiquement, avec interdépendance et adaptation vers un but/objectif/mission commun et important, qui se sont vus assignées des rôles spécifiques ou des fonctions à exécuter et qui ont une durée de vie limitée dans le temps. (notre traduction, p.4)*

Cette définition est reprise par nombre de travaux comme ceux de Cannon-Bowers et Salas (1998) ; Cooke, Salas, Cannon-Bowers et Stout (2000) ; Mathieu et al. (2000) ; Cooke, Gorman et Rowe (2004) ; Cooke, Salas et Kiekel (2004) et Salas, Reyes et Woods (2017). En relation avec d'autres correspondances établies par Brannick, Salas et Prince (1997), ces auteurs annoncent que « dans le domaine de la recherche sur l'équipe, il est prudent de conclure qu'il y a une compréhension partagée des variables qui définissent une équipe » (notre traduction). Ainsi, la définition d'une équipe de Salas et al. (1992) n'est pas unique et d'autres non liées à cette dernière sont disponibles dans la littérature (comme Anzieu et Martin, 1968 ; Caroly, 2010 ; Salas, Stagl, Burke et Goodwin, 2007). Tout d'abord, il s'agit de comparer ces définitions ne citant pas celle de Salas et al. (1992) afin de souligner la diversité ou non de la littérature grâce à l'étude des différences et points communs associés. Ensuite, les caractéristiques des définitions d'équipes ainsi soulevées seront comparées aux conditions d'emploi d'une équipe en vol habité à destination de Mars pour finalement proposer une définition des équipes spécifiques aux vols spatiaux habités de longues distances.

#### 1.1. Définitions d'une équipe : points communs et divergences

Anzieu et Martin (1968) apportent un terme à part entière pour définir une équipe : « le groupe restreint ». Ce dernier « présente les caractéristiques suivantes :

- Nombre restreint de membres, tel que chacun puisse avoir une perception individualisée de chacun des autres (...) »,
- De la « poursuite en commun et de façon active des mêmes buts, (...) répondant à divers intérêts des membres, et valorisés »,
- De « relations affectives pouvant devenir intenses entre les membres (...) »,
- D'une « forte interdépendance des membres et sentiments de solidarité ; union morale des membres du groupe en dehors des réunions et des actions en commun »,
- D'une « différenciation des rôles entre les membres »,
- D'une « constitution de normes, de croyances, de signaux et de rites propres au groupe (langage et code du groupe) » (Anzieu et Martin, 1968, p.36).

En apparence, ce terme « groupe restreint » (Anzieu et Martin, 1968) ne présente pas de rapport avec une équipe et est commun avec une manière de rassembler des personnes (*i.e.* le « groupement », Anzieu et Martin, 1968). Cependant, des éléments remarquables de ce groupe restreint sont similaires à la définition de Salas et al. (1992) et lui sont aussi particuliers. Les correspondances se constatent numériquement (nombre de membres supérieur à deux), au sujet des buts (communs et importants), de l'interdépendance entre les membres et de l'existence de

rôles particuliers à chacun. En revanche, Salas et *al.* (1992) parlent des interactions entre les équipiers d'une manière assez vague : ils « interagissent ». Au contraire, Anzieu et Martin (1968) précisent cette façon de communiquer au sein du groupe restreint. En effet, il y a la constitution « de normes, de croyances, de signaux et de rites propres au groupe » (Anzieu et Martin, 1968), traduisant une standardisation des dialogues, leur adaptation aux circonstances et la présence d'implicite au sein du groupe restreint. De plus, Anzieu et Martin (1968) situent ce groupe restreint sous un angle différent par nature vis-à-vis de Salas et *al.* (1992). En effet, Anzieu et Martin (1968) décrivent de la « solidarité », une « union morale (...) en dehors » du cadre normal de la profession et des « relations affectives pouvant devenir intenses entre les membres. »

Par rapport à Anzieu et Martin (1968), Plovnick, Fry et Rubin (1975) apportent la notion de coordination au sein d'une équipe. En effet, Plovnick et *al.* (1975) définissent « une équipe comme une combinaison de personnes dont les contributions coordonnées sont nécessaires pour accomplir une tâche donnée ou un ensemble de tâches » (notre traduction). Ces auteurs (1975) ajoutent l'interdépendance et la présence d'interactions entre les membres d'une équipe. La définition de l'équipe de Salas et *al.* (1992) se rapproche ostensiblement de celle-ci de Plovnick et *al.* (1975). Il y est fait état de plus de deux personnes, d'un ou plusieurs objectifs, d'une interdépendance, de contributions coordonnées (pouvant correspondre avec la communication) et d'interactions. Néanmoins, Salas et *al.* (1992) explicitent clairement la présence de rôles spécifiques ou fonctions à exécuter en comparaison à Plovnick et *al.* (1975), ces derniers n'abordent cette caractéristique qu'au travers de leur exemple (le président d'une société et les directeurs des secteurs finances, production, marketing, etc.).

Pour Katzenbach et Smith (1993), « une équipe est un petit nombre de personnes avec des compétences complémentaires dont les membres travaillent à un but commun, des buts de performance et une approche pour laquelle elles se tiennent mutuellement responsable » (notre traduction). Katzenbach et Smith (1993) proposent donc une définition comparable à celle de Salas et *al.* (1992) au sujet du nombre de personnes, supérieur à deux mais néanmoins « petit » et de l'existence d'un objectif commun. Deux autres éléments de la définition de Katzenbach et Smith (1993) divergent par rapport à Salas et *al.* (1992). Katzenbach et Smith (1993) précisent l'existence de « compétences complémentaires » en décrivant que les « équipes doivent développer le bon mélange de compétences » (notre traduction). Ces auteurs (1993) les divisent en trois catégories :

- « Expertises techniques ou fonctionnelles »,
- « Compétences en résolution de problème et prise de décision » et
- « Compétences interpersonnelles » (notre traduction).

Bien que la sémantique soit différente, ces « compétences complémentaires » entre les équipiers de Katzenbach et Smith (1993) peuvent être rapprochées de l'interdépendance entre les membres d'une équipe pour Salas et *al.* (1992) et Anzieu et Martin (1968). Certaines compétences complémentaires nécessaires au progrès d'une tâche peuvent être détenues par un équipier et pas un autre provoquant ainsi une dépendance.

La définition de Cannon-Bowers, Salas et Converse (1993) n'est pas fondée sur la définition de Salas et *al.* (1992) ou de Katzenbach et Smith (1993) ; néanmoins, elle présente de nombreux points communs. Cannon-Bowers et *al.* (1993) établissent l'équipe comme :

*Un groupe de deux individus ou plus qui doivent interagir avec coopération et adaptation dans la poursuite d'objectifs partagés et valorisés. De plus, les équipiers ont des rôles et responsabilités clairement définis et différenciés, détiennent des connaissances pertinentes pour une tâche et sont interdépendants (i.e. doivent compter sur un autre afin d'accomplir les buts). (notre traduction, p.222)*

Le nombre d'équipiers, la présence d'un objectif commun, l'interdépendance et les rôles spécifiques sont donc des points communs entre Katzenbach et Smith (1993) et Cannon-Bowers et al. (1993), l'adaptabilité est aussi partagée pour Salas et al. (1992). En revanche, Cannon-Bowers et al. (1993) apportent des notions supplémentaires avec les liens de responsabilité entre les individus et la présence de connaissances pertinentes pour une tâche donnée. Dans le cadre de l'exécution d'une action, la notion de responsabilité est déjà sous-entendue dans celle d'interdépendance. Par exemple, si un équipier n'effectue pas son action et que les autres en dépendent, la tâche ne progresse pas. L'équipe peut ainsi se porter sur l'action retardataire, identifier l'exécutant et en discuter avec lui : d'où une situation de responsabilité des équipiers les uns envers les autres. A l'inverse, les connaissances pertinentes pour une tâche de Cannon-Bowers et al. (1993) ne sont pas incluses dans la définition de Salas et al. (1992) et apportent une caractérisation supplémentaire. Que ce soit les « rôles spécifiques » ou « les fonctions à exécuter » pour Salas et al. (1992), ni l'un ni l'autre n'implique systématiquement des connaissances pertinentes pour une tâche. Ces rôles et fonctions peuvent être tenus sans connaissance spécifique à une tâche.

Dans la dynamique des définitions présentées ci-dessus, Bourbousson, Poizat, Saury et Sève (2008) traduisent celle de Stout, Cannon-Bowers et Salas (1996) : « un ensemble de deux ou plusieurs personnes qui interagissent dynamiquement, de façon interdépendante et adaptative vers un but commun et valorisé, et qui se sont chacun vus assignés des rôles spécifiques ou des fonctions afin d'être performants. » Bourbousson et al. (2008) précisent cette définition comme « classique », comme l'atteste l'absence d'élément supplémentaire par rapport à celle de Salas et al. (1992). Néanmoins, la caractérisation d'une équipe par Stout et al. (1996) met en avant la suppression d'une durée de vie de l'équipe limitée et des interactions dynamiques, comme proposé par Salas et al. (1992). Brannick, Salas et Prince (1997) proposent une autre définition se rapprochant aussi de celle de Salas et al. (1992) mais ne relèvent pas l'interdépendance entre les équipiers. La spécificité des rôles de Salas et al. (1992) est annoncée par différentes tâches assignées aux équipiers pour Brannick et al. (1997).

Avec un positionnement au niveau des équipes expertes par rapport aux précédentes définitions, Salas, Rosen, Burke, Goodwin et Fiore (2006) caractérisent

*Une équipe experte comme un ensemble d'équipiers interdépendants, dont chacun possède des connaissances, compétences et expériences uniques et d'un niveau d'expert conformes à la performance d'une tâche et qui s'adaptent, se coordonnent et coopèrent en tant qu'équipe en produisant un fonctionnement d'équipe viable et répétable supérieur ou au moins proche des niveaux optimums de la performance. (notre traduction, p.2)*

Bien qu'axée vers les équipes expertes, cette définition est donc tout de même exploitable dans le cadre de l'étude de la littérature définissant les équipes. D'une part, de nombreux éléments de cette définition ne sont pas liés au niveau de performance mais correspondent simplement à l'équipe et d'autre part, l'équipe selon Salas et *al.* (1992) doit réaliser un « but/objectif/mission commun et important » (notre traduction) et donc atteindre un niveau de performance et donc d'expertise minimum, d'où un lien avec les équipes expertes. Cette proximité entre l'équipe selon Salas et *al.* (1992) et Salas et *al.* (2006) se constatent via les caractéristiques proposées et sans lien établi entre ces travaux. Le nombre d'équipiers (supérieur à deux), l'existence d'un objectif commun, l'adaptabilité, l'interdépendance sont des éléments communs aux deux définitions ; en revanche, il n'y est pas fait état de rôle spécifique entre les équipiers. Avec un travail supplémentaire sur l'expertise, Salas et *al.* (2006) ajoutent deux caractéristiques supplémentaires par rapport à Salas et *al.* (1992). La première discrimine un équipier en regard d'un autre : ils possèdent tous des connaissances, compétences et expériences uniques. Cette particularisation renforce de même une relation d'interdépendance et peut impliquer une responsabilité entre les membres de l'équipe : si l'un ne mobilise pas ses connaissances propres, toute l'équipe arrête la progression. La seconde caractéristique porte sur la précision des interactions dynamiques de Salas et *al.* (1992), elles sont précisées pour Salas et *al.* (2006) : il y a coordination et coopération avec une dynamique viable et répétable. Cette mention inscrit donc le fonctionnement de l'équipe dans la durée de vie et s'oppose ainsi à des interactions uniques de très courte durée.

Salas, Stagl, Burke et Goodwin (2007) reprennent et ainsi confirment la totalité de la définition de Salas et *al.* (1992) mais surtout ajoutent l'existence d'une hiérarchie par rapport aux autres définitions, caractéristique pourtant communément rencontrée dans les équipes professionnelles.

Plus récemment, Caroly (2010) propose l'équipe comme « un groupe de sujets appartenant à un ou plusieurs métiers, ayant des prescriptions, une tâche commune, des buts communs et des moyens partagés » (Caroly, 2010). Des caractéristiques sont ainsi communes à la définition de Salas et *al.* (1992) ou Katzenbach et Smith (1993) : nombre de membres supérieur à deux, buts communs et des rôles spécifiques, connaissances et compétences potentiellement spécifiques. Caroly (2010) mentionne l'existence de plusieurs métiers et ainsi des différences de connaissances et/ou compétences entre les équipiers. Ainsi, comme pour Katzenbach et Smith (1993), Caroly (2010) rejoint Salas et *al.* (1992) quant à l'existence d'une interdépendance au sein de l'équipe.

Le tableau 1 synthétise l'étude des définitions ne citant pas celle de Salas et *al.* (1992)

Finalement, Salas et *al.* (1992) proposent une définition de l'équipe largement reprise depuis dans la littérature. Cependant, des caractéristiques précises supplémentaires peuvent être constatées par rapport à l'équipe de Salas et *al.* (1992) notamment pour Anzieu et Martin (1968). En effet, ces derniers (1968) incluent dans le « groupe restreint » des relations sociales particulièrement fortes entre les équipiers à la différence des travaux de Salas et *al.* (1992) mentionnant uniquement des interactions dynamiques. Plus largement, excepté pour Anzieu et Martin (1968) et Salas et *al.* (2007, ces auteurs parlent simplement d'interactions sociales), la littérature étudiée n'apporte pas de notion relative à un quelconque lien social entre les équipiers.

Tableau 1. synthèse des caractéristiques des définitions d'une équipe

Auteurs	Nombre d'équipiers	Objectif(s) commun(s) / Performance	Rôles / fonctions spécifiques	Interdépendance	Communication établie sur des règles communes	Adaptabilité	Durée de vie limitée	Relations sociales
Salas et al. (1992)	deux ou plus	OUI	rôles spécifiques ou des fonctions à exécuter	OUI	Interactions dynamiques	OUI	OUI	nil
Anzieu et Martin (1968)	Nombre restreint de membres, perception individualisée de chaque équipier	OUI	différenciation des rôles	OUI	Interactions, langage et code du groupe	nil	nil	relations affectives pouvant devenir intenses, solidarité, union morale extraprofessionnelle
Plovnick et al. (1975)	combinaison de personnes	OUI	l'exemple donné par les auteurs présente des rôles spécifiques entre les membres	OUI	contributions coordonnées et interactions	nil	nil	nil
Katzenbach et Smith (1993)	petit nombre	OUI	compétences complémentaires	mutuellement responsables	nil	nil	nil	nil
Cannon-Bowers et al. (1993)	deux individus ou plus	OUI	rôles et responsabilités clairement définis et différenciés, connaissances pertinentes	OUI	interaction et coopération	OUI	nil	nil
Bourbousson et al. (2008) traduisant Stout et al. (1996)	deux ou plus	OUI	rôles spécifiques	OUI	nil	OUI	nil	nil
Brannick et al. (1997)	deux individus ou plus	OUI	différentes tâches entre membres	nil	coordination	OUI	nil	nil
Salas et al. (2006)	un ensemble d'équipiers	OUI	connaissances, compétences et expériences uniques et d'un niveau d'expert	OUI	Coordination, coopération, fonctionnement d'équipe viable et répétable	OUI	nil	nil
Salas et al. (2007)	deux individus ou plus	OUI	Expertise et rôles distribués et hiérarchie	OUI	interactions sociales	OUI	OUI	nil
Caroly (2010)	groupe de sujets	OUI	un ou plusieurs métiers	un ou plusieurs métiers	nil	nil	nil	nil

## 1.2. Pertinence face aux spécificités d'un vol habité à destination de Mars

Les définitions des équipes issues de la littérature étudiée ne sont pas centrées sur un équipage en vol spatial habité à destination de Mars et potentiellement non pertinentes. Il est donc nécessaire de comprendre succinctement les contraintes d'une telle mission pouvant influencer la définition d'une équipe pour ensuite déterminer les caractéristiques les plus critiques qu'un équipage à destination de Mars doit satisfaire.

Bien qu'il n'y ait pas de consensus concernant le nombre de spationautes participant à la première mission vers Mars, il est compris entre trois et six spationautes selon les études (Salotti, Heidmann et Suhir, 2014) permettant ainsi une perception individualisée des équipiers entre eux. Cet équipage a également un objectif principal et commun : réaliser une exploration humaine de Mars.

De plus, les compétences à détenir pour effectuer une mission habitée vers Mars (médecine, l'ingénierie et les géosciences, Hoffman et Kaplan, 1997) « sont très différentes et il a été considéré douteux que toutes puissent être possédées par une seule personne » (notre traduction, Salotti et *al.*, 2014). Plus largement, « dans les équipes très performantes, tels les équipes militaires combattantes, les systèmes et les tâches sont tellement complexes qu'il serait impossible pour un seul équipier de détenir toutes les connaissances requises pour réussir » (notre traduction, Cannon-Bowers et Salas, 2001). Cette complexité des systèmes et des tâches provoque des conséquences remarquables sur la définition d'une équipe. En effet, des rôles et fonctions spécifiques et différenciés mais aussi des connaissances, compétences et expériences uniques nécessaires à la réussite de la mission globale sont réparties entre les membres d'un tel équipage. Ainsi, « cette division du travail permet aux équipes d'aborder des tâches trop complexes pour tout individu » (notre traduction, Cooke et *al.*, 2000). Par conséquent, cette situation entraîne une interdépendance entre les équipiers bien qu'un « mélange de compétences et "redondances" » (Connolly et *al.*, 2017) existe au sein d'un même équipage.

L'isolement d'un équipage à destination de Mars est jugé comme extrêmement élevé (Horneck et *al.*, 2003) pendant cette mission pouvant atteindre deux années et demi (Landon, Rokholt Slack et Pecena, 2016). Il peut avoir des conséquences sur l'équipe et donc sa définition.

Tout d'abord, l'équipage d'une mission vers Mars communique en face à face avec un langage verbal et non-verbal exclusivement avec les mêmes personnes et durant la totalité de la mission et donc sans interruption<sup>5</sup>. Le temps de cette mission est évidemment employé à l'exécution de tâches. Or, « il suffit que des sujets soient impliqués dans la pratique d'une activité de façon suffisamment fréquente pour que se constituent des modes d'expression spécifiques » (Falzon, 1991). Falzon (1991) confirme ensuite la diversité des activités concernées par ces modes d'expression spécifiques : « les recettes de cuisine, les explications de modèle de tricot, les adeptes de certains sports (...) utilisent ainsi des langages particuliers, obscurs pour le non-initié. » Ainsi, la communication peut tendre vers un langage et des codes propres à l'équipage potentiellement déconnectés du travail scientifique.

---

<sup>5</sup> Selon les scénarios, l'équipage peut être divisé en deux, l'un restant en orbite autour de Mars et l'autre atterrissant à la surface de la planète (Horneck et *al.*, 2003).

Ensuite, une mission vers Mars pouvant durer entre seize et trente-six mois (Horneck et *al.*, 2003) et du fait du caractère exceptionnel de leur vécu, il est probable que les spationautes nouent entre eux des relations humaines fortes.

Durant une mission vers Mars, la planification peut être amenée à évoluer selon les évènements rencontrés (panne d'un système, réorientation d'une activité, etc.). Dans ce contexte d'exploration spatiale habitée vers Mars, Alliger, Cerasoli, Tannenbaum et Vessey (2015) soutiennent ainsi que la résilience est une qualité cruciale. Alliger et *al.* (2015) définissent la résilience comme « la capacité à résister et se remettre des défis, pressions ou stressseurs » (notre traduction). La résilience implique notamment la capacité d'adaptation tant au niveau individuel que collectif (Alliger et *al.*, 2015).

### 1.3. Définition correspondant au cas d'un vol habité à destination de Mars

Compte tenu de cette mise à l'épreuve des caractéristiques d'une équipe selon la littérature aux exigences d'un vol habité à destination de Mars, une nouvelle définition est nécessaire. Elle est construite à partir de celle de l'équipe de Salas et *al.* (1992), de Katzenbach et Smith (1993) et des groupes restreints d'Anzieu et Martin (1968).

Une équipe de spationautes dans le contexte d'une mission habitée vers Mars est définie par :

- Un ensemble restreint de deux personnes ou plus,
- Pouvant ressentir des relations affectives, émotionnelles et solidaires pouvant devenir intenses entre les membres,
- Qui interagissent dynamiquement, de façon interdépendante et avec résilience,
- Via des normes, croyances et signaux pouvant être particuliers à l'équipe,
- Vers un but commun et
- Qui se sont chacun vus assignés des rôles spécifiques ou des fonctions,
- Afin d'être performants.

## 2. Partage d'expériences, utilité pour l'équipe

À sa création, une équipe est formée pour atteindre un ou des buts exigeant un niveau de performance(s) minimale(s). L'équipe constituée peut alors être formée, chaque individu séparément et/ou collectivement, chacun dans le cadre de son rôle spécifique. La formation technique est un moyen largement répandu pour entraîner une équipe à une mission donnée. La formation technique permet à un agent ou une équipe de maîtriser les procédures et matériels nécessaires à l'exécution d'une mission et d'assurer la sécurité des moyens personnels et matériels employés selon les standards du métier concerné (une séance de simulateur pour un commandant de bord et un co-pilote d'avion de ligne par exemple). Dans le cadre de la lutte contre les incendies de grandes ampleurs<sup>6</sup> en Australie, « les compétences requises proviennent seulement de l'expérience de travail dans des Équipes de Gestion d'Incidents (IMT) » (notre traduction, McLennan et *al.*, 2006). McLennan et *al.* (2006) soutiennent ensuite que ces équipes « devraient être composées avant une

---

<sup>6</sup> Plus de cinquante hectares de surface et une durée supérieure à trois heures (McLennan, Holgate, Omodei et Wearing, 2006)

saison d'incendies, entraînées ensemble et envoyées sur un incendie majeur en tant qu'IMT » plutôt que formées pour un évènement particulier (notre traduction).

Cette mise au niveau requis peut relever d'activités autres qu'une formation technique. En effet, Klein et *al.* (2009) proposent les *activités de construction d'équipe* qu'ils définissent comme :

*Un type d'interventions formelles et informelles au niveau de l'équipe qui se concentrent sur l'amélioration sociale des relations et la clarification des rôles, tout comme les problèmes de résolution de tâches et interpersonnels qui affectent le fonctionnement de l'équipe. (notre traduction, p.183)*

Ces auteurs précisent des exemples de telles activités qu'ils reconnaissent comme largement utilisés : « des jeux, des aventures ou des exercices » (notre traduction, Klein et *al.*, 2009). Ce type de vécu pourrait notamment permettre de développer le « modèle de membre d'équipe » (notre traduction, Mathieu et *al.*, 2000), modèle que les équipes « doivent partager » car il permet de gagner notamment en efficacité (notre traduction, Mathieu et *al.*, 2000). Une équipe le maîtrisant détient alors des informations spécifiques aux équipiers : « leurs connaissances, compétences, attitudes, préférences, forces, faiblesses, tendances et ainsi de suite » (notre traduction, Mathieu et *al.*, 2000). Plus précisément, les « connaissances au sujet d'équipiers sont probablement utiles pour une variété de tâches plutôt qu'une unique tâche. En revanche, dans ce cas, les connaissances sont spécifiques à l'équipe. Elles ne tiennent que lorsque les équipiers restent constants » (notre traduction, Cannon-Bowers et Salas, 2001). Il y a ainsi cohérence entre Cannon-Bowers et Salas (2001) et McLennan et *al.* (2006) : les équipes stables présentent des avantages. Plus largement, les activités non techniques, n'appartenant pas à la formation technique sont contenues dans une formation à une tâche donnée (dont les activités de construction d'équipe), peuvent donc améliorer le fonctionnement d'une équipe.

Néanmoins, la transmission du modèle de membre d'équipe peut s'effectuer via d'autres activités partagées que la formation technique ou celles contenues dans les activités non techniques. Ces activités ne sont donc pas répertoriées dans le cadre d'un programme de formation à une tâche donnée, elles sont appelées activités externes. Par exemple, « le *récit expérientiel* est la narration à un pair d'un épisode issu de l'expérience d'un individu dans un contexte professionnel spécifique » (Marchand, 2009). Ce type de récits permet notamment de « découvrir les caractéristiques des opérateurs » comme la fiabilité d'un équipier ou la capacité à prendre une bonne décision (Marchand, 2009). Pouvant être favorisés dans les espaces d'échanges verbaux, « les récits expérientiels sont donc un moyen pour le collectif de se construire » (Marchand, 2009). Bien qu'étudiés au sein d'un collectif, les récits expérientiels pourraient aussi être bénéfiques à la construction d'une équipe.

Trois catégories d'expériences à partager ou non par des équipiers sont donc mises en avant :

- La formation technique,
- Les activités non techniques (dont les activités de construction d'équipe, Klein et *al.*, 2009),
- Les activités externes (dont les récits expérientiels, Marchand, 2009).

Le partage d'évènements respectant une répartition équilibrée de ces trois catégories d'expériences par une même équipe constitue un vécu commun d'*expériences diversifiées et de qualité*.

Ensuite, grâce aux connaissances par des équipiers sur d'autres équipiers, acquises potentiellement lors de formations techniques, activités de construction d'équipe (Klein et *al.*, 2009) et récits expérientiels (Marchand, 2009), l'équipe peut construire de manière informelle une matrice de ressources (reconnue comme source de résilience par Alliger et *al.*, 2015) interne à l'équipe. La matrice de ressources est définie par Alliger et *al.* (2015) comme un répertoire de personnes pouvant aider une équipe en précisant notamment le type d'expertise détenue par chaque contact. Finalement, grâce à ces connaissances, les équipiers peuvent alors ajuster leur comportement en fonction de ce qu'ils peuvent prévoir de leurs équipiers (Cannon-Bowers et Salas, 2001 ; Mathieu et *al.*, 2000). Si un équipier est connu pour avoir une compétence précise, les autres équipiers peuvent attendre de lui ou stimuler chez lui la mise en œuvre de cette compétence si le contexte le demande. L'équipe peut alors gagner du temps dans le traitement d'un problème par exemple. Dans un cadre pédagogique porté sur les compétences de l'équipe, Prichard, Stratford et Hardy (2004) conseillent de construire des équipes « entrainées dans leur groupe collaboratif et conservées ensemble aussi longtemps que possible afin de bénéficier des compétences génériques et spécifiques à l'équipe » (notre traduction).

Au-delà des connaissances d'un équipier sur un autre et ensuite de l'ajustement des comportements, Klein et *al.* (2009) soutiennent l'influence des activités de construction d'équipe sur leur fonctionnement et notamment sur les résultats de performance, ces derniers sont cependant moins soulignés que ceux relatifs à l'affectif<sup>7</sup> et aux processus de l'équipe<sup>8</sup>. Avec le même intérêt pour la stabilité des équipes, dans le cadre des IMT, McLennan et *al.* (2006) recommandent de les entrainer ensemble afin de les rendre « efficace. » Dans cette même dynamique et appliqué au domaine des vols spatiaux habités, Noe et *al.* (2011) soulignent que les « équipes stables qui ont suivi un entraînement ont amélioré le plus leurs processus et performances » (notre traduction). La performance peut ainsi bénéficier d'un vécu commun et dans la durée (développement plus approfondi des connaissances d'un équipier sur un autre) d'une formation composée d'expériences diversifiées et de qualité. Une telle formation propose à une équipe une répartition, plus ou moins équilibrée, d'activités techniques, non-techniques tout en laissant des opportunités aux équipiers de vivre des activités externes. En revanche, Klein et *al.* (2009) soulignent que « très peu » d'études (notre traduction), parmi celles étudiées dans leurs travaux, se sont portées sur les effets des activités de construction d'équipe. Ces auteurs (2009) précisent alors le besoin d'analyser davantage les résultats de ces activités tout au long de la vie d'une équipe. Plus largement, la question peut être posée au sujet de l'étude de l'impact d'une formation composée d'expériences diversifiées et de qualité partagée ou non par une équipe stable sur la réalisation ou non de sa tâche. De plus, la littérature étudiée n'aborde pas l'intérêt du partage de ce type de formation par rapport à la résolution d'une situation inconnue bien qu'il soit probablement une aide.

---

<sup>7</sup> Klein et *al.* (2009) décrivent l'affectif comme la « confiance, la force de l'équipe » (notre traduction).

<sup>8</sup> Klein et *al.* (2009) décrivent les processus comme la « coordination, communication » (notre traduction).

## Chapitre 2 : Les équipes peuvent faire face à des situations inconnues

Les équipes ont, par définition, une ou des missions à remplir variant selon l'activité. L'atteinte des buts associés peut être complexifiée du fait d'évènements non intégrés au déroulement nominal d'une mission. Les équipes doivent donc réagir à ces évènements supplémentaires afin d'atteindre les buts initialement assignés. Ces évènements supplémentaires peuvent être anodins comme une déviation temporaire de la route la plus courte entre l'aéroport de départ et d'arrivée pour un avion ou graves comme des conditions météorologiques dangereuses et imprévues lors d'une course d'alpinisme. Dans le cadre d'un vol spatial habité à destination de Mars, un équipage peut être amené à faire face à des problèmes techniques du fait de l'utilisation de nombreux systèmes à bord du véhicule spatial (Salotti, 2011).

Dans certaines activités, les résolutions de problèmes présentent une valeur sociale, culturelle et intellectuelle (Csapó et Funke, 2017). En revanche, dans le cadre des vols spatiaux habités, l'issue de la résolution d'un problème technique implique évidemment la question de la survie de l'équipage, de la préservation du matériel et de la réalisation de la mission à tous les niveaux. La préparation des compétences des équipiers doit donc donner la priorité aux compétences d'utilisation et de résolution de ces problèmes de bord du véhicule spatial (Salotti, 2011).

Les définitions relatives aux problèmes sont très générales. Duncker (1945) annonce qu'« un problème survient quand une créature vivante a un but mais ne connaît pas comment ce but doit être atteint » (notre traduction). Davidson et *al.* (1994) précisent que le problème est composé par un transfert d'un état initial à celui désiré. Dans cette « différence entre l'état ciblé et la situation actuelle » (notre traduction, Jonassen, 2000), il y a présence d'inconnu (Csapó et Funke, 2017) et le nombre de résultats inconnus n'est cependant pas limité à un unique (Baiwir et Delhez, 2004). Un travail est alors nécessaire pour atteindre ce second état. Biryukov (2004) décrit alors la nécessité de prise de décision quant au choix d'une stratégie. Cette stratégie ou ces méthodes (Baiwir et Delhez, 2004) doivent ensuite s'adapter aux caractéristiques du problème pour atteindre le but désiré : « les données, le but et les obstacles » (notre traduction, Davidson et *al.*, 1994).

Au-delà de ces approches et avec un point de vue opérationnel, il existe différentes catégories de problèmes en regard des procédures anormales (non relatives à l'usage normal d'un matériel). Il convient donc de discriminer ces catégories. Les trois premières concernent des problèmes pour lesquels un équipage dispose de connaissances, compétences ou expériences pour initier *a minima* la résolution du problème. La quatrième catégorie met en avant les problèmes sans connaissance, compétence ou expérience permettant d'initier la résolution d'un problème, *i.e.* des problèmes inconnus.

### 1. L'imprévu est soit anticipé, soit déjà expérimenté, soit les deux

Les situations inconnues sont définies comme étant jamais rencontrées ni anticipées (L Haridon et *al.*, 2017). Si un équipage fait face à un problème non inconnu, autrement dit connu, il a soit déjà rencontré cette situation et dispose donc d'éléments pouvant faciliter la résolution, soit accès à un travail d'anticipation correspondant (une check-list spécifique à ce problème par exemple) soit les

deux à la fois. Finalement, les équipiers peuvent employer les compétences acquises durant leur formation pour initier le traitement du problème.

### 1.1. Problèmes imprévus déjà anticipés et déjà expérimentés

Un équipage peut rencontrer un problème déjà anticipé et déjà expérimenté.

Tout d'abord, le problème étant anticipé, l'équipage a alors à sa disposition un ou plusieurs éléments anticipés. Ces derniers peuvent prendre des formes variées. Dans le cas des problèmes pouvant être anticipés, « une reconnaissance amorcée de la décision<sup>9</sup> peut être appliquée » (notre traduction, Orasanu, 2005). Un élément anticipé classique est une check-list énumérant les actions à effectuer pour réagir à une panne anticipée par un bureau d'études. Un autre élément anticipé peut aussi consister à réfléchir en anticipation à une situation potentielle et aux actions possibles pour la traiter. Si une équipe dispose d'un ou plusieurs éléments anticipés relatifs à un problème spécifique, un travail de réflexion existe déjà et peut donc aider le traitement en orientant vers un axe de traitement ou en évitant un mauvais.

Ensuite, le problème étant déjà expérimenté par l'équipage, ce dernier a donc déjà rencontré ce problème spécifique auparavant<sup>10</sup> et peut ainsi se souvenir de sa précédente expérience de cette situation<sup>11</sup>. Cette précédente expérience peut de plus être transformée grâce à l'apprentissage expérientiel. Kolb (2014) définit l'apprentissage expérientiel comme « le processus par lequel la connaissance est créée au travers de la transformation de l'expérience » (notre traduction), où la connaissance est continuellement créée et recrée. Au cours de ce processus, « l'apprenant modifie lui-même ses structures cognitives à partir de l'expérience vécue. Dans ce processus d'apprentissage, il construit son savoir de l'intérieur, en se nourrissant des apports issus de son interaction permanente avec l'environnement » (Toutain et Fayolle, 2011). Finalement, l'expérience d'un vécu passé peut permettre à l'équipage un rappel transformé et mûri du précédent traitement du problème. Ce « savoir de l'intérieur » (Toutain et Fayolle, 2011) peut ainsi guider un individu ou une équipe dans sa résolution d'un problème.

Dans le cadre de l'utilisation commerciale d'un avion de ligne par une compagnie aérienne, un passager peut troubler l'ordre à bord. Le commandant de bord peut avoir à son niveau une procédure établie par la compagnie pour réagir à l'évènement (le problème est donc anticipé) mais aussi mettre à profit son expérience acquise avec un cas similaire vécu précédemment.

---

<sup>9</sup> Orasanu (2005) parle de « recognition-primed decision ».

<sup>10</sup> Le *raisonnement à partir de cas* (Cordier et Fuchs, 2006) est abordé ici seulement dans le cas où l'équipe a déjà rencontré spécifiquement le problème subi auparavant. Si ce n'est pas le cas, le raisonnement à partir de cas peut être utile mais intégré à la compréhension puis au traitement du problème ; l'équipe n'est pas expérimentée par rapport au problème rencontré.

<sup>11</sup> Si aucun membre de l'équipage ne se souvient plus d'avoir expérimenté un problème, ce dernier est considéré comme non rencontré. Bien que davantage expérimenté grâce à l'apprentissage expérientiel, l'équipage se retrouve à nouveau dans une situation de découverte du problème.

### 1.2. Problèmes imprévus déjà anticipés mais jamais expérimentés

En vol spatial habité, la totalité des problèmes possibles ne peut pas être anticipée (Office of Public Affairs - NASA, 1970). Par conséquent, « les équipages et contrôleurs qui sont impliqués dans les missions de longues durées ne peuvent pas être entraînés avant la mission à toutes les expériences qu'ils peuvent rencontrer » (notre traduction, Noe *et al.*, 2011). Malgré cette limitation de la formation, un problème rencontré peut tout à fait être traité de manière standardisée. En effet, pour ce type de problème, une équipe n'a jamais eu l'expérience du problème rencontré mais dispose d'une procédure correspondant exactement à l'évènement rencontré. Cette procédure permet ainsi le traitement du problème. Par exemple, si un équipage de spationautes rencontre un problème électrique jamais rencontré par lui mais pour lequel une check-list de traitement existe, ce problème est bien anticipé mais jamais expérimenté. Il y a donc une procédure de traitement à appliquer spécifiquement au problème rencontré et ainsi une orientation initiale de leur travail. Une check-list commune aux activités opérationnelles n'est pas la seule manière d'anticiper un problème, le travail de réflexion et d'anticipation d'un problème potentiel provoqué par un *récit expérimentiel* et des actions possibles suffit pour prévoir une résolution. Ces récits sont une « narration à un pair d'un épisode issu de l'expérience d'un individu dans un contexte professionnel spécifique » (Marchand, 2009). Ils permettent ainsi de « découvrir les caractéristiques des opérateurs et de l'environnement de travail dans lequel ils évoluent » (Marchand, 2009), dont les problèmes.

### 1.3. Problèmes imprévus déjà expérimentés jamais anticipés

Dans le domaine de l'aviation, « il est, bien sûr, impossible de développer des procédures et check-lists pour toutes les situations possibles » (notre traduction, Burian, Barshi et Dismukes, 2005). De même, Orasanu parle de « problèmes non anticipés » (notre traduction, 2005) mais sans aucune référence à l'expérience d'une équipe. Cette troisième catégorie de problèmes fait partie de ces situations sans procédure : elles n'ont jamais été anticipées mais ont déjà été expérimentées auparavant par le(s) équipier(s) opérationnel(s). Partant, à la première occurrence du problème pour cette (ces) personne (équipiers), l'évènement était inconnu. Mais à la deuxième, les éléments relevant de l'expérience personnelle des équipiers sont mis à profit de toute l'équipe pour débiter le traitement. En effet, « placés dans les situations identiques les équipages réagissent de façon similaire » (Académie de l'Air et de l'Espace, 2013). En reprenant l'exemple précédant d'un passager turbulent, un copilote d'avion de ligne peut assister à une telle gestion de problème par le commandant de bord du vol sans que la compagnie concernée ait émis de procédure idoine. Si ensuite, le copilote devenu commandant de bord doit réagir à un nouveau passager turbulent mais n'a toujours pas de procédure construite par sa compagnie et n'a pas anticipé une éventuelle future occurrence de ce même problème, une expérience sera alors déjà acquise par le copilote et permettra un début de traitement.

## 2. L'inconnu n'est ni expérimenté ni anticipé

Comme décrit par l'Académie de l'Air et de l'Espace (AAE), « les check-lists et do-lists ne sont conçues que pour faire face aux situations "connues" » (2013). Dans le cadre des vols spatiaux habités, « même avant le lancement, Apollo 13 a fourni un sobre rappel que les problèmes et dangers de l'exploration spatiale dépassent l'anticipation et que le génie de l'ingénierie n'est pas sans

limitation » (notre traduction, Office of Public Affairs - NASA, 1970). Un équipage en aérospatial pourrait ainsi subir une panne hors de ces cas connus et qu'il n'a jamais rencontrée. C'est l'objet de la quatrième catégorie de problèmes, la plus critique. Les équipes exposées n'ont alors aucune orientation initiale dans le traitement. Orasanu (2005), Gorman, Cooke et Amazeen (2010), l'AAE (2013) et d'autres ont déjà abordé cette catégorie de problèmes, néanmoins une définition de l'inconnu pour l'ensemble des activités opérationnelles peut être proposée.

L'AAE (2013) a proposé une définition des situations imprévues : « c'est-à-dire celles qu'on n'a pas imaginées, ou qu'on a estimées improbables. » Cette définition intègre donc des situations ayant déjà été travaillées car elles sont « estimées improbables. » Si un équipage a connaissance de cette estimation, à la manière d'un apprentissage expérientiel non fondé sur l'expérience vécue mais d'une connaissance ou d'un récit expérientiel, un travail de réflexion peut alors se produire conduisant à la construction d'un « savoir de l'intérieur » relatif à cette situation spécifique. Finalement, cette situation estimée et donc anticipée peut donner lieu selon l'équipage à des axes de traitement à privilégier ou d'autres à éviter, *in fine* des orientations initiales d'une résolution. Néanmoins, cette définition des situations imprévues regroupe aussi celles qui ne sont « pas imaginées » (Académie de l'Air et de l'Espace, 2013) et donc sans orientation initiale possible. Afin d'éviter toute confusion, les situations imprévues sont définies comme des problèmes anticipés et/ou expérimentés par l'équipe rencontrant le problème. Les situations imprévues ont ainsi une orientation initiale. Une panne moteur au décollage est une situation imprévue : théoriquement une telle panne ne doit pas se produire, néanmoins, un équipage d'avion de transport multi moteur calcule systématiquement ses performances au décollage avec un moteur inopérant et connaît la procédure à appliquer en cas de panne moteur.

Dans leur étude des « équipes adaptatives » (notre traduction), Gorman et *al.* (2010) mettent en valeur les « nouvelles conditions » rencontrées pour lesquelles les équipes n'ont pas été « explicitement entraînées » (notre traduction) mais aussi des situations « jamais expérimentées » (notre traduction). Gorman et *al.* (2010) prennent donc en compte l'expérience d'une équipe. Tout comme Gorman et *al.* (2010), Sengul et Katranci (2012) décrivent le caractère nouveau d'un problème et le fait de l'expérimenter pour la première fois. À l'inverse, avec une approche ne prenant pas en compte l'expérience des équipes dans un contexte d'étude des vols habités, Orasanu (2005) présente des « problèmes non anticipés » (notre traduction), autrement dit jamais anticipés. En effet, cette caractéristique (problèmes non anticipés) repose sur la nouveauté ou non d'un évènement. L'intérêt de cette relativité à l'expérience d'une équipe permet de s'intéresser à ses capacités propres à obtenir une orientation initiale au traitement du problème.

Une seconde lecture de la relativité d'une situation par rapport à une équipe donnée existe : si une procédure spécifique à appliquer à une situation anormale est disponible mais n'est pas reconnue voire inconnue de l'équipe, la situation est aussi inconnue (Trodec, 2011). En effet, l'équipe :

- ne dépasse pas la phase de compréhension de l'évènement et ne le reconnaît pas. *In fine*, elle ne réussit pas à déterminer la procédure anticipée exactement pour la situation rencontrée ou
- applique une procédure anticipée mais non exactement destinée à la situation rencontrée. La procédure précise à appliquer à la situation anormale rencontrée n'est alors pas exécutée,

révélant ainsi une erreur de l'équipage par défaut de compréhension et donc le caractère non connu de l'évènement. La situation réelle est donc inconnue de l'équipe<sup>12</sup>.

Finalement, L Haridon et *al.* (2017) définissent les *situations inconnues* comme « jamais rencontrées ni anticipées » (notre traduction). Cette définition intègre ainsi l'absence d'anticipation d'un problème (manque de check-list, procédure, etc.) et l'expérience inexistante de l'équipe le rencontrant. Les équipiers doivent donc trouver une nouvelle solution à un problème qu'ils ne maîtrisent pas initialement.

L'annexe 1 présente les treize situations inconnues et une probable suivantes rencontrées dans les milieux aérospatiaux :

- Mission Apollo 13 du 11 avril 1970 employant une fusée Saturne V,
- Vol 46E de la Japan Airlines du 13 mars 1993 employant un Boeing B747-121,
- Vol 529 de l'Atlantic Southeast airlines du 21 août 1995 employant un Embraer EMB-120RT,
- Vol de l'Armée de l'air du 8 janvier 2004 employant un Mirage 2000D,
- Vol de l'Armée de l'air du 26 août 2004 employant un Mirage 2000D,
- Vol de la Gol Transportes Aéreos S.A. du 29 septembre 2006 employant un Boeing B737 EH,
- Vol AF447 d'Air France du 1<sup>er</sup> juin 2009 employant un Airbus A330,
- Vol d'Air France du 19 janvier 2010 employant un Airbus A320,
- Vol de l'Armée de l'air du 18 avril 2012 employant un C160 Transall NG,
- Vol de l'Armée de l'air du 21 juin 2012 employant un Hercules C130H30,
- Vol de l'atelier industriel de l'aéronautique (AIA) de Cuers Pierrefeu du 14 septembre 2012 employant un WG13 Lynx MK4,
- Sortie extravéhiculaire de la NASA du 16 juillet 2013, employant une unité de mobilité extravéhiculaire à bord de l'ISS,
- Vol d'Airbus Defense and Space du 9 mai 2015 employant un Airbus A400M,
- Vol d'une compagnie aérienne employant un Airbus A330.

Ces quatorze cas démontrent donc l'existence de situations inconnues en activités opérationnelles. Néanmoins, ce type de problèmes est rare. En effet, les quatorze situations inconnues dont une probable sont les seules trouvées<sup>13</sup> à partir des enquêtes du BEA, BEA-É, National Transportation Safety Board (NTSB), Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center (CENIPA) et de trois évènements en vol spatial habité menées au sujet d'évènements datés entre 1993 et 2016 (évènements en vol spatial habité non compris).

---

<sup>12</sup> Le troisième cas de figure est une équipe appliquant la procédure correspondant exactement à la situation anormale rencontrée, il s'agit alors d'un évènement imprévu.

<sup>13</sup> D'autres situations inconnues peuvent avoir eu lieu mais n'ont pas pu être mises en avant par les rapports étudiés par manque d'éléments. Cette liste de situations inconnues n'a donc pas pour vocation à être exhaustive ou de démontrer la fiabilité d'un système par rapport à un autre. Son unique but est de présenter des cas d'évènements inconnus rencontrés lors d'opérations réelles.

## Chapitre 3 : Besoin de performance opérationnelle

Les vols spatiaux habités regroupent des contraintes particulières, lorsqu'une situation inconnue survient, le risque encouru par l'équipage, le matériel et la mission peut être très élevé. Ainsi, un équipage doit être suffisamment performant pour réagir et traiter une telle situation.

### 1. Une exploration à risques

#### 1.1. Un contexte extrême et volatil

Le milieu spatial peut être extrême au sens de Godé (2013) car il implique à la fois (1) la simultanéité de ces trois critères : évolutivité, incertitude et danger et (2) à des niveaux élevés et soutenus. Certes, lorsqu'aucun événement anormal survient, la situation ne correspond pas à cette définition. Mais si un feu à bord de l'ISS se produit, les spationautes sont immédiatement confrontés à la simultanéité et au degré élevé et soutenu de ces trois critères. L'incertitude liée à l'avènement d'une situation inconnue (situation jamais rencontrée ni anticipée) est à placer en correspondance avec l'imprévisibilité des événements, terme employé notamment par Bouty et *al.* (2011), Lièvre et Rix-Lièvre (2005) et Godé-Sanchez (2008).

Une situation inconnue peut aussi transformer un contexte standard en un contexte extrême et volatil. Godé-Sanchez (2008) caractérise la volatilité d'un contexte par des changements rapides, dynamiques, discontinus et une qualité de l'information imprécise.

#### 1.2. Un contexte contraint

Bellman et Zadeh (1970), dans leur travail sur la prise de décision en environnements flous, abordent l'influence de la présence de contraintes. Ils (1970) précisent que :

*Les principaux ingrédients du processus de décision sont (a) un ensemble d'alternatives, (b) un ensemble de contraintes sur le choix entre différentes alternatives et (c) une fonction de la performance qui associe à chaque alternative un gain (ou une perte) résultant du choix de l'alternative. (notre traduction, p.7)*

Ainsi, les contraintes d'un environnement se traduisent directement au niveau des alternatives disponibles à la décision et *in fine* à la réalisation d'une tâche en cours. S'il n'y a pas de contrainte, toutes les alternatives sont réalisables. En revanche, si de nombreuses contraintes existent, le spectre des alternatives est d'autant réduit.

Blanchard (2015) décrit l'influence des contraintes dans le cadre de la réalisation d'une tâche de façon similaire à Bellman et Zadeh (1970) et propose particulièrement une définition d'un *environnement contraint* appliquée aux activités d'innovation dans les entreprises de moins de deux cent cinquante salariés. Blanchard (2015) appelle environnement contraint « ces structures à moyens (humains, financiers et technologiques) limités. » Appliqué au besoin d'innovation, « les dirigeants de ces entreprises ont peu de personnels d'étude à affecter aux domaines de la création non technique. Le recours à des spécialistes de la conception de produits ou de services nouveaux est, lui aussi, très

occasionnel » (Blanchard, 2015). Ainsi, pour Blanchard (2015), les contraintes subies par les entreprises étudiées (faible nombre de personnels, moyens financiers et technologiques) diminuent les capacités de ces dernières à innover. Finalement, pour une même durée disponible pour la réalisation d'une innovation, si une entreprise a des contraintes supérieures à une autre, le spectre des alternatives possibles est d'autant réduit. En revanche, la définition des environnements contraints de Blanchard (2015) n'aborde pas la présence de contraintes extérieures à l'entreprise à la différence de celle de Bellman et Zadeh (1970).

Dans le cadre de la réalisation de missions, des environnements contraints peuvent exister. Ils sont caractérisés dans ce travail de recherche par deux paramètres nécessaires et suffisants traduisant les restrictions dues aux contraintes décrites par Bellman et Zadeh (1970) :

- (1) Il y a peu d'options pour réaliser une tâche provoquée par un contexte donné et
- (2) il n'y a pas d'option évidente pour cette même tâche.

Cette définition est donc relative à l'évènement se produisant. Un pilote d'avion de chasse biplace faisant face à un feu non maîtrisé sur un moteur a, entre autres, pour tâche de sauvegarder les vies humaines à bord. La solution évidente pour s'extraire de la situation est l'éjection. Bien qu'impressionnante et risquée, la possibilité d'éjection ne permet pas de qualifier ce contexte comme contraint au regard de la définition établie. À l'inverse, « il n'y a pas d'évacuation d'équipage lors d'une urgence pendant une mission vers Mars » (Landon et O'Keefe, 2018).

Le contexte peut aussi ne pas être contraint puis le devenir selon le contexte rencontré. Par exemple, si un hélicoptère du PGHM de Chamonix a pour tâche d'effectuer un vol retour vers sa base principale avant le coucher du Soleil, le contexte n'est pas contraint car plusieurs options existent pour réaliser la tâche : trajectoires, altitudes, etc. En revanche, si pendant ce vol une mission de secours d'une cordée en montagne se déclenche sur une position escarpée, le contexte peut être ou devenir contraint. Du fait de l'obscurité proche, de l'environnement de haute montagne, le relief possiblement exigu, l'équipage peut avoir peu d'options pour réaliser le sauvetage (compromis difficile entre sécurité et rapidité par exemple) et qu'aucune ne soit évidente (assurant à la fois un niveau de sécurité élevé pour l'hélicoptère, le treuillage, le déplacement du gendarme secouriste au sol, une rapidité d'intervention, etc.). Le contexte, initialement normal devient contraint du fait d'une tâche supplémentaire. Un contexte contraint est donc relatif à la tâche à accomplir.

Finalement, il faudra effectuer une étude succincte au cas par cas des conditions initiales d'une situation afin d'établir son caractère contraint ou non.

### 1.3. Un risque accru

Les vols spatiaux habités concentrent de nombreuses contraintes exceptionnelles compte tenu des activités humaines qui s'y déroulent. Un équipage de spationautes peut donc devoir réagir à une situation inconnue imposant un contexte contraint, extrême et volatil.

Gourinat, Apel et Delbart (2010) et Noe et *al.* (2011) parlent des contraintes inhérentes aux vols spatiaux de longues distances, par exemple les délais augmentés de communication, de l'isolement, l'autosuffisance et l'impossibilité de contacter des experts si besoin. Ainsi, « de temps en temps, des

problèmes sont mineurs dans le contexte d'activités menées sur Terre mais majeurs pour un vol spatial » (notre traduction, Office of Public Affairs - NASA, 1970). Le risque encouru par les équipages en vol spatial habité est ainsi augmenté notamment en cas de situation inconnue.

## 2. Nécessité de performance opérationnelle

Dans le travail en équipe, les enjeux des mauvaises performances sont élevés (Cannon-Bowers et Salas, 1998). Il en est notamment question face à une situation inconnue en milieu contraint, extrême et volatil où des vies humaines peuvent être menacées. La performance des équipiers et de l'équipe est donc recherchée<sup>14</sup>. Compte tenu de l'intérêt suscité par cette performance dans le cadre d'une mission en aérospatial, il est nécessaire de la définir.

Certains auteurs parlent de performance opérationnelle avec des critères similaires dans différents domaines de recherche : le tableau 2 précise les critères de mesure de la performance opérationnelle pour l'activité associée.

<b>Auteurs</b>	<b>Activité</b>	<b>Critère(s) simplifié(s) de mesure de performances opérationnelles</b>
Nishisaki, Keren et Nadkarni (2007)	La santé	Evaluation d'une tâche clinique par rapport à ses résultats
Rahman, Laosirihongthong et Sohal (2010)	L'entreprise	Rapidité des livraisons, coût par unité, productivité et satisfaction des clients
Noe et <i>al.</i> (2011)	L'entraînement d'équipes	Evaluations de l'exécution d'une tâche et de paramètres de temps <sup>15</sup>

Tableau 2. critères de mesure de la performance opérationnelle

Ces auteurs mesurent donc la performance opérationnelle selon des critères précis en fonction de la réalisation d'une tâche assignée. Établie dans le cadre d'une étude d'équipes de conception de logiciels, l'*efficacité* de Hoegl et Gemuenden (2001) généralise ces positions de Nishisaki et *al.* (2007), Rahman et *al.* (2010) et Noe et *al.* (2011). En effet, l'efficacité « reflète une comparaison entre les résultats véritables et attendus » (notre traduction, Hoegl et Gemuenden, 2001). Cependant, cette définition n'est pas retenue dans ce travail de recherche sur les vols habités, plus généralement les activités opérationnelles, car elle ne traduit pas l'assignation d'une mission par un échelon supérieur de commandement.

Le lien établi par Nishisaki et *al.* (2007), Rahman et *al.* (2010) et Noe et *al.* (2011) entre réalisation d'une tâche et l'adjectif « opérationnel » se retrouve dans le Glossaire interarmées de terminologie opérationnelle de Garderes (2015). Garderes (2015) y précise de nombreux termes liés aux activités des Armées comme opérationnels :

- Autorité supérieure : « en terminologie opérationnelle, autorité qui ordonne la mission »

<sup>14</sup> Une équipe d'experts n'implique pas forcément une équipe experte comme les travaux de Burke, Salas, Wilson-Donnelly et Priest (2004) le proposent concernant l'entraînement des équipes expertes dans les milieux médicaux.

<sup>15</sup> Noe et *al.* (2011) mentionnent également l'évaluation de patterns.

- Aptitude opérationnelle : « disposition particulière pour remplir une mission fixée en termes généraux »
- Capacité opérationnelle : « puissance militaire disponible pour réaliser une mission déterminée »
- Contrôle opérationnel : « autorité confiée à un commandant de donner des ordres aux forces affectées, de telle sorte qu'il puisse accomplir les missions ou tâches particulières »
- Force opérationnelle : groupement d'unités constitué « en vue d'exécuter une opération ou une mission déterminée »
- Qualification opérationnelle : « niveau d'aptitude opérationnelle certifié. (...) Ce niveau conditionne le spectre de missions pouvant être attribué (...). »

Ainsi, une constance se démarque dans la qualification de ce qui est opérationnel : lié à la réalisation d'une tâche déterminée. Dans cette dynamique, la performance opérationnelle peut être réduite à la réalisation d'une tâche déterminée, de l'objectif d'une mission assignée par un donneur d'ordre. Finalement, la *performance opérationnelle* mesure le degré de réalisation d'une tâche assignée.

Par exemple, dans le contexte contraint, extrême et volatil de la mission Apollo 13, une fois que l'explosion est survenue à bord du vaisseau, la tâche ou « le succès était à présent mesuré par l'issue du combat, international et lointain dans l'espace, pour ramener trois hommes à la maison » (notre traduction, Office of Public Affairs - NASA, 1970). Ce succès donne donc lieu à une performance mesurée selon l'accomplissement d'une tâche déterminée : « ramener trois hommes à la maison », *in fine* une performance opérationnelle.

Compte tenu de l'intérêt potentiel décrit précédemment au sujet de l'apport du partage d'expériences pour une équipe :

#### Hypothèse 1

Une équipe partageant des expériences diversifiées obtient de meilleures performances opérationnelles face à des situations inconnues qu'une équipe sans un tel entraînement partagé.

## Conclusion

La formation d'un équipage de spationautes à réagir face à l'inconnu lors d'un vol à destination de Mars peut bénéficier du test de cette hypothèse 1 : sont-ils plus ou moins performants selon leur degré de partage d'expériences diversifiées et de qualité ensemble ? Néanmoins, au-delà de la simple lecture d'une performance, une meilleure compréhension des facteurs liés voire déclenchant cette performance collective peut être atteinte, se traduisant ensuite dans le cadre de formations au travail d'équipe. Des recommandations peuvent ainsi être formulées. Elles sont alors potentiellement plus fines qu'une durée de partage minimale à favoriser. En effet, cette dernière peut être difficilement réalisable compte tenu de contraintes de plannings d'équipages de spationautes ou d'autres activités aérospatiales. La recherche de ces facteurs liés voire déclenchant cette performance collective constitue ainsi une étape de formation intermédiaire entre une absence de formation à l'inconnu d'un côté et le partage d'expériences diversifiées et de qualité possiblement coûteux en disponibilité de l'autre.

Finalement, un approfondissement du travail d'équipes traitant une situation inconnue selon le niveau de partage d'expériences diversifiées et de qualité peut apporter des apports théoriques et opérationnels, grâce à une meilleure compréhension des éléments pouvant influencer la performance opérationnelle. Une seconde approche du partage d'expériences diversifiées et de qualité est donc recherchée.

## Chapitre 4 : La métacognition est un axe d'amélioration de la performance

La métacognition est un type d'activité cognitive définie par Flavell en 1979. À partir d'un court état de l'art porté sur la cognition sur la cognition, Flavell (1979) met en valeur le champ de recherche de la métacognition. Cependant, la métacognition ne se résume pas simplement à la « cognition sur les phénomènes cognitifs » (notre traduction, Flavell, 1979). De plus, de nombreuses sous-catégories sont décrites dans la littérature, à la fois au niveau individuel (comme Valot, 1998 et Georghiadis, 2004) mais aussi collectif (Orasanu, 2005 et McCarthy et Garavan, 2008). L'usage de la métacognition mais aussi de ses sous-catégories, mis à profit de façon optimale, permet une augmentation de la performance lors de l'exécution d'activités (Geiwitz, 1994 ; Davidson et *al.*, 1994).

### 1. La métacognition, ou la cognition sur la cognition

Comme décrit par Quiles (2014), le préfixe *méta* est issu du grec « au-delà, après, indiquant le changement, la prospérité, la supériorité, le dépassement » et est utilisé « pour indiquer un concept qui est une abstraction d'un autre concept ». Ainsi, méta peut être utilisé pour de nombreux axes de recherches : métaphysique, métacommunication (Salas, Fiore et Letsky, 2012), métacompétences (Quiles, 2014 ; Biryukov, 2004), métacomposant (Geiwitz, 1994), métaconscience (Escorcía, 2007), métalogue (Valot, 1998), métamémoire (Quiles, 2014 ; Escorcía, 2007 ; Geiwitz, 1994 ; Biryukov, 2004), métaplan (Neyns, 2011), métaraisonnement (Geiwitz, 1994), métagroupe (Valot, 1998), métagenre (Valot, 1998), métabut (Valot, 1998), métarègle (Caroly, 2010 ; Valot, 1998), connaissance métacognitive (Flavell, 1979 ; McCarthy et Garavan, 2008 ; Saint-Pierre, 1994 ; Biryukov, 2004 ; Quiles, 2014) et la métacognition (Flavell, 1979).

Le terme cognition intégré dans la métacognition est donc essentiel pour préciser le « concept » (Quiles, 2014) étudié. Les sciences cognitives se situent « à l'intersection des sciences de l'information, des sciences du vivant et des sciences humaines et examinent ce qu'est la cognition, ce qu'elle produit et comment elle fonctionne » (notre traduction, Mercantini, 2015). Comme discuté par Quiles (2014) :

*Le mot cognition est utilisé pour désigner non seulement les processus de traitement de l'information dits « de haut niveau » tels que le raisonnement, la mémoire, la prise de décision et fonctions exécutives en général mais aussi des processus plus élémentaires comme la perception, la motricité ainsi que les émotions. (p.6)*

La métacognition pourrait donc être :

- L'activité de raisonnement, mémoire, prise de décision, fonctions exécutives, perception, motricité et d'émotions,
- Prenant pour objet l'activité de raisonnement, mémoire, prise de décision, fonctions exécutives, perception, motricité et d'émotions.

Flavell (1979) décrit la métacognition comme la « connaissance et la cognition au sujet de phénomènes cognitifs » (notre traduction). Néanmoins, d'après la littérature étudiée, la première remarque mettant en avant une pensée sur la pensée provient des travaux de de Spinoza (1662) : « Si un homme sait quelque chose, par ce fait bien précis, il sait qu'il le sait et en même temps sait

qu'il sait qu'il le sait et ainsi de suite à l'infini » (notre traduction). Les travaux de Flavell (1979) sont suivis d'autres traitant de la métacognition sous la même approche. Par exemple, Geiwitz (1994) indique au sujet du développement intellectuel des adolescents : « ils réfléchissent au sujet de la réflexion » et l'auteur ajoute que c'est une « bonne » définition de la métacognition (nos traductions). D'autres auteurs adoptent cette même définition, par exemple Sengul et Katranci (2012), Biryukov (2004), Nunes, Nunes et Davis (2003) ou encore Valot (1998). La métacognition sera considérée dans ce travail de recherche selon la définition de Flavell (1979).

## 2. La métacognition déclinée en activités métacognitives variées

La métacognition selon la définition de Flavell (1979) se révèle être un « concept composite », comme souligné par Quiles (2014), dont le spectre d'activités impliquées peut être précisé.

### 2.1. Variété des activités métacognitives individuelles

Avec une approche contemporaine de Flavell (1979), Quiles (2014) propose de considérer la métacognition « comme la connaissance et le contrôle qu'une personne a sur ses propres processus cognitifs ». Quiles (2014) soulève ainsi trois éléments majeurs : les connaissances métacognitives, le monitoring et le contrôle. Néanmoins, les cinquante-sept travaux scientifiques étudiés permettent de mettre en valeur de nombreuses autres composantes de la métacognition décrites ci-après.

Valot (1998) précise qu'« il y a métacognition - cognition sur la cognition - aussi bien sur soi que sur le fonctionnement cognitif de l'autre où même encore du binôme de l'équipage ». Au niveau individuel, Valot (1998) présente la méta-compréhension comme « la prise de conscience de ses propres mécanismes de compréhension. » La confiance métacognitive est représentée comme un jugement de probabilité au sujet de ses propres actions (Fleming et Lau, 2014).

Flavell a introduit les métaconnaissances ou connaissances métacognitives (1979). Elles « correspondent principalement à des connaissances ou croyances au sujet des facteurs ou variables qui agissent et interagissent d'une manière ou d'une autre pour affecter le cours et les résultats des démarches cognitives » (notre traduction, Flavell, 1979). Néanmoins, Biryukov (2004) a défini les métaconnaissances plus simplement : « la conscience de ce que quelqu'un sait » (notre traduction). De plus, quel que soit la définition adoptée (celle Flavell, 1979 ou de Biryukov, 2004), les métaconnaissances peuvent être plus précisément détaillées :

- Flavell (1979) divise les métaconnaissances en trois catégories : celles relatives aux personnes, aux tâches et aux stratégies,
- Concernant les métaconnaissances relatives aux personnes, elles peuvent être plus précisément divisées en trois sous-catégories : les différences intraindividuelles, interindividuelles et les propriétés universelles de la cognition (Flavell, 1979).
- Valot (1998) a qualifié les métaconnaissances d'opératives car associant des contraintes et des stratégies de l'activité,
- Le travail de Valot (1998) met en avant la métamémoire comme la « connaissance métacognitive d'une personne sur sa propre mémoire », « à ce jour le domaine le plus étudié » de la métacognition (Quiles, 2014),

- Saint-Pierre (1994) a parlé des connaissances métacognitives relatives aux tâches ; elles portent sur « ce que nous savons ou croyons au sujet de la portée, de l'étendue ou des exigences de l'activité intellectuelle que nous avons à réaliser ». Ce type de métaconnaissances sur les tâches est ensuite divisé selon celles relatives à la nature :
  - De l'information de la tâche (Quiles, 2014) et
  - Des exigences de la tâche (Quiles, 2014).

La figure 1 rassemble les sous-divisions des métaconnaissances discutées par les auteurs ci-dessus.

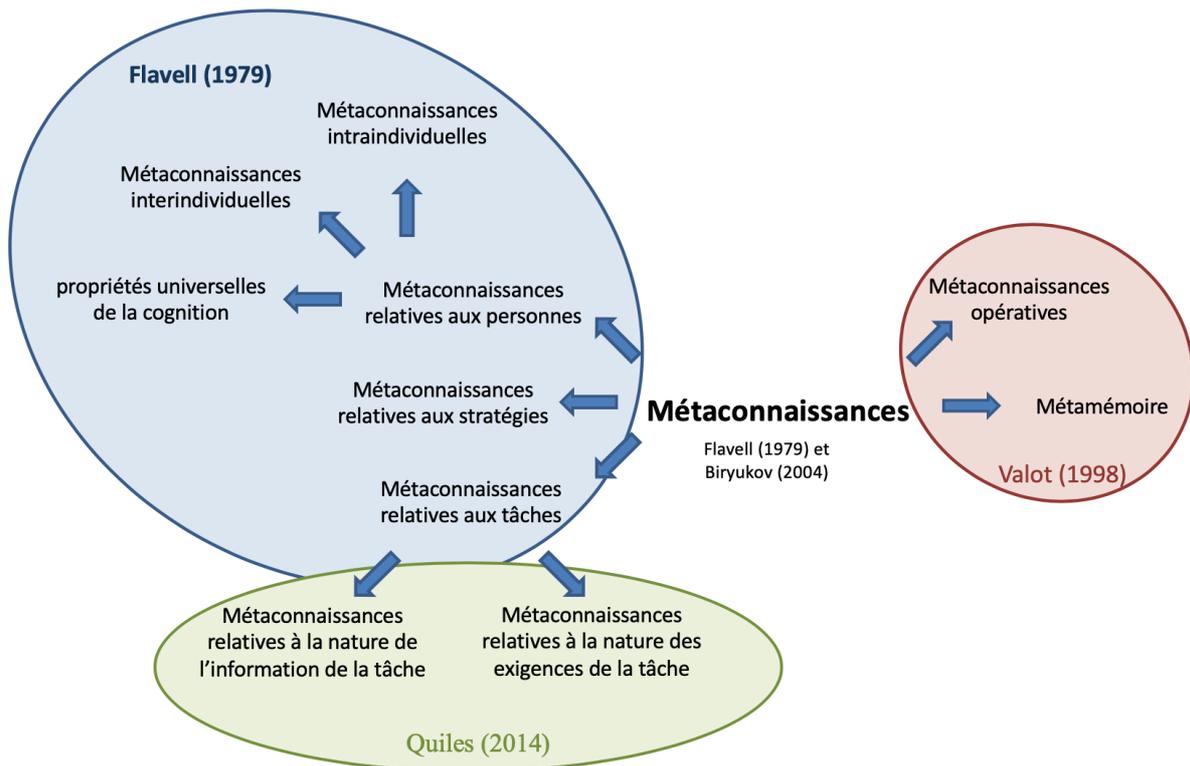


Figure 1. sous-divisions des métaconnaissances

En parallèle des métaconnaissances, des expériences métacognitives (Georghiades, 2004) existent. Elles sont définies par Biryukov (2004) comme la conscience de « ce que quelqu'un connaît sur ses propres habiletés cognitives » (notre traduction). Biryukov (2004) présente également les métacompétences relatives à la « conscience de (...) ce que quelqu'un peut faire » (notre traduction, Biryukov, 2004). Les métacompétences comportent aussi l'auto-instruction pour anticiper une résolution avant l'exécution d'un problème (Montague, 1992).

Toujours au sujet de l'activité cognitive en cours mais un angle différent des métaconnaissances et métacompétences, elle peut être guidée et/ou modifiée par les processus descendants d'autorégulation (Nelson, 1996 et Mariné et Huet, 1998). Dans le même registre d'actions, Chauvin (2003) avance le contrôle cognitif pour contrôler l'exécution de l'activité cognitive et le contrôle métacognitif pour choisir l'activité cognitive. Cette discrimination de Chauvin (2003) souligne la différence de niveau entre contrôle de la tâche (cognition) et contrôle de la cognition (métacognition). Plus largement, pour Saint-Pierre (1994), des activités de régulation peuvent être déclinées en plusieurs actions : la poursuite, l'abandon ou la correction « d'une stratégie en cours à la

suite de ce qui a été détecté par les activités de contrôle ». La figure 2 rassemble les éléments présentés concernant l'autorégulation.

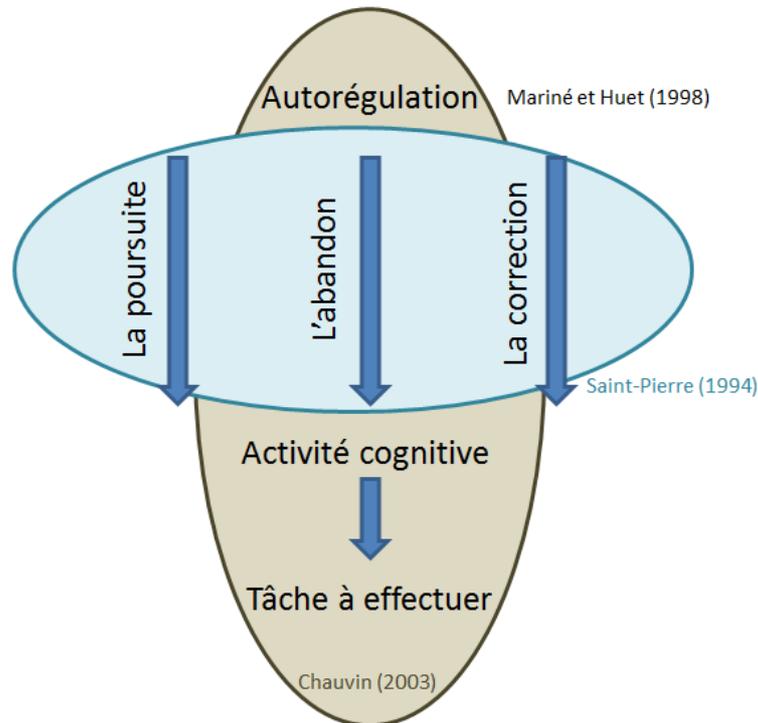


Figure 2. précisions sur l'autorégulation

À l'opposé du contrôle de l'activité cognitive, les processus ascendants d'autorégulation (Escorcía, 2007) ou d'autocontrôle (Mariné et Huet, 1998) ou de monitoring (Nelson et Narens, 1989 et Mariné et Huet, 1998) ont pour fonction, à l'inverse des descendants, d'informer le système métacognitif sur l'état du système cognitif et sur l'atteinte des buts (Mariné et Huet, 1998). Plus précisément, Mariné et Huet (1998) parlent d'autocontrôles :

- Prospectifs (évaluation d'une performance ou réponse future) et
- Rétrospectifs (évaluation d'une performance ou réponse antérieure).

D'après l'état de l'art sur la métacognition de Geiwitz (1994), le monitoring peut être professionnel en intégrant un cadre dans une structure professionnelle à comprendre et le monitoring temporel et pour Quiles (2014), le monitoring est « on-line » de la cognition comme indiqué.

Au-delà du monitoring, l'évaluation existe pour estimer les résultats et l'efficacité des comportements (Escorcía, 2007). Ces évaluations peuvent notamment mettre en valeur des activités métacognitives avec le manque de progrès, la détection d'erreurs et les résultats anormaux (Goos et al., 2000) et l'identification d'erreurs de codage, d'opérations et de recherche de but (Dawson, 2008). Certaines difficultés rencontrées lors de l'exécution d'une tâche sont métacognitives et peuvent être liées à l'évaluation réalisée par un individu ; ces difficultés sont potentiellement dues à des biais métacognitifs, de basses efficacités ou sensibilités métacognitives (Fleming et Lau, 2014). Au-delà, des erreurs des dynamiques métacognitives d'amélioration d'une tâche, des interventions réflexives (des réflexions sur les objectifs, stratégies et processus de l'équipe, West, 2000) peuvent

aussi avoir lieu comme l'élaboration d'améliorations potentielles ou des suggestions innovantes (Wiltshire et al., 2014) et les actions similaires de retour sur la performance, retours en arrière et « feedback » (Wiltshire et al., 2014 ou Butler et Winne, 1995). La figure 3 rassemble les éléments présentés concernant l'évaluation.

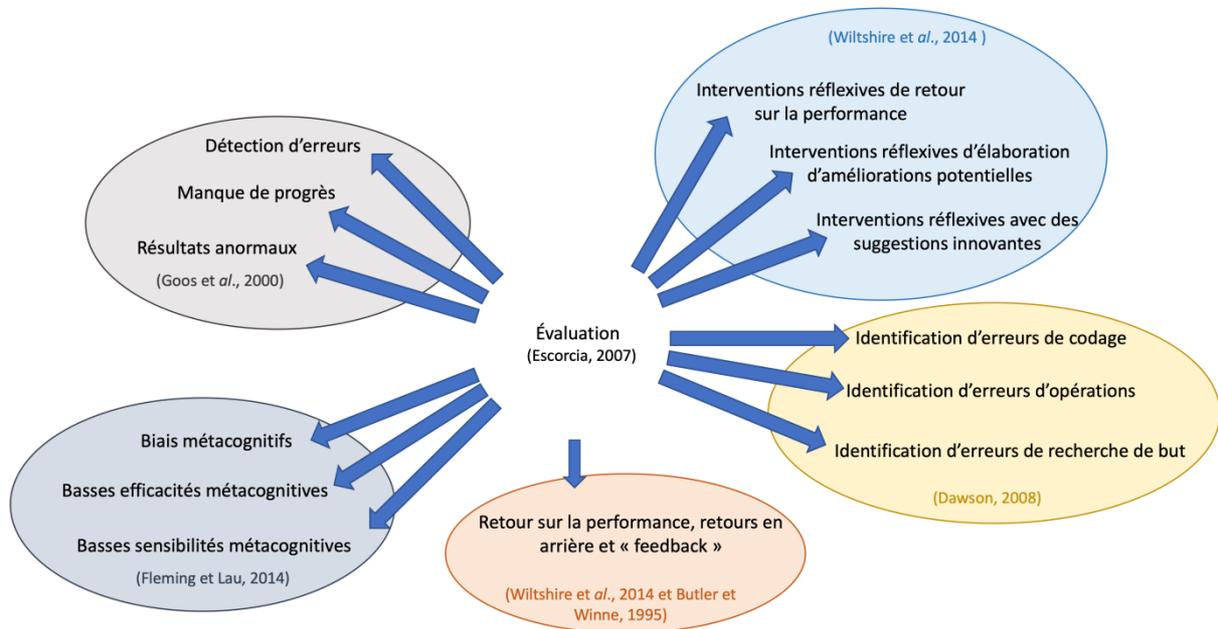


Figure 3. précision sur l'évaluation

Dans le cadre de trois études expérimentales effectuées par Valot (1998), cet auteur parle du métasavoir stratégique, il « se décompose en métastratégies de production des résultats recherchés et en métastratégies d'auto-régulation destinées à superviser les métastratégies de production et à les adapter au métasavoir factuel ». En parallèle, les métarègles existent pour employer les règles (Valot, 1998).

La métacognition peut avoir lieu lors d'une résolution de problème au travers d'étapes directement successives. Plusieurs exemples d'étape existent :

- La détection d'un problème de Geiwitz (1994),
- L'identification et la définition d'un problème en est une autre (Davidson et al., 1994),
- De façon similaire l'analyse des informations données (Özsoy et Ataman, 2009),
- L'organisation des informations données (Özsoy et Ataman, 2009) et
- L'auto-apprentissage, auto-questionnement et auto-monitoring (Montague, 1992).

Geiwitz (1994) présente ensuite la représentation mentale d'un problème construisant une représentation proche de la solution optimale et Csapó et Funke (2017) parlent de l'utilisation des représentations.

La littérature présente la réalisation d'une planification d'une résolution de problème :

- Davidson et al. (1994), Geiwitz (1994) et Biryukov (2004) proposent la planification avec différentes étapes et répartitions des ressources,

- Mais aussi des répartitions des travaux et des échéances et synchronisations temporelles (Geiwitz, 1994) ou
- De passerelles permettant des corrections (Yimer et Ellerton, 2006).
- Au-dessus de la planification, le métaplan sert à déterminer le contrat de performance (Neyns, 2011) et
- Dans une dynamique de recul par rapport à la planification, cette dernière peut aussi être critiquée face à d'autres solutions (Geiwitz, 1994)
- Notamment à l'aide de prédictions (Özsoy et Ataman, 2009).

## 2.2. Variété des activités métacognitives collectives

La métacognition existe aussi au niveau collectif à travers les différentes composantes décrites précédemment. « Il y a métacognition - cognition sur la cognition - aussi bien sur soi que sur le fonctionnement cognitif de l'autre où même encore du binôme de l'équipage » (Valot, 1998).

Shectman et Kenny (1994) décrivent par exemple la métaperception comme les perceptions que des personnes ont des perceptions des autres personnes. De même, les métacompétences sont aussi portées sur l'autre : la « conscience de (...) ce que quelqu'un peut faire » (Biryukov, 2004). L'autocontrôle ou monitoring social relatif à l'optimisation du travail en équipe lors de résolutions de problèmes (Geiwitz, 1994) ou les stratégies métacognitives (Valot, 1998) sont évidemment effectuées avec un collectif. La prise de recul pouvant être mise en valeur au travers des interventions réflexives d'une équipe s'inscrit donc au niveau collectif. Gurtner, Tschan, Semmer et Nägele (2007) démontre notamment l'intérêt des entraînements aux interventions réflexives pour le travail en équipe. Potentiellement liées, les métaconnaissances interindividuelles (Flavell, 1979) sont bien sûr collectives : savoir ce que l'autre sait. Un impact positif de la métacognition est relatif à l'intégration de nouvelles informations dans « les process, routines et structures qui existent avec les équipes » (notre traduction, McCarthy et Garavan, 2008).

La littérature étudiée est donc déséquilibrée entre les travaux au niveau individuel et ceux au niveau collectif. Néanmoins, certains éléments métacognitifs individuels peuvent probablement être exploités par une équipe (par exemple : identifier et définir un problème, Davidson et *al.*, 1994) et *in fine* servir de références pour aborder le travail métacognitif collectif.

## 3. La métacognition et gain de performance

Comme discuté ci-dessus (*cf.* PIC4p2<sup>16</sup>), la métacognition regroupe un large spectre d'activités. La littérature étudiée leur reconnaît une utilité dans le cadre de l'augmentation de la performance, notamment lors de résolutions de problèmes.

Dans la pratique des résolutions de problèmes, Artz et Armour-Thomas (1992) ont étudié le rôle de la métacognition lors de résolutions collectives de problèmes mathématiques effectuées par vingt-sept écoliers répartis en six groupes. Les résultats de ces auteurs (1992) « supportent l'importance des

---

<sup>16</sup> Lire ici Partie I, chapitre 4, paragraphe 2

processus métacognitifs lors des résolutions de problèmes mathématiques dans des petits groupes » (notre traduction). Cependant, la métacognition peut aussi être efficace via des compétences plus précises : les compétences temporelles (par exemple : l'application de ressources temporelles à une action et la cohérence de la progression d'une tâche avec un calendrier, Geiwitz, 1994), la détection d'un problème (Davidson et *al.* 1994), la représentation mentale (Freeman et Cohen, 1994 ; Davidson et *al.* 1994), la planification (Geiwitz, 1994 ; Davidson et *al.* 1994 ; Poissant, Poëllhuber, Falardeau, 1994), l'évaluation des solutions (Geiwitz, 1994 ; Canon-Bowers et Bell, 1997 ; Mariné et Huet, 1998 ; Freeman et Cohen, 1994 ; Davidson et *al.*, 1994 ; Poissant et *al.*, 1994), le métaplan (Neyns, 2011), l'emploi efficace de la cognition (Özsoy et Ataman, 2009), la régulation et le contrôle (Goos et *al.*, 2000) et les expériences métacognitives (Flavell, 1979).

Ainsi, Geiwitz (1994) déduit de son état de l'art les potentialités de bénéfices remarquables escomptés via l'entraînement à la métacognition, ce dernier « peut résulter en une augmentation étonnante de la performance en résolution de problème » (notre traduction, Geiwitz, 1994). La métacognition est ainsi intégrée à certains entraînements pour améliorer les performances. La conscience de la situation ou la prise de décision sont développées dans cette dynamique (Fornette et *al.*, 2012).

Finalement, de nombreux auteurs estiment (Geiwitz, 1994 ; Fleming et Lau, 2014 ; Nunes et *al.*, 2003 ; Mariné et Huet, 1998 ; Freeman et Cohen, 1994 ; Dawson, 2008 ; Davidson et *al.*, 1994 ; Wiltshire et *al.*, 2014), ont déjà testé qualitativement (Sengul et Katranci, 2012), ou quantitativement (Gurtner et *al.*, 2007 ; Artz et Armour-Thomas, 1992) ou qualitativement et quantitativement (Özsoy et Ataman, 2009 et Montague, 1992 ; Fornette et *al.*, 2012) un apport de la métacognition au profit de la performance et/ou des résolutions de problèmes.

## Conclusion

La métacognition initialement décrite par Flavell (1979) peut être utilisée à travers les activités cognitives. Compte tenu de l'omniprésence et des domaines variés d'intervention des équipes (Marks, 2006), préciser la métacognition collective pour améliorer le raisonnement collectif est donc un axe de recherche. Notamment, d'une part, l'emploi de la métacognition est reconnu dans la littérature comme un atout dans l'amélioration de la performance lors de la réalisation d'une tâche. D'autre part, le partage d'expériences améliore la performance (comme Klein et *al.*, 2009, McLennan et *al.*, 2006 et Noe et *al.*, 2011). Par conséquent, un axe de recherche consiste à comprendre la place de la métacognition dans cette évolution des performances d'une équipe au fur et à mesure du partage d'expériences diversifiées et de qualité par une même équipe. Notamment, au niveau individuel, Valot (1998), « au sein de nombreuses activités de la personne » et Marchand (2009), « à travers l'expérience et des caractéristiques cognitives de l'individu », mettent en avant le développement de métaconnaissances.

En outre, la littérature étudiée relative à la métacognition permet de mettre en valeur un déséquilibre entre les travaux plus nombreux concernant la dimension individuelle de la métacognition que la dimension collective. Dans le cadre de cette dynamique, l'extrapolation des modèles et notions individuels au niveau collectif peut permettre un premier positionnement d'hypothèses, positionnement ensuite mis à l'épreuve au travers d'une étude expérimentale.

Compte tenu de l'existence de la diversité des catégories de la métacognition, une approche possible de la métacognition peut être dans un premier temps de cibler les catégories de métacognition probablement influencées par le partage d'expériences diversifiées et de qualité et potentiellement utiles lors des traitements collectifs de situations inconnues. Puis, dans un second temps, les liens possibles entre métacognition, partage d'expériences et performance collective sont étudiés.

## Chapitre 5 : Développement de métaconnaissances et métacompétences

Le « modèle de membre d'équipe » (notre traduction, Mathieu et *al.*, 2000) permet à des équipiers de détenir des informations spécifiques aux équipiers : « leurs connaissances, compétences attitudes, préférences, forces, faiblesses, tendances et ainsi de suite » (notre traduction, Mathieu et *al.*, 2000). Les activités de construction d'équipe peuvent notamment développer le « modèle de membre d'équipe » (notre traduction, Mathieu et *al.*, 2000). Plus généralement, comme étudié précédemment, des connaissances d'équipiers sur d'autres sont acquises potentiellement lors de formations techniques, activités de construction d'équipe (Klein et *al.*, 2009) et récits expérientiels (Marchand, 2009). Il est ainsi possible de construire de manière informelle une matrice de ressources, définie par Alliger et *al.* (2015) interne à l'équipe. Finalement, des connaissances sur les connaissances (les connaissances métacognitives, Biryukov, 2004) et des compétences sur les compétences (les compétences métacognitives, Biryukov, 2004) d'équipiers peuvent s'acquérir grâce au partage d'expériences diversifiées et de qualité. Respectivement, ces métaconnaissances et métacompétences sont donc des pistes de recherche pour l'étude des liens possibles entre partage d'expériences diversifiées et de qualité et métacognition.

Le développement du « modèle de membre d'équipe » (notre traduction, Mathieu et *al.*, 2000) permet d'acquérir des « connaissances, compétences, attitudes, préférences, forces, faiblesses, tendances et ainsi de suite » au sujet d'autres équipiers (notre traduction, Mathieu et *al.*, 2000). Il est ainsi question de métaconnaissances et métacompétences d'un équipier par rapport à un autre au minimum. Comme présenté précédemment (*cf.* PIC1p2), grâce à ces connaissances, les équipiers peuvent alors ajuster leur comportement en fonction de ce qu'ils peuvent prévoir de leurs équipiers (Cannon-Bowers et Salas, 2001 ; Mathieu et *al.*, 2000). Avec une application professionnelle, He, Butler et King (2007) présentent au sujet des équipes de développement de logiciel : le développement de métaconnaissances peut être favorisé afin que les équipiers « puissent avec efficacité et efficacité assigner des tâches à ceux qui ont les connaissances et compétences nécessaires tout comme identifier ceux dont les connaissances pourraient être utiles à une situation donnée » (notre traduction). Dans le cadre de la résolution collective de situations inconnues, les métaconnaissances et métacompétences d'un équipier relativement à un autre sont ainsi potentiellement des éléments critiques. Cet axe de recherche est donc retenu.

Pour les étudier, il est nécessaire de cibler ces métaconnaissances et métacompétences prenant pour objet un ou plusieurs équipiers parmi l'ensemble des métaconnaissances et métacompétences, d'où une division en deux catégories :

- Les métaconnaissances et métacompétences d'un ou plusieurs équipiers relatives à un ou plusieurs autres : elles sont interindividuelles (Flavell, 1979),
- Celles non comptées dans cette première catégorie : qualifiées comme générales.

### 1. Métaconnaissances interindividuelles

Biryukov (2004), pour préparer son étude expérimentale sur la place de la métacognition lors de résolutions de problèmes mathématiques par des étudiants, propose une définition des métaconnaissances différentes de Flavell (1979) tout en reprenant ses travaux.

*Le concept de métacognition (...) inclut la conscience de ce que quelqu'un sait - « connaissances métacognitives », ce que quelqu'un peut faire - « compétences métacognitives » et ce que quelqu'un sait au sujet de ses propres capacités cognitives - « expériences métacognitives ». En reprenant les mots de Flavell, la métacognition est la « connaissance et la cognition au sujet des phénomènes cognitifs » (Flavell, J.H., 1979 p.906). (notre traduction, Biryukov, 2004, p.1)*

Les métaconnaissances sont définies dans le présent travail de recherche comme « la conscience de ce que l'on sait » (notre traduction, Biryukov, 2004). Une conséquence notable de cette définition est la reconnaissance de l'absence de connaissance comme relevant de la métaconnaissance. Autrement dit, le fait d'avoir conscience de ne pas savoir quelque chose est inclus dans cette définition de la métaconnaissance.

Les métaconnaissances interindividuelles sont finalement définies ainsi : la conscience de ce que l'on sait au sujet d'un (ou plusieurs) autre(s) équipier(s).<sup>17</sup>

## 2. Métacompétences interindividuelles

Biryukov (2004) définit les compétences métacognitives : le concept de métacognition « inclut la conscience de ce que l'on sait - « connaissances métacognitives », ce que l'on peut faire - « compétences métacognitives » (...) » (notre traduction). D'où, les métacompétences interindividuelles porteront sur les compétences métacognitives prenant pour sujet un (ou plusieurs) autre(s) équipier(s) que le locuteur. L'accent sera donc mis au travers de cet item du codage sur la conscience des compétences d'un (de certains) équipier(s) par un ou d'autres.

Comme pour les métaconnaissances interindividuelles ou générales, les métacompétences seront probablement favorisées au sein d'une équipe partageant des expériences par rapport à d'autres sans ce vécu commun. De plus, une analyse identique aux métaconnaissances interindividuelles est effectuée, il est alors possible de sélectionner les métacompétences interindividuelles acquises seulement dans le cadre des expériences partagées par les équipes (création d'une métacompétence interindividuelle avant le début de l'expérience).

Les métacompétences interindividuelles sont définies par : la conscience de ce que l'on peut faire au sujet d'un (ou plusieurs) autre(s) équipier(s) que le locuteur et obtenue avant le début du problème à résoudre.

---

<sup>17</sup> Des métaconnaissances existent au-delà des interindividuelles. Cette autre catégorie est qualifiée de métaconnaissances générales. Les métaconnaissances générales comprennent donc toutes les métaconnaissances en excluant les métaconnaissances interindividuelles définies ci-dessus.

Compte tenu de l'intérêt du partage d'expériences et des développements potentiels de métaconnaissances et métacompétences pour une même équipe, les hypothèses suivantes sont formulées.

#### Hypothèse 2

Des développements de connaissances et compétences métacognitives interindividuelles sont attendus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité par rapport à une équipe sans partage.

#### Hypothèse 3

Une influence bénéfique est attendue sur la performance opérationnelle en résolution de problèmes inconnus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité.

## Conclusion

Comme présenté précédemment, de Noe et *al.* (2011) soulignent que les « équipes stables qui ont suivi un entraînement ont amélioré le plus leurs processus et performances » (notre traduction). Cependant, le partage d'un entraînement n'est pas le seul moyen d'augmenter la performance collective, d'après la littérature, la métacognition est aussi un levier à l'amélioration de la performance (Geiwitz, 1994 ; Mariné et Huet, 1998 ; Davidson et *al.*, 1994 parmi d'autres). Avec une approche portée sur l'influence du partage d'expériences diversifiées et de qualité, les métaconnaissances et métacompétences interindividuelles sont des axes possibles d'augmentation de la performance grâce à la métacognition. Néanmoins, d'autres catégories métacognitives peuvent avoir un lien avec l'amélioration de la performance : les compétences temporelles (Geiwitz, 1994), le métaplan (Neyns, 2011), etc.

Ainsi, une autre étude indépendante des métaconnaissances et métacompétences peut permettre de mettre en avant des liens potentiels entre métacognition et performance.

### Introduction

Une autre approche des liens entre métacognition et performance collective est réalisable indépendamment des métaconnaissances et métacompétences. La littérature étudiée apporte un large spectre de catégories métacognitives (cf. PIC4p2). Certaines ont pour but de modéliser la métacognition en résolution de problèmes (comme Özsoy et Ataman, 2009 ; Davidson et *al.*, 1994 ; Goos et *al.*, 2000 ; Lamm et *al.*, 2012). En revanche, la modélisation de la métacognition lors d'une résolution de problème inconnu du début du traitement à sa fin nécessite de critiquer certains travaux. En effet, des caractéristiques de certains modèles ne sont pas satisfaisantes au regard du contexte d'étude de cette thèse (comme Davidson et *al.*, 1994 et Özsoy et Ataman, 2009), à savoir les réactions en environnement collectif potentiellement contraint, volatil et extrême. Il s'agit donc d'étudier ces différents modèles afin d'en proposer un unique.

La littérature étudiée propose différents modèles de métacognition en résolution de problème. Certains travaux portent sur un individu isolé (Özsoy et Ataman, 2009 ; Davidson et *al.*, 1994 ; Geiwitz, 1994 ; Bransford et Stein, 1984 ; Gick, 1986 ; Rasmussen, 1983), mais aussi des collectifs (Artz et Armour-Thomas, 1992 ; Lamm et *al.*, 2012) et enfin sont construits via des disciplines variées : en éducation (Saint-Pierre, 1994), notamment en mathématiques (Özsoy et Ataman, 2009 ; Artz et Armour-Thomas, 1992, Carlson et Bloom, 2005 ; Yimer et Ellerton, 2006), en relations internationales (Jonassen, 1997) et plus généralement de résolution de problèmes (Davidson et *al.*, 1994 ; Geiwitz, 1994, Brown, 1987 ; Rasmussen, 1983 ; Garofalo et Lester dans Carlson et Bloom, 2005 ; Jonassen, 1997).

Malgré ces nombreux travaux au sujet de la modélisation des processus de résolutions de problèmes, la littérature fournit de nombreux modèles de métacognition trop centrés dans une dynamique particulière, ils ne sont donc pas exploitables pour le présent travail de recherche sur la résolution de problème dans son ensemble (Quiles, 2014 cite entre autres : Brown, 1988 et Nelson et Narens, 1994). De plus, ce travail de recherche étant porté sur les liens entre performance et métacognition, les modèles ne s'inscrivant pas dans la dynamique métacognitive ne sont pas pris en compte ; notamment, les modèles de Rasmussen (1983) et Endsley (1995) ne sont pas abordés.

Tout d'abord, il est constaté que la littérature étudiée n'apporte pas de modèle de métacognition collective directement applicable à la résolution de situations inconnues en contexte opérationnel, contraint, volatil et extrême. Ainsi, il est nécessaire de définir un modèle *ad hoc* destiné au contexte étudié. Enfin, il est fait état de la réalité du suivi des modèles existants dans la littérature, réalité traduite par l'existence de mélanges des étapes des modèles.

#### 1. Absence de modèle *ad hoc*

Le modèle de Davidson et *al.* (1994) offre une base de travail pour traduire la cognition et métacognition d'équipes dans le présent contexte d'étude. En effet, ce modèle est construit dans une étude portant sur la résolution de problème, ce modèle y est ainsi destiné. Il définit aussi

clairement des étapes de raisonnement propres à la résolution de problèmes. Davidson et *al.* (1994) présentent leur modèle :

*Ce chapitre se concentre sur quatre processus métacognitifs qui sont des contributeurs importants à la performance en résolution de problème concernant un large spectre de domaines. Ces processus sont (1) identifier et définir le problème, (2) représenter mentalement le problème, (3) planifier comment procéder et (4) évaluer ce que vous savez sur votre performance. (notre traduction, Davidson et al., 1994, p.1)*

Les auteurs précisent ensuite les définitions associées à chaque étape.

(1) Identifier et définir le problème : « les individus doivent reconnaître qu'un problème existe avant de le résoudre. En d'autres termes, les individus ont besoin d'identifier et de définir les données et les buts de la situation » (notre traduction, Davidson et *al.*, 1994). Cette première étape apporte deux temps dans la résolution, le premier consiste à comprendre qu'un problème est présent. Cette reconnaissance peut être aisée (explosion à bord d'Apollo 13 par exemple) ou plus sournoise (cas d'une évolution lente d'un paramètre initialement bénin). Le second temps consiste à analyser les éléments fournis par le problème. Les données et les buts sont ainsi traités. Les agents n'apportent pas à ce stade d'apport cognitif personnel ; ils travaillent à prendre en compte des informations et buts imposés par le contexte, le problème, la mission, etc.

(2) Représenter mentalement le problème est une étape décrite par Geiwitz (1994) : les experts en résolution de problème « représentent le problème mentalement (...) dans une forme qui est proche de la solution optimale au problème. C'est une compétence extrêmement bénéfique, peut-être la plus bénéfique des compétences métacognitives » (notre traduction). Davidson et *al.* (1994) inscrivent leurs travaux dans le même sens en affirmant que les individus doivent construire « une « carte mentale » des éléments, des relations entre les éléments et des buts trouvés » (notre traduction). Les agents peuvent alors « comprendre un problème et réfléchir à la solution » (notre traduction, Davidson et *al.*, 1994). La distinction entre cette étape et la précédente est très nette. En effet, dans la précédente, les agents portent leur attention simplement sur la lecture et la prise en compte des données et les buts du problème. Cette fois-ci, les agents apportent leurs connaissances et compétences personnelles dans le traitement et la construction d'une nouvelle forme du problème à traiter. Il y a une personnalisation et une véritable réflexion quant au problème rencontré.

(3) Planifier la manière de procéder est un processus décrit par Davidson et *al.* (1994) comme : « après qu'un problème a été identifié et mentalement représenté, l'agent doit décider quelles étapes et quelles ressources doivent être utilisées pour résoudre le problème » (notre traduction). Cette étape va regrouper toutes les actions métacognitives permettant la création d'une procédure *ad hoc* pour résoudre le problème : génération de solutions (Geiwitz, 1994), choix d'une solution (Saint-Pierre, 1994), création de sous-étapes (Davidson et *al.*, 1994). La distinction par rapport à la représentation mentale du problème consiste à préparer une procédure d'actions à réaliser ; il n'est plus question ici de comprendre ou formuler le problème.

(4) Évaluer ce que l'on sait sur notre performance ; cette étape clôture le modèle de Davidson et *al.* (1994). « Alors que les individus travaillent sur un problème, ils doivent garder à l'esprit ce qu'ils ont déjà fait, ce qu'ils sont actuellement en train de faire et ce qu'il reste encore à faire (Flavell, 1981) » (notre traduction, Davidson et *al.*, 1994). À ce moment, les agents peuvent remettre en cause ce qu'ils ont produit en rapport avec les objectifs initialement établis. Cette évaluation peut confirmer ou éviter des erreurs de traitement, des hors sujets, des écarts, des retards, etc. En revanche, cette évaluation a lieu dans ce modèle à la fin du processus et ne représente pas les corrections pouvant être entreprises pendant la résolution même du problème. Des équipes en environnement opérationnel peuvent être amenées à un instant donné à surveiller leur action en cours et à s'apercevoir que la dynamique n'est pas bonne pour diverses raisons. Il y a alors une correction et donc une modification apportée au cours de l'action. Cette boucle monitoring, évaluation et contrôle peut-être observée en cours de traitement.

En revanche, le modèle de Davidson et *al.* (1994) n'est pas mis à l'épreuve du fonctionnement de collectifs et doit donc être confronté à d'autres travaux.

Polya (1957) distingue quatre phases d'une résolution de problème en mathématique similaire à celui de Davidson et *al.* (1994) :

- « Comprendre le problème », phase composée de « devenir familier » et « travailler pour une meilleure compréhension »,
- « Faire un plan », établi à partir des calculs et construction afin de résoudre l'inconnu,
- « Exécuter le plan » et
- « Regarder en arrière », soit reconsidérer et réexaminer les résultats et le raisonnement (notre traduction, 1957).

En comparaison des étapes de Davidson et *al.* (1994), trois des quatre de Polya (1957) sont aussi métacognitives, hormis l'exécution d'un plan. En effet, elle est cognitive : l'objet de la réflexion est porté sur la réalisation de la tâche et non sur la cognition. En revanche, l'identification et la définition du problème et la représentation mentale sont fusionnées. Cette dernière apporte moins de précisions quant au processus métacognitif suivi, bien que la représentation mentale soit une « compétence extrêmement bénéfique » (notre traduction, Davidson et *al.*, 1994). Les quatre phases de Polya (1957) doivent donc être précisées.

Sur un modèle quasiment identique à Davidson et *al.* (1994), Özsoy et Ataman (2009) proposent quatre étapes employées dans le cadre d'un travail sur l'amélioration de la performance en résolution de problèmes mathématiques par des écoliers. Les quatre étapes sont : « analyser les informations données sur le problème, organiser des informations possédées, préparer un plan d'actions et évaluer toutes les opérations effectuées » (notre traduction, Özsoy et Ataman, 2009). La représentation mentale de Özsoy et Ataman (2009) n'est certes pas inscrite ostensiblement, néanmoins, elle est présente dans l'analyse et l'organisation des informations possédées. La principale lacune de ce modèle, comme pour Davidson et *al.*, (1994), réside dans l'absence de boucle monitoring/contrôle au cours du traitement. Ainsi, si l'opérateur soumis à un problème inconnu doit corriger le processus de résolution suivi, le modèle ne représente pas un éventuel retour en arrière. Ce modèle est donc linéaire du début à la fin du processus, empêchant tout retour en arrière durant la résolution. L'évaluation de la dernière étape représente le caractère incomplet de ce modèle. En

effet, si les résultats ne correspondent pas aux objectifs, que se passe-t-il ? De plus, comme pour Davidson et *al.*, (1994), la détection initiale d'un problème n'est pas inscrite comme une étape à part entière de la résolution de problème. Cette particularité est cohérente avec le domaine d'étude d'Özsoy et Ataman (2009) : les mathématiques. La détection de problème est sans aucun intérêt car l'opérateur est face à un exercice de mathématiques qu'il attendait. À l'inverse, un équipage d'un vol spatial peut mettre en œuvre un effort cognitif soutenu pour découvrir une panne inconnue. Il est à noter que ce modèle ne met pas en valeur la génération de multiples solutions.

Saint-Pierre (1994) propose des « étapes de résolution de problèmes habituellement reconnues, à savoir la planification, le choix d'une stratégie, l'exécution et la vérification », étapes similaires à des processus métacognitifs. Ce modèle est insatisfaisant car il ne comporte aucune phase de prise en compte et d'analyse des informations disponibles et mémorisées, étapes potentiellement utiles à la résolution d'un problème. D'autres points négatifs existent dans ce modèle : absence de boucle monitoring, évaluation et contrôle en cours de traitement et la présence de l'étape exécution. Cette dernière n'est pas relative à la métacognition car il s'agit simplement d'appliquer une procédure ordonnant des tâches. Néanmoins, ce modèle est ensuite affiné par l'auteure en relatant les actions d'experts en résolution de problème et soulignant :

*Les experts passent beaucoup plus de temps à analyser le problème et à y réfléchir qu'à calculer. Ils ébauchent plusieurs hypothèses mais n'explorent que celle qui paraît la plus prometteuse. L'analyse de leurs verbalisations montre que leur pensée va et vient parmi des étapes de lecture, de planification, d'exécution d'opérations et de vérification. Ils se posent régulièrement des questions sur leur progrès par rapport au but visé et dès qu'ils détectent qu'ils sont engagés dans une voie qui les éloigne du but, ils n'hésitent pas à revenir en arrière pour produire d'autres hypothèses à explorer. (Saint-Pierre, 1994, p.13)*

L'analyse et partant la prise en compte des informations du problème sont par conséquent des étapes nécessaires à la résolution d'un problème. Ces réactions des experts démontrent aussi la nécessaire souplesse des modèles métacognitifs de résolution : « leur pensée va et vient parmi des étapes », « ils se posent régulièrement des questions » et « ils n'hésitent pas à revenir en arrière » (Saint-Pierre, 1994). Néanmoins, ce modèle ne propose pas de détection de problème, possible en milieu opérationnel et la phase précédant la planification n'est pas suffisamment précisée : pas de distinction entre la définition et l'identification du problème d'une part et la représentation mentale d'autre part.

Les deux précédents modèles ne placent pas la détection d'un problème comme une étape de la résolution. Pourtant, cette étape est nécessaire dans les milieux opérationnels car étant face à une panne inconnue, l'équipage peut être amené à analyser « la différence entre l'état ciblé et la situation actuelle » (notre traduction, Jonassen, 2000), autrement dit, détecter lui-même l'existence d'un problème. Geiwitz (1994) insère cette étape dans son modèle créé « à partir de sources variées et de perception » (notre traduction, Geiwitz, 1994) au profit de la formation des officiers de l'Armée américaine et donc dans un contexte opérationnel. Il propose sept étapes pour résoudre un problème :

- « Détection d'un problème,

- Représentation du problème,
- Planification d'une stratégie pour résoudre le problème,
- Application de la méthode sélectionnée de résolution du problème,
- Exécution de la solution,
- Monitoring de la solution,
- Évaluation de la solution » (notre traduction, Geiwitz, 1994).

Ce modèle est tout de même insatisfaisant dans le cadre du présent travail de recherche pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la définition et l'identification ne sont pas discriminées de la représentation mentale d'un problème, à la différence de Davidson et *al.* (1994). Ensuite, l'application de la méthode sélectionnée et l'exécution de la solution ne sont pas discriminées et par conséquent la justification de l'établissement de deux étapes distinctes n'est pas décrite. Il est donc préférable de les réunir. Enfin, le monitoring permet l'évaluation du fait de la prise en compte d'un écart. Néanmoins, l'évaluation ne conduit à aucune action ou correction. Ainsi, pourquoi évaluer une performance ou un résultat sans mettre à profit ce jugement ? Cette évaluation doit être suivie d'une possibilité de correction de la résolution de problème si nécessaire par exemple. Malheureusement, cette boucle monitoring, évaluation puis contrôle n'est pas présente dans ce modèle.

Bien qu'inscrit dans une logique individuelle, le modèle de Yimer et Ellerton (figure 4, 2006) sur la résolution de problème en mathématiques par des futurs enseignants met en avant des boucles de retour en arrière similaires aux boucles monitoring, évaluation puis contrôle susmentionnées.

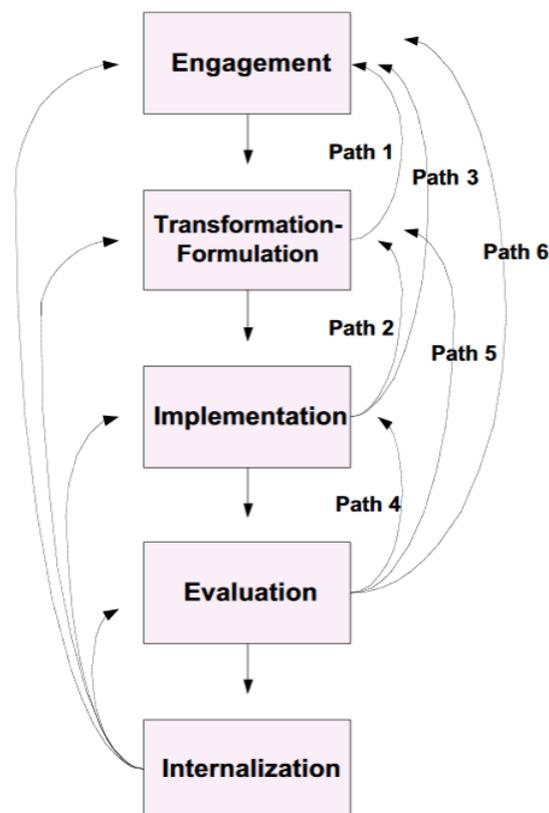


Figure 4. schéma des flux des processus cognitifs dans le modèle de résolution de problème (notre traduction, Yimer et Ellerton, 2006, p.7)

Yimer et Ellerton (2006) décrivent ces dynamiques métacognitives par : « les passerelles représentent les conséquences de possibles décisions faites par l'opérateur à la suite de comportements métacognitifs » (notre traduction). Yimer et Ellerton (2006) ne sont pas les seuls à présenter des boucles de retour en arrière. Le modèle IDEAL (identifier, définir, explorer, anticiper et regarder en arrière/apprendre) de Bransford et Stein (1984) modifié<sup>18</sup> et utilisé en environnement collectif par Lamm et *al.* (2012) présente aussi une boucle de retour en arrière et ses intérêts : regarder les effets réels de la stratégie employée et apprendre de l'expérience (Bransford et Stein, 1984). À l'inverse, le modèle IDEAL de Bransford et Stein (1984) comporte des défauts relativement au contexte de ce travail de recherche : aucune étape de détection de problème n'est représentée et ce modèle implique que l'agent « a déjà fait l'expérience de la situation » (notre traduction, Lamm et *al.*, 2012) notamment. Comme pour Yimer et Ellerton (2006) et Bransford et Stein (1984), une boucle de retour en arrière existe pour le modèle de Gick (1986) : si la résolution est un échec, l'agent « retourne en arrière à une étape antérieure et tente de redéfinir le problème ou utilise une autre méthode pour le résoudre, selon la nature de l'échec » (notre traduction). Néanmoins, cette boucle de retour en arrière n'est disponible qu'une fois la dernière étape atteinte et offre donc moins de souplesse que le modèle de Yimer et Ellerton (2006). De plus, le modèle Gick (1986) :

- Ne permet pas de distinguer la simple lecture des informations issues du contexte, des réflexions issues des équipiers,
- Ne représente pas non plus de détection initiale d'un problème.

Bien que remarquablement souple quant aux retours en arrière possibles, le modèle Yimer et Ellerton (2006) se révèle trop imprécis quant à d'autres éléments. Il n'y a pas de détection de problème, l'intérêt en milieu opérationnel est discuté ci-dessus. La définition et l'identification du problème et la représentation mentale sont mélangées dans l'étape appelée « engagement » (notre traduction, Yimer et Ellerton, 2006). Les auteurs réunissent dans cette étape :

- La « compréhension initiale (noter les idées principales, faire un dessin) » (notre traduction, Yimer et Ellerton, 2006) qui est relative à la définition et à l'identification du problème
- Mais aussi : « réfléchir au problème (évaluer la familiarité ou se rappeler des problèmes similaires résolus auparavant (...)) » (notre traduction, Yimer et Ellerton, 2006) qui est cette fois incluse dans la représentation mentale.

De même, la représentation mentale et la planification sont présentes dans l'étape « Transformation-Formulation ». Respectivement, les auteurs précisent : « conjecturer (fondé sur des observations spécifiques et des précédentes expériences) » et « formuler un plan » (notre traduction, Yimer et Ellerton, 2006). Ce mélange n'est pas satisfaisant car la définition et l'identification d'un problème, la représentation mentale et la planification sont trois étapes métacognitives à discriminer pour comprendre la métacognition collective et ses conséquences en termes de performance. En effet, Fiore et *al.* (2010a) annonce que « la littérature sur la résolution collective de problème indique que la conceptualisation et le temps consacré à la définition de l'espace d'un problème sont directement liés aux résultats de la résolution de problème » (notre traduction). De plus, certains

---

<sup>18</sup> Le modèle de Bransford et Stein (1984) devient : « identifier, développer, explorer, anticiper, regarder » (notre traduction, Lamm et *al.*, 2012)

auteurs notent le temps accru accordé à la représentation du problème par les experts en comparaison aux novices (Davidson et *al.*, 1994 ; Lesgold, 1988), dans le cadre de l'étude de la performance, il est donc pertinent d'extraire la représentation mentale des deux étapes « engagement » et « Transformation-Formulation » (notre traduction, Yimer et Ellerton, 2006). Ainsi, il est primordial de pouvoir discriminer ces actions métacognitives l'une de l'autre. Par conséquent, les deux étapes « engagement » et « Transformation-Formulation » sont donc *a minima* divisées en :

- Détection, identification et définition du problème,
- Représentation mentale du problème,
- Planification.

Enfin, la dernière étape d'internalisation a pour but, entre autres, de considérer la solution dans son ensemble et de l'adapter à d'autres situations ultérieures (Yimer et Ellerton, 2006). Cette particularité ne sera pas directement étudiée dans ce travail de recherche car l'analyse de la métacognition s'arrête à la fin d'une résolution de situation inconnue.

Goos et *al.* (2000) ont travaillé le modèle similaire d'Artz et Armour-Thomas (1992) avec des retours en arrière possibles (*cf.* figure 5). Ce modèle a été mis à l'épreuve par Artz et Armour-Thomas (1992) via l'étude de résolutions collectives de problèmes mathématiques de vingt-sept écoliers répartis en six groupes. Les phases de la séquence de résolution de problème ne se déroulent pas obligatoirement dans l'ordre décrit, autorisant ainsi les opérateurs à évoluer à leur discrétion entre les étapes (Goos et *al.*, 2000).

Plus généralement, les quatre étapes des modèles de Geiwitz (1994) et Davidson et *al.* (1994) se retrouvent aisément dans la lecture des modèles d'Artz et Armour-Thomas (1992) et Goos et *al.* (2000). En effet, respectivement, l'identification et la définition d'un problème correspondent à la compréhension, la représentation mentale à l'analyse et à l'exploration (bien que certaines actions soient mélangées entre ces auteurs au sein de ces étapes), la planification est identique (plus détaillée chez Davidson et *al.*, 1994) et l'évaluation est bien portée vers la pertinence du résultat dans les trois cas. L'ajout de Goos et *al.* (2000), quant à l'absence d'ordre fixé, permet de comprendre la souplesse de l'évaluation et des retours en arrière possibles, *idem* pour Davidson et *al.* (1994). De plus, Goos et *al.* (2000) ajoutent une seconde boucle de retour en arrière dans l'étape exploration en cas de manque de progrès : il faut alors chercher de nouvelles informations pour poursuivre. Bien que ponctuelle, cette seconde boucle apporte plus de souplesse dans les cheminements cognitifs possibles des opérateurs.

Une des deux particularités du modèle d'Artz et Armour-Thomas (1992) travaillé par Goos et *al.* (2000) consiste en une première étape consacrée à la lecture du problème. En adaptant cette étape aux environnements opérationnels, elle peut être répartie entre d'une part la détection d'un problème (identification d'« un conflit entre un état actuel et un état norme », ce dernier pouvant être soit un état prévisible sur la base de connaissance soit un état désiré, notre traduction, Breuker, 1994) et d'autre part l'identification et la définition du problème (prise en compte des éléments bruts). L'autre particularité est la présence de trois « drapeaux rouges métacognitifs » (notre traduction, Goos et *al.*, 2000). Ils sont : « le manque de progrès », « la détection d'erreur » et « le résultat anormal » (notre traduction, Goos et *al.*, 2000). Dans le cadre de cette thèse, ces outils

métacognitifs seront intégrés dans l'étape de l'évaluation car ils permettent bien de juger le résultat obtenu et si besoin de provoquer une correction. En revanche, l'implémentation d'une solution n'est pas considérée dans ce travail de recherche comme une étape métacognitive car il s'agit seulement d'exécuter la procédure déterminée de manière « cohérente et bien structurée » par l'étape de planification (notre traduction, Goos et al., 2000).

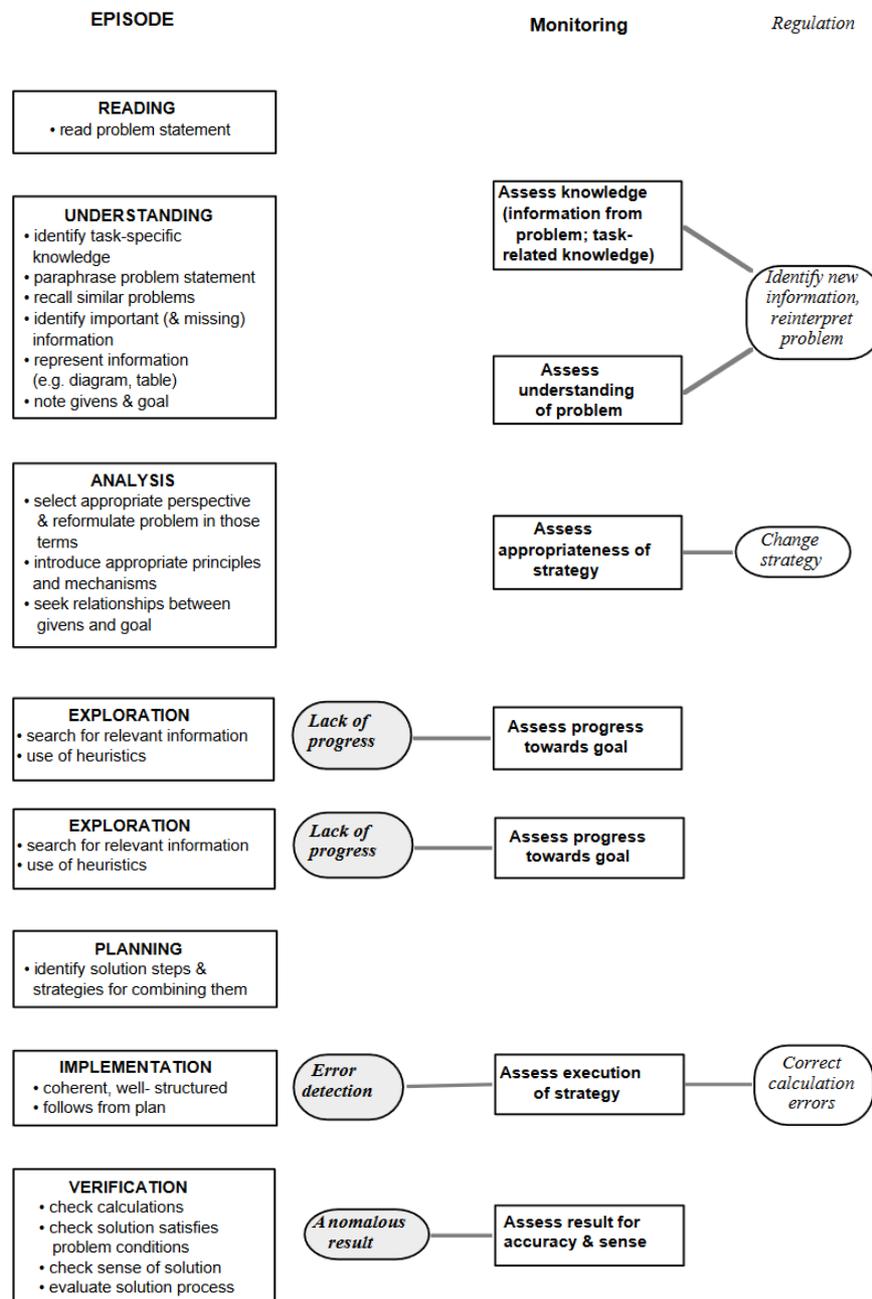


Figure 5. un modèle fondé sur l'expérience d'activités métacognitives en résolution de problème (notre traduction, Goos et al., 2000)

Carlson et Bloom (2005) proposent aussi une boucle de retour en arrière mais contrairement à Yimer et Ellerton (2006), elle est reléguée à la dernière étape (cf. figure 6).

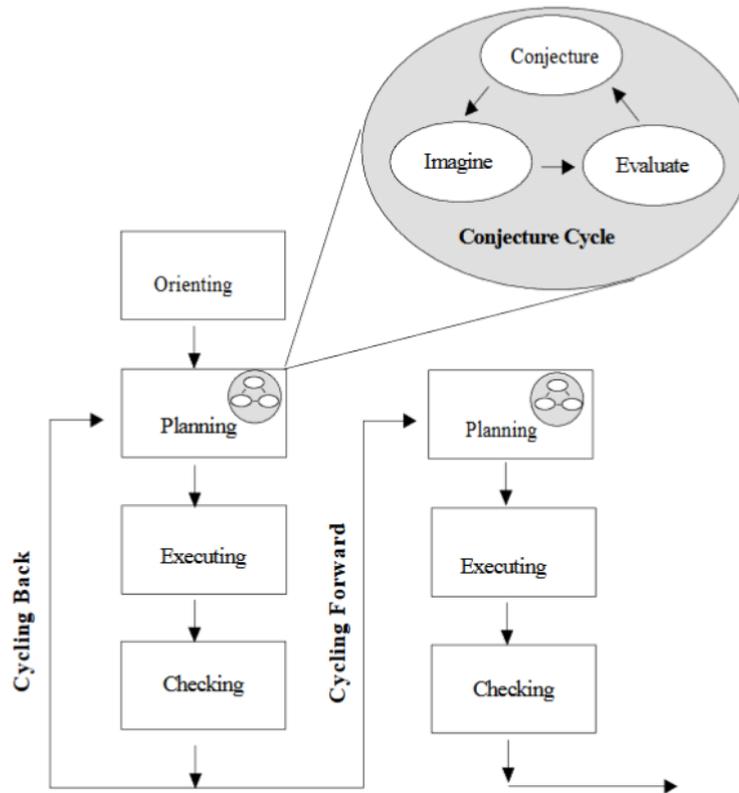


Figure 6. nature cyclique de la résolution de problème (notre traduction, Carlson et Bloom, 2005)

Le modèle de Yimer et Ellerton (2006) est cohérent vis-à-vis de l'utilisation souple et adaptative de la cognition et la métacognition, comme déjà relatée dans la littérature ci-dessus. Dans le modèle IDEAL, Bransford et Stein (1984) s'inscrivent dans cette dynamique de souplesse : les auteurs soulignent que l'utilisateur « ne voudra pas toujours parcourir les composantes du modèle IDEAL dans un ordre fixe » (notre traduction). Lamm et *al.* (2012) discutent des travaux de Bransford et Stein (1984) : « les cinq étapes du modèle de résolution de problèmes IDEAL sont fluides. Elles ne s'exécutent pas complètement indépendamment les unes des autres et les frontières entre elles peuvent apparaître floues à l'observation » (notre traduction). La souplesse des boucles de retour du modèle de Yimer et Ellerton (2006) sera donc retenue dans cette thèse. Le modèle (figure 6) de Carlson et Bloom (2005) présente d'autres particularités inadaptées au présent travail de recherche. En effet, la détection de problème n'est pas présente dans la description de Carlson et Bloom (2005) ; les exercices de mathématiques proposés ne la nécessitent pas. Une autre particularité concerne, la représentation mentale, elle est incluse dans la phase de planification établie précédemment. Des exemples de codage présentés par les auteurs le relatent, notamment : « on est supposé avoir moitié blanc et moitié noire » (notre traduction, Carlson et Bloom, 2005) est codé comme planification. Ce mélange des catégories susmentionnées n'est pas satisfaisant compte tenu de l'étude de la résolution de problèmes inconnus. Enfin, le terme d'« exécution » ne correspond pas à une étude de la métacognition. En effet, exécuter une tâche n'est pas de la métacognition, c'est le niveau cognitif qui est concerné comme explicité ci-dessus. Carlson et Bloom (2005) emploient tout de même ce terme afin de coder des tâches métacognitives. Ces auteurs (2005) codent en « exécution » des actions en réalité de niveau métacognitif, par exemple : « et maintenant je fais en sorte d'être sûr que je crois ma réponse, ou que la réponse semble raisonnable dans tous les sens »

(notre traduction,) codé comme « exécution ». Il en est de même pour Goos et *al.* (2000), Sinnott (1989) concernant les termes d'« exécution » et d'« implémentation ».

Jonassen (1997) a étudié la résolution de problèmes qu'il nomme « bien structurés » ou « mal structurés » (notre traduction). Chacun de ces deux concepts est pertinent et insatisfaisant à la fois pour l'étude des pannes inconnues en environnement contraint et extrême. En effet, les problèmes bien structurés présentent par exemple « tous les éléments du problème » ; ce n'est pas cohérent avec les pannes inconnues car c'est aux équipes d'aller chercher l'information. En revanche, ces problèmes bien structurés « impliquent des concepts et règles qui apparaissent régulières et bien structurées dans un domaine de connaissances qui apparaît aussi bien structuré et prévisible » (notre traduction, Jonassen, 1997). Face à une situation inconnue, il est probable de ne pas pouvoir mettre en œuvre dès l'apparition de l'inconnu des « concepts et règles qui apparaissent régulières et bien structurées » et « un domaine de connaissances qui apparaît aussi bien structuré et prévisible » (notre traduction, Jonassen, 1997). Au sujet des problèmes mal définis, ils ont lieu « quand un ou plusieurs des A, U, O et S sont inconnus ou ne sont pas connus avec un quelconque degré de confiance » (notre traduction, Wood, 1983). Les A, U, O et S sont respectivement les actions et utilités possibles pour le décideur, les résultats possibles et les éléments initiaux d'un problème (Wood, 1983). Cette particularité correspond aux pannes inconnues en environnement contraint et extrême. Par exemple, les actions possibles ne sont pas connues initialement car le problème est inconnu et qu'il n'y a pas d'orientation initiale du traitement. En revanche, les problèmes mal définis peuvent posséder « des solutions multiples » (notre traduction, Jonassen, 1997). Dans le cadre d'environnements contraints, ce n'est pas possible car les contraintes existantes ne rendent pas possible l'existence de multiples solutions (*cf.* description ci-dessus des environnements contraints). Néanmoins, si solutions existent, elles sont très limitées et donc ne sont pas multiples. Ainsi, l'étude de tous les modèles discutés par Jonassen (1997) est possible, qu'ils soient inscrits en résolution de problème « bien structurés » ou « mal structurés. » Il faudra néanmoins apporter des corrections en fonction des divergences remarquées au sein des domaines d'étude (*in fine*, problèmes bien ou mal structurés).

Jonassen (1997) a aussi étudié le modèle de Sinnott (1989) consacré à la résolution de problèmes mal définis. Le processus établi par Sinnott (1989) comprend sept étapes :

« Étape 1 : les apprenants articulent l'espace de problème et les contraintes contextuelles »

Cette étape permet d'effectuer différentes opérations. Un véritable problème est confirmé et sa nature est précisée, avec notamment l'espace du problème. L'espace de problème est décrit par Jonassen :

*Le process de la représentation du problème est mieux compris comme la création d'un espace de problème. Ce process implique de cartographier l'état du problème grâce à des connaissances préalables et de construire une interprétation préalable du problème (i.e., l'espace du problème). (notre traduction, Jonassen, 1997, p.6)*

L'agent doit aussi prendre en compte le contexte et une quantité importante d'informations et de concepts.

« Étape 2 : identifier et clarifier des options, positions et perspectives alternatives des intervenants »  
Cette étape permet à l'agent d'effectuer la synthèse des « vues ou perspectives alternatives sur le problème » (notre traduction, Jonassen, 1997) mais aussi des représentations possibles. Cette étape est particulièrement soulignée dans le cadre d'activités nécessitant des spécialités différentes et complémentaires. En effet, chaque équipier pourra alors apporter son avis enrichi de ses connaissances propres à son domaine de compétences.

« Étape 3 : générer des solutions possibles au problème »

« Les apprenants construisent leur propre représentation mentale du problème qui leur permet d'identifier et de sélectionner ou de synthétiser une solution » (notre traduction, Jonassen, 1997). Il en découle ainsi de nombreuses solutions possibles particulières à chaque équipier. Cette diversité des solutions possibles peut être probablement provoquée par la variété des spécialités influençant une mission. Par exemple en vol spatial habité, malgré une formation de spationaute commune, un équipier recruté sur des compétences de chercheur en volcanologie et géophysique n'a forcément pas les mêmes sensibilités qu'un équipier avec une expérience de pilote militaire. Les solutions proposées seront alors différentes.

« Étape 4 : évaluer la viabilité des solutions alternatives en construisant des arguments et articulant les croyances personnelles »

Il est question dans cette étape de sélectionner avec les justifications nécessaires la solution à implémenter afin de résoudre le problème. « La « meilleure » solution est celle qui est la plus viable, qui est la plus robuste ; celle pour laquelle l'apprenant peut fournir l'argument le plus convaincant » (notre traduction, Jonassen, 1997).

« Étape 5 : surveiller l'espace de problème et les options de la solution »

Les opérateurs doivent ici planifier le cours d'actions et ensuite l'exécuter afin d'atteindre l'objectif. Jonassen (1997) rajoute : « la planification est une stratégie professionnelle essentielle et fournit une preuve de métacognition » (notre traduction). En parallèle, les opérateurs doivent pouvoir surveiller l'évolution du process étudié en fonction de « ce qu'ils savent et ce qu'on leur a appris mais aussi ce que cela signifie » (notre traduction, Jonassen, 1997).

« Étape 6 : implémenter et surveiller la solution »

*Vu que les problèmes mal structurés n'ont pas nécessairement de solution « correcte », l'efficacité d'une solution peut être déterminée seulement par sa performance. À la suite de l'implémentation d'une solution, les apprenants doivent surveiller la performance des éléments dans le problème pour observer leur performance. (notre traduction, Jonassen, 1997, p.18)*

Cette étape a donc pour but l'exécution de la solution choisie mais aussi sa surveillance au regard des résultats attendus pour « potentiellement adapter (...) la solution » (notre traduction).

« Étape 7 : adapter la solution »

Rares sont les solutions fonctionnant sans correction. Il s'agit ici de les adapter grâce à un « processus itératif de surveillance et d'adaptation de la solution choisie fondé sur le feedback » (notre traduction, Jonassen, 1997).

Par conséquent, le modèle de Sinnott (1989) présente des différences par rapport à ceux déjà présentés. En effet, la première étape concentre la détection, l'identification et la représentation du problème. Ce modèle dégrade donc la discrimination de ces phases. En revanche, les étapes trois, quatre et cinq détaillent la phase de planification par rapport aux autres modèles (Gick, 1986 ; Bransford, 1984 ; Carlson et Bloom, 2005 ; Garofalo et Lester dans Carlson et Bloom, 2005 ; Saint-Pierre, 1994 ; Goos et *al.*, 2000 ; Davidson et *al.*, 1994 ; Özsoy et Ataman, 2009). L'étape six est intéressante dans le cadre de ce travail de recherche car l'expérience acquise sur un problème peut être capitalisée afin de « transférer la solution à d'autres domaines de problèmes » (notre traduction, Jonassen, 1997). Les modèles de Bransford (1984) et Yimer et Ellerton (2006) décrivent aussi cette logique de gain d'expérience grâce aux problèmes traités. La logique de la dernière étape (adapter la solution) est tout à fait pertinente en présentant un processus itératif d'adaptation entre la solution construite pour un problème donné et les résultats obtenus. Néanmoins, Sinnott (1989) réduit ce cycle de monitoring et d'adaptation à la dernière étape. À la différence du modèle de Yimer et Ellerton (2006), les corrections y sont possibles à chaque étape et présentées sous forme de passerelles vers les étapes précédentes.

Conclusions de la revue de la littérature :

Cette revue de la littérature étudiée concernant les modèles métacognitifs en résolution de problème démontre des similarités et des écarts quant aux différents modèles proposés pour résoudre un problème. Sans tenir compte des domaines d'étude (mathématiques, problèmes mal définis, traitements collectifs, etc.), les points communs remarquables sont :

- Un quasi consensus existe quant aux sous tâches de la définition et l'identification du problème, de la représentation mentale et de la planification d'une solution (Özsoy et Ataman, 2009 ; Davidson et *al.*, 1994 ; Geiwitz, 1994 ; Goos et *al.*, 2000 ; Saint-Pierre, 1994 ; Carlson et Bloom, 2005 ; Bransford et Stein, 1984 ; Sinnott, 1989 ; Yimer et Ellerton, 2006). Il y a en revanche désaccord sur les noms donnés aux étapes mais aussi à la répartition des sous-tâches.
- Certains modèles explicitent ostensiblement les boucles de retour en arrière ou encore monitoring, évaluation et contrôle (Yimer et Ellerton, 2006 ; Sinnott, 1989 ; Gick, 1986 ; Bransford et Stein, 1984 ; Carlson et Bloom, 2005 ; Saint-Pierre, 1994 pour son modèle sur les experts), ou les incluent de manière indirecte (Saint-Pierre, 1994 pour son modèle habituel ; Goos et *al.*, 2000 ; Geiwitz, 1994 ; Davidson et *al.*, 1994 ; Özsoy et Ataman, 2009).
- La totalité des modèles étudiés ne met pas en valeur l'apport éventuel de métaconnaissances ou de métacompétences construites au sein d'une équipe à travers des expériences diversifiées et de qualité. Seul le travail de Jonassen (1997) au sujet de Sinnott (1989) mentionne un transfert de solutions, néanmoins, une solution relève d'une procédure à appliquer et non d'une réflexion métacognitive. Une solution correspond donc à une sorte de check-list et ainsi à l'étape d'exécution.
- La détection d'un problème est pertinente en milieu opérationnel mais peut ne pas l'être pour d'autres domaines d'étude, notamment les mathématiques. Elle est donc absente de plusieurs modèles (Özsoy et Ataman, 2009 ; Davidson et *al.*, 1994 ; Goos et *al.*, 2000 ; Saint-

Pierre, 1994 ; Carlson et Bloom, 2005 ; Bransford et Stein, 1984 ; Gick, 1986 ; Sinnott, 1989 ; Yimer et Ellerton, 2006).

## 2. Étapes métacognitives à retenir

Cette revue de la littérature permet de proposer un nouveau modèle de métacognition collective en résolution de problème inconnu (cf. figure 7). Ce modèle est une synthèse des travaux précédents, il est général, permet une utilisation souple de la métacognition et ne rejette pas de proposition majeure. Inspiré de divers domaines de recherches liés à la littérature étudiée, il n'est donc pas réduit à une activité précise, la résolution de problèmes mathématiques par exemple.

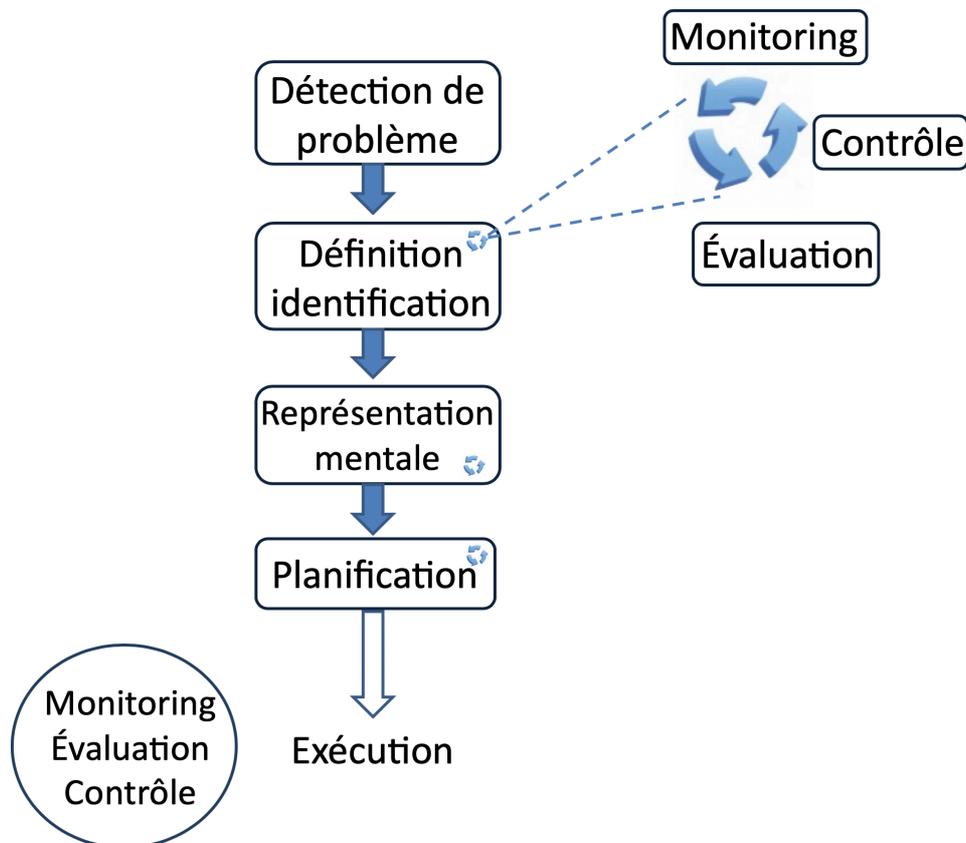


Figure 7. modèle de métacognition en résolution de problème inconnu

Ce modèle est composé de différentes étapes qu'il convient de caractériser grâce aux travaux mis en valeur ci-dessus.

Détection d'un problème :

*Reconnaître l'existence d'un problème semble assez facile, mais en fait, c'est une compétence qui varie considérablement parmi les personnes et elle est grandement corrélée avec l'intelligence et la créativité (Sternberg, 1988). En quelque sorte, l'individu doit surveiller les différences entre l'état actuel et l'état désiré quand les différences dépassent une certaine valeur. (notre traduction, Geiwitz, 1994, p.22)*

Un exemple inventé de cette catégorie peut être : « cette valeur n'est pas normale, il doit y avoir un problème ». Cette compétence est explicitée par Geiwitz (1994) comme de la métacognition.

Définition et l'identification d'un problème (DE) :

Özsoy et Ataman (2009), Davidson et *al.* (1994) ont réfléchi quant à la caractérisation de la définition et l'identification d'un problème, la définition retenue ici sera inspirée de leurs travaux. La définition et l'identification d'un problème est caractérisée comme suit : après avoir reconnu l'existence d'un problème, les agents devront définir et identifier ses données et ses buts. La définition et l'identification des seuls éléments issus du problème se déroulent alors.

Comme vu précédemment, l'étude de la performance en résolution de problèmes suscite cette discrimination par rapport à l'étape suivante. Un exemple de cette catégorie a été annoncé par James Lovell à bord du vaisseau Apollo 13 : « on est en train d'évacuer quelque chose dans - dans l'espace » (notre traduction, Test Division Apollo Spacecraft Program Office, 1970). Davidson et *al.* (1994) soutiennent le caractère métacognitif de cette étape.

Représentation mentale d'un problème (RE) :

« Utiliser des représentations peut contribuer à une meilleure compréhension des matériels d'apprentissage en général mais représenter proprement des problèmes complexes est la première étape d'un processus réussi de résolution de problème » (notre traduction, Csapó et Funke, 2017). Geiwitz (1994) définit la représentation mentale :

*Dès que les experts en résolution de problème ont reconnu le problème, ils définissent le problème d'une manière qui rend le problème soluble (Sternberg, 1988). Ils représentent le problème mentalement (...) dans une forme qui est proche de l'optimal pour la solution du problème. C'est une compétence extrêmement valorisable, peut-être la compétence métacognitive la plus précieuse. (notre traduction, p.22)*

Un exemple de cette catégorie peut être la question : « pourquoi les traits sont verts et les traits sont pas verts » (équipe soudée, retranscription de l'exercice Untangle du protocole LETUCA, p.5). Les équipiers portent ici leur attention sur des informations issues de la définition et l'identification du problème et cherchent à les représenter mentalement.

Planification de la solution (PL) :

Davidson et *al.* (1994) ont défini simplement la planification : « après qu'un problème a été identifié et mentalement représenté, l'opérateur doit décider quelles étapes et ressources utiliser dans la résolution du problème » (notre traduction). Bien qu'aisément compréhensible, cette description implique de nombreuses actions possibles : division en sous problèmes (Biryukov, 2004), création d'un cours d'actions (Biryukov, 2004), mémaplan (Neyns, 2011), répartition de ressources et de travail (Geiwitz, 1994), planification et synchronisation temporelle (Geiwitz, 1994), évaluation des solutions candidates (Geiwitz, 1994), sélection d'une solution particulière (Geiwitz, 1994), prédictions (Özsoy et Ataman, 2009), etc. La répartition de ressources sera consacrée à distribuer les tâches selon les compétences des équipiers, il est donc possible ici de mettre en valeur la connaissance des compétences d'un équipier par rapport à un autre. Avec une nuance, l'arrangement du travail sera la simple répartition des tâches afin de diminuer la charge de travail par équipier, les métacompétences

ne sont pas employées ici. Un exemple imaginé de cette catégorie peut être : « on résout la phase une puis la deux. » Prenant pour objet d'étude la cognition, cette étape est donc bien métacognitive selon la définition de la métacognition par Flavell (1979).

L'exécution :

L'étape d'exécution est considérée dans cette thèse comme la simple mise en œuvre du cours d'actions établi lors de la planification de la solution. Ainsi, il n'y aura qu'un travail cognitif à appliquer ; cette étape n'est donc pas métacognitive. Le cadrage des actions est effectué lors des autres étapes.

Boucle monitoring-évaluation-contrôle :

Les travaux de Yimer et Ellerton (2006) présentent une dynamique correctrice avec la présence de « passerelles » (notre traduction) permettant des retours en arrière. Ces derniers permettent alors de corriger le processus cognitif et plus précisément métacognitif en revenant à des étapes antérieures selon les besoins rencontrés en cours de résolution de problème. Afin d'intégrer cette souplesse de raisonnement et permettre des corrections, une boucle monitoring-évaluation-contrôle est ajoutée aux quatre étapes précédentes. Boucle car une étape est nécessaire à la suivante pour l'exécuter correctement.

Monitoring (MO) :

Nelson et Narens (1989) caractérisent le monitoring par : « la notion basique définissant le monitoring (...) est que le méta niveau est informé par le niveau objet. Cela change l'état du modèle de la situation du métaniveau, incluant l'absence de changement de l'état » (notre traduction). Comme décrit par Mariné et Huet (1998) et Quiles (2014), le niveau objet correspond au niveau cognitif et le métaniveau au niveau métacognitif. Finalement, il s'agit ainsi de remontées d'informations au sujet du niveau objet à destination du métaniveau. Un exemple inventé de cette catégorie peut être : « il nous reste dix items à classer. »

Évaluation (EV) :

Nelson et Narens (1989) réduisent la boucle monitoring et contrôle à deux étapes (monitoring et contrôle), une supplémentaire est ajoutée dans ce travail de recherche. Celle-ci reprend l'idée de traitement multi-niveau de Nelson et Narens (1994), au-delà du simple dialogue entre un niveau objet et un métaniveau. Les nouveaux niveaux seront les connaissances, compétences et expériences des équipiers en miroir des métaconnaissances, métacompétences et méta-expériences proposées par Biryukov (2004). Cette nouvelle étape permettra alors de mettre en valeur non pas la seule remontée d'informations mais l'interprétation de ces informations selon les métaconnaissances, métacompétences et méta-expériences. En outre, Escorcía (2007) apporte une définition de cette étape : « l'évaluation concerne l'estimation des résultats et de l'efficacité des comportements mis en œuvre. » La définition retenue dans cette thèse est plus large : l'évaluation consiste à analyser et/ou évaluer les informations issues d'un monitoring implicite ou non. Les connaissances, compétences et expériences des équipiers sont alors employées.

L'évaluation est donc inscrite exclusivement au niveau métacognitif, elle n'est pas liée directement avec le niveau cognitif comme le monitoring ou le contrôle. Ainsi, proche de la fin d'un temps donné pour résoudre un problème, si un équipier dit : « il nous reste dix items à classer », cela appartiendra

au monitoring. Alors que : « on n'a classé *que* cinq items » signifie la prise en compte d'un nombre d'items mais en plus, il émet un jugement sur la lenteur de la résolution du problème relativement au temps alloué. Les équipiers peuvent aussi émettre des évaluations sans faire usage d'un monitoring verbalisé. L'évaluation comprend toutes les réflexions liées à la détection d'erreurs (Goos et *al.*, 2000), efficacité métacognitive (Fleming, 2014), manque de progrès (Goos et *al.*, 2000), résultats anormaux (Goos et *al.*, 2000), sensibilité métacognitive (Fleming, 2014), biais métacognitifs (Fleming, 2014), identification des erreurs cognitives relatives au codage (Dawson, 2008), identification des erreurs cognitives relatives aux opérations cognitives (Dawson, 2008) et l'identification des erreurs cognitives relatives à la recherche du but (Dawson, 2008).

Contrôle (CT) :

Nelson et Narens (1989) caractérisent le contrôle :

*La notion basique définissant le contrôle (...) est que le métaniveau modifie le niveau objet. En particulier, le flux d'informations du métaniveau vers le niveau objet soit change l'état du process du niveau objet soit change le process du niveau objet lui-même. (notre traduction, p.4)*

Les conséquences possibles seraient d'initier, de continuer ou encore de terminer une action (Nelson et Narens, 1989). Un exemple inventé de cette catégorie peut être : « on doit accélérer la résolution. »

Parmi d'autres, Goos et *al.* (2000), Özsoy et Ataman (2009), Davidson et *al.* (1994) présentent un intérêt de leur modèle pour la résolution de problèmes. Partant, les étapes associées sont elles-mêmes jugées utiles pour la métacognition par les auteurs cités. Comme le précise Polya au sujet de son modèle : « chacune des phases a son importance » (notre traduction, 1957). De plus, les ordres des étapes des modèles sont détaillés par ces auteurs selon une logique de raisonnement précise. Ainsi :

#### Hypothèse 4

Un suivi rigoureux du modèle de métacognition en résolution de problème (*cf.* figure 7) est lié à une augmentation de la performance.

### 3. Provoquant les lectures macro et micrométacognitive

L'analyse des étapes métacognitives en résolution de problèmes place ainsi l'étude à un niveau *macrométacognitif*. Une conséquence directe est l'existence de boucle de monitoring-évaluation-contrôle intégrée dans certaines catégories métacognitives (cf. figure 7). Une intervention codée en MO, EV ou CT est donc codée dans une catégorie macrométacognitive dès lors qu'elle s'inscrit dans le cadre de la construction de cette même catégorie métacognitive.

En effet, la boucle de monitoring-évaluation-contrôle s'inscrit dans des catégories particulières lorsqu'un équipier effectue une intervention de monitoring, d'évaluation ou de contrôle participant à la construction de la définition et l'identification ou de la représentation mentale ou de la planification du problème (cf. figure 7). Bénéficiant de l'apport d'items métacognitifs pour les construire, ces catégories métacognitives sont appelées *complexes*. Par exemple, si un équipier contrôle la réflexion de son équipe vers un nouvel élément de la représentation mentale, la réflexion est bien une intervention de contrôle mais construisant la représentation mentale de la situation. Ainsi, un item métacognitif de la boucle de monitoring-évaluation-contrôle est inséré dans une dynamique métacognitive plus large et de même niveau (relative à la même tâche). Concrètement, par exemple : « le compas enfin, faut qu'on arrive à déterminer si le compas magnétique, il est fonctionnel ou si il sert vraiment à rien » (survie lunaire, ES, p.13). Cette intervention met en avant un contrôle de la réflexion collective (« faut qu'on arrive à ») inscrite dans une démarche de représentation mentale (le compas magnétique : est-il fonctionnel ?).

Le corollaire est : la boucle monitoring-évaluation-contrôle n'est pas incluse dans les catégories monitoring ou évaluation ou contrôle (cf. figure 7). Le monitoring, l'évaluation et le contrôle sont considérés comme des *dimensions élémentaires de la métacognition* en résolution de problème. Dimensions élémentaires dans le sens où les catégories monitoring, évaluation et contrôle peuvent composer et construire d'autres catégories (la planification par exemple) à l'échelle macrométacognitive. À l'inverse, par définition du monitoring, de l'évaluation et du contrôle : rien ne compose la catégorie monitoring hormis un item monitoring, une évaluation hormis un item évaluation ou un contrôle hormis un item contrôle. Cette distinction permet en plus de limiter le nombre de niveaux métacognitifs. En effet, une infinité théorique de niveaux peut être discutée, par exemple :

- Niveau 1 : la construction d'une dynamique de monitoring
- Niveau 2 : peut être détaillée via d'autres interventions de la boucle monitoring-évaluation-contrôle, notamment un item monitoring,
- Niveau 3 : qui peut être lui-même détaillé via d'autres interventions de la boucle monitoring-évaluation-contrôle, notamment un item monitoring,
- Niveau n : etc.

Il y a finalement un double niveau de lecture de la métacognition en résolution de problème. Le premier est nommé micrométacognitif et porte sur l'étude de la construction des catégories métacognitives DE, RE et PL. Par exemple, comment la définition et l'identification d'un problème se construit ? Le second est relatif à l'étude des catégories métacognitives entre elles. Les dynamiques de construction internes aux catégories concernées ne sont pas prises en compte, il y a alors une dégradation de la précision métacognitive. Par exemple, un item CT intégré à la représentation

mentale est étudié en tant que représentation mentale de la situation. Ce second niveau est appelé macrométacognition.

La littérature étudiée ne met pas en avant une telle différence de lecture de la métacognition. Ce travail de recherche est donc dirigé sur la macrométacognition, le niveau le plus général.

Les travaux de recherches présentés ci-dessus ont permis d'établir un nouveau modèle cohérent avec les environnements opérationnels, contraints et extrêmes grâce aux différents modèles proposés. En effet, les particularités de ces milieux ont nécessité de corriger certains éléments. Le modèle finalement retenu est une synthèse de la littérature, il ne décrédibilise pas catégoriquement les travaux déjà établis. Tout en déterminant une répartition des sous-tâches, il propose néanmoins une souplesse cognitive aux équipes au travers de l'utilisation des boucles monitoring, évaluation et contrôle.

#### 4. Des modèles comparés à la métacognition réelle : le mélange métacognitif

Au sujet des catégories de la métacognition en résolution de problèmes :

*Ces épisodes n'ont pas besoin de se produire dans la séquence ci-dessus (ordre d'étapes donné par les auteurs). Par exemple, les étudiants peuvent sauter l'analyse et la planification de façon impulsive vers l'implémentation, ensuite atteindre une impasse initiant un épisode d'exploration, de retour vers la lecture et la compréhension du problème, identifier de nouvelles informations et finalement procéder au travers d'une séquence ordonnée de l'analyse-planification-implémentation-vérification (...). (notre traduction, Goos et al., 2000)*

Plus généralement, Saint-Pierre (1994) décrit le travail d'experts face à un problème : « L'analyse de leurs verbalisations montre que leur pensée va et vient parmi des étapes de lecture, de planification, d'exécution d'opérations et de vérification. » Yimer et Ellerton (2006) formulent ces va-et-vient possibles entre les étapes métacognitives via « les passerelles » de leur modèle de métacognition en résolution de problème (cf. figure 4). Ces auteurs (2006) ajoutent ainsi : « en fonction du passé des individus, de leur compréhension, de leur capacité à analyser la situation de la résolution de problème, différentes voies peuvent être empruntées » (notre traduction). Pour Poissant et al. (1994), le processus de résolution de problème est composé d'étapes « qui se succèdent dans un ordre plus ou moins variable. » Bransford et Stein (1994) précisent que leur modèle IDEAL est flexible et n'est pas employé « dans un ordre fixe » (notre traduction). Enfin, avec moins de souplesse, Carlson et Bloom (2005) décrivent eux aussi cette dynamique visant à mélanger les catégories métacognitives afin de résoudre un problème via un cycle unique figé de retour en arrière. Ainsi, un mélange des catégories métacognitives existe.

Finalement, ni les modèles issus de la littérature ni l'axe central du modèle composé plus haut (axe détection de problème - définition et l'identification d'un problème - représentation mentale d'un problème - planification de la solution, cf. figure 7) ne correspondent exactement à la métacognition réellement suivie par des équipes pendant des résolutions de problèmes. De plus, aucune quantification de ces mélanges n'a été trouvée dans la littérature étudiée. Deux valeurs extrêmes et théoriques de ces mélanges existent et sont représentées par les figures 8 et 9.

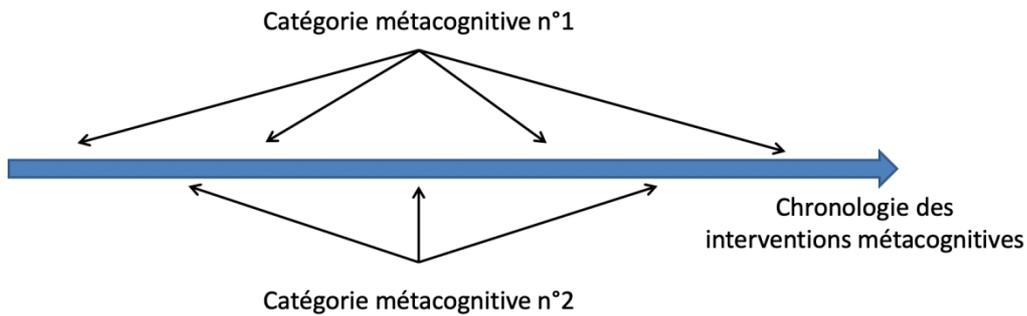


Figure 8. niveau élevé de mélange métacognitif

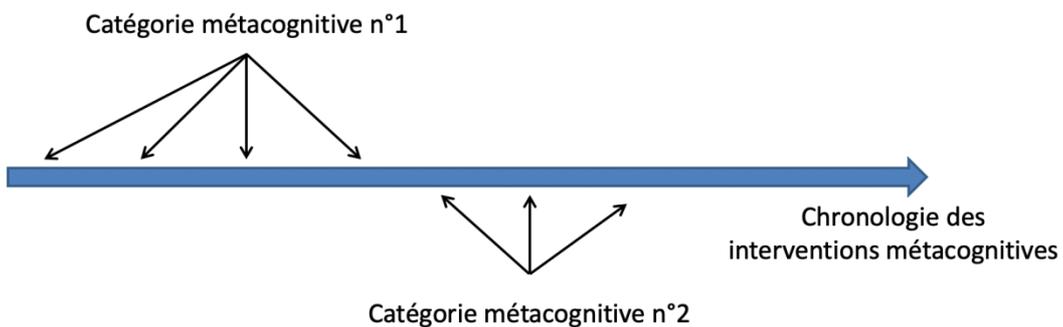


Figure 9. bas niveau de mélange métacognitif

Si au cours d'une résolution de problème, des équipiers ne réfléchissent pas à la même catégorie métacognitive en même temps et ainsi effectuent des va-et-vient entre elles durant une longue suite d'items métacognitifs, alors, le mélange est élevé (cf. figure 8). À l'inverse, si des équipiers effectuent de nombreuses interventions d'une même catégorie métacognitive et si ces interventions se suivent les unes à la suite des autres, alors, le niveau de mélange est bas (cf. figure 9). Ainsi, le mélange permet d'approcher la capacité d'équipiers à réfléchir dans une même catégorie métacognitive durant une période remarquable du temps de traitement total. Si un équipier émet une idée relative à une catégorie métacognitive, un autre peut l'assimiler et la développer avec son point de vue et l'exposer à ses équipiers. Cette seconde intervention est donc de la même catégorie. Un troisième équipier peut effectuer la même démarche et ainsi de suite. De nombreuses interventions métacognitives d'une même catégorie peuvent être échangées, construisant la dynamique métacognitive collective et entraînant ainsi un faible mélange. En revanche, le mélange ne traduit pas systématiquement la capacité des équipiers à réfléchir ensemble. En effet, par exemple, deux personnes peuvent réfléchir via la même catégorie métacognitive mais sans lien supplémentaire entre les deux sujets de réflexions. Concrètement, un équipier peut émettre une remarque sur le temps restant pour traiter un problème et un autre compter les résultats acquis par l'équipe. Les deux interventions ne présentent pas de réflexion commune aux deux équipiers, pourtant elles sont bien relatives au monitoring et diminuent donc le niveau de mélange. Néanmoins, chaque équipier se trouve bien dans une phase de monitoring, la progression métacognitive globale de l'équipe est donc respectée et traduite par le niveau de mélange.

Si une équipe effectue une résolution de problème avec un bas niveau de mélange (faible nombre de sauts d'étapes, de retours en arrière), les équipes peuvent effectuer davantage de réflexions métacognitives au sein d'une même catégorie métacognitive avant de passer à une autre. Ainsi, chaque catégorie métacognitive peut être plus profondément développée grâce à des interventions stables métacognitivement en comparaison à des échanges incessants. Dunlosky et Mueller (2016) font référence à cette possibilité : « une meilleure réflexion et un raisonnement plus profond (...) améliorent la performance » (notre traduction). Finalement :

#### Hypothèse 5

Un bas niveau de mélange lié avec une performance opérationnelle élevée est attendu durant les résolutions de problèmes inconnus.

## Conclusion

La littérature définissant une équipe ne propose pas de caractérisation adaptée à un équipage effectuant une mission d'exploration spatiale habitée. Ainsi, la littérature (comme Anzieu et Martin, 1968 ; Salas *et al.*, 1992 et Katzenbach et Smith, 1993) est analysée afin de souligner les éléments communs de caractérisation entre les travaux étudiés ou spécifiques à certains. De ces éléments, une nouvelle définition d'équipe appliquée au domaine des vols spatiaux habités de longue distance est proposée. Dans le cadre de la préparation d'une mission d'exploration spatiale, un équipage constitué est entraîné pour effectuer cette mission (Salotti, 2011). Cette formation peut être axée sur le partage d'expériences par cet équipage constitué. McLennan *et al.* (2006, au sujet des IMT) et Noe *et al.* (2011, au sujet de l'exploration spatiale habitée) avancent que ce partage permet l'amélioration de l'efficacité et de la performance de l'équipe respectivement. D'où l'hypothèse 1, un lien est probable entre partage par une équipe d'expériences diversifiées et de qualité et l'amélioration des performances opérationnelles en résolution de situations inconnues.

Compte tenu de ce contexte, une exploration spatiale habitée vers Mars, cet équipage peut faire face à des situations inconnues (Orasanu, 2005). Elles sont définies comme jamais rencontrées ni anticipées (L Haridon *et al.*, 2017). Treize événements en aérospatial et un probable sont qualifiés de situations inconnues (*cf.* annexe 1). De plus, le traitement de cette situation inconnue doit être réalisé dans un environnement contraint, extrême (Godé, 2013), potentiellement volatil (Godé-Sanchez, 2008). Ce contexte catalyse donc le risque encouru par l'équipage et nécessite donc un niveau élevé de performance opérationnelle, autrement dit un degré élevé de résolution de la situation inconnue rencontrée. D'où l'hypothèse d'un lien entre partage d'expériences diversifiées et de qualité et augmentation de la performance opérationnelle face à une situation inconnue (hypothèse 2 et 3).

Certains auteurs reconnaissent que la métacognition permet d'améliorer la performance en résolution de problèmes (comme Geiwitz, 1994 ; Mariné et Huet, 1998 et Fornette *et al.*, 2012). La métacognition est définie par Flavell (1979) comme la « cognition sur les phénomènes cognitifs » (notre traduction). Elle se décline en plusieurs axes de recherche dont les métaconnaissances, métacompétences et la modélisation de la métacognition en résolution de problèmes. Chaque axe peut notamment permettre un gain de performance dans un contexte de partage longitudinal d'expériences diversifiées et de qualité. Ainsi, l'hypothèse d'un lien entre développement de métaconnaissances et de métacompétences et amélioration de la performance opérationnelle face à une situation inconnue est proposée. La littérature propose également des modèles de métacognition en résolution de problème (comme Geiwitz, 1994 et Davidson *et al.*, 1994). Parmi d'autres, Goos *et al.* (2000), Özsoy et Ataman (2009), Davidson *et al.* (1994) présentent un intérêt de leur modèle et des étapes correspondantes pour la résolution de problèmes. Pour correspondre aux particularités d'une résolution d'une panne inconnue et donc d'une situation inconnue lors d'une mission d'exploration habitée vers Mars, un nouveau modèle synthétisant la littérature étudiée est proposé. Conformément aux auteurs cités, les étapes de ce modèle synthétique et leur ordre de progression sont probablement utiles à la performance opérationnelle en résolution de problème inconnu, d'où l'hypothèse 4. Certains auteurs précisent que la progression de la métacognition va et vient parmi des étapes (comme Saint-Pierre, 1994), signifiant une instabilité métacognitive potentielle, ou encore des mélanges métacognitifs. Or, comme un raisonnement plus profond

améliore la performance (Dunlosky et Mueller, 2016) et cette profondeur et donc la performance peuvent être altérées par les va-et-vient mis en avant par Saint-Pierre (1994). Ainsi, un lien entre les bas niveaux de mélange métacognitif et une haute performance est probable (hypothèse 5).

## **PARTIE II : COMPOSITION D'ÉQUIPES SELON LEUR PARTAGE D'EXPÉRIENCES DIVERSIFIÉES ET DE QUALITÉ**

## Introduction

Les hypothèses posées dans la première partie portent sur l'influence du partage ou non d'expériences diversifiées de qualité par une même équipe sur sa performance à résoudre des situations inconnues dans le cadre d'une mission spatiale habitée vers Mars. Cinq hypothèses sont établies :

- Hypothèse 1 : une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité obtient de meilleures performances opérationnelles face à des situations inconnues qu'une équipe sans un tel entraînement partagé.
- Hypothèse 2 : des développements de connaissances et compétences métacognitives interindividuelles sont attendus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité par rapport à une équipe sans partage.
- Hypothèse 3 : une influence bénéfique de ces connaissances et compétences métacognitives est attendue sur la performance opérationnelle en résolution de problèmes inconnus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité.
- Hypothèse 4 : un suivi rigoureux du modèle de métacognition en résolution de problème (*cf.* figure 7) est lié à une augmentation de la performance.
- Hypothèse 5 : un bas niveau de mélange lié avec une performance opérationnelle élevée est attendu durant les résolutions de problèmes inconnus.

Les tests de ces hypothèses nécessitent ainsi la composition d'équipes représentatives d'une disparité de partage d'expériences diversifiées et de qualité. Pour y parvenir, une typologie des expériences pouvant être vécues doit donc d'abord être établie pour représenter cette diversité d'expériences vécues. Ensuite, afin de composer les équipes selon la qualité des expériences vécues pour réagir à l'inconnu, *i.e.* leur degré de préparation à traiter une situation inconnue, des appréciations d'experts d'environnements opérationnels sont rassemblées. Ainsi, après avoir établi une typologie des expériences diversifiées, leur qualité respective sera décrite. Ces appréciations et différents niveaux de diversifications d'expériences vécues permettent alors de caractériser des équipes selon leur entraînement à un objectif commun : se préparer à l'inconnu.

L'École de l'air de Salon de Provence forme les élèves à travailler collectivement potentiellement en environnement contraint, volatil et extrême. Une des caractéristiques de cette formation est le partage d'expériences variées par les élèves pendant deux années. Trois équipes sont donc constituées à partir de ce terrain de recherche selon les exigences des tests des hypothèses. Une première partage un maximum d'expériences diversifiées et de qualité ensemble, les équipiers de la deuxième équipe vivent ces mêmes expériences mais majoritairement individuellement. Une troisième équipe contrôle est composée et ne vit aucune expérience ensemble en dehors des besoins des tests des hypothèses.

Par la suite ces trois équipes sont confrontées longitudinalement à des problèmes de manière à mesurer leur performance et étudier l'usage de la métacognition lors des résolutions au regard des hypothèses établies.

Comme étudié précédemment (*cf.* PIC1p2), le vécu commun d'expériences peut être bénéfique pour une équipe. Notamment, McLennan et *al.* (2006) et Prichard et *al.* (2004) soutiennent les bénéfices un entraînement partagé par une équipe stable pour l'exécution de sa ou ses tâches ultérieures, respectivement les IMT et les étudiants de l'université de Southampton. Néanmoins, le terme « entraînement » ne suffit pas à établir de typologie des expériences diversifiées et de qualité pour ensuite caractériser différentes équipes. Il est donc nécessaire d'étudier la littérature. Cette dernière ne proposant pas de typologie mais valorisant des expériences à partager collectivement, une typologie est composée à partir de précédents travaux.

### 1. État de l'art du partage d'expériences diversifiées et de qualité

La littérature étudiée relative au partage d'expériences par une même équipe, voire plus largement un collectif, ne propose pas de taxonomie d'expériences diversifiées. Néanmoins, des types d'expériences reconnus comme bénéfiques aux équipes et/ou collectifs stables sont proposés par la littérature. Par conséquent, ces types sont décrits pour les retenir ou non dans une typologie d'expériences diversifiées.

#### 1.1. Réaliser une tâche collectivement

La littérature met en avant des intérêts à réaliser une tâche par une même équipe. Cette réalisation de tâches peut d'abord être effectuée par l'intermédiaire d'une activité professionnelle. Avec une approche très élargie de l'équipe, Hedlund et Österberg (2013) soutiennent : « l'intérêt basique de l'apprentissage des organisations et des équipes résulte de l'idée que les organisations peuvent développer et améliorer leurs actions et performance en apprenant des précédentes et actuelles actions professionnelles » (notre traduction). Notamment, des connaissances d'un équipier au sujet des autres pourraient facilement se développer des expériences de travail communes antérieures (Webber, 2008). Maynard et Kennedy (2016) décrivent autrement ces connaissances. Si des équipiers sont maintenus ensemble pour effectuer des tâches, des « antécédents de tâches » sont créés (notre traduction, Maynard et Kennedy, 2016). Ces derniers caractérisent la tâche et la manière des équipiers de s'engager dans cette tâche et influencent ensuite la capacité et la manière s'adapter (notre traduction, Maynard et Kennedy, 2016). Maynard et Kennedy (2016) parlent aussi d'« antécédents d'équipes » comme les « modèles mentaux, l'expérience et l'efficacité collective » (notre traduction). Ces antécédents d'équipes « expliquent les processus d'adaptation de l'équipe et finalement la performance de l'équipe » (notre traduction, Maynard et Kennedy, 2016). Cette expérience commune favorise aussi les « interactions personnelles<sup>19</sup> » (notre traduction) pour Singh, Dong et Gero (2012). Via un travail de simulation d'agents, Singh et *al.* (2012) soutiennent ensuite que les interactions personnelles contribuent à la performance de l'équipe. Face à l'activité professionnelle, les équipes peuvent aussi bénéficier d'un apprentissage d'équipe. Edmondson

---

<sup>19</sup> « Les interactions personnelles sont les formes d'apprentissage les plus directes. Les individus apprennent en interagissant directement avec les autres individus ou de l'expérience personnelle avec la tâche » (notre traduction, Singh et *al.* (2012).

(1999) conceptualise l'analyse de l'apprentissage d'équipe (*team learning*) comme « un processus continu de réflexions et d'actions, caractérisé par des questions posées, stimulations des retours en arrière, expérimentations, réflexions sur les résultats et de discussions sur les erreurs ou conséquences non prévues des actions » (notre traduction). Grâce à un travail quantitatif et qualitatif sur des équipes variées de professionnels, Edmondson (1999) soutient que « le comportement d'apprentissage est un indicateur significatif de la performance d'équipe » (notre traduction), l'apprentissage étant notamment fondé sur des réalisations de tâche par définition (« expérimentations, réflexions sur les résultats et de discussions sur les erreurs ou conséquences non prévues des actions », notre traduction, Edmondson, 1999).

Grâce à un travail sur les équipes d'étudiants réalisant des projets en université au travers de questionnaires, Webber (1998) soutient que partager des réalisations de tâches permet le développement de la communication et d'interactions fréquentes au sein de l'équipe. Ces interactions fréquentes permettent « aux équipiers de construire des relations avec les autres membres de l'équipe. Autrement dit, les équipes avec des interactions fréquentes favorisent le développement de relations et liens forts parmi les équipiers, résultant dans une confiance affective plus importante » (notre traduction, Webber, 1998). La confiance cognitive collective peut aussi se développer lorsque l'équipe remplit une tâche en respectant des objectifs de temps et d'exigences (Webber, 1998). Les interactions peuvent aussi permettre de partager des récits expérientiels reconnus comme « un moyen pour le collectif de se construire » (Marchand, 2009). Les interactions peuvent ainsi développer des connaissances d'un équipier au sujet des autres, néanmoins, Webber (2008) ne réduit pas ce développement aux seules expériences de travail professionnelles. En effet, les interactions personnelles (Singh et al., 2012) ou les interactions fréquentes (Webber, 1998) peuvent aussi se développer via l'entraînement des équipes par exemple.

Des équipes opérant en milieux extrêmes, « comme les unités militaires, consacrent de nombreuses heures à s'entraîner, vivre et travailler ensemble et ainsi construire une cohésion d'équipe avant d'être déployée » (notre traduction, Landon et O'Keefe, 2018). Les entraînements d'équipes ne sont pas une prérogative des Armées ; par exemple, ils sont recommandés pour les IMT avant d'être envoyées sur les incendies majeurs (McLennan et al., 2006) ou pour les étudiants travaillant en groupe afin de « bénéficier des compétences génériques et spécifiques à l'équipe » (notre traduction, Prichard et al., 2004). Gurtner et al. (2007) soutiennent l'intérêt de la réflexivité dans l'appréciation des tâches exécutées puis dans son apport à la performance collective. Smith-Jentsch et Sierra (2016) recommandent l'intégration de ces retours en arrière lors d'entraînements. Dans le domaine des vols spatiaux habités, les entraînements peuvent aussi prendre la forme de simulations variées comme l'entraînement à la survie (Landon et O'Keefe, 2018) et en ligne et à distance entre des spationautes et des contrôleurs au sol (Smith-Jentsch et Sierra, 2016). Plus généralement, de nombreuses heures d'entraînement avant et pendant la mission seront nécessaires pour développer et maintenir les compétences de l'équipe, une équipe notamment stable pour les besoins d'une mission vers Mars (Landon et O'Keefe, 2018). Finalement, les « équipes stables qui ont suivi un entraînement ont amélioré le plus leurs processus et performances » (notre traduction, Noe et al., 2011).

Marks, Mathieu et Zaccaro (2001) définissent les processus d'équipe comme « des actions interdépendantes des équipiers qui convertissent les contributions en résultats via des activités

cognitives, verbales et comportementales destinées à organiser les tâches de travail pour atteindre des buts collectifs » (notre traduction). La NASA élargit et emploie cette définition au travail d'équipe (*tramwork*, Landon, Slack et Barrett, 2018). Dans le cadre d'un rapport de la NASA, Smith-Jentsch et Sierra (2016) recommandent :

- La mise en place d'instructions et de d'entraînements pratiques au travail d'équipe à intervalles réguliers et
- D'augmenter le nombre d'opportunités pour les spationautes et les contrôleurs de vol de participer à des entraînements au travail d'équipe en équipe constituée.

En parallèle, des entraînements au travail d'équipe, les activités de construction d'équipes peuvent aussi améliorer la performance collective via « des jeux, aventures ou des exercices » (notre traduction, Klein et *al.*, 2009). Bayley, Wallace, Spurgeon, Barwell et Mazelan (2007) précisent que ces activités fournissent des informations et entraînements pour aider les équipes à travailler en collaboration. À la différence de Klein et *al.* (2009), Bayley et *al.* (2007) annoncent que le succès des activités de construction d'équipes est incertain.

Finalement, les activités provoquant la réalisation d'une tâche par une équipe stable favorisent leur développement. Les antécédents de tâches communs, les entraînements et le travail et construction d'équipes sont des activités répandues et prouvent donc leur pertinence pour traiter des situations inconnues.

## 1.2. Relations sociales

Le développement de relations sociales au sein d'une équipe stable peut aussi permettre d'améliorer son fonctionnement (comme Huckman, Staats et Upton, 2008 et van Woerkom et Croon, 2009).

Avec une approche générale, le partage commun de la vie quotidienne pour les équipes opérant en conditions extrêmes permet de construire une cohésion collective avant leur déploiement (Landon et O'Keefe, 2018). Dans le cadre des formations de spationautes, Smith-Jentsch et Sierra (2016) recommandent notamment d'incorporer des entraînements au travail d'équipe « qui cible spécifiquement des connaissances, attitudes et compétences de travail d'équipe liées à la vie en petits groupes et à l'autogestion durant des périodes étendues en environnements isolés, confinés et extrêmes » (notre traduction, Smith-Jentsch et Sierra, 2016). De même, Landon et *al.* (2018) mettent en avant le modèle des compétences d'équipes expéditionnaires qui « ajoute une couche d'attributs constituant les aspects du "vivre ensemble" des missions d'exploration de longues durées<sup>20</sup> » (notre traduction). À la différence d'entraînements classiques conduisant à l'accomplissement d'une tâche, Smith-Jentsch et Sierra (2016) valorisent les longues périodes de cohabitation monotones et sans événement afin d'anticiper les conditions rencontrées durant les LDSEM. L'analyse des résultats de van Woerkom et Croon (2009) de leur étude sur des organisations privées et publiques soutiennent que les équipes stables sachant « qui est qui et qui n'est pas de l'équipe surclasse les autres équipes en termes d'efficacité et d'efficience » (notre traduction). Néanmoins, les équipiers ont besoin de temps pour développer ces relations bénéfiques (van Woerkom et Croon, 2009). Schmidt, Landon et

---

<sup>20</sup> Missions d'exploration de longue durée : LDSEM (Long Duration Space-flight Exploration Missions)

Patterson (2015) soulignent le seuil des six semaines à partager par une équipe dans son étude de la littérature qualitative à ce sujet :

*Les expéditionnaires et spationautes mentionnent fréquemment la facilité à supporter à peu près n'importe quoi pendant deux à six semaines (e.g. l'équipe n'est pas en train de s'adapter mais de s'ignorer). Ainsi, les études de durées inférieures à six semaines ne permettront probablement pas aux chercheurs d'étudier une bonne représentation de l'évolution des équipes en LDSEM ou même l'utilisation de processus de travail en équipe que nous déjà mis en évidence comme potentiellement importants pour la performance d'équipes en LDSEM. (notre traduction, Schmidt et al., 2015, p.28)*

Huckman et al. (2008) ont mis en valeur que le développement de la familiarité a un impact positif sur la performance collective. En définissant la familiarité comme le nombre moyen de fois que chaque équipier a travaillé avec chacun des autres, Huckman et al. (2008) présentent ainsi une familiarité au sein d'une équipe développée via les relations professionnelles, donc non restreinte à la vie extraprofessionnelle. Singh et al. (2012) reprennent le principe de cette définition, *i.e.* si le temps de travail partagé augmente alors la familiarité se développe et supportent l'augmentation de la performance collective liée à celle de la familiarité. Singh et al. (2012) remarquent que ce résultat est cohérent avec la littérature qu'ils ont étudié. Avec une dynamique similaire, bien que l'efficacité ne soit pas confirmée (Landon et al., 2018), « les spationautes reçoivent des expériences uniques en entraînement liées à la vie en petits groupes incluant la tolérance, la gestion constructive des conflits, en cherchant à comprendre les différences et coopérant et supportant leurs compagnons de l'espace » (notre traduction, Landon et al., 2018).

L'apprentissage social peut aussi apparaître des relations sociales, il se « réfère à apprendre des processus sociaux » (notre traduction, Singh et al., 2012). Singh et al. (2012) remarquent un consensus soutenant la contribution de l'apprentissage social pour la formation de la « *transactive memory*<sup>21</sup> » et ensuite au bénéfice de la performance collective. Singh et al. (2012) le soutiennent ensuite grâce aux résultats acquis et ces auteurs précisent de plus les contributions décroissantes pour la performance : les interactions personnelles puis les observations de la tâche (les équipiers observent les autres alors qu'ils exécutent une tâche et apprennent au sujet de la personne et de la tâche, Singh et al., 2012) et enfin les observations des interactions (les équipiers observent les interactions parmi d'autres personnes et apprennent à leur sujet, Singh et al., 2012).

### 1.3. Participations actives et passives à des expériences

La littérature met en avant d'autres expériences à proposer dans le cadre de formations (liste non exhaustive). Lors des premières expériences, les équipiers sont passifs avec des :

- Conférences et présentations en milieu hospitalier (Jones, Skinner, High et Reiter-Palmon, 2013) ou spatial (Landon et al., 2018)

---

<sup>21</sup> La transactive memory « fournit aux équipiers une compréhension des préférences et compétences et une conscience des rôles et interdépendances des membres afin que les actions puissent être coordonnées sans communication explicite pour identifier si un membre peut exécuter une tâche » (notre traduction, Singh et al., 2012).

- Observations de la tâche et des interactions (bien que moins utiles par rapport aux interactions personnelles, Singh et *al.*, 2012),

Lors des secondes expériences, les équipiers sont actifs comme des ateliers en milieu hospitalier (Jones, Skinner, High et Reiter-Palmon, 2013) ou spatial ou les entraînements à la survie (Landon et O'Keefe, 2018).

Une expérience à la fois active et passive consiste à recevoir des informations et à les intégrer dans le travail de l'équipe. Cette acquisition d'informations peut être effectuée à l'extérieur de l'équipe et donc par un membre isolé (van Woerkom et Croon, 2009).

#### 1.4. Participations d'équipiers isolés

Quelle soit active ou passive, professionnelle ou non, des expériences vécues individuellement par des équipiers sont aussi intégrées aux formations de futures équipes professionnelles. Flin et Maran (2015) présentent ainsi des conférences et sessions de groupes proposées à des personnels hospitaliers afin d'améliorer, entre autres les compétences non techniques, sans objectif de constitution d'équipe. Les formations individuelles préparant en partie à des vols habités peuvent aussi être suivies sur ordinateur (Landon et O'Keefe, 2018) ou en jet (National Research Council, Committee on Human Spaceflight Crew Operations, 2011) isolé de son équipe.

La formation à la gestion des ressources de l'équipage, plus connue sous le nom de Crew Resource Management (CRM), est conçue à l'origine « pour que les pilotes augmentent leur compréhension de l'importance de comportements particuliers pour la sécurité et pour fournir des opportunités pour pratiquer ces compétences dans des exercices et des simulations de vols » (notre traduction, Flin et Maran, 2015). Ces comportements consistent à « utiliser toutes les ressources disponibles - équipement, personne et information - en communiquant et coordonnant comme une équipe » (notre traduction, Salas, Burke, Bowers et Wilson (2001). Ce type de formation est répandu dans l'aviation civile et militaire. Du fait de la programmation tournante d'équipages, *i.e.* un équipage peut ne pas voler à nouveau ensemble pendant des mois voire des années, cette formation n'a pas donc pour vocation à former une équipe constituée. Ce type de formation semble améliorer les réactions, attitudes et acquisition des connaissances des stagiaires<sup>22</sup> (Noe et *al.*, 2011 ; Salas et *al.*, 2001). Dans le domaine des vols spatiaux habités, un équivalent au CRM existe au bénéfice de l'équipage embarqué mais aussi des contrôleurs de vol (Noe et *al.*, 2011 ; Landon et O'Keefe, 2018), il s'agit de la gestion des ressources en vol spatial habité, connue comme Spaceflight Resource Management (SFRM).

#### Conclusion

La littérature présente des expériences reconnues comme utiles ou potentiellement utiles au travail en équipe comme l'accomplissement de tâches collectives (Webber, 2008 ; Noe et *al.*, 2011) ou le partage de cohabitations extraprofessionnelles (Smith-Jentsch et Sierra, 2016). En revanche, aucune typologie globale des expériences pouvant être bénéfiques à la préparation d'une équipe à réagir à

---

<sup>22</sup> L'amélioration de la sécurité n'est cependant pas prouvée (Salas et *al.*, 2001).

des pannes inconnues n'est établie dans la littérature étudiée. D'où la nécessité de définir une classification d'expériences diversifiées potentiellement utiles à la préparation d'équipes à réagir à des situations inconnues.

## 2. Typologie de la diversité des expériences

L'étude de la diversité d'expériences implique de les différencier les unes des autres et donc d'établir des catégories d'expériences. Il sera alors possible de composer des équipes correspondant aux deux extrêmes du partage d'expériences diversifiées (une équipe partage des expériences diversifiées et une autre non) et ainsi les tests des hypothèses.

Il est très répandu de former et donc de préparer des personnes à des tâches en leur transmettant des savoirs. Ce type d'expériences peut donc être utile à la préparation d'équipes à réagir à des situations inconnues. Comme définis par Wittorski (1998), les savoirs sont un « énoncé descriptif ou explicatif d'une réalité, établi et reconnu par et dans une communauté scientifique et culturelle donnée à une époque donnée (les lois de la physique, par exemple). Ils sont disponibles dans les encyclopédies et les ouvrages spécialisés. » Suivre un cours de sciences est un exemple de réception de savoirs. Néanmoins, l'hypothèse 1 impose d'étudier le partage d'expériences. Il est donc nécessaire de préciser la réception de savoirs en prenant en compte le vécu commun à toute l'équipe, d'où des catégories traduisant la présence d'interactions ou non et la présence ou non de toute l'équipe lors de réceptions de savoirs :

### (1) Réception de savoirs avec des interactions et avec l'équipe

Une réception de savoirs correspond à une activité où les équipiers n'ont pas de tâche à effectuer activement hormis recevoir des savoirs. Cette catégorie est caractérisée par une équipe partageant cet événement et par l'existence d'interactions entre les équipiers présents. Un cours de leadership avec des échanges questions/réponses entre les stagiaires et le formateur est un exemple.

### (2) Réception de savoirs sans interaction et avec l'équipe

Les périodes de réceptions de savoirs sans interaction et avec l'équipe permettent aux équipiers de recevoir des savoirs ensemble mais sans opportunité de communiquer spontanément. Une conférence où une équipe n'a pas la possibilité d'échanger est un exemple.

### (3) Réception de savoirs sans l'équipe

Les périodes de réception de savoirs sans l'équipe permettent à un équipier de recevoir des savoirs sans son équipe (quel que soit le niveau d'interactions avec les personnes extérieures présentes). Un cours d'anglais sans son équipe est un exemple.

Dans le cadre d'une préparation opérationnelle à une mission habitée, la formation délivrée doit ensuite enseigner l'utilisation de ces savoirs pour acquérir des compétences et finalement effectuer une mission. En effet, « sans cette capacité de mobilisation et d'actualisation des savoirs, il n'y a pas de compétences » (Perrenoud, 1994). Certains auteurs vont plus loin dans la description de la compétence en définissant un lien entre compétence d'un côté et la performance et l'exécution de missions de l'autre :

- Koeppen, Hartig, Klieme et Leutner (2008) « définissent les compétences comme des actions cognitives spécifiques au contexte qui sont acquises et nécessaires pour faire face avec succès à certaines situations ou tâches dans des domaines spécifiques » (notre traduction). « Avec succès » signifie la performance et « tâches » l'exécution d'une mission.
- Pour Perrenoud (1994) : « Manifester des compétences professionnelles, c'est, de façon générale, face à une situation complexe, être capable (...) [d']identifier les obstacles à surmonter ou les problèmes à résoudre pour réaliser un projet ». Les difficultés mises en avant nécessitent de la performance et « réaliser un projet » signifie l'exécution d'une mission.
- Pour Perrenoud (1998a) : « Une compétence renvoie à une action réussie ». « Réussie » signifie performance et « action » l'exécution d'une mission.
- Les travaux de Coulet (2016) relèvent la place de la performance et l'exécution d'une mission dans la signification de compétence.
- Pour Roe (2002) : « il y a un consensus croissant dans la littérature posant que la compétence devrait être définie comme “une habilité apprise pour effectuer une tâche, mission ou rôle adéquatement” (Roe, 2002) » (notre traduction, Roe, 2002). « Adéquatement » signifie performance et « effectuer une tâche » l'exécution d'une mission.
- Michaux (2005) utilise les termes « performance » et « action » pour décrire la performance collective.

Néanmoins, dans le but de tester les hypothèses et donc d'étudier la performance des équipes, la nécessité de performance mise en valeur dans ces définitions de la compétence doit être extraite. Ainsi, il est possible de centrer l'analyse sur la mesure du degré de réalisation d'une tâche assignée, *in fine* la performance opérationnelle. En effet, en procédant ainsi, aucun filtre n'est appliqué sur les performances opérationnelles non satisfaisantes<sup>23</sup>. La prise en compte et l'étude des performances opérationnelles non satisfaisantes sont alors possibles. Les compétences sont alors évaluées via l'une de leurs caractéristiques : l'exécution d'une mission. Similairement aux réceptions de savoirs, la présence d'interactions ou non et la présence de toute l'équipe ou non sont introduites dans la caractérisation de trois catégories relatives à la réalisation d'une tâche. Ces trois catégories sont définies avec ce but lié à l'entraînement aux compétences : exécuter une mission<sup>24</sup>.

Dans le langage commun, la définition de la compétence est proche de celle du savoir-faire ; d'où des précisions nécessaires. Les compétences et les savoir-faire traitent de la même notion. Boterf (1998) inclut le savoir-faire dans une plus large notion de la compétence :

*Si la compétence se révèle davantage dans le savoir agir que dans le savoir-faire, c'est qu'elle n'existe véritablement que lorsqu'elle sait affronter l'évènement, l'imprévu. À la limite, il n'est pas nécessaire d'être compétent pour exécuter ce qui est prescrit, pour appliquer ce qui est connu. Le savoir-faire d'exécution n'est que le degré le plus élémentaire de la compétence. (Boterf, 1998, p.4).*

---

<sup>23</sup> La performance opérationnelle mesurant le degré de réalisation d'une tâche, si cette dernière n'est pas réalisée, la performance n'est pas satisfaisante.

<sup>24</sup> L'approche de la performance sera tout de même effectuée via le test de l'hypothèse 1.

Perrenoud (1998b) soutient ce point de vue. En effet, au sujet des compétences et savoir-faire, les deux sont liés avec « la maîtrise pratique d'un type de tâches et de situations » (Perrenoud, 1998b). Ainsi et dans le cadre du test des hypothèses sélectionnées, il n'est pas nécessaire de discriminer davantage la compétence et le savoir-faire. Perrenoud (1998b) conforte ce manque d'intérêt en argumentant que la compétence et le savoir-faire impliquent un fonctionnement mental similaire : décider si des actions « sont des savoir-faire ou des compétences aurait du sens si cela renvoyait à des fonctionnements mentaux très différents. Il n'en est rien » (Perrenoud, 1998b).

Pour préciser le vécu de chaque équipe, trois catégories relatives à l'exécution d'une mission sont nécessaires.

#### (4) Exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) sans son équipe

Dès qu'une tâche doit être réalisée par un(e) équipier(ère) sans opportunité pour l'équipe de l'observer durant l'exécution de la tâche, cette activité est incluse dans cette catégorie. La tâche peut être différente en nature et être collective ou non (un(e) équipier(ère) peut être inséré(e) à une autre équipe) mais un ou plusieurs objectifs doivent être réalisés grâce à un travail actif. Un exemple d'exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) sans son équipe est un examen de rattrapage : un problème de mathématique doit alors être résolu par un(e) équipier(ère) sans son équipe.

#### (5) Exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) seul(e) avec son équipe

Un(e) équipier(ère) peut aussi exécuter seul(e) une mission mais entouré(e) par son équipe. Cette dernière peut l'observer alors que l'équipier(ère) travaille à la réalisation de la tâche et ainsi davantage le connaître (réaction face à la difficulté, persévérance, débrouillardise, etc.). Un exemple est un entraînement aux cent mètres : la tâche est individuelle mais la préparation peut être suivie par plusieurs personnes. Chaque participant peut apprendre au sujet des autres.

#### (6) Exécution d'une mission par une équipe

Durant l'exécution d'une mission par une équipe, le résultat final provient du travail d'équipe où tous les équipiers peuvent avoir une influence sur les actions entreprises. Gagner un match de basketball est un exemple.

De nombreuses tâches pouvant être rencontrées durant une mission opérationnelle font partie du programme d'entraînement des équipes concernées. Néanmoins, ces programmes doivent fournir un niveau de performance minimal aux équipes et respecter différentes contraintes (diminution des coûts, durées, déplacements, etc.). Notamment dans l'aviation civile commerciale, les formations des pilotes doivent être réduites de manière à employer dès que possible ces personnels dans le cadre de missions réelles tout en préservant un niveau de sécurité minimal.

Un intérêt possible de l'hypothèse 1 est de discriminer si les formations actuelles (simulations de vols principalement) sont suffisantes ou non pour faire face à l'inconnu avec performance. Ce point peut être souligné en discriminant les missions standard effectuées par une équipe (entraînements techniques) des autres types (une course d'orientation avec l'équipe, organisation d'un évènement, victoire à un match de handball, etc.), d'où, la création d'une catégorie supplémentaire :

#### (7) Qualification technique

Cet entraînement permet à une équipe de maîtriser les fonctions techniques élémentaires d'un métier et d'assurer sa sécurité. La qualification technique est déjà employée dans de très nombreux types d'entraînements pour les équipes opérationnelles civiles et militaires. La formation initiale des pilotes de ligne appartient à la qualification technique. Cette catégorie étant intégrée à l'exécution d'une mission par une équipe, les expériences rattachées à la qualification technique devront être extraites dans un premier temps du vécu d'une équipe. Le reste des expériences pourra alors être assimilé ou non à l'exécution d'une mission par une équipe. Ce classement en deux temps évite une éventuelle confusion entre ces deux catégories d'expériences.

Les trois équipes n'ont pas simplement vécu des événements liés aux cas précédents, mais à des situations plus larges. D'autres catégories sont ainsi requises pour traduire la totalité des activités vécues par les équipes.

#### (8) Vie normale avec l'équipe

Cette catégorie regroupe tous les éléments de la vie normale en internat. Le partage du dîner quotidien est un exemple.

#### (9) Un événement social exceptionnel avec l'équipe

Un événement social exceptionnel dépasse la vie normale : il n'appartient pas à la routine quotidienne et donc à la vie normale avec l'équipe. Une soirée partagée avec l'équipe en boîte de nuit est un exemple.

#### (10) Un événement intergénérationnel

L'événement intergénérationnel est lié aux traditions de l'environnement de l'équipe. Leurs buts sont de créer un dénominateur commun entre tous les acteurs et de rassembler les participants au sein d'un groupement au sens d'Anzieu et Martin (nombre de participants et fréquence des réunions variables, intérêt commun et partiellement conscient, etc. à l'exemple de la plupart des associations, 1968). Une cérémonie de remise de diplôme universitaire est un exemple. Cette catégorie est incluse dans la catégorie relative à un événement social exceptionnel avec l'équipe. Ainsi, les activités décrites comme événement intergénérationnel devront respecter le classement en deux temps précisé plus haut.

## Conclusion

Les expériences sont finalement discriminées les unes des autres selon le partage, les interactions, la réception d'informations, l'exécution d'une mission, leur caractère social et traditionnel. De plus, cette typologie met en valeur deux intérêts majeurs par rapport au test de l'hypothèse 1 :

- Elle permet d'étudier un entraînement plus varié que la formation technique, largement répandue dans les milieux opérationnels,
- Elle souligne la catégorie relative à l'exécution d'une mission par une équipe constituée parmi une catégorie moins précise, traitant d'exécution de mission sans considération des acteurs impliqués. Cette sous-catégorie avec une équipe constituée est directement liée à un vol spatial vers Mars : un équipage constitué et formé ensemble doit réaliser une mission réelle.

## Chapitre 2 : Des équipes à caractériser précisément selon leur préparation à l'inconnu

Au-delà du simple partage ou non des expériences diversifiées décrites ci-dessus, les équipes peuvent être caractérisées selon l'axe d'étude : la préparation à l'inconnu, en cohérence avec les tests des hypothèses. Au-delà de cette correspondance, « un entraînement d'équipe efficace est typiquement évalué en déterminant la relation entre l'entraînement d'équipe et un ou plusieurs résultats, incluant (...) le niveau de performance » (notre traduction, Noe et *al.*, 2011). Plus largement, « les résultats élevés démontrent que les objectifs d'entraînement ont été remplis » (notre traduction, Salas, Paris et Cannon-Bowers, 2000). Avec une analogie de ce lien entre entraînement ciblé et performance spécifique (dans les deux cas : à l'inconnu), l'avantage de définir les équipes selon leur préparation à l'inconnu est de pouvoir ou non observer une simultanéité entre d'une part, l'entraînement collectif pertinent ou non à l'inconnu et d'autre part, l'augmentation de la performance face à l'inconnu (*cf.* hypothèse 1). Si cette simultanéité est observée, un ensemble cohérent de résultats existe alors.

Pour réaliser la caractérisation des équipes selon le partage ou non d'expériences diversifiées et de qualité, il est nécessaire de définir un indicateur mesurant la qualité, autrement dit la pertinence de chaque expérience de chaque équipe pour un objectif commun. Pour ce faire, les dix catégories d'expériences diversifiées établies ci-dessus (*cf.* PIIC1p2) sont intégrées à une formation fictive avec un objectif de préparation d'une équipe à réagir à une situation inconnue. Un questionnaire est alors composé pour juger la qualité de ces expériences diversifiées en fonction de cet objectif.

### 1. Matériel et procédure de soumission

Un questionnaire est établi afin de mesurer la pertinence de chacune des dix expériences définies (*cf.* PIIC1p2). Des entraînements conçus et reconnus comme efficaces pour une activité spécifique peuvent ne pas avoir la même pertinence pour une autre, Noe et *al.* (2011), Weaver et *al.* (2010), Hamman (2004), Beaubien et Baker (2004) et Prichard et *al.* (2004) le décrivent directement ou indirectement. Le contexte de ce travail de recherche est centré sur la préparation des équipes à traiter une panne inconnue lors d'une mission sur Mars. Ainsi, cet objectif représente le but des expériences vécues par les équipiers durant la période d'accomplissement du test des hypothèses. Afin d'établir la mesure de la pertinence d'un type d'expérience par rapport à cet objectif, chaque type d'expériences est proposé au jugement des participants via trois éléments :

- Une question relative à un type d'expériences nécessitant une réponse,
- La définition du type d'expériences analysé et
- Un exemple.

Par exemple, pour le type d'expériences « réception de savoirs », les participants prennent connaissance des éléments suivants :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues de partager, avec tous ses membres et avec des interactions, un moment où elle reçoit des savoirs ?

Dans cette expérience, l'équipe entière partage un moment où aucune tâche n'est à effectuer. L'équipe reçoit uniquement des savoirs et peut en discuter entre ses membres ou avec une tierce personne.

Le partage d'un cours où le professeur et des élèves interagissent est un exemple.

L'ensemble des questions est présenté en annexe 2. Pour répondre à chaque question, une unique action est demandée : un curseur peut être déplacé sur une échelle non graduée entre une valeur minimale et une maximale. L'ensemble des questions est rassemblé dans un questionnaire en ligne diffusé via le site internet d'enquêtes Eval&Go.

## 2. Participants

L'évaluation de la qualité des expériences diversifiées doit être effectuée en regard de l'objectif de performance face à une panne inconnue en vol spatial de longue distance mais aussi dans un but de généralité des résultats. Ainsi, des personnes pouvant avoir une action directe sur le traitement collectif d'une situation inconnue lors de missions aérospatiales ou soumises à un risque vital par manque de performance ont été sollicitées. Elles travaillent donc en équipe, en milieu opérationnel et avec une performance minimale. Cette dernière est imposée par la survie de l'activité opérationnelle concernée voire des acteurs eux-mêmes. Environ deux cent soixante-dix personnes<sup>25</sup> correspondant aux critères ci-dessus ont été contactées pour participer. Les professionnels sollicités sont :

- Des personnes avec un lien direct aux vols spatiaux habités (dont des spationautes),
- Les managers d'écuries de Formule 1,
- Des personnels navigants en équipage de l'Armée de l'air en situation d'active,
- Des anciens personnels navigants en équipage de l'Armée de l'air en fonction dans des secteurs aéronautiques civils répondant aux contraintes citées ci-dessus,
- Le GIGN,
- Les Marins Pompiers de Marseille,
- Les guides de haute montagne de la Compagnie des guides de Chamonix,
- Les Clubs de handball de la Lidl star ligue, de basketball de la Jeep Elite et de rugby du Top 14,
- Des skippers en équipage de niveau international,
- Une investisseuse financière du quartier de la City à Londres.

Parmi les personnes sollicitées, trente-quatre ont participé au questionnaire et ont répondu à la totalité des questions. Les profils des trente-quatre professionnels sont présentés dans le tableau 3 :

---

<sup>25</sup> Le nombre précis n'est pas défini car des listes de diffusion ont été utilisées sans nombre de destinataires fixés.

Métiers des participants	Nombre de participants
Personnels Navigant de l'Armée de l'air (pilotes et navigateurs, transport et chasse <sup>26</sup> , en situation d'active ou ancien du service actif)	8
Entraîneurs d'équipes de sport	5
Spécialistes des vols spatiaux habités à l'ESA (dont un spationaute)	4
Guides de haute montagne	4
Chefs de section du GIGN	3
Pilotes d'essais civils et anciens militaires	3
Marins Pompiers de Marseille	3
Anciens leaders de la Patrouille de France	2
Investisseuse financière du quartier de la City à Londres	1
Skipper de niveau international	1

Tableau 3. répartition des professions des participants au questionnaire

### 3. Résultats et discussion

Les jugements des pertinences des participants sont regroupés dans le tableau 4 et classés par ordre décroissant de pertinence par rapport à l'objectif de performance face à une panne inconnue en vol spatial vers Mars. Les valeurs données par les participants sont comprises entre zéro et mille puis divisées par mille.

Types d'expériences	Coefficients de pertinence	Écart-types
Exécution d'une mission par une équipe	0,8088	19 %
Vie normale avec l'équipe	0,7915	22 %
Réception de savoirs avec des interactions et avec l'équipe	0,7718	23 %
Qualification technique	0,6768	27 %
Un évènement social exceptionnel avec l'équipe	0,6600	26 %
Un évènement intergénérationnel	0,6365	30 %
Exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) seul(e) avec son équipe	0,4500	25 %
Réception de savoirs sans interaction et avec l'équipe	0,4077	29 %
Réception de savoirs sans l'équipe	0,3844	23 %
Exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) sans son équipe	0,3253	32 %

Tableau 4. coefficients de pertinence des expériences par rapport à l'objectif de performance face à une panne inconnue en vol spatial de longue distance

Ces résultats divisent les expériences en trois sous-groupes selon le degré d'utilité à l'objectif de traitement de l'inconnu.

<sup>26</sup> En avion biplace

Le premier sous-groupe rassemble les plus hautes valeurs de pertinence, supérieure à 0,70. Il s'agit de l'exécution d'une mission par une équipe, de la vie normale avec l'équipe et de la réception de savoirs avec des interactions et avec l'équipe. Les écarts-types de ce trio d'expériences reconnues comme les plus pertinentes reçoivent aussi les trois valeurs d'écarts-types les plus faibles, signifiant ainsi des évaluations davantage convergentes de la part des participants par rapport aux autres catégories. Ces trois types d'expériences présentent un point commun : les interactions entre équipiers d'une manière générale. Par exemple, les interactions suscitées par l'exécution d'une mission au sein d'une équipe peuvent être portées sur un sport collectif, l'organisation d'un évènement, *in fine*, toute tâche à accomplir collectivement.

La catégorie qualification technique est classée quatrième. Ce positionnement dénote que les entraînements actuellement en vigueur et préparant les équipes à maîtriser les fonctions techniques élémentaires d'un métier et d'assurer sa sécurité ne sont pas optimum dans le cadre de la préparation à l'inconnu. Par exemple, il y a une augmentation de la pertinence d'une formation de 19 % pour une équipe préparée à l'inconnu grâce à l'exécution d'une mission par rapport à une seconde préparée grâce à une qualification technique.

Le deuxième sous-groupe est composé des catégories de pertinence moyenne (entre 0,68 et 0,64 comprise). Les catégories concernées sont la qualification technique, l'évènement social exceptionnel avec l'équipe et l'évènement intergénérationnel. Ce sous-groupe placé en deuxième position de l'évaluation met en valeur des interactions mais sous un angle spécialisé à la catégorie concernée. Par exemple, la qualification technique permet à une équipe d'interagir dans une mission relative aux fonctions techniques élémentaires et à la sécurité d'un métier, autrement dit d'employer les procédures standardisées.

Le troisième sous-groupe rassemble les quatre catégories d'expériences jugées les moins pertinentes pour la préparation à l'inconnu (valeurs inférieures ou égales à 0,45). Sont concernées l'exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) seul(e) avec son équipe, la réception de savoirs sans interaction et avec l'équipe, la réception de savoirs sans l'équipe et l'exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) sans son équipe. Les moyennes des pertinences de ces catégories sont deux fois moins élevées que le premier sous-groupe. Ce dernier sous-groupe ne comporte pas d'activités avec des interactions, hormis pour l'exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) seul(e) avec son équipe.

Les interactions au sein d'une équipe sont donc jugées comme la meilleure préparation au traitement de problèmes inconnus en vol spatial de longue distance par les participants. Plus précisément, les interactions générales sont davantage pertinentes que celles spécialisées. Bien que largement répandue à travers les milieux opérationnels, la catégorie qualification technique n'est pas reconnue comme optimale par les experts ayant participé à l'enquête.

## Chapitre 3 : Caractérisation de trois équipes

### 1. Méthode de répartition des expériences vécues

Les dix catégories établies précédemment sont jugées selon un même objectif commun, celui de préparer une équipe à réagir à une situation inconnue (cf. figure 10). Certaines catégories sont incluses dans une autre plus large. Par exemple, réaliser une mission sur simulateur impose l'exécution d'une tâche (catégorie plus large) mais est aussi intégrée à la qualification technique (catégorie plus précise). Ainsi, pour répartir les expériences vécues par une équipe entre les types déterminés ci-dessus (cf. PIIC1p2), deux étapes de classement des activités sont nécessaires pour conserver cette distinction. La première étape (en orange sur la figure 10) permet de classer certaines catégories, notamment les évènements intergénérationnels et les qualifications techniques. Les activités sans besoin de précision ou de doute possible sont aussi intégrées à ce premier classement. Reste alors les évènements correspondant aux catégories plus larges : c'est la seconde étape (en bleu sur la figure 10).

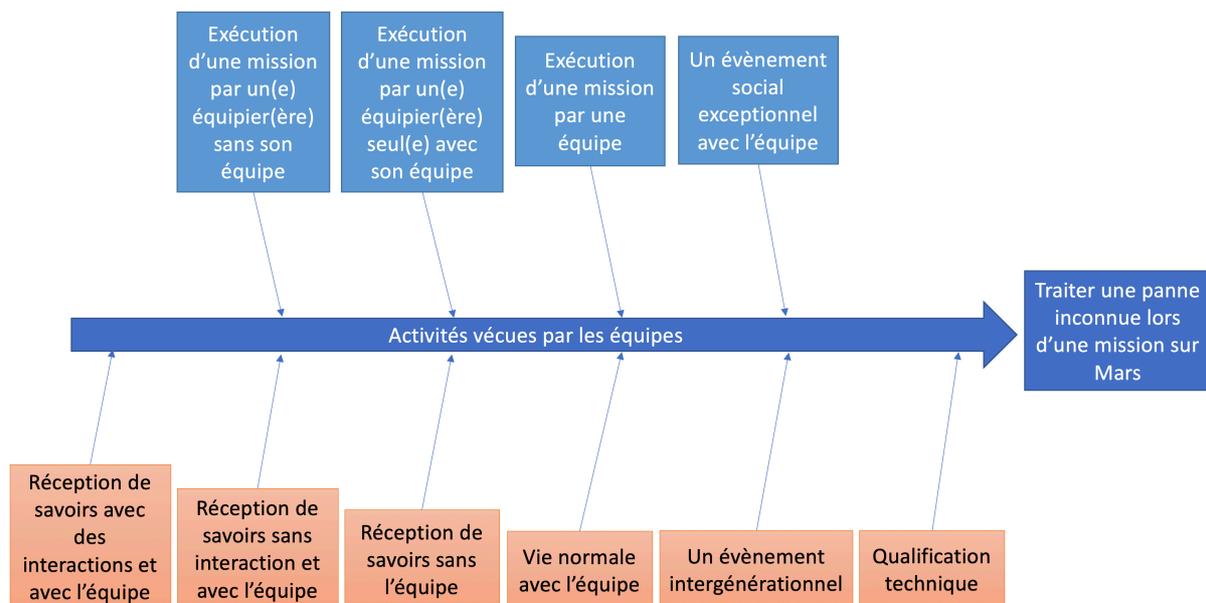


Figure 10. modèle de classification des expériences diversifiées et de qualité

Les deux étapes de la distribution des types d'expériences diversifiées et de qualité dans les catégories sont donc :

- Oranges en premier,
- Bleues en second.

Par exemple, une mission de simulateur sera classée dès la première étape dans la catégorie représentant une qualification technique. En revanche, ce ne sera pas le cas d'un match de basketball partagé par une équipe : aucune catégorie orange ne correspond à cette activité. Cet évènement sera donc positionné via la seconde étape dans la catégorie relative à l'exécution d'une

mission par une équipe. Si le match de basketball est intergénérationnel, il sera par conséquent classé comme évènement intergénérationnel.

Grâce à cette répartition, il est possible de construire une représentation graphique de la répartition des expériences diversifiées pour une équipe. Néanmoins, cette représentation graphique ne traduit pas la valeur de qualité de chaque expérience mise en avant par le précédent questionnaire. Un autre traitement de la formation d'une équipe est donc nécessaire.

## 2. Méthode de caractérisation d'une équipe

Une fois la répartition des expériences vécues par des équipiers effectuée, des analyses numériques peuvent être appliquées pour caractériser une équipe. Deux calculs sont accessibles afin de mieux cerner le vécu partagé ou non. Le premier consiste à mesurer simplement le pourcentage d'expériences partagées ou non et le second à évaluer la qualité d'une formation en regard d'un objectif déterminé.

### 2.1. Pourcentage de partage $p_j$ d'expériences

Le pourcentage de partage d'expériences par une équipe sans intégration des coefficients de pertinence de la préparation à l'inconnu peut être réalisé. Il permet de mesurer uniquement le pourcentage d'expériences partagées par une équipe sans considération de qualité des expériences vécues. Les heures correspondant à chaque expérience partagée par une équipe donnée sont additionnées puis divisées par le nombre total d'heures de la formation de l'équipe. Pour  $j$  correspondant à une des trois équipes, le pourcentage  $p_j$  de partage des activités par l'équipe  $j$  est :

$$p_j = \frac{\sum_{i=1}^{128} (\text{nombre d'heures partagées de l'activité } i \text{ de l'équipe } j)}{\sum_{i=1}^{128} (\text{nombre d'heures de l'activité } i \text{ de l'équipe soudée})}$$

Bien que ne caractérisant pas la qualité de la formation d'une équipe pour réagir à une situation inconnue, ce pourcentage de partage apporte une précision quant au vécu partagé par une équipe.

### 2.2. Pertinence $P_j$ traduisant la préparation à l'inconnu

La caractérisation des équipes va plus loin que le calcul du pourcentage de partage de répartition ci-dessus car elle intègre la qualité d'une expérience dans un cadre de préparation à traiter une situation inconnue. En effet, la caractérisation des équipes prend en compte les coefficients établis précédemment pour la totalité des activités. Le but n'est donc plus de compter ou non une activité selon qu'elle soit partagée ou non mais de considérer l'intérêt de toutes les expériences pour le traitement ultérieur de l'inconnu. Les coefficients de pertinence sont alors appliqués à la totalité des heures comptabilisées selon la catégorie associée. Une pertinence  $P_j$  traduisant la préparation de chaque équipe peut donc être établie et est également comptée en pourcentage. La formule employée est :

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^{128} (\text{nombre d'heures partagées de l'activité } i \text{ de l'équipe } j) \times (\text{coefficient de } i)}{\sum_{i=1}^{128} (\text{nombre d'heures de l'activité } i \text{ de l'équipe soudée})}$$

### Conclusion

Comme l'hypothèse 1 porte sur le lien entre partage d'expériences diversifiées et de qualité par une même équipe et sa performance opérationnelle face à des situations inconnues, la pertinence  $P_j$  est donc retenue pour caractériser une équipe. En outre, le pourcentage de partage  $p_j$  d'expériences permet de mesurer le vécu commun d'équipiers et ainsi affiner la compréhension de la formation suivie par une équipe.

### 3. Composition de trois équipes théoriques

Trois hypothèses impliquent de composer puis d'orienter les critères de création d'équipes :

- Hypothèse 1 : une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité obtient de meilleures performances opérationnelles face à des situations inconnues qu'une équipe sans un tel entraînement partagé.
- Hypothèse 2 : des développements de connaissances et compétences métacognitives interindividuelles sont attendus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité par rapport à une équipe sans partage.
- Hypothèse 3 : une influence bénéfique est attendue sur la performance opérationnelle en résolution de problèmes inconnus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité.

Afin de les tester, il est nécessaire de constituer des équipes soulignant les deux degrés opposés du partage d'expériences diversifiées : une équipe avec partage maximisé et une sans. Dans chacun des cas, les participants ne doivent pas se connaître avant la constitution de leur équipe afin de mettre en avant le vécu commun avec une origine définie des temps à partir de laquelle l'étude des équipes est effectuée.

#### Équipe soudée :

Le sens de la première équipe est de réunir des équipiers partageant un nombre maximisé d'expériences diversifiées et de qualité. En rapport à une mission vers Mars, cette équipe représente un équipage vivant ensemble un entraînement long et vécu en commun pour assurer un vol de longues distances. Cette équipe est appelée *équipe soudée* ou ES.

#### Équipe abscisse :

La deuxième équipe a pour but de réunir des personnes ne se connaissant pas avant et ne se rencontrant pas pendant les tests des hypothèses (hormis pour les besoins des tests). Cette équipe vit donc un nombre d'expériences diversifiées et de qualité réduit au minimum. En rapport à l'aéronautique, cette équipe représente un équipage d'avion de ligne d'une grande compagnie aérienne : il est rassemblé pour une seule mission sans forcément se connaître précédemment et

sans forcément travailler à nouveau ensemble dans le futur. Cette équipe est appelée *équipe abscisse* ou EA.

Équipe moins soudée :

Avec la composition de deux équipes seulement, un biais peut être introduit dans la comparaison des mesures de performance et du partage d'expériences diversifiées et de qualité. En effet, si un écart de performance est révélé, il peut être la conséquence :

- Du partage ou non d'expériences diversifiées par une équipe (test des hypothèses 1, 2 et 3) ou
- Du vécu individuel d'expériences diversifiées et de qualité par les équipiers et donc sans considération de partage.

Une équipe intermédiaire remplissant deux conditions à la fois est donc nécessaire pour éviter ce biais : diminution maximale des expériences diversifiées et de qualité partagées mais tout de même vécues individuellement par les équipiers. Cette équipe apporte donc une nuance par rapport à l'équipe soudée présentant le même niveau d'expériences diversifiées et de qualité vécues mais non partagées par les équipiers. En rapport aux missions spatiales habitées actuelles, cette équipe pourrait correspondre à un équipage à bord de l'ISS composé de deux sous-équipages en rotation et dûment entraînés. Le premier débute une mission dans l'ISS trois mois avant l'arrivée du second. Il est donc peu probable qu'ils partagent un quelconque entraînement commun « bien qu'ils vivent ensemble durant des mois dans l'espace » (notre traduction, Landon et O'Keefe, 2018).

Cette équipe est appelée *équipe moins soudée*, ou EMS.

Conclusion

Les outils nécessaires à la composition d'équipes permettant de tester les hypothèses 1, 2 et 3 sont constitués : la répartition des expériences vécues, la pertinence  $P_j$  des expériences vécues par une équipe et la caractérisation des équipes nécessaires aux tests des hypothèses. Finalement, des équipes réelles doivent être constituées grâce à un terrain de recherche proposant des expériences diversifiées et de qualité.

## Chapitre 4 : l'École de l'air, terrain de recherche pour la composition des équipes

Les élèves de l'École de l'air de Salon de Provence suivent de manière stable une formation composée d'expériences diversifiées et de qualité. Ils sont destinés à terme à exécuter collectivement des missions opérationnelles dans des environnements potentiellement contraints, volatils et extrêmes. Ces missions mettent en œuvre des personnels et des moyens aériens et au sol avec ou sans coopération internationale. Cette école et sa base aérienne ont donc été sélectionnées pour démarcher des participants.

### 1. Un entraînement diversifié vécu par les élèves

La constitution des équipes soudée et absconse nécessite des conditions particulières du terrain de recherche : diversité des expériences proposées à certaines personnes, stabilité dans la durée, respect de la contrainte de non connaissance des équipiers entre eux avant la constitution des équipes, taux de sélectivité minimal. Située à Salon de Provence, l'École de l'air répond à ces critères.

L'École de l'air a pour mission d'effectuer la formation initiale des officiers de l'Armée de l'air. Les officiers sont amenés à effectuer des missions utilisant des matériels complexes, impliquant des technologies récentes, un travail en équipe voire en équipage à bord d'un même avion. L'environnement de travail peut être soumis aux risques liés :

- Au milieu aéronautique (pannes des matériels notamment),
- À l'usage de plusieurs hélicoptères ou avions (transport et chasse) à proximité les uns des autres et
- À un contexte de guerre.

Les environnements pour lesquels les élèves de l'École de l'air sont formés sont donc potentiellement contraints, volatils et extrêmes. Pour réaliser cette formation initiale des officiers de l'Armée de l'air, les élèves sont affectés au minimum trois années sur le site afin de recevoir une formation multidisciplinaire. Cette dernière comprend plusieurs volets :

- « Chef et du combattant : formation militaire, sportive et au commandement, répartie sur toute la durée de la scolarité et commune à tous les cursus » (École de l'air, 2017),
- « Aéronautique, pratique du vol à voile pour les PN<sup>27</sup> et acculturation à l'environnement aéronautique opérationnel pour les élèves de toutes spécialités » (École de l'air, 2017),
- Sciences et humanités (École de l'air, 2017),
- Partage et la transmission des traditions de l'aviateur,
- Partage de la vie en collectivité.

Bien qu'appartenant à des spécialités différentes de l'officier, les élèves suivent tout de même des formations comparables. En effet, tous ces cursus sont relatifs à la formation initiale d'un officier de carrière sur un socle commun : les volets académique, militaire, les traditions, la projection des élèves dans leurs futures missions opérationnelles et le partage de la vie en collectivité.

---

<sup>27</sup> Personnel navigant

Cent vingt-six expériences différentes sont proposées aux élèves suivant une formation issue du recrutement des Classes Préparatoires aux Grandes Écoles (CPGE) à l'École de l'air, ces expériences sont réparties parmi les dix catégories présentées ci-dessus. Les élèves de l'École de l'air vivent donc des expériences diversifiées et de qualité.

## 2. Des élèves réunis par brigade

Les élèves formés à l'École de l'air sont constitués en promotion, à raison d'une par année scolaire. Une promotion compte environ cent vingt à cent trente élèves tous les cursus confondus. Ces promotions sont divisées en quatre brigades. Chaque brigade compte donc trente à trente-cinq élèves selon les cursus réunis dans chacune d'elle. Elles permettent, entre autres, d'individualiser le suivi des élèves, de faciliter l'organisation des plannings, de créer une identité collective propre à chacune d'elle. D'ailleurs, « un facteur critique d'une bonne performance collective est (...) l'identité de l'équipe » (notre traduction, Orasanu, 2005).

Dans la pratique, des élèves intégrés à une même brigade et suivant le même cursus de formation partagent un nombre d'expériences particulièrement élevé. En effet, ces élèves logent pendant les deux premières années de leur formation à l'École de l'air dans des chambres individuelles mais intégrées à un, voire deux couloirs, agrémenté d'une salle dite « de cohésion » au centre. Ces élèves partagent la majorité de leurs repas ensemble. Ils :

- Suivent un planning de formation académique, militaire et sportive ensemble,
- Sont encadrés par un même cadre de proximité et
- Vivent ensemble les traditions de l'École de l'air.

La vie en brigade offre donc un cadre remarquable de partage d'expériences.

## 3. Des équipes composées en fonction des hypothèses

Au-delà des nécessités des tests des hypothèses, les équipes à former doivent aussi répondre à des critères réalistes. En effet, les tests des hypothèses imposent un maintien dans la durée des équipes constituées. Celles-ci doivent donc aussi être composées de manière tolérable pour les participants.

### 3.1. Des équipes réalistes

Le test des hypothèses de travail exige la création d'équipes composées par des femmes et des hommes. Le nombre retenu d'équipiers est de quatre pour une résolution de problème sur un total de cinq membres par équipe.

Ce dimensionnement respecte différentes nécessités liées au travail en équipe et au contexte des vols spatiaux habités. Tout d'abord, la définition d'une équipe explicitée ci-dessus (cf. paragraphe PIC1p1.3) implique minimum deux membres. Or, « les phénomènes de groupe ne se manifestent pleinement qu'à partir de quatre membres, chiffre à partir duquel le nombre de relations possibles deux à deux dépasse le nombre des membres » (Anzieu et Martin, 1968). Mais le nombre ne doit pas pour autant être très important car une « collaboration très efficace peut impliquer seulement 2 à 4

membres » (Patel, Pettitt et Wilson, 2012). Patel et *al.* (2012) ajoutent ensuite : « dans les grandes organisations, les équipes peuvent impliquer 4 à 20 personnes, mais le nombre optimal est entre 6 et 8 ». De plus, bien qu'il n'y ait pas de consensus concernant le nombre de spationautes lors d'une mission d'exploration vers Mars, leur nombre varie entre trois et six selon les scénarios (Salotti et *al.*, 2014), l'option à deux ou trois membres d'équipage « peut être inacceptable à moins d'un important bénéfice relatif au coût de la mission » (notre traduction, Drake et Watts, 2014). Ainsi, afin de correspondre à ce contexte et tester les hypothèses, les équipes doivent réunir quatre à six personnes. Or, les tests des hypothèses vont nécessiter la mobilisation de personnes volontaires durant une longue durée. Réunir ces personnes va donc susciter des problématiques de correspondance de planning pour chaque réunion d'équipe, une complexité augmentant avec le nombre de personnes intégrées. De plus, d'un point de vue pratique, plus le nombre de personnes par équipe est élevé et plus probables seront les évènements impactant la conduite du protocole. Un désistement, une mutation, un détachement de plusieurs mois d'un équipier sont des menaces dont la probabilité augmente avec la taille des équipes. Si un tel cas se produit, des biais sont alors introduits.

Le compromis du nombre de personnes par équipe est fixé à quatre pendant une résolution de problème de manière à correspondre aux caractéristiques d'équipe soulevées par Patel et *al.* (2012) et Anzieu et Martin (1968) et d'une mission spatiale habitée vers Mars par Salotti et *al.* (2014) et Drake et Watts (2014). De plus, une personne supplémentaire a été ajoutée, cet ajout impose ainsi un roulement d'une personne par résolution de problème. Le but est de prévenir les difficultés de planning liées à la réunion des équipes voire de maintenir l'équipe<sup>28</sup> en cas de sortie d'un équipier au cours du protocole.

### 3.2. Respectant des contraintes hiérarchisées

Des critères de composition sont établis de manière à constituer les équipes décrites ci-dessus. À l'inverse et pour prévenir le cas d'un trop faible nombre de volontaires pour respecter toutes les contraintes, un ordre d'importance est appliqué aux critères. À partir du moment où une contrainte est satisfaite, la suivante est étudiée dans l'ordre décroissant d'importance défini ci-dessous. L'influence des biais occasionnés est donc atténuée dans la limite des personnes volontaires.

Les contraintes par ordre décroissant d'importance sont :

#### (1) Les origines des élèves :

Le but est de réduire le risque de connaissance mutuelle entre deux équipiers d'une même équipe avant le début du protocole en écartant des volontaires ayant suivi une scolarité dans un même établissement ou ayant la même spécialité (personnes déjà qualifiées). Avec cette analyse, certains volontaires sont écartés.

---

<sup>28</sup> Si ce dernier cas survient, il y aura introduction d'un biais : l'augmentation du nombre de résolutions de problème par les équipiers restant par rapport aux autres équipes avec un nombre constant de membres.

(2) Le classement à l'intégration de l'École de l'air :

Afin de ne pas rassembler des profils potentiellement meilleurs selon les critères du concours dans une même équipe, le classement d'intégration est utilisé pour disperser les volontaires ayant un même niveau d'entrée à l'École de l'air.

(3) Les spécialités des élèves :

Les participants peuvent être issus de différentes spécialités : personnel navigant, mécanicien, fusilier commando, etc. Ces orientations peuvent introduire dans les réflexions des volontaires différentes expériences et projections mentales. Afin de ne pas introduire ce biais, les spécialités sont réparties dans la mesure du possible.

(4) répartition femmes/hommes.

La répartition des femmes et d'hommes est équilibrée.

### 3.3. Constitution pratique des équipes

Compte tenu du terrain expérimental, l'ES est constituée de cinq membres débutant leur formation à l'École de l'air et provenant d'une même brigade. Une prospection pour former cette équipe a eu lieu au sein de la promotion 2016 de l'École de l'air. Sélectionnés au sein de la quatrième brigade, le nombre de candidats a permis d'équilibrer les trois premiers critères cités au paragraphe précédent. Cinq hommes participent à cette équipe, deux issus du personnel navigant, deux du corps des mécaniciens et un des bases. L'ES permet ainsi d'optimiser le partage des expériences diversifiées et de qualité dans le cadre du test des hypothèses.

L'EMS comporte cinq élèves, dont quatre suivent la formation de l'École de l'air. Ces quatre derniers proviennent des quatre brigades de la promotion 2016 de l'École de l'air ; ainsi, il y a un élève par brigade. La cinquième personne provient de l'École du Commissariat des Armées et suit donc une formation similaire mais vécue indépendamment des autres élèves la très grande majorité du temps. Comme pour l'ES, les volontaires ont été retenus de manière à éviter l'existence d'échanges sociaux et professionnels avant leur arrivée à l'École de l'air. Quatre hommes et une femme participent à cette équipe ; trois équipiers proviennent du corps des personnels navigants, un du corps des mécaniciens et un du Commissariat des Armées. Cette équipe vit ainsi des expériences diversifiées au travers de la formation de l'École de l'air mais au maximum individuellement.

L'EA est composée de cinq militaires de la base aérienne 701 de l'École de l'air. Ces personnes sont donc des militaires qualifiés dans l'exercice de leurs fonctions. Après un démarchage auprès de différentes unités de la base aérienne de l'École de l'air, cinq personnes ont été rassemblées. Elles ne se connaissent pas avant la composition de leur équipe et ne se sont rencontrées que rarement en dehors du présent travail de recherche et durant la durée de vie de l'équipe (rencontres dues au hasard par exemple). Afin de réduire au maximum l'insertion au sein de cette équipe d'une hiérarchie militaire et ainsi correspondre à une équipe composée d'élèves : aucun officier n'a été retenu. En effet, une équipe d'élèves ne possède pas de hiérarchie militaire, les élèves ont un mois d'ancienneté dans l'Armée de l'air au début du protocole et possèdent le même grade. L'équipe absconse doit donc correspondre à cette homogénéité. Le but est donc de réduire les écarts entre l'ES, l'EMS et l'EA, en dehors du partage d'expériences diversifiées et de qualité réalisé dans le cadre

de la formation à l'École de l'air. Les participants sont donc issus des corps des sous-officiers et des militaires du rang. Deux femmes et trois hommes participent à l'EA, un équipier est de la spécialité des fusiliers commando, une est météorologue, une est secrétaire, une est agente d'opération, un est moniteur de sport et un pompier de l'air. Contrairement à une équipe composée d'élèves, celle-ci rassemble des profils plus âgés et avec une ancienneté supérieure dans leur métier respectif.

### 3.4. Synthèse des équipes

Les figures 11, 12 et 13 présentent la diversification des expériences vécues par chaque équipe pendant la durée de leur composition. Chaque fraction des figures correspond à un des types d'expériences susmentionnés en pourcentage du total d'heures d'expériences comptabilisées par équipe :

- (1) Réception de savoirs avec des interactions et avec l'équipe,
- (2) Réception de savoirs sans interaction et avec l'équipe,
- (3) Réception de savoirs sans l'équipe,
- (4) Exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) sans son équipe,
- (5) Exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) seul(e) avec son équipe,
- (6) Exécution d'une mission par une équipe,
- (7) Qualification technique,
- (8) Vie normale avec l'équipe,
- (9) Un évènement social exceptionnel avec l'équipe,
- (10) Un évènement intergénérationnel.

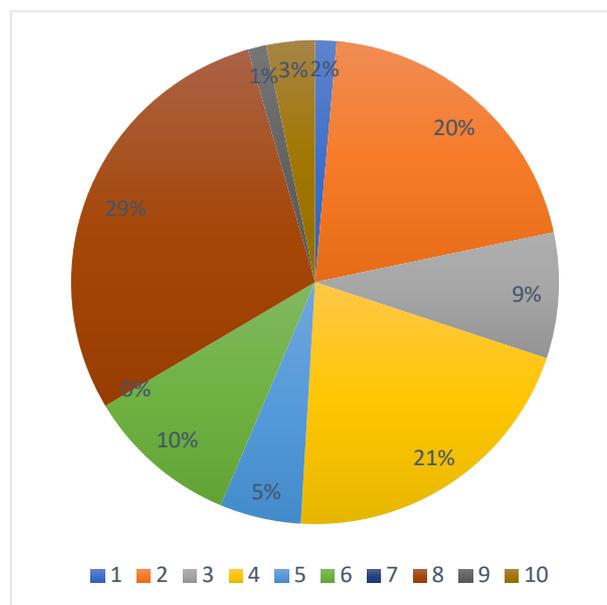


Figure 11. diversification des expériences de l'ES

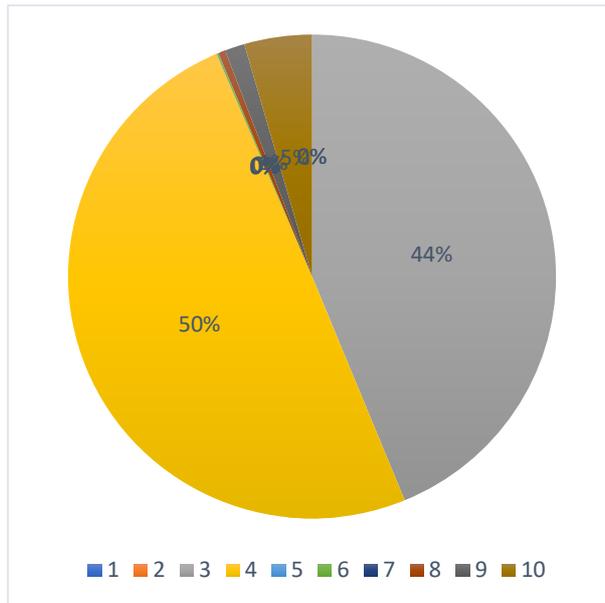


Figure 12. diversification des expériences de l'EMS

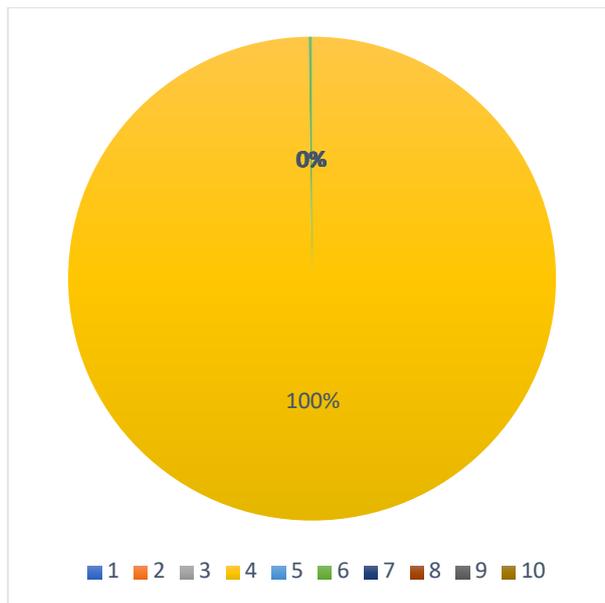


Figure 13. diversification des expériences de l'EA

L'équipe soudée vit donc des évènements plus diversifiés que l'équipe moins soudée et de même pour celle-ci par rapport à l'équipe absconse.

Le tableau 5 synthétise les éléments principaux décrivant les participants aux trois équipes.

Équipe	Âge moyen (en année)	Écart-types des âges	Ancienneté moyenne dans les armées à la création des équipes (en année)	Nombre de femme(s) / hommes
ES	20,60	1,140	0,000	0/5
EMS	21,80	2,588	0,2000	1/4
EA	29,40	7,092	7,800	2/3

Tableau 5. éléments principaux décrivant les participants aux équipes

### 3.5. Caractérisation des préparations à l'inconnu des équipes

Grâce aux coefficients présentés dans le tableau 4, il est possible de caractériser les trois équipes composées par rapport à leur formation respective aux traitements de situations inconnues.

Pour y parvenir, les expériences vécues par l'ES et EMS au cours de leur formation à l'École de l'air et celles de l'EA sont analysées au regard des définitions des catégories (cf. PIIC1p2) puis elles y sont réparties. Il est ainsi possible de mesurer la diversité des expériences vécues et la qualité de la formation reçue par chaque équipe par rapport à la préparation du traitement d'une situation inconnue.

Une opération de comptage supplémentaire est nécessaire pour le calcul du pourcentage de partage  $p_j$  de partage d'expériences et de la pertinence  $P_j$  traduisant la préparation à l'inconnu. En effet, ces deux indicateurs impliquent de connaître les nombres d'heures des formations des trois équipes consacrées à chacune des dix catégories d'expériences. Un comptage pour chaque catégorie est donc exécuté pour les cent vingt-huit activités différentes mises en avant par le règlement des études de l'École de l'air (2017) et les particularités de la formation des équipes.

Les deux calculs nécessitent de plus l'intégration d'une référence dans les calculs, il s'agit du nombre d'heures de la formation de l'ES. Ainsi, les trois pourcentages sont comparables grâce à un dénominateur commun. Par exemple, sur une journée, le nombre total d'heures de la formation de l'équipe soudée compte les heures de cours académiques comme l'équipe moins soudée mais en plus la vie normale le soir (dîner, discuter de sa journée, etc.). Les équipes moins soudée et absconse vivent séparément ces moments banals le soir. À la différence de l'équipe soudée, ils ne sont donc pas comptés, en cohérence avec l'étude du partage d'expériences. En parallèle, il est également possible d'obtenir des pourcentages inférieurs au coefficient minimal (0, 3253 du tableau 4) : le volume d'heures au numérateur est inférieur à celui du dénominateur pour l'EMS et EA.

Les trois pourcentages du partage d'expériences  $p_j$  et de la pertinence  $P_j$  sont regroupés dans le tableau 6 ; la pertinence  $P_j$  caractérise les équipes.

Indicateur	ES	EMS	EA
Pourcentage de partage $p_j$	63,52 %	8,957 %	$9,400.10^{-2}$ %
Pertinence $P_j$	50,14 %	23,49 %	14,84 %

Tableau 6. caractérisation des équipes par rapport à la préparation à l'inconnu

L'équipe soudée suit donc une préparation à réagir à des problèmes inconnus durant une mission spatiale de longue distance pertinente à 50,22%, l'équipe moins soudée à 23,53% et l'équipe absconse à 15,05%. L'équipe soudée est donc respectivement deux et trois fois mieux préparée comparée aux autres équipes.

L'équipe soudée partage donc de nombreuses expériences, néanmoins toutes ne sont pas aussi utiles à la préparation de la réaction face à l'inconnu. Ainsi, le pourcentage de partage  $p_j$  d'expériences est supérieur à la pertinence  $P_j$  de la formation. À l'inverse, bien que peu d'expériences soient partagées par l'équipe moins soudée et encore moins pour l'équipe absconse, les pertinences de leurs vécus sont augmentées. Par exemple, les participants à l'équipe absconse se rencontrent uniquement dans le cadre de ce travail de recherche, soit un nombre limité d'heures et donc un pourcentage de partage  $p_j$  d'expériences très faible. Néanmoins, ce pourcentage est cohérent avec les objectifs de composition de cette équipe. En revanche, chaque équipier a une fonction sur la base aérienne et donc une mission à réaliser sans son équipe, dont la pertinence de cette expérience est valorisée à 0,3253 (cf. tableau 4).

### 3.6. Limites des coefficients de pertinence des expériences diversifiées

Bien qu'indiquant les pertinences des dix catégories d'expériences établies en regard de l'objectif de performance face à une panne inconnue en vol spatial de longue distance, des limites à ces coefficients existent.

Tout d'abord, dans le cadre d'une formation, certaines expériences peuvent être pertinentes en début de formation et d'autres à la fin : « comme toute compétence complexe, il faut la faire acquérir (...) de manière progressive » (Ntirampeba, 2003). Comme noté par un capitaine de l'antenne GIGN d'Orange<sup>29</sup> de façon similaire à Ntirampeba (2003), les coefficients de pertinence du tableau 4 ne mettent pas en avant d'ordre par lequel les dix types d'expériences diversifiées doivent être proposées à une équipe afin de la préparer à réagir à une situation inconnue.

Ensuite, les écarts-types associés aux différents coefficients présentent une dispersion relative des réponses, bien que les écarts-types soient plus faibles pour les trois catégories jugées les plus pertinentes pour l'objectif de traitement de l'inconnu. Il n'y a donc pas de consensus sur la préparation des équipes à réagir à l'inconnu parmi les acteurs de milieux opérationnels ayant participé à l'enquête.

<sup>29</sup> Deux entretiens pour préparer la typologie des expériences diversifiées et de qualité ont été organisés dans le cadre de ce travail de recherche, un avec un capitaine de l'antenne GIGN d'Orange et un avec Franck Maurice et Yann Balmossière, respectivement entraîneur principal et adjoint de l'USAM, club de handball de Nîmes.

Enfin, le tableau 4 présente un coefficient maximal (en l'occurrence : exécution d'une mission par une équipe). Si une formation est composée exclusivement d'activités correspondant à cette catégorie, cette formation ne devient pas pour autant la référence en préparation d'équipes à la réaction face à l'inconnu. En effet, la préparation optimale à l'inconnu peut tout à fait être une composition d'expériences issues de plusieurs catégories. Dans ce cas, une évolution des coefficients de pertinence est donc nécessaire.

## Conclusion

Les tests des hypothèses imposent d'établir une typologie d'expériences, dix catégories d'expériences sont composées. Afin de mesurer la qualité de ces catégories, des coefficients de pertinence par rapport à l'objectif de préparation à réagir à l'inconnu en vol spatial habité vers Mars sont établis par des experts des milieux opérationnels. Trois équipes théoriques sont ensuite définies selon les hypothèses puis sont constituées parmi les élèves et personnels de la base aérienne 701 de l'École de l'air. Finalement, les catégories, les coefficients associés et les expériences vécues par les trois équipes sont intégrés au calcul de la pertinence  $P_j$  caractérisant ainsi les trois équipes théoriques.

## **PARTIE III : MISES À L'ÉPREUVE DES ÉQUIPES AVEC LE PROTOCOLE LETUCA**

## Introduction

L'état de l'art effectué permet d'établir des hypothèses. Ces dernières portent sur :

### Hypothèse 1

Une équipe partageant des expériences diversifiées obtient de meilleures performances opérationnelles face à des situations inconnues qu'une équipe sans un tel entraînement partagé.

Les hypothèses 2, 3, 4 et 5 portent sur l'étude de la métacognition :

### Hypothèse 2

Des développements de connaissances et compétences métacognitives interindividuelles sont attendus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité par rapport à une équipe sans partage.

### Hypothèse 3

Une influence bénéfique est attendue sur la performance opérationnelle en résolution de problèmes inconnus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité.

### Hypothèse 4

Un suivi rigoureux du modèle de métacognition en résolution de problème (*cf.* figure 7) est lié à une augmentation de la performance.

### Hypothèse 5

Un bas niveau de mélange lié avec une performance opérationnelle élevée est attendu durant les résolutions de problèmes inconnus.

Pour accomplir les tests de ces hypothèses, trois équipes sont composées et doivent faire face à des situations inconnues. Ainsi, chaque équipe représente un niveau de vécu d'expériences diversifiées et de qualité différent. L'ES partage un maximum d'expériences diversifiées et de qualité, les équipiers de l'EMS les vivent individuellement et l'EA en vit un minimum. De plus, ces équipes doivent résoudre des problèmes inconnus afin d'acquérir les données de performance et métacognitives nécessaires aux tests des hypothèses. Cette acquisition est l'objet du protocole *LETUCA* pour *Longitudinal Evaluation of Teams via Unknown and Collective Activities*. Au-delà de la simple création d'exercices, le protocole LETUCA est construit dans le cadre des spécificités imposées par les hypothèses.

Après avoir rappelé le contexte d'étude exigé par les hypothèses, la méthodologie d'acquisition des données est ensuite présentée : participants, matériel utilisé, procédure longitudinale et données rassemblées. Finalement, l'acquisition des données impose des traitements mathématiques et de

codage pour répondre aux spécificités des hypothèses malgré des particularités du protocole LETUCA.

## Chapitre 1 : Contexte d'application du protocole LETUCA

### Introduction

L'hypothèse 1 propose qu'une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité obtient de meilleures performances opérationnelles face à des situations inconnues qu'une équipe sans un tel entraînement partagé. En considérant la répartition des expériences diversifiées et de qualité vécues par l'ES, EMS et l'EA, l'hypothèse 1 suggère que l'ES a de meilleures performances que l'EMS et cette dernière que l'EA. L'hypothèse 2, 3, 4 et 5 sont centrées sur l'étude de la métacognition lors de résolutions de problèmes. *In fine*, il est nécessaire d'établir une mesure de la performance et une méthode d'acquisition de la métacognition correspondant aux hypothèses 2, 3, 4 et 5. Cette mesure et ces méthodes sont ensuite utilisées pour étudier les résultats du protocole LETUCA soumis aux équipes. C'est un protocole de vingt mois consistant à présenter à intervalle de cinquante jours en moyenne un ou plusieurs problèmes considérés ou non comme inconnus aux équipes, entre septembre 2016 et avril 2018. Les résultats et les échanges de chaque équipe sont finalement étudiés au regard des hypothèses.

Le rappel du contexte d'application du protocole LETUCA est effectué tout d'abord par la description des expériences diversifiées et de qualité établies précédemment. Ensuite, les données de performance sont traitées selon les particularités du protocole et des hypothèses. Enfin, ces dernières analysant la place de la métacognition lors de résolutions de problèmes, la métacognition doit également être extraite des travaux des équipes lors du protocole LETUCA.

#### 1. Expériences diversifiées et de qualité

Les équipes soudée, moins soudée et absconse sont composées en fonction de leur vécu d'expériences diversifiées et de qualité. Les équipiers de l'ES partagent un maximum d'expériences diversifiées et de qualité, ceux de l'EMS vivent les mêmes expériences diversifiées et de qualité mais individuellement. Les équipiers de l'EA vivent un minimum d'expériences diversifiées et de qualité et constituent donc l'équipe contrôle du protocole LETUCA. Pour déterminer les expériences diversifiées et de qualité et ainsi parvenir à cette répartition des équipes soudée, moins soudée et absconse, dix catégories sont définies (*cf.* PIIC1p2) :

##### (1) Réception de savoirs avec des interactions et avec l'équipe

Une réception de savoirs correspond à une activité où les équipiers n'ont pas de tâche à effectuer activement hormis recevoir des savoirs. Cette catégorie est caractérisée par une équipe partageant cet événement et par l'existence d'interactions entre les équipiers présents. Un cours de leadership avec des échanges questions/réponses entre les stagiaires et le formateur est un exemple.

##### (2) Réception de savoirs sans interaction et avec l'équipe

Les périodes de réception de savoirs sans interaction et avec l'équipe permettent aux équipiers de recevoir des savoirs ensemble mais sans opportunité de communiquer spontanément. Une conférence où une équipe n'a pas la possibilité d'échanger est un exemple.

### (3) Réception de savoirs sans l'équipe

Les périodes de réception de savoirs sans l'équipe permettent à un équipier de recevoir des savoirs sans son équipe (quel que soit le niveau d'interactions avec les personnes extérieures présentes). Un cours d'anglais sans son équipe est un exemple.

### (4) Exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) sans son équipe

Dès qu'une tâche doit être réalisée par un(e) équipier(ère) sans opportunité pour l'équipe de l'observer durant l'exécution de la tâche, cette activité est incluse dans cette catégorie. La tâche peut être différente en nature et être collective ou non (un(e) équipier(ère) peut être inséré(e) à une autre équipe) mais un ou plusieurs objectifs doivent être réalisés grâce à un travail actif. Un exemple d'exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) sans son équipe est un examen de rattrapage : un problème de mathématique doit alors être résolu par un(e) équipier(ère) sans son équipe.

### (5) Exécution d'une mission par un(e) équipier(ère) seul(e) avec son équipe

Un(e) équipier(ère) peut aussi exécuter seul(e) une mission tout en étant entouré(e) par son équipe. Cette dernière peut l'observer alors que l'équipier(ère) travaille à la réalisation de la tâche et ainsi davantage le(la) connaître (réaction face à la difficulté, persévérance, débrouillardise, etc.). Un exemple est un entraînement aux cent mètres : la tâche est individuelle mais la préparation peut être suivie par plusieurs personnes. Chaque participant peut apprendre au sujet des autres.

### (6) Exécution d'une mission par une équipe

Durant l'exécution d'une mission par une équipe, le résultat final provient du travail d'équipe où tous les équipiers peuvent avoir une influence sur les actions entreprises. Gagner un match de basketball est un exemple.

### (7) Qualification technique

Cet entraînement permet à une équipe de maîtriser le cœur technique d'un métier et d'assurer sa sécurité. La qualification technique est déjà employée dans de très nombreux types d'entraînements pour les équipes opérationnelles civiles et militaires. La formation initiale des pilotes de lignes appartient à la qualification technique.

### (8) Vie normale avec l'équipe

Cette catégorie regroupe tous les éléments de la vie normale en internat. Le partage du dîner quotidien est un exemple.

### (9) Un évènement social exceptionnel avec l'équipe

Un évènement social exceptionnel dépasse la vie normale : il n'appartient pas à la routine quotidienne et donc à la vie normale avec l'équipe. Une soirée partagée avec l'équipe en boîte de nuit est un exemple.

### (10) Un évènement intergénérationnel

L'évènement intergénérationnel est lié aux traditions de l'environnement de l'équipe. Le but est de créer un dénominateur commun entre tous les acteurs et de rassembler les participants au sein d'un groupement au sens d'Anzieu et Martin (nombre de participants et fréquence des réunions variables,

intérêt commun et partiellement conscient, etc. à l'exemple de la plupart des associations, 1968). Une cérémonie de remise de diplôme universitaire est un exemple. Cette catégorie est incluse dans celle relative à un évènement social exceptionnel avec l'équipe. Ainsi, les activités décrites comme évènement intergénérationnel devront respecter le classement en deux temps précisés plus haut.

Finalement, l'emploi de ces dix catégories, des coefficients de qualité déterminés et de la formule de Pertinence  $P_j$  permettent de caractériser les équipes en fonction des expériences diversifiées et de qualité partagées et/ou vécues par les équipiers.

## 2. Acquisition des données de performance

### 2.1. La performance mesurée avec une quantité de points ou un temps

Pour tester l'hypothèse 1, le protocole LETUCA doit permettre la mesure de la performance opérationnelle, *i.e.* mesurant le degré de réalisation d'une tâche assignée (*cf.* PIC3p2). Ce degré dépend donc de la tâche et peut être de différentes natures. « Les mesures de performance opérationnelle incluent (...), une réalisation de tâche et des paramètres de temps » (notre traduction, Noe et *al.*, 2011). Ainsi, la durée de réalisation d'un exercice (Noe et *al.*, 2011 ; Nishisaki et *al.*, 2007), une quantité de points acquis ou une association des deux sont les trois méthodes retenues dans le protocole LETUCA pour évaluer la performance opérationnelle des équipes. Si les mesures temporelles sont utilisées, elles sont fondées sur des références identiques quel que soit l'équipe. Dans un contexte médical, Strasser et *al.* (2008) ont mesuré une durée de présence en service et l'orientation à la sortie des patients (domicile ou autre), se rapprochant d'un nombre de points. Dans le domaine des manufactures industrielles d'automobiles, d'objets électroniques, de la nourriture et de l'habillement en Thaïlande, Rahman et *al.* (2010) utilisent quatre critères pour mesurer la « performance opérationnelle<sup>30</sup> » (Rahman et *al.*, 2010) dont la rapidité de livraison et le coût unitaire correspondant respectivement à un temps et un nombre de points. Deux exemples de mesure sont :

- Résoudre un problème le plus rapidement possible. Le temps nécessaire à la résolution représente donc la performance. Dans un cadre opérationnel, si un équipage d'avion de ligne décolle alors qu'un feu débute dans un réacteur, l'objectif sera de se reposer le plus rapidement possible de manière à empêcher la propagation du feu et la perte de l'avion. La performance opérationnelle sera donc mesurée par le temps nécessaire pour effectuer l'atterrissage.
- Accumuler le plus grand nombre de points en un temps limité. Le nombre d'exercices résolus parmi une grande quantité donne le nombre de points gagnés ; ce nombre représente donc la performance. Dans un cadre opérationnel, si une opération aérienne est déclenchée avec une liste d'objectifs à traiter. Plus le nombre d'objectifs exécutés selon les règles d'engagement sera élevé, meilleure sera la performance opérationnelle.

---

<sup>30</sup> Rahman et *al.* (2010) ne définissent pas la performance opérationnelle dans le travail cité au-delà des éléments donnés.

Certains exercices avec une performance fondée sur une mesure de points impliquent l'établissement d'une référence des résultats. Cette référence est établie via le résultat d'un expert à la manière de la grille de performance de Hall et Watson (1970) pour l'exercice « Survie lunaire » intégré au protocole LETUCA ou d'un standard d'experts de Cannon-Bowers et Bowers (2010). Quand les résultats relèvent d'un jugement soumis à des critères *ad hoc* à un exercice, une référence des résultats a été établie via l'analyse du scénario.

Lors d'une mission réelle, si une panne inconnue survient, le travail portera sur la réduction des conséquences de la panne ou du rétablissement du système impacté. Ainsi, l'équipage associé connaîtra la tâche à effectuer, la mesure de la réalisation de cette tâche et donc la mesure de la performance opérationnelle associée. Or, une mesure de la performance opérationnelle est développée pour chaque exercice du protocole LETUCA. En effet, les scénarios étant différents, la mesure doit être adaptée à chacun. Ces méthodes de mesure *ad hoc* sont développées ci-dessous dans le chapitre correspondant à chaque exercice. Finalement, pour que les participants se retrouvent dans une situation similaire à une opération réelle soumise à une panne inconnue, la mesure générale de la performance est donnée aux équipes, sans détail pouvant impacter le caractère inconnu du problème. Par exemple : la performance est mesurée sur le temps nécessaire.

## 2.2. La « relativité générale »

Les résultats obtenus par les équipes reflètent directement leur performance opérationnelle respective pour une même expérience, autrement dit le degré de réalisation d'une tâche assignée. La performance opérationnelle est obtenue à partir de différentes méthodes (calculs, natures des performances, diversité des exercices du protocole LETUCA et gamme de valeurs des performances réalisables) et sa dimension est donc celle de l'unité de mesure. Or, cette unité peut être de nature différente selon la tâche, *i.e.* un temps ou un nombre de points. Ainsi, les résultats peuvent être comparés entre les équipes pour une même expérience mais pas entre les expériences. Néanmoins, le test de l'hypothèse 1 nécessite un suivi longitudinal des performances au-delà de la comparaison par expérience. Un traitement est donc nécessaire, c'est l'objet de la relativité des résultats entre eux. Cette dernière permet de mesurer les différences de rapport de performance des équipes entre elles tout au long du protocole LETUCA. Les rapports de performance fournissent un nombre sans dimension par équipe et par expérience et donc trois courbes d'évolution des performances au cours des expériences. La « relativité générale » des résultats permet ainsi le test de l'hypothèse 1

## 3. Acquisition des données de métacognition

Les tests des hypothèses 2, 3, 4 et 5 imposent d'identifier chaque item concerné pour pouvoir étudier les liens potentiels entre performance et expériences diversifiées et de qualité et métacognition. Ainsi, les connaissances et compétences métacognitives et un modèle de métacognition en résolution de problèmes doivent être définis et appliqués aux résultats du protocole LETUCA. D'où la création d'une grille de codage regroupant les métaconnaissances et métacompétences et les étapes du modèle métacognitif en résolution de problème (*cf.* figure 7). Cette grille de codage comprend quatre items liés aux hypothèses 2 et 3 :

- 3.1.1. Métaconnaissances interindividuelles (NI)
- 3.1.2. Métaconnaissances générales (NN)
- 3.1.3. Métacompétences interindividuelles (MI)
- 3.1.4. Métacompétences générales (MM)

La grille de codage rassemble également les huit étapes du modèle métacognitif en résolution de problème :

- 3.2.1. Détection du problème (DT)
- 3.2.2. Définition et identification du problème (DE)
- 3.2.3. Représentation mentale (RE)
- 3.2.4. Planification (PL)
- 3.2.5. Choix entre plusieurs planifications possibles (PO)
- 3.2.6. Monitoring (MO)
- 3.2.7. Évaluation (EV)
- 3.2.8. Contrôle (CT)

### 3.1. Métaconnaissances et métacompétences étudiées

#### 3.1.1. Métaconnaissances interindividuelles

Les métaconnaissances interindividuelles peuvent porter sur les connaissances d'un ou plusieurs autres équipiers et être acquises :

- Soit avant la résolution d'un problème
- Soit dans le cadre de cette résolution.

Dans le cadre de l'étude des expériences diversifiées et de qualité vécues par une équipe afin de préparer cette dernière à résoudre un problème inconnu, les métaconnaissances interindividuelles acquises *in situ* cette même résolution sont hors du sujet. Il est donc nécessaire de les filtrer. Par conséquent, toutes les métaconnaissances interindividuelles acquises à partir du début d'une résolution de problème ne sont pas prises en compte.

Les métaconnaissances interindividuelles sont finalement définies ainsi : la conscience de ce que l'on sait au sujet d'un (ou plusieurs) autre(s) équipier(s) et obtenue avant le début du problème à résoudre (*cf.* PIC5p1).

#### 3.1.2. Métaconnaissances générales

Des métaconnaissances générales sont aussi possibles au-delà des métaconnaissances interindividuelles : elles comprennent donc toutes les métaconnaissances en excluant les métaconnaissances interindividuelles.

Prendre en compte ces autres métaconnaissances vis-à-vis des métaconnaissances interindividuelles permet de mettre en valeur une métacognition plus accessible à une équipe composée d'équipiers ne partageant pas des expériences diversifiées et de qualité. En effet, des métaconnaissances d'ordre individuel, général, relatives à des tâches peuvent alors être intégrées à cette seconde catégorie de

métaconnaissances. Qu'une équipe partage ou non de nombreuses expériences, l'emploi de métaconnaissances générales peut être aussi fréquent et utile en regard de la performance en résolution de problèmes inconnus. La définition et la prise en compte de cette catégorie permet de distinguer les métaconnaissances interindividuelles des générales dans le cadre de résolutions de problèmes. De plus, en soulignant les métaconnaissances générales, il est possible de mieux cerner l'importance potentiellement des métaconnaissances interindividuelles dans l'ensemble des métaconnaissances. Dans la même dynamique d'étude de l'intérêt des expériences partagées par une même équipe, une analyse identique aux métaconnaissances interindividuelles est effectuée pour les métaconnaissances générales. Ainsi, seules les métaconnaissances générales créées avant le début de l'expérience sont prises en compte.

Les métaconnaissances générales sont définies par : la conscience de ce que l'on sait, hors cas des métaconnaissances interindividuelles et obtenues avant le début du problème à résoudre.

### 3.1.3. Métacompétences interindividuelles

Les métacompétences interindividuelles sont définies par : la conscience de ce que l'on peut faire au sujet d'un (ou plusieurs) autre(s) équipier(s) que le locuteur et obtenue avant le début du problème à résoudre (*cf.* PIC5p2).

### 3.1.4. Métacompétences générales

La définition de Biryukov (2004) permet aussi d'élargir les métacompétences à d'autres applications possibles. En rapport avec l'étude des métaconnaissances, le corollaire des métacompétences interindividuelles est donc celles portées sur d'autres sujets ou objets que le ou les autres équipiers.

De façon similaire aux métaconnaissances générales, les métacompétences générales sont accessibles à une équipe composée d'individus davantage isolés. Tout comme les précédentes métaconnaissances et métacompétences, les métacompétences générales étudiées sont réduites à celles créées avant la résolution d'un problème.

Les métacompétences générales sont définies ainsi : la conscience de ce que l'on peut faire, hors cas des métacompétences interindividuelles et obtenue avant le début du problème à résoudre.

## 3.2. Modèle de métacognition en résolution de problème

Les étapes du modèle métacognitif en résolution de problème (modèle rappelé ci-dessous, *cf.* figure 7) doivent être définies pour permettre le test des hypothèses 4 et 5.

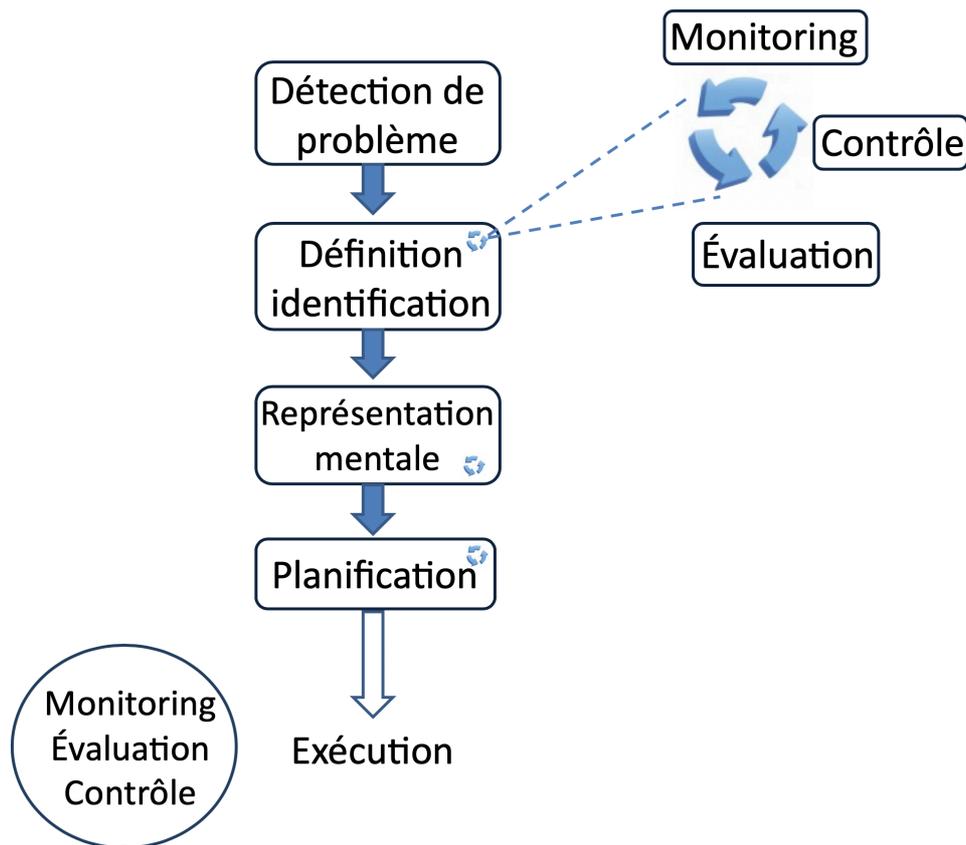


Figure 7. modèle de métacognition en résolution de problème inconnu

### 3.2.1. La détection du problème

Face à une panne inconnue dans l'environnement opérationnel, volatil, contraint et extrême d'un vol spatial habité, le système peut ne pas être capable de signaler à l'équipage l'existence d'une situation inconnue. Les équipages sur les avions Hercules C130-H de l'Armée de l'air doivent ainsi détecter et analyser eux-mêmes les informations du cockpit pour déterminer l'existence d'une panne et déduire la check-list à exécuter. Bien que le travail en équipage à bord de cet aéronef soit inscrit dans une génération non représentative des futurs véhicules spatiaux<sup>31</sup>, cette logique de traitement existe dans le cadre de missions opérationnelles et peut être nécessaire face à une panne inconnue. De même, à bord d'avion de la gamme Airbus, des vérifications des systèmes de bord sont à exécuter « périodiquement » (Airbus, 2017a) en croisière afin de s'assurer du bon fonctionnement des équipements malgré la capacité de l'avion à informer l'équipage des pannes. Un effort de détection des problèmes est ainsi standardisé. Ce peut donc être à l'équipage de détecter une panne inconnue à travers des signaux faibles (Caron-Fasan, 2001), des sons anormaux, des données incohérentes avec une phase de progression, etc.

Le codage associé à la détection d'un problème est fondé sur la définition proposée par Geiwitz (1994) dans le modèle de résolution de problème adopté (cf. PIC6p2) : « Reconnaître l'existence d'un problème ».

<sup>31</sup> L'entrée en service des C130-H de l'Armée de l'air a eu lieu en 1987 (Belan, 2015) et le premier vol en 1954 (Lockheed Martin).

### 3.2.2. Définition et identification du problème

Özsoy et Ataman (2009) et Davidson et *al.* (1994) ont travaillé quant à la caractérisation de la définition et l'identification d'un problème (DE). Celle choisie dans le présent codage est inspirée de leurs travaux : les éléments et buts du problème sont identifiés et définis.

La définition et l'identification des seuls éléments issus de la situation se déroulent alors. Le cadre d'étude de ce travail de recherche (les problèmes inconnus en vol spatial habité) implique de considérer la totalité du spectre des éléments causés par le problème. Par exemple, après l'explosion à bord d'Apollo 13, les informations à prendre en compte par l'équipage ne se résument pas à celles fournies par le tableau de bord. En effet, l'existence d'un nuage de gaz de couleur blanche n'y était pas mentionnée mais fait tout de même partie du problème. Sa détection appartient donc à la définition et identification du problème. Pour le protocole LETUCA, les éléments retenus dans cette catégorie métacognitive peuvent ne pas être réduits aux énoncés des exercices. Tous les éléments de l'environnement peuvent être pris en compte dans cette catégorie, comme les données écrites, les données environnementales, les documents en support, le fonctionnement d'une interface, l'organisation du poste de travail, etc.

La définition et l'identification d'un problème mettent donc en valeur l'exploitation des éléments bruts d'un problème, aucun élément personnel n'est mis à profit dans cette catégorie. Cette étape sert donc à initier la résolution du problème par une lecture et une prise en compte des éléments accessibles immédiatement.

### 3.2.3. Représentation mentale

Geiwitz (1994) définit la représentation mentale (RE) :

*Dès que les experts en résolution de problème ont reconnu le problème, ils définissent le problème d'une manière qui rend le problème soluble (Sternberg, 1988). Ils représentent le problème mentalement (...) dans une forme qui est proche de l'optimal pour la solution du problème. C'est une compétence extrêmement précieuse, peut-être la compétence métacognitive la plus précieuse. (notre traduction, p.22)*

Il ne s'agit donc plus dans cette étape de la résolution de problèmes de simplement définir et d'identifier le problème. Cette étape a pour but d'apporter des éléments personnels permettant la quasi résolution du problème : effectuer une analyse, une construction en mettant à profit des connaissances et des expériences par exemple.

Concernant le nuage gazeux de couleur blanche éjecté du vaisseau d'Apollo 13, le fait de mentionner l'existence du nuage par les spationautes est codé DE, en revanche, le reconnaître comme une perte d'oxygène appartient à la catégorie de la RE. C'est bien des éléments personnels (en l'occurrence des connaissances) des spationautes qui permettent cette conclusion. Un raisonnement du type : « un gaz de couleur blanche s'échappe, or le seul gaz blanc à bord est l'oxygène, donc de l'oxygène fuite » (raisonnement imaginé) peut être à l'origine de ce codage RE.

La définition utilisée dans le tableau récapitulatif du codage est : les éléments personnels au minimum sont mis à profit pour établir une analyse proche de l'optimal pour la solution du problème.

#### 3.2.4. Planification

Davidson et *al.* (1994) ont défini simplement la planification (PL) : « après qu'un problème a été identifié et mentalement représenté, l'opérateur doit décider quelles étapes et ressources utiliser dans la résolution du problème » (notre traduction). Cette définition est retenue pour la grille de codage. Il s'agit donc de créer un plan d'actions afin de résoudre le problème ou encore de diviser le problème en sous-butts pouvant être résolus séparément et en séquence (Biryukov, 2004). Une fois déterminé, les équipiers pourront simplement suivre le plan d'actions *ad hoc* pour résoudre le problème via un simple processus cognitif.

#### 3.2.5. Choix entre plusieurs planifications possibles

Parmi la littérature étudiée, seulement quelques modèles proposent ostensiblement la mise en place de plusieurs planifications ou solutions : Fiore et *al.* (2010a et 2010b), Rasmussen (1983), Letsky, Warner, Fiore, Rosen et Salas (2007) et Flin et *al.* (2003). De plus, dans un cadre collectif, Fiore et *al.* (2010a) mettent en avant l'intérêt pour la performance de « discussions sur les conséquences négatives d'une solution proposée » (notre traduction). Une telle dynamique de remise en cause peut permettre de critiquer une planification et donc en occasionner d'autres. De manière à mettre en valeur la présence ou non de plusieurs planifications lors des résolutions de problèmes du protocole LETUCA, une catégorie *ad hoc* doit être créée. Lorsque les équipes proposent deux solutions ou plus pour un même besoin de planification, ce codage est appliqué<sup>32</sup>.

Le choix entre plusieurs planifications possibles est défini par : les équipes proposent une planification différente de la première pour exécuter une même tâche.

#### 3.2.6. Monitoring

Nelson et Narens (1989) caractérisent le monitoring : « la notion basique définissant le monitoring (...) est que le méta niveau est informé par le niveau objet. Cela change l'état du modèle de la situation du métaniveau, incluant l'absence de changement de l'état » (notre traduction). Il s'agit ainsi de remontées brutes d'informations au sujet du niveau objet à destination du métaniveau, par exemple, regarder le temps écoulé depuis le début de l'expérience.

La définition utilisée est : le méta niveau est informé par le niveau objet d'informations.

---

<sup>32</sup> Dans le cadre de l'étude de la netteté, les deux codages pour des planifications unique ou multiples sont réunis en un seul codage, PL. En effet, même en raisonnant sur plusieurs options possibles, les équipes auront tout de même une démarche métacognitive de planification et la netteté n'a pas pour but de positionner le travail des équipes par rapport à une unique ou plusieurs planifications.

### 3.2.7.Évaluation

La définition retenue du codage reprend celle issue du modèle de métacognition en résolution de problème (cf. PIC6p2) : les informations issues d'un monitoring, implicites ou non, sont analysées et/ou évaluées. Par exemple, l'équipier ayant lu le temps écoulé peut juger alors l'existence d'un retard du travail de l'équipe.

La présence d'un monitoring pour fournir une information à évaluer peut être implicite ou explicite.

### 3.2.8.Contrôle

Comme présenté dans le chapitre précédent, Nelson et Narens (1989) caractérisent le contrôle :

*La notion basique définissant le contrôle (...) est que le métaniveau modifie le niveau objet. En particulier, le flux d'informations du métaniveau vers le niveau objet soit change l'état du process du niveau objet soit change le process du niveau objet lui-même. (notre traduction, 1989, p.4)*

Les conséquences possibles « peuvent être (1) d'initier une action, (2) de continuer une action (...), ou (3) de terminer une action » (notre traduction, Nelson et Narens, 1989). Les réactions face à l'anomalie sont donc incluses dans cette étape à l'issue d'un monitoring et d'une évaluation explicites ou non.

La définition utilisée dans le tableau récapitulatif du codage est : le métaniveau modifie le niveau-objet grâce aux informations issues du monitoring et/ou traitées par l'évaluation, implicites ou non.

## Chapitre 2 : Méthodologie

Les tests des hypothèses nécessitent l'application d'une méthodologie proposant longitudinalement des problèmes inconnus à des équipes stables.

### 1. Participants

#### 1.1. Composition des équipes au début du protocole LETUCA

Comme étudié dans la Partie II, trois équipes de cinq personnes sont composées pour participer au protocole LETUCA et permettre l'acquisition de données de performance et métacognitives afin de tester les hypothèses. Ces équipes répondent à trois niveaux de partage et/ou de vécu d'expériences diversifiées et de qualité :

- L'équipe soudée rassemble des équipiers partageant un nombre maximisé d'expériences diversifiées et de qualité.
- L'équipe moins soudée est composée d'équipiers partageant un minimum d'expériences diversifiées et de qualité mais tout de même vécues individuellement par les équipiers.
- L'équipe absconse réunie des personnes ne se connaissant pas avant et ne se rencontrant pas pendant les tests des hypothèses (hormis pour les besoins des tests). Cette équipe vit donc un nombre d'expériences diversifiées et de qualité réduit au minimum.

Quatre équipiers participent à chaque expérience (cf. P2C4p3.1) et une personne supplémentaire a été ajoutée. Cet ajout impose ainsi un roulement d'une personne par résolution de problème. Le but est de prévenir les difficultés de planning liées à la réunion des équipes voire de conserver l'équipe en cas de la sortie d'un équipier au cours du protocole.

Le tableau 5 (rappel du PIIC4p3.3) synthétise les éléments principaux décrivant les participants aux trois équipes.

Équipe	Âge moyen (en année)	Écart-types des âges	Ancienneté moyenne dans les armées à la création des équipes (en année)	Nombre de femme(s) / hommes
ES	20,60	1,140	0,000	0/5
EMS	21,80	2,588	0,2000	1/4
EA	29,40	7,092	7,800	2/3

Tableau 5. éléments principaux décrivant les participants aux équipes

Les trois indices  $P_j$  traduisant la pertinence des expériences vécues par les équipes dans le but de préparer les équipes à réagir à une situation inconnue et caractérisant donc les équipes sont regroupés dans le tableau 7.

Indicateur	ES	EMS	EA
Pertinence $P_j$	50,14 %	23,49 %	14,84 %

Tableau 7. caractérisation des équipes par rapport à la préparation à l'inconnu, extrait du tableau 6

## 1.2. Adaptation des équipes à mi-vie du protocole

La composition des équipes a été modifiée à la moitié du protocole LETUCA du fait de deux difficultés rencontrées. La première concerne un des élèves participant à l'équipe soudée, il a été orienté vers une seconde première année. Cet élève ne vivait alors plus les mêmes expériences que ses équipiers du fait de son orientation et sa présence ne permettait donc plus le respect des tests des hypothèses. Il a donc dû quitter le protocole LETUCA.

La deuxième difficulté concerne l'équipe abscisse. En effet, les plannings de ces participants ne permettaient plus l'organisation des expériences à intervalle de quarante-cinq jours. Notamment, l'écart entre les équipes pour l'organisation de l'expérience Système électrique a atteint cinquante-six jours. Le maintien de telles dispersions n'aurait pas permis le respect des tests des hypothèses.

La solution apportée pour réduire ces biais subis a été d'insérer une nouvelle personne à chaque équipe. Ces trois nouveaux équipiers ont été sélectionnés en respectant les caractéristiques de chaque équipe :

- L'équipière intégrée à l'équipe soudée a partagé les mêmes expériences que les équipiers historiques. Elle appartient à la même brigade depuis le début,
- L'équipier intégré à l'équipe moins soudée a un cursus académique différent tout comme le reste de l'équipe : il suit le Cours Spécial de l'École de l'air,
- L'équipière intégrée à l'équipe abscisse ne connaissait personne avant son insertion dans le protocole LETUCA.

L'équipe soudée comporte alors cinq personnes contre six pour les deux autres équipes. Néanmoins, cet écart numérique est en partie compensé par l'expérience acquise face aux expériences de la seconde partie du protocole LETUCA. Parmi les six participants d'une équipe, seulement quatre participent à chaque expérience. D'un côté, il y a donc deux remplacements souhaités par expérience (donc moins de vécu par équipier) ; d'un autre, cinq sur six auront vécu toute la première année du protocole. À l'inverse, étant toujours à cinq personnes, l'équipe soudée aura un roulement numériquement moins important. Le remplacement d'une seule personne par expérience est appliqué, contrairement à deux pour les autres équipes. D'un autre côté, les équipiers soudés ont ainsi une participation plus régulière aux expériences. D'un autre, seulement quatre personnes sur cinq ont vécu toute la première année, l'expérience moyenne de l'équipe soudée par rapport au protocole LETUCA est donc inférieure aux deux autres.

Finalement, dans deux équipes, davantage de personnes ont tout vécu mais elles participeront moins aux expériences de la seconde année. Dans l'équipe soudée, moins de personnes ont vécu l'ensemble du protocole mais elles participent plus régulièrement à la seconde période par rapport aux équipes moins soudée et abscisse. Le tableau 8 synthétise les éléments principaux décrivant les participants aux trois équipes après la recomposition.

Équipe	Age moyen	Écart-types des âges	Ancienneté moyenne dans les armées à la création des équipes	Nombre de femme(s)/hommes
ES	20,00	1,000	0,000	1/4
EMS	21,83	2,317	0,1667	1/5
EA	28,33	6,861	7,000	3/3

Tableau 8. caractéristiques des équipes après la recombinaison

## 2. Matériel : le protocole LETUCA

Le protocole LETUCA est construit à partir du cadre imposé par les hypothèses. En effet, une suite longitudinale d'exercices réalisables et suscitant l'inconnu dans un environnement identique doivent être proposés aux équipes.

### 2.1. Généralités

Le protocole LETUCA est composé de douze exercices et répartis durant vingt mois. Le commencement du protocole correspond à la première rencontre des membres de l'équipe soudée, justifiant donc dès le début l'étude du partage entre ces équipiers et se termine à l'issue de la douzième expérience. Les tests des hypothèses justifient cette durée. En effet, le but est de prendre en compte le partage d'expériences diversifiées et de qualité. Dans ce cadre, l'approche choisie a donc été le suivi dans la durée d'équipes identiques partageant ou non des expériences ensemble. Des évolutions de la métacognition et des performances des participants peuvent alors être soulignées et donc mettre à l'épreuve les hypothèses. En outre, la littérature étudiée ne présente pas de travaux en sciences cognitives entrepris avec des équipes stables sur une durée aussi longue. Ce travail de recherche permet donc en plus d'aborder cet angle.

Le protocole a été positionné durant les vingt premiers mois de la formation à l'École de l'air des élèves participants. Cette période est la plus riche en termes d'expériences vécues par les élèves de l'École de l'air ; notamment, le régime de vie en internat s'arrête à l'issue des deux premières années de scolarité.

Les douze expériences étaient organisées à intervalles de cinquante jours environ, hors vacances scolaires. La durée des expériences était de trente minutes au maximum. Ce temps de traitement était cohérent avec d'autres recherches concernant le travail de participants à des expériences :

- Baker, Gustafson, Beaubien, Salas et Barach (2005) travaillent avec des scénarios de quarante-cinq minutes dans le cadre d'une étude soumettant des équipes en bloc opératoire à des scénarios de gestion des ressources en situation anesthésique de crise,
- Cooke, Gorman, Duran et Taylor (2007) et Gorman et al. (2010) étudient le travail d'équipes durant quarante minutes à une mission de reconnaissance fictive (prises de photographies) en simulateur de drone,

- Gurtner et *al.* (2007) étudient la réflexivité d'équipes par la simulation de « tâches collectives de surveillance aérienne militaire » (notre traduction) durant des sessions de quinze minutes,
- Prichard, Stratford et Bizo (2006) demandent à des équipes de concevoir une liste de vingt-huit questions au sujet de la schizophrénie durant cinquante minutes. Ce questionnaire sert ensuite au calcul d'une performance.

Le temps de participation demandé aux participants ne pouvait pas non plus être trop long de manière à ne pas impacter excessivement leurs plannings respectifs. Les élèves prenaient part au protocole LETUCA le soir en plus de leur rythme académique et les personnes de l'équipe absconse en parallèle de leur métier. Un plafond pragmatique de la durée des expériences existe donc.

Le but des exercices est de tester les hypothèses et donc de mettre en situation les équipes et leur permettre de réfléchir au sujet d'un problème si possible connecté à un contexte de vols spatiaux habités. Ainsi, chaque scénario du protocole LETUCA implique une répartition de fonctions parmi les membres de l'équipe. Ces fonctions sont la plupart du temps un commandant de bord, un commandant en second et deux spationautes. Une distribution de ces fonctions est imposée aux équipiers à chaque expérience. Ces désignations permettent :

- D'organiser un taux de rotation maximal en accord avec les contraintes des participants. Il est ainsi possible d'équilibrer le nombre de présences de chaque participant à une fonction précise, limitant ainsi l'accoutumance à chaque fonction. Les équipiers doivent ainsi davantage s'adapter que s'ils sont attribués à une fonction précise tout au long du protocole LETUCA, cette adaptation se rapproche d'une situation inconnue où les équipes doivent s'adapter.
- De limiter la projection mentale des équipiers dans une résolution d'exercice à partir de l'assignation anticipée d'une fonction. Les équipiers doivent donc s'adapter à leur rôle dans l'équipe quelques secondes avant le début d'un exercice, cette imposition des fonctions de chaque équipier sans préavis contribue donc à l'effet de surprise.

Il n'a pas été possible de créer un véritable scénario de vol habité avec des faits techniques réalistes. « Après tout, un entraînement efficace n'est clairement pas synonyme de simulation de mission complète » (notre traduction, Beaubien et Baker, 2004). Beaubien et Baker (2004) discutent certes d'entraînements à la différence du protocole LETUCA qui propose des tests aux équipes, néanmoins, LETUCA place les équipes dans un contexte similaire (rassemblement des équipes pour effectuer une tâche non réelle, implication limitée de la performance pour les participants, etc.). De plus, les participants n'ont pas les connaissances et les compétences de traiter un véritable scénario de vol habité, ce qui conduit à élaborer des problèmes simplifiés. L'exercice « Survie lunaire » (notre traduction, Hall et Watson, 1970) est un exercice largement répandu et représentatif de cette dynamique. Le scénario peut être compris du plus grand nombre de participants, permet une réflexion collective et une mesure de performance. De plus, Weaver et *al.* (2010) argumentent que les formations médicales physiquement peu fidèles « peuvent être élevées en fidélité cognitive ; (...) elles stimulent les stagiaires à s'engager dans les mêmes processus cognitifs nécessaires au transfert et à la généralisation de nouvelles compétences dans leur environnement de travail quotidien » (notre traduction). Cannon-Bowers et Bowers (2010) formulent différemment mais supportent cette position : une simulation peut porter sur la structure de la tâche d'un problème et les processus cognitifs impliqués et non sur les aspects physiques d'une simulation. Cette basse fidélité est

notamment mise en avant « durant les premières phases de l'acquisition des compétences de travail en équipe » (notre traduction, Beaubien et Baker, 2004), cette phase d'acquisition correspond donc aussi aux équipes concernées par le vol spatial habité. Sundar et *al.* (2007) reprennent les propositions de Beaubien et Baker (2004) et proposent les types d'exercices possibles avec des études de cas et des jeux de rôles. Or, compte tenu de l'absence de connaissance et compétence des équipes constituées dans le cadre du protocole LETUCA en matière de vol spatial habité, si elles sont intégrées à un programme de formation aux vols habités, elles le seraient aux stades initiaux de cette nouvelle formation, en cohérence avec Beaubien et Baker (2004). Finalement, un protocole à basse fidélité suffit aux tests des hypothèses.

## 2.2. Trois types d'origines des exercices

Les exercices composant le protocole LETUCA doivent satisfaire aux caractéristiques minimales citées ci-dessus : existence d'un problème à résoudre, durée inférieure à trente minutes, scénario abordable compte tenu de la culture spatiale des participants et mesure de la performance opérationnelle. Ces douze exercices proviennent de trois sources différentes :

- Quatre ont été créés pour le protocole LETUCA,
- Sept ont été adaptés de sources diverses pour répondre aux particularités du protocole LETUCA,
- Un est extrait de la littérature sans modification.

Les exercices du protocole LETUCA sont de plus inspirés des recommandations de « description des composantes de l'exercice » de Baiwir et Delhez (2004). Avec l'apport de l'ensemble de l'équipe de recherche du Service de Psychologie Sociale de l'Université de Liège, Baiwir et Delhez (2004) proposent un « mémorandum » intégrant avec huit dimensions à but fonctionnel dans un article centré sur la construction d'exercices :

- L'intention,
- Les objectifs,
- La nature de la tâche,
- La forme de la tâche,
- La situation,
- Le nombre possible de participants,
- Le matériel,
- La procédure et les durées.

Ces recommandations permettent donc l'élaboration d'un mémorandum comme « un instrument efficace » pour la construction d'un exercice (Baiwir et Delhez, 2004). Comme préconisé par Baiwir et Delhez (2004), les exercices du protocole LETUCA sont décrits grâce à cet « aide-mémoire » et « outil de référence » identique à toutes les équipes. L'origine de chaque exercice est précisée ci-dessous.

## 2.3. Qualification d'inconnu ou non des exercices

Afin de tester les hypothèses, la caractérisation des problèmes inconnus rencontrés en conditions opérationnelles réelles doit être traduite dans les exercices du protocole LETUCA. Une situation inconnue réelle est définie par un évènement « jamais anticipé ni rencontré » (L Haridon et *al.*,

2017). Cela signifie qu'un équipage faisant face à un problème inconnu connaît le contexte de sa mission mais n'a pas de procédure initiale pour résoudre cet événement anormal. En effet, les équipages opérationnels sont par exemple informés de leur position, l'état de leur moyen technique, le temps restant pour effectuer une mission, etc. Mais dès qu'un problème inconnu survient, les équipages n'ont rien à suivre car le problème n'a jamais été anticipé ni rencontré. Ainsi, les équipages ne connaissent pas initialement la procédure à suivre. La traduction de cette situation au sein du protocole LETUCA consiste à donner un contexte mais aucune consigne aux équipes participantes. Ainsi, les équipes ne connaissent pas initialement la démarche à suivre pour résoudre le problème rencontré ; elles n'ont pas de procédure à suivre, comme un équipage en opération réelle sans check-list à suivre.

D'un point de vue pratique, compte tenu des hypothèses, un risque élevé existe lorsqu'aucune consigne n'est donnée aux équipes. En effet, une ou plusieurs équipes peuvent ne pas réussir à comprendre le problème et ainsi, soit ne rien résoudre soit travailler sur un axe hors sujet. Dans ce cas, l'expérience perd de son intérêt par défaut de performance et de métacognition axées sur une tâche commune aux équipes. Les données récoltées ne seraient alors plus comparables. Donc, afin de préserver la correspondance des données issues du protocole LETUCA entre les équipes, les problèmes inconnus doivent être suffisamment abordables pour être compris des équipiers tout en exigeant un minimum d'efforts cognitifs.

Ainsi, concevoir un problème sans consigne et avec un contexte suffisamment simple pour être compris de toutes les équipes est rare. Sept problèmes du protocole LETUCA correspondent à cette particularité d'absence de consigne. Ces problèmes inconnus sont répartis dans le protocole LETUCA. Les cinq autres possèdent au moins une consigne ; cependant, ils ont tout de même des éléments inconnus car les méthodes de résolutions « doivent encore être trouvées », comme soulevé par Breuker (1994).

#### 2.4. Logigramme récapitulatif de création des exercices

Le logigramme suivant (*cf.* figure 14) présente le cheminement nécessaire à la composition des exercices du protocole LETUCA pour respecter les points d'attention soulignés ci-dessus : la mesure de performance et l'insertion de l'inconnu.

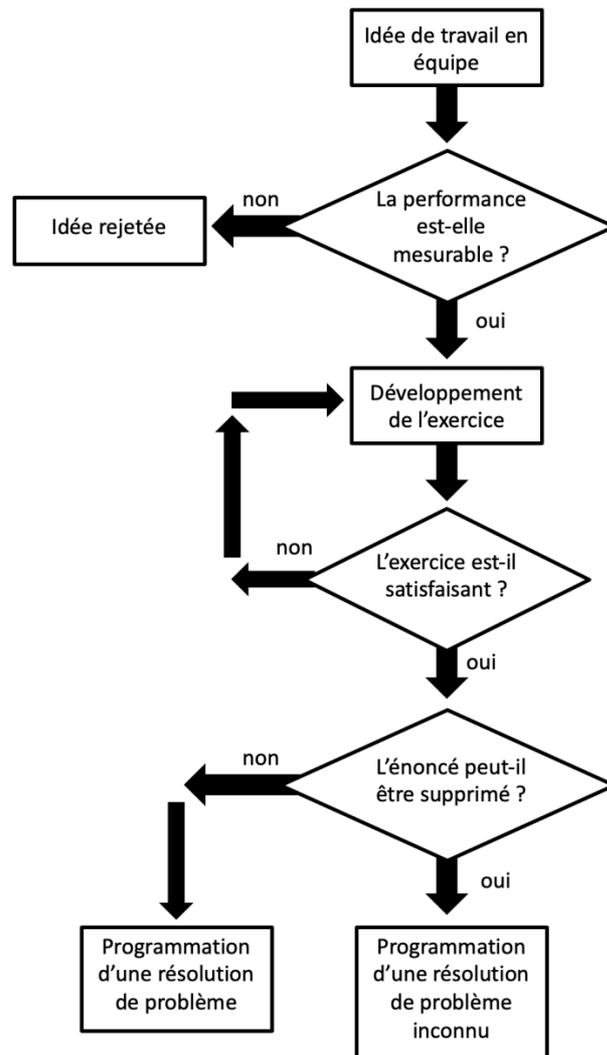


Figure 14. logigramme de création des exercices du protocole LETUCA

## 2.5. Douze exercices

Pour tester les hypothèses et donc maintenir l'inconnu lorsque les équipes débutent les expériences<sup>33</sup> du protocole LETUCA, les exercices doivent être suffisamment variés pour ne pas créer d'habitude de résolution des problèmes. La familiarisation et le manque de surprise des équipes par rapport aux exercices sont évités dès leur conception et/ou sélection.

Chaque expérience débute par une mise en situation précisée par le doctorant identique à toutes les équipes. Les informations transmises sont de différentes natures (éléments de contexte et éventuellement une ou plusieurs consignes), cf. les détails de chaque exercice<sup>34</sup>.

<sup>33</sup> L'association d'une équipe face à un exercice constitue une expérience.

<sup>34</sup> Ce paragraphe n'a pas pour but de fournir les consignes pratiques nécessaires à la reproduction du protocole LETUCA mais de donner les éléments permettant d'établir sa conformité avec les tests des hypothèses. Afin de faciliter leur prise en compte, ces éléments sont regroupés par exercice.

### 2.5.1.1<sup>ère</sup> expérience : Survie lunaire

C'est le seul exercice directement extrait de la littérature sans adaptation aux particularités du protocole LETUCA, car déjà existantes dans la version d'origine. « Survie lunaire » a été créé par Hall « dans une dissertation non publiée » (notre traduction) de 1963 puis reprise par Hall et Watson (nos traductions, 1970).

#### 2.5.1.1. Contexte

Un équipage a survécu à un crash de leur véhicule spatial sur la Lune. Le but est alors de survivre en parcourant à pied une distance de trois cent vingt kilomètres jusqu'à la base principale. Pour y parvenir, l'équipage a quinze objets disponibles pour effectuer ce déplacement. La tâche demandée est de classer ces objets par ordre d'utilité décroissante selon le contexte donné. Deux principaux buts déterminent cette tâche : survivre sur la Lune et rejoindre la base principale.

Plusieurs versions de l'exercice de « Survie lunaire » sont disponibles sur internet ; celle utilisée dans le protocole LETUCA est celle de Hall et Watson (1970).

#### 2.5.1.2. Intérêt

Présentant un sujet de réflexion lié à l'espace, l'exercice Survie lunaire permet de débiter le protocole LETUCA dans le domaine des vols habités. Au niveau collectif, cet exercice impose aux équipes de communiquer afin de se représenter la situation à l'issue du crash pour finalement construire un résultat en accord avec le contexte.

#### 2.5.1.3. Organisation pratique

Les équipiers sont disposés selon la figure 15.

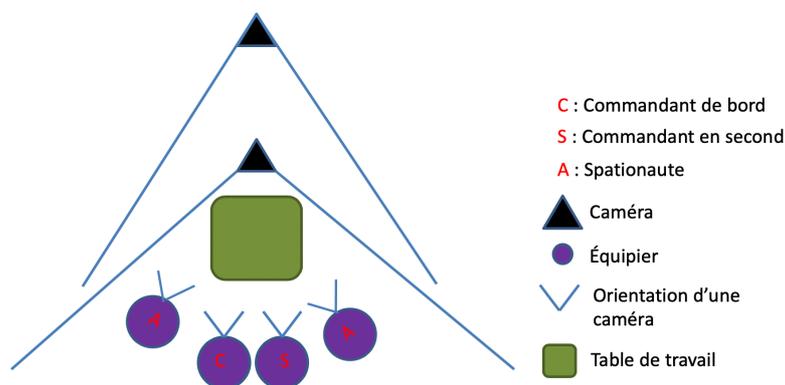


Figure 15. disposition de l'exercice Survie lunaire

La durée de l'épreuve est de vingt-sept minutes.

#### 2.5.1.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Je ne parle pas pendant l'expérience, sauf pour assurer la rigueur du protocole. Les trois équipes, vous et les deux autres, auront des consignes lues et identiques, ce que je fais actuellement. Restez assis dans vos fauteuils pour être filmés, notamment ne vous levez pas, sinon je ne peux plus vous filmer, tout simplement. Le commandant de l'équipe annonce un top, à ce moment et simultanément : il lancera le chronomètre et découvrira la consigne. Le commandant de l'équipage sera X, le second sera X et deux spationautes complémentaires. La décision appartient au commandant car il est commandant. Vous avez vingt-sept minutes de réflexion après, interdiction de toucher la fiche réponse, trois minutes de discussion libre à l'issue sans intervention de ma part, ce qui fait un total de trente minutes. Puis en fin d'expérience, je ne commenterai pas votre travail pour vous laisser libre de réflexion. Je mesurerai votre résultat à l'aide de la grille officielle. Vous pouvez utiliser le brouillon. Je vous demande d'éteindre vos téléphones portables afin de ne pas être perturbé<sup>35</sup>, merci.

L'énoncé présenté était :

Vous faites partie de l'équipage d'un vaisseau spatial programmé à l'origine pour rejoindre une fusée mère sur la face éclairée de la lune. À la suite d'ennuis mécaniques, vous avez dû alunir à trois cent vingt kilomètres environ du rendez-vous fixé. Au cours de l'alunissage, la plupart des équipements de bord ont été endommagés, à l'exclusion des quinze objets, listés ci-dessous. Il est vital pour votre équipage de rejoindre la fusée mère.

L'exercice consiste à classer les quinze objets par ordre de première nécessité. Mettez le chiffre un en face de celui qui vous semble le plus important, deux en face du suivant, et ainsi de suite jusqu'à quinze en face de celui qui vous paraît le moins utile.

La liste des items à classer est :

- Boite d'allumettes,
- Aliments concentrés,
- Quinze mètres de corde en nylon,
- Parachute en soie,
- Système de chauffage portable,
- Deux pistolets de calibre quarante-cinq,
- Une caisse de lait déshydraté,
- Deux bouteilles de cinquante kilogrammes d'oxygène,
- Carte céleste,
- Canot de sauvetage auto gonflable,
- Compas magnétique,
- Vingt litres d'eau,
- Signaux lumineux,

---

<sup>35</sup> Cette consigne est appliquée à chaque expérience et n'est pas rappelée dans les descriptions d'exercices suivantes.

Trousse de premiers secours, dont une seringue,  
Une radio FM émettrice-réceptrice solaire.

#### 2.5.1.5. Mesure de la performance

Les listes écrites par les équipes sont comparées à la liste retenue comme référence par Hall et Watson (1970). Cette liste a été composée par un expert de la « Section de Recherche des Équipement d'Équipage du Département des Véhicules Habités de la NASA à Houston » (notre traduction, Hall et Watson, 1970). Cette comparaison de résultats des équipes à la performance établie par un expert est en accord avec les travaux de Barnett et Koslowski prenant pour référence une combinaison des propositions de deux « super-experts » (notre traduction, 2002) qui avait une large expérience dans le domaine étudié. Dans le cadre du présent exercice, si la position d'un item placé par une équipe est différente de la position choisie par l'expert (Hall et Watson, 1970), alors la valeur absolue de la différence des classements est retenue. Tous les écarts de chaque item sont ensuite additionnés, cette somme donne la performance finale. Le but est d'obtenir la valeur totale la plus basse, traduisant donc une proximité maximale avec les résultats de référence et donc une performance la plus élevée. Par exemple, si les bouteilles d'oxygène sont classées en cinquième position par une équipe alors que la grille d'évaluation donne une première position pour ces mêmes bouteilles, alors le score est incrémenté de la différence, soit quatre points.

La grille de référence est (notre traduction, Hall et Watson, 1970) :

1. Deux bouteilles de 50 kilogrammes d'oxygène,
2. 20 litres d'eau,
3. Carte céleste,
4. Aliments concentrés,
5. Une radio FM émettrice-réceptrice solaire,
6. 15 mètres de corde en nylon,
7. Trousse de premiers secours, dont une seringue,
8. Parachute en soie,
9. Canot de sauvetage auto gonflable,
10. Signaux lumineux,
11. Deux pistolets de calibre 45,
12. Une caisse de lait déshydraté,
13. Système de chauffage portable,
14. Compas magnétique,
15. Boite d'allumettes.

#### 2.5.2.2<sup>ème</sup> expérience : Mercury 21

Cet exercice a été adapté aux vols spatiaux habités à partir de problèmes indépendants trouvés sur le site internet Énigme Facile pour correspondre à un environnement opérationnel.

### 2.5.2.1. Contexte

Un véhicule spatial habité est en fin de transfert Terre-Lune pour réaliser ensuite une mission d'exploration sur son sol, la mission Mercury 21<sup>36</sup>. Avant de débiter la descente vers le sol lunaire, une explosion inconnue d'origine survient et différentes remontées de pannes concernant divers systèmes de bord sont affichées sur le tableau de bord. Les équipes doivent alors réagir en cohérence avec le contexte. Les pannes proposées ont été sélectionnées sur le site internet Énigme-facile et doivent être résolues par les équipes. Le scénario s'inspire de problèmes techniques rencontrés lors de la mission Apollo 13 (Office of Public Affairs - NASA, 1970).

### 2.5.2.2. Intérêt

Dans cet exercice, seul le contexte est présenté aux équipes et une indication clé est disponible au début de l'expérience : « réagissez à l'évènement ». Ainsi, cette expérience est classifiée comme situation inconnue. C'est ensuite grâce à la représentation mentale des équipes par rapport au contexte que l'exercice peut être traité en cohérence avec le contexte d'un vol spatial habité : via l'établissement de priorités.

### 2.5.2.3. Organisation pratique

Les équipiers sont disposés selon la figure 16.

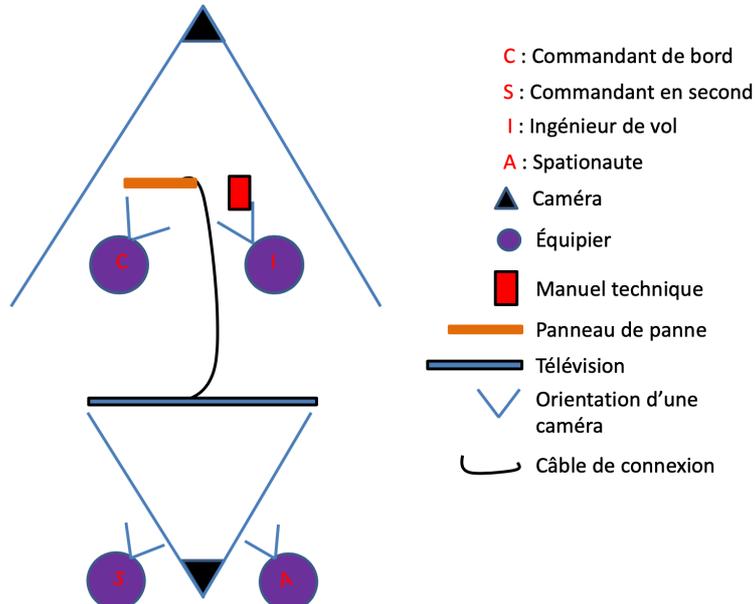


Figure 16. disposition de l'exercice Mercury 21

<sup>36</sup> Le nom de cette expérience rend hommage à John Glenn (1921-2016), spationaute des missions Mercury et décédé quatre jours avant l'organisation de l'expérience.

La durée de l'exercice est de trente minutes. L'interface de traitement des pannes est figurée par une présentation Power Point avec une planche par panne. Des liens permettent de sélectionner les pannes selon les choix des équipes. La figure 17 décrit une des planches présentées aux équipes.

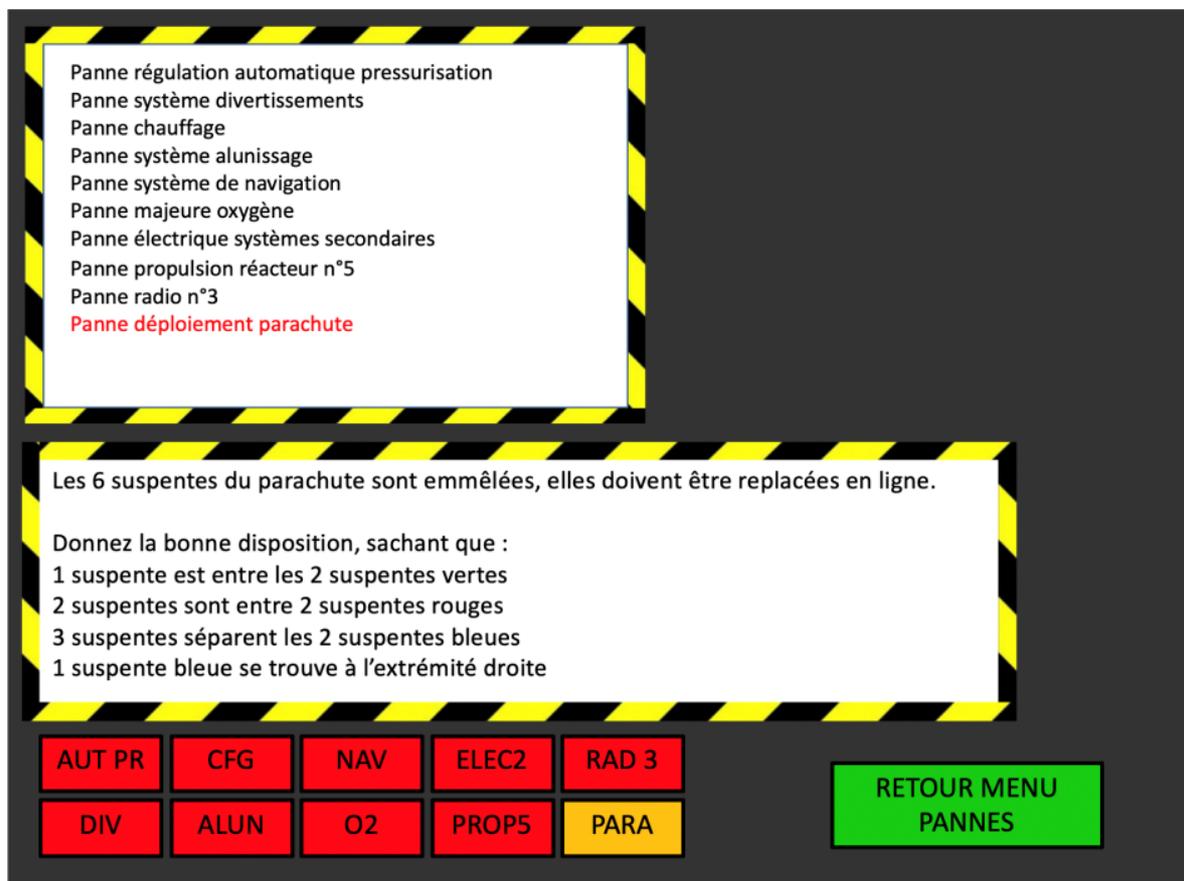


Figure 17. interface de contrôle des pannes

Un manuel technique succinct est également fourni aux équipes comprenant diverses informations relatives à chaque système de bord. Ce document est placé devant l'ingénieur de bord afin de créer une spécialisation des rôles. Le manuel a pour buts :

- De présenter des informations utiles compte tenu du contexte général et ainsi
- D'orienter les équipes vers les pannes les plus urgentes et vitales.

Par exemple, le texte associé au système de divertissements est :

Le système de bord de divertissements est composé d'un écran de télévision, d'un ordinateur délivrant plus de deux-mille films des années 1990, 2000 et 2010, d'une chaîne Hifi et d'une console de jeux vidéo de dernière génération.

Une panne électrique totale entrainera l'arrêt temporaire du système de divertissements.

Par exemple, le texte associé au système oxygène est :

Ce système assure la livraison d'oxygène au système de pressurisation. Une panne majeure de ce système limite la survie de l'équipage à 20 minutes<sup>37</sup>.

#### 2.5.2.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Je vous prie aussi de cacher vos montres, puisque vous n'avez pas de mesure précise du temps pour cette expérience. Vous ne connaissez pas non plus la durée de l'épreuve.

Un écran avec des pannes vous est présenté, pour afficher la panne qui vous intéresse parmi la liste : cliquez sur le voyant correspondant. Dans cet exemple, une seule est présentée, c'est la « Panne distribution d'eau » avec le voyant en dessous : « EAU ». Pour revenir au sommaire des pannes, cliquez sur le bouton vert en bas à droite. Vous voyez actuellement un écran de démonstration avec une panne fictive non présentée après, dans l'expérience.

Un extrait du manuel technique très sommaire du vaisseau spatial Mercury dans lequel vous êtes actuellement est disponible sur la feuille détenue par l'ingénieur de bord. Cette feuille est mobile et vous en faites ce que vous voulez.

Votre performance sera mesurée sur les pannes traitées. Quand vous avez la réponse, elle est validée dès lors que vous l'avez expliquée ou que vous avez donné la valeur, pas besoin d'écrire.

Vous êtes l'équipage de la mission Mercury 21. Cette mission consiste à effectuer un alunissage en vue d'expériences scientifiques. Après trois jours de voyage, vous vous approchez de la Lune. Une explosion vient de survenir à bord de votre vaisseau. Il y a eu des secousses, des bruits ; des alarmes sonores et visuelles se déclenchent. Votre équipage a seulement la durée de l'exercice pour résoudre des pannes pour tout le reste de la mission, pas une seconde de plus.

#### 2.5.2.5. Mesure de la performance

Deux grandeurs sont nécessaires pour mesurer la performance de cette expérience selon le problème et le contexte rencontré. En effet, les équipes doivent résoudre le plus de pannes selon l'ordre d'urgence et d'importance et le plus rapidement possible. Une pondération des pannes doit donc être établie. Elle a été composée par le doctorant en accord avec les travaux de Hall et Watson (1970, un expert compose la réponse type) et ceux de Barnett et Koslowski (2002, mais avec un seul « super-expert »). Les incréments de points pour chaque panne sont déterminés selon le risque de chacune pour l'équipage :

- 25/100 panne majeure oxygène O2
- 21/100 panne système de navigation NAV
- 20/100 panne déploiement parachute PARA
- 10/100 panne système alunissage ALUN
- 7/100 panne propulsion réacteur n°5 PROP5
- 6/100 panne électrique systèmes secondaires ELEC2
- 5/100 panne chauffage CFG

---

<sup>37</sup> Ainsi, si une équipe ne traite pas cette panne durant les vingt premières minutes, l'expérience est arrêtée.

- 3/100 panne régulation automatique pressurisation AUT PR
- 2/100 panne radio n°3 RAD 3
- 1/100 panne système divertissements DIV

L'intégration des temps de fin de traitement d'un problème et l'incrément de points associé permet finalement la composition d'une courbe par équipe représentant sa performance opérationnelle au cours du traitement de panne.

### 2.5.3.3<sup>ème</sup> expérience : Missionnaires et cannibales

Ce problème complet est adapté à partir de deux sous-problèmes trouvés sur internet : le problème des missionnaires et cannibales (vers 1800) et celui de deux gardiens (site internet Énigme-facile).

#### 2.5.3.1. Contexte

Cet exercice n'impose pas de contexte particulier.

#### 2.5.3.2. Intérêt

Quatre sous-problèmes de logique sont donnés aux équipes. Chacun a une fonction particulière dans le problème complet :

- Le premier sous-problème a pour but de mettre en place le travail d'équipe,
- Le deuxième est indépendant du premier et a pour unique but de forcer les équipes à réfléchir à une autre résolution, elle n'est donc pas comptée dans la performance globale. Cinq minutes au plus peuvent être consacrées à ce sous-problème,
- Le troisième est proche du premier dans sa logique de traitement mais avec une présentation différente et une contrainte supprimée. L'astuce consiste à appliquer la solution du premier sous-problème directement au troisième,
- Le quatrième est proche du premier mais avec une contrainte additionnelle (nécessité de trouver une nouvelle solution).

Les équipes doivent donc faire preuve d'esprit logique et d'adaptation pour réagir aux particularités des énoncés, se relancer dans un nouveau traitement et reconnaître les correspondances possibles.

#### 2.5.3.3. Organisation pratique

Les équipes disposent de quatre enveloppes face à elles, numérotées de un à quatre, imposant ainsi un ordre de traitement des problèmes. Dans chacune de ces enveloppes se trouve un problème. Une nouvelle enveloppe peut être ouverte seulement une fois le précédant problème résolu. Le temps maximum de traitement est de trente minutes.

Les équipiers sont disposés selon la figure 18.

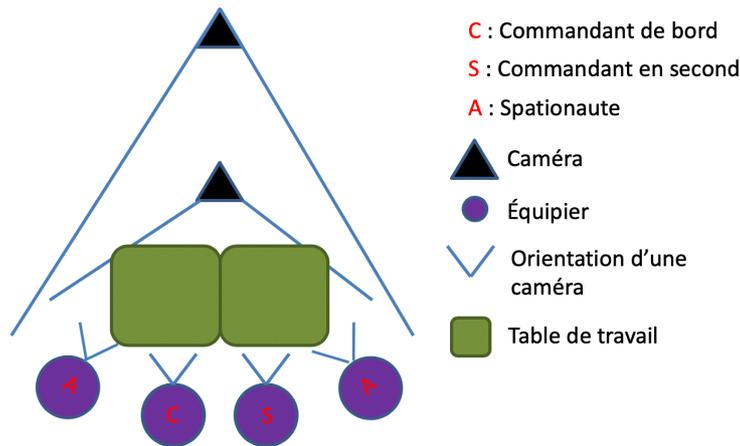


Figure 18. disposition de l'exercice Missionnaire et Cannibales

#### 2.5.3.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Votre performance sera mesurée sur le temps nécessaire à trouver une solution aux problèmes. Vous avez quatre lettres devant vous numérotées de un à quatre. Veuillez commencer par celle notée un. Vous pourrez ouvrir la lettre numéro deux seulement quand le premier problème sera complètement résolu et ainsi de suite. Cependant, vous pouvez utiliser les brouillons des précédents exercices.

Vous avez trente minutes au maximum, si vous terminez avant vous partez avant.

#### 2.5.3.5. Mesure de la performance

La grandeur de mesure de la performance pour cet exercice est le temps nécessaire pour résoudre chaque problème. Ainsi, plus ce temps est faible, meilleure est la performance.

#### 2.5.4.4<sup>ème</sup> expérience : le Sac et l'Euro

Deux sous-problèmes composent cet exercice. Le premier, le Sac, est inspiré de travaux de Davidson et *al.* (1994) et le second, l'Euro, provient du site internet Énigme-facile.

##### 2.5.4.1. Contexte

Cet exercice n'impose pas de contexte particulier.

##### 2.5.4.2. Intérêt

Les équipes doivent travailler sur deux sous-problèmes indépendants traités l'un après l'autre. Le premier concerne une activité de brainstorming autour d'une question posée et de la mémorisation

collective de réponses, il s'agit du sous-problème du Sac. Le but est d'associer un maximum de fonctions à un sac. En effet, les équipiers doivent mémoriser des solutions entre eux pour les réciter entre la treizième et la quinzième minute sans possibilité d'écrire. La répartition de ces mémorisations au sein de l'équipe peut susciter de la logique selon les métaconnaissances et métacompétences développées : telle réponse liée à une activité est donnée par tel équipier car il la pratique.

Le second sous-problème est d'ordre logique, il est appelé dans ce travail de recherche : l'Euro. Cet exercice permet de mettre en valeur un écart anormal et donc une détection de problème. Un raisonnement logique doit être effectué après la détection du problème afin de comprendre l'origine de l'écart. De plus, l'Euro est qualifié de problème inconnu car aucune consigne n'est fournie aux équipes.

#### 2.5.4.3. Organisation pratique

Les équipiers sont disposés selon la figure 19.

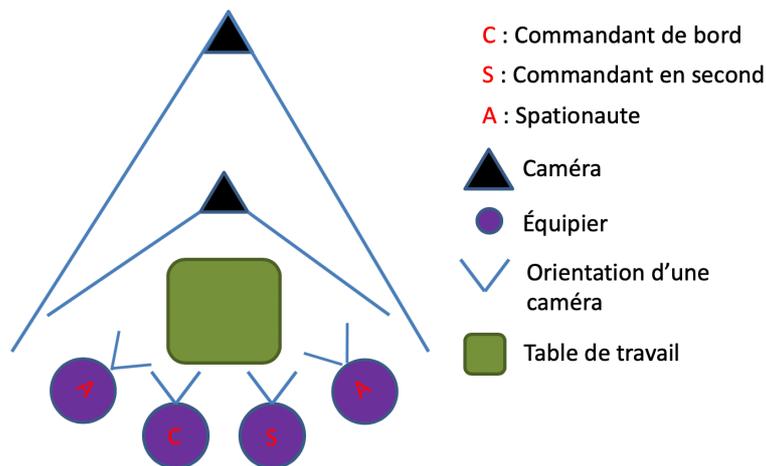


Figure 19. disposition de l'exercice Sac et Euro

Une photographie de sac a été imposée aux équipes pour le premier exercice. Le but est de ne pas laisser les équipes travailler en considérant différents volumes, formes et matières de sac et mais de travailler sur une même base de réflexion. Les tests des hypothèses sont donc fondés sur des éléments communs exploités ensuite différemment selon les équipes. La photographie du sac trouvée sur internet propose un sac à usage multiple avec un volume moyen et présentant des paysages de villes nommées du monde.

Le temps maximum de traitement est de trente minutes dont quinze pour le premier sous-problème et quinze pour le second.

#### 2.5.4.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Vous avez un problème dans l'enveloppe numéro un. Votre performance sera fonction du nombre de solutions données à cette question. Pour que vos réponses soient acceptées, elles doivent être présentées à la caméra entre la treizième et la quinzième minute. Je vous annoncerai cette quinzième minute. Vous n'avez pas de brouillon pour le premier problème. À la quinzième minute, vous pourrez donc passer au problème suivant qui sera traité le plus rapidement possible. Le brouillon est autorisé pour le second problème. Vous avez trente minutes au maximum pour résoudre les deux problèmes. Si vous terminez avant, vous pouvez partir avant.

Le premier énoncé présenté est :

Combien de fonctions différentes pouvez-vous donner à ce sac plastique ?

Vous avez treize minutes pour réfléchir librement. Les réponses prises en compte seront celles annoncées entre les minutes treize et quinze. Celles proposées avant la minute treize ne seront pas prises en compte.

Le second énoncé présenté est :

Trois voyageurs prennent une chambre dans un hôtel qui coûte trente euros. Chaque voyageur débourse dix euros. Une fois la chambre payée, l'hôtelier se rend compte que le tarif est en réalité de vingt-cinq euros. Il remet à son assistant cinq euros, en pièces d'un euro qui sont destinés à rembourser les clients. En allant vers la chambre des voyageurs, l'assistant n'arrive pas à trouver une solution pour diviser les cinq euros entre les trois clients. Il décide donc de remettre un euro à chaque voyageur et de conserver deux euros comme pourboire. Chaque voyageur a donc payé neuf euros. L'assistant a conservé deux euros. On a donc trois fois neuf euros, soit vingt-sept euros, auxquels on ajoute les deux euros de l'assistant : ce qui donne vingt-neuf euros.

#### 2.5.4.5. Mesure de la performance

Le premier sous-problème demande la création d'un maximum de fonctions d'un sac. Par conséquent, plus ce nombre de fonctions est important, meilleure est la performance. Les fonctions retenues dans le calcul de la performance doivent être proposées entre les treize et quinze et différentes les unes des autres. Une analyse des réponses post-expérience est donc nécessaire.

Le nombre de solutions à cette question n'a pas été proposé par Davidson et *al.* (1994) et non établi dans le cadre de ce travail de recherche. En effet, les solutions sont très variées et nombreuses et leur détermination n'apporte pas de plus-value au présent travail. Ainsi, il est probable que des équipiers découvrent de nouvelles réponses valables par rapport à celles connues avant le début de l'expérience. En revanche, les réponses doivent satisfaire deux règles : être des fonctions réelles d'un sac et ne pas être redondantes entre elles. Si une fonction proposée respecte ces contraintes, elle est

validée. Plus largement, cette méthode de mesure de la performance sera présentée comme une *performance ouverte* :

- Des réponses potentielles en grand nombre
- Non déterminées préalablement
- Mais devant satisfaire à des règles fixes issues des consignes du problème.

Le second exercice présente un problème à résoudre le plus rapidement possible, le temps est donc la référence pour la performance.

Le score final d'une équipe est issu de l'addition des scores relatifs de chaque problème (cf. « Relativité générale » des résultats au PIIC1p2.2).

#### 2.5.5.5<sup>ème</sup> expérience : Untangle

Cet exercice est adapté d'un logiciel disponible en téléchargement (logiciel Stay Away From The Line de Kechap Free Games Limited), plusieurs versions existent autour du même principe.

##### 2.5.5.1. Contexte

Cet exercice n'impose pas de contexte particulier.

##### 2.5.5.2. Intérêt

Cet exercice, appelé Untangle<sup>38</sup>, est constitué de deux phases. La première consiste à résoudre le problème le plus rapidement possible. Les équipes font face à une tablette avec un point rouge central, comme reproduit sur la figure 20. Les équipes n'ont aucune consigne pour réussir cette première étape, l'exercice est donc considéré comme inconnu.

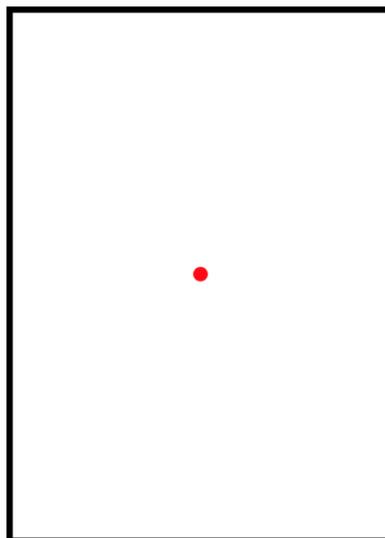


Figure 20. écran de départ de l'exercice Untangle

---

<sup>38</sup> Démêler en français

Le point rouge central est composé de nombreux points superposés manuellement avant le début de l'expérience. L'intérêt de cette superposition centrale des points est double :

- Comme la répartition initiale des points varie à chaque lancement de partie du logiciel, la superposition<sup>39</sup> en un point rouge central donne une situation de départ identique à toutes les équipes et supprime ainsi le hasard de la répartition initiale.
- Cet état initial perturbe davantage le lancement du travail de résolution par un manque d'informations disponibles pour les équipes.

L'objectif premier est de séparer tous les points pour obtenir un éclatement et ainsi visualiser la situation, la figure 21 reproduit une répartition type (exemple de répartition initiale). Cette étape intermédiaire permet ensuite d'organiser tous les points de manière à empêcher tout croisement et dans un second temps, résoudre le problème. Un code couleur préprogrammé par les concepteurs du jeu est présenté pour faciliter le travail. Dans l'exemple ci-dessous, les traits en vert ne sont pas coupés à la différence des traits noirs.

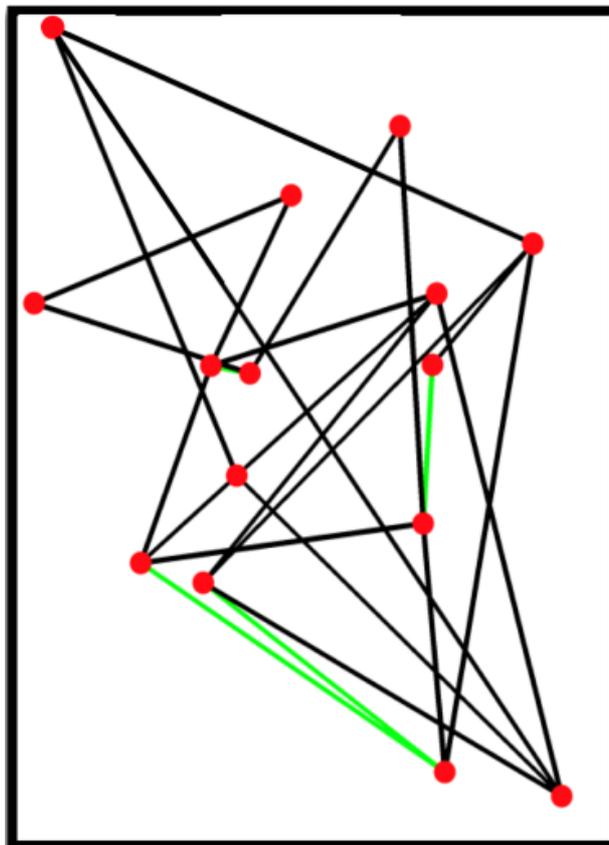


Figure 21. points répartis de l'exercice Untangle

La seconde phase a pour but d'établir une liste de conseils particuliers permettant de gagner une partie. Les équipes doivent alors réfléchir différemment au précédent problème, avec précision et

---

<sup>39</sup> Les superpositions des points pour les trois équipes suivent les mêmes règles.

anticipation. L'énoncé de la seconde partie est caché dans une enveloppe ouverte une fois la première étape du problème terminée.

### 2.5.5.3. Organisation pratique

Les équipiers sont disposés selon la figure 22.

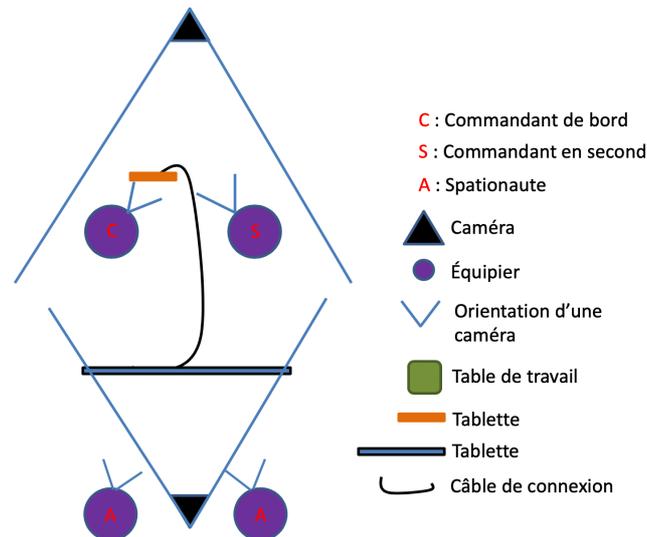


Figure 22. disposition de l'exercice Untangle

### 2.5.5.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Avez-vous un chronomètre à votre disposition ? Vous pouvez le préparer. Une tablette est située sous les feuilles ici (montrer les feuilles sur la table), ne la touchez pas pour l'instant.

Le problème se divise en deux phases.

- La première consiste à gagner un exercice sur la tablette le plus rapidement possible. Votre performance sera calculée sur le temps nécessaire à gagner. Vous devez donc gagner la partie en un minimum de temps.
- Une fois cette partie réussie, ne touchez plus à la tablette. Vous passerez alors à la seconde phase, celle-ci est expliquée dans l'enveloppe placée ici (montrer la feuille sur la table).

Vous avez droit au brouillon sans restriction.

Quand j'annoncerai le « top », vous aurez trente minutes pour réussir les deux phases, vous pourrez alors découvrir la tablette. Je m'occupe de configurer rapidement la télévision.

Êtes-vous prêt ?

L'énoncé présenté aux équipes est :

Le problème se divise en 2 phases.

1. La première consiste à gagner une partie le plus rapidement possible. Cette phase est terminée à présent.

2. La seconde phase consiste à concevoir une liste de conseils permettant de gagner une partie. Ces conseils doivent être :

- Utiles pour gagner. Ils peuvent être simples et évidents comme complexes,
- Spécifiques à cet exercice. Par exemple, si vous écrivez : « soyez concentrés », ce ne sera pas validé car c'est banal et applicable à tous les exercices.

Pour cette seconde phase, votre performance sera calculée sur le nombre de conseils proposés et respectant les deux critères cités ci-dessus. Seules les réponses écrites sur une feuille seront prises en compte.

Vous pouvez faire autant de parties que vous voulez. Vous gérez le logiciel comme bon vous semble : nombre de parties, niveau de difficulté, etc.

Vous avez 30 minutes pour effectuer ces deux phases.

#### 2.5.5.5. Mesure de la performance

Untangle est composé de deux phases. La première performance est calculée à partir du temps nécessaire au traitement. La seconde correspond au nombre de conseils écrits par chaque équipe et respectant les deux critères cités ci-dessus (utiles pour gagner et spécifiques au présent problème). Cette performance est considérée comme ouverte (cf. pIIIC2p2.5.4.5). Le score final d'une équipe est issu de l'addition des scores relatifs de chaque phase (cf. « Relativité générale » des résultats au PIIC1p2.2).

#### 2.5.6.6<sup>ème</sup> expérience : Procédure feu

Le présent travail est inspiré de la check-list SMOKE/FUMES/AVNCS SMOKE de l'Airbus A340, issue du Flight Crew Operating Manual (Airbus, 2017a). Son adaptation à un rover d'exploration habité sur Mars est ensuite effectuée.

##### 2.5.6.1. Contexte

Quatre spationautes effectuent une exploration en rover sur Mars. Une fumée d'origine inconnue dans l'habitacle apparaît soudainement. Alors que l'équipage se met en action pour traiter le problème, la check-list correspondante tombe sur le sol et toutes les pages se mélangent (il n'y a pas de pagination). Ces dernières contiennent les actions à effectuer pour localiser l'origine du feu et ensuite couper les systèmes impactés. Les équipiers peuvent voir à leurs pieds le tas d'actions de la check-list désordonnée.

##### 2.5.6.2. Intérêt

Le principe général de cet exercice est d'ordonner les actions d'une check-list fictive destinée à traiter un feu habitacle à bord d'un rover d'exploration sur Mars, check-list inspirée à partir de celle de l'Airbus A340 : SMOKE/FUMES/AVNCS SMOKE (Airbus, 2017a et 2017b). En effet, un avion de ligne ou d'affaire permet de déplacer des passagers à plusieurs milliers de kilomètres avec des niveaux de confort et de sécurité suffisants. Pour y arriver, des altitudes élevées doivent être atteintes. La cabine doit donc faire vivre des personnes à l'abri d'un environnement invivable :

l'atmosphère extérieure à plus de douze mille mètres d'altitude. Pour réaliser ce transport, de nombreux systèmes sont employés : la pressurisation, l'air conditionné, des équipements cabine, etc. Étant électriques, ils peuvent prendre feu et donc représenter une menace immédiate. Si un tel cas survient, les équipages sont dotés d'une check-list associée permettant de déterminer l'origine d'un feu cabine. Les systèmes sont testés les uns à la suite des autres pour trouver la provenance du feu et ainsi isoler le système défaillant. L'hypothèse pour réaliser cet exercice est qu'un rover d'exploration sur Mars aura des équipements intérieurs similaires à un avion évoluant au niveau de vol quatre cents<sup>40</sup> du fait du caractère invivable de l'environnement extérieur. Un air conditionné, des équipements cabine, etc. seront probablement présents avec le risque de feu associé dans un rover d'exploration sur Mars.

À partir de la check-list feu cabine de l'Airbus A340 (Airbus, 2017a), une nouvelle propre à un rover d'exploration sur Mars est conçue, via des adaptations et simplifications du vocabulaire et des actions. Le but de cet exercice est de réordonner les trente et un actions pour traiter le feu. Ce dernier travail est hors du cadre de cet exercice. Les équipes doivent ainsi suivre un raisonnement logique et opérationnel par rapport aux systèmes d'un rover fictif sur Mars pour recomposer cette check-list. En plus de l'effort de classement similaire à l'exercice Survie lunaire (Hall et Watson, 1970), les équipes doivent ici comprendre les relations causales entre les actions. Compte tenu de la somme de travail et du faible temps disponible : trente minutes, les équipes doivent aussi faire preuve de rapidité.

Trois des trente et un actions sont données à titre d'exemple :

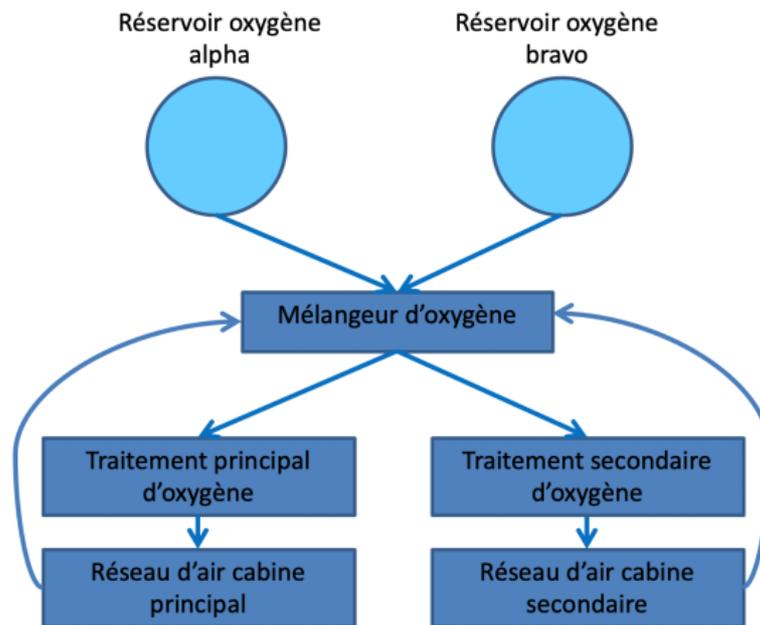
- « Si la fumée s'arrête, maintenir l'extinction de l'équipement intérieur, équipements de confort : rallumer »
- « Wagon scientifique, cloison n°2 : fermer »
- « Génératrice 2 : vérifier allumée »

Un manuel technique de neuf pages est fourni aux équipes afin de faciliter leur compréhension des systèmes du rover. La planche suivante en est extraite :

---

<sup>40</sup> Mesure d'une altitude standardisée en aéronautique, utilisée couramment par les avions de ligne.

Réseaux d'air conditionné simplifié :



**Fonctionnement normal :** système principal en fonctionnement **98%** et système secondaire en fonctionnement à 2% et prêt à assurer 100% à tout moment.

Figure 23. exemple de page du manuel technique du rover d'exploration sur Mars

Seul le contexte est présenté aux équipes, ce problème est donc considéré comme inconnu. Cet exercice est conçu pour le protocole LETUCA.

2.5.6.3. Organisation pratique

Les équipiers sont disposés selon la figure 24.

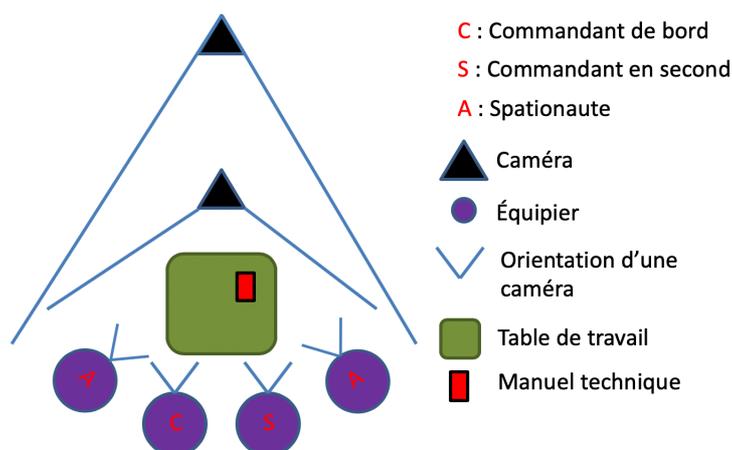


Figure 24. disposition de l'exercice Procédure feu

#### 2.5.6.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Vous êtes sur Mars depuis huit mois. Vous quatre faites partie de la douzième exploration de la mission. Vous êtes à une distance de quarante kilomètres de la base principale où se trouve les quatre autres membres de l'équipage, la fusée et tous les équipements. Vous vous déplacez à l'aide d'un véhicule d'exploration. Vos combinaisons spatiales dans votre véhicule ont été endommagées et aucune n'est utilisable à présent. Plus largement, des informations concernant le contexte sont rassemblées dans le document technique présenté sur la tablette.

Un feu vient de se déclencher à bord de votre véhicule d'exploration. Sous la précipitation et le stress la reliure de votre check-list de traitement du feu a été dégrafée et toutes les pages avec les actions dessus sont tombées. Toutes les pages se sont mélangées.

Le tas est tombé sous la table ici. Vous avez besoin de cette check-list pour traiter le feu à bord.

Votre performance est mesurée uniquement sur la qualité du travail effectué. Vous avez trente minutes. Vous pourrez prendre le tas des actions à l'annonce du top chrono.

#### 2.5.6.5. Mesure de la performance

La méthode de mesure de la performance est identique à celle du problème Survie lunaire (Hall et Watson, 1970) : comparaison de l'ordre établi par les équipes avec celui considéré comme référence. La somme des écarts constatés par item donne la performance globale, cette somme doit donc être la plus faible possible. À la différence de l'exercice Survie lunaire, différentes sommes sont effectuées pour cet exercice. Il y en a une par système, chacune est comptée indépendamment de l'autre. En effet, l'ordre de priorité entre les systèmes (air conditionné, équipements de bord et électrique) est jugé au-delà des compétences des participants et n'est donc pas compté dans la mesure de performance de cet exercice.

En outre, la check-list feu cabine d'un rover fictif sur Mars est fondée sur la SMOKE/FUMES/AVNCS SMOKE d'Airbus (2017a). Cette origine permet de mettre en œuvre l'expérience de « super-experts » (Barnett et Koslowski, 2002) dans la mesure de la performance opérationnelle de ce problème.

#### 2.5.7.7<sup>ème</sup> expérience : Système électrique

Cet exercice se fonde sur les travaux de Leavitt et Mueller (1951) puis est adapté au protocole LETUCA.

##### 2.5.7.1. Contexte

Cet exercice n'impose pas de contexte particulier.

### 2.5.7.2. Intérêt

Cet exercice utilise le principe de travail de Leavitt et Mueller (1951) : les équipes sont divisées en deux binômes ne se voyant pas l'un l'autre. L'un des deux dispose d'un schéma face à lui et l'autre a pour tâche de le reproduire via l'échange d'informations orales. La quantité d'informations à reproduire est trop élevée pour les trente minutes disponibles, il est donc peu probable de terminer le schéma, sélectionné dans ce but. Les équipes doivent donc communiquer avec efficacité et adopter une stratégie permettant de transmettre des informations précises. Ces dernières doivent aussi être justes suffisantes par rapport à la mesure de la performance de manière à optimiser le temps imparti.

Les équipes sont placées directement face aux éléments de l'exercice sans consigne et sont donc face à un problème inconnu.

### 2.5.7.3. Organisation pratique

Les équipiers sont disposés selon la figure 25.

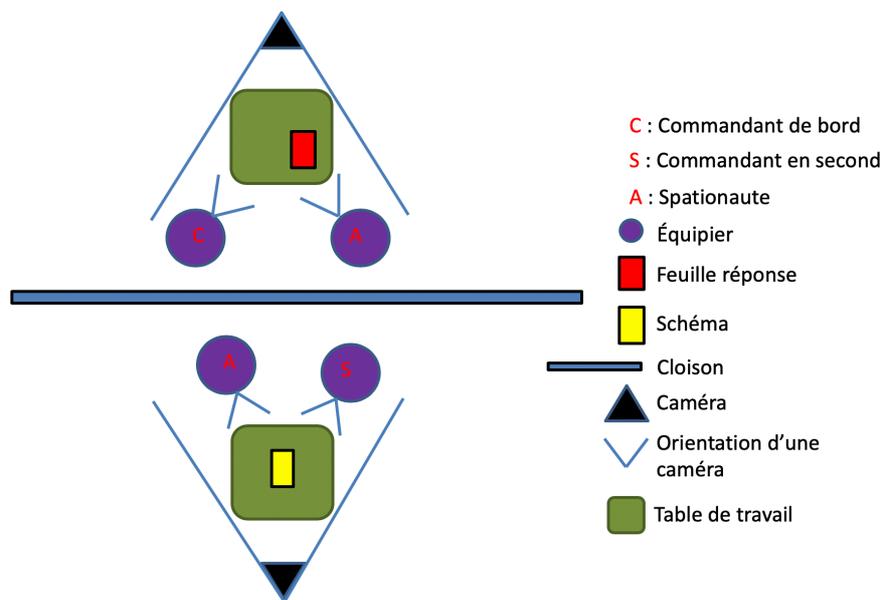


Figure 25. disposition de l'exercice Système électrique

Le schéma à reproduire par les équipes est le réseau électrique de l'Airbus A340 (Airbus, 2017a, cf. figure 26).

Les feuilles réponses sont blanches avec un cadre noir imprimé dessus et respectant les proportions du schéma (figure 26) ; la compréhension du problème est ainsi facilitée.

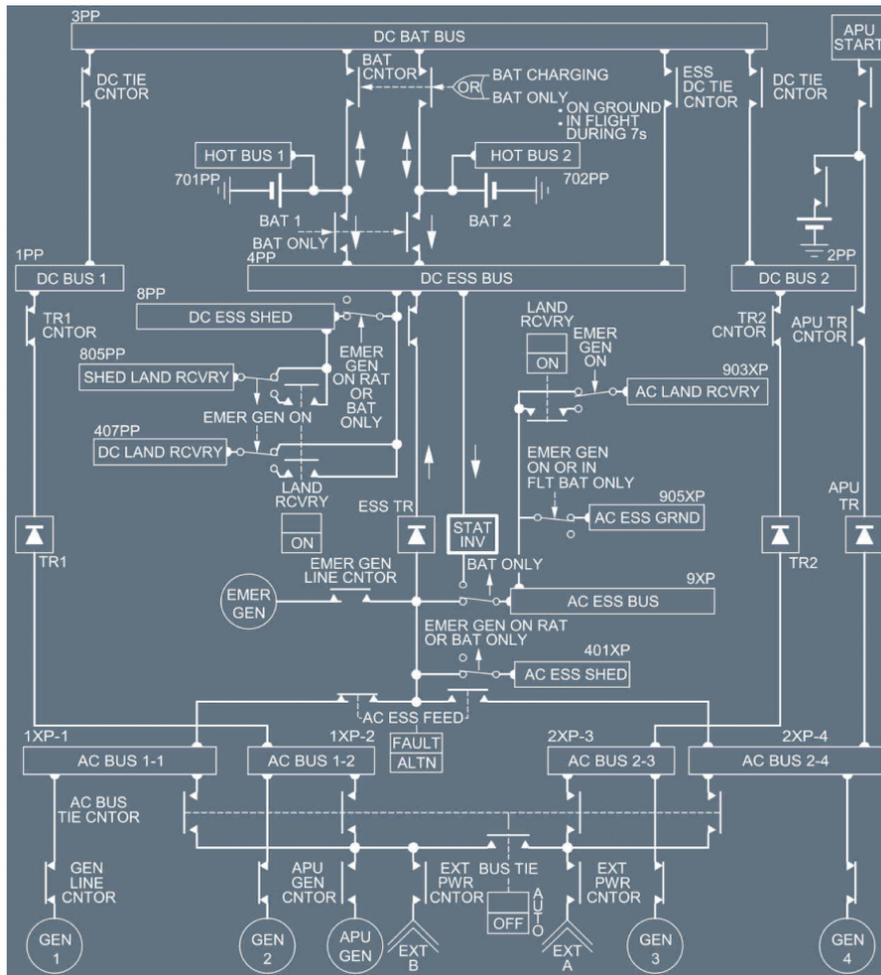


Figure 26. système électrique de l'Airbus A340

#### 2.5.7.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Pour donner un repère temporel du départ sur la seconde caméra, une personne claquera ses mains à la fin du compte à rebours que je donnerai de dix à trois, deux, un, top. Au « top », vous claquez des mains et l'expérience est lancée. Le but est simplement de marquer temporellement sur la seconde caméra le début de l'épreuve. C'est bon pour vous ?

Vous faites ce que vous voulez des éléments sur la table basse devant vous. Je récupérerai une seule feuille réponse à la fin de l'expérience.

Vous pouvez parler entre vous, mais :

- Vous n'avez pas le droit de vous retourner.
- Vous restez uniquement dans la direction de vos chaises.
- Vous ne devez pas vous échanger de document.

La performance est mesurée sur la précision et la quantité.

Vous avez trente minutes.

#### 2.5.7.5. Mesure de la performance

La mesure de la performance est fondée sur un raisonnement de bon fonctionnement électrique. Plus précisément, un point est obtenu dès que :

- Un symbole est copié sans erreur (orientation, signe, nombre de lignes),
- Un symbole est connecté avec un bon symbole via le bon côté de la connexion, autant de points que de connexions peuvent être attribués,
- Un mot ou groupe de mots associés est écrit correctement.

Ainsi, une erreur sur un symbole ne provoque pas forcément la perte de tous les points lui étant associés.

#### 2.5.8.8<sup>ème</sup> expérience : compte rendu Mars

Cet exercice est conçu pour le protocole LETUCA.

##### 2.5.8.1. Contexte

Un véhicule spatial et son équipage quitte l'orbite de Mars pour un retour vers la Terre. Une panne inconnue est détectée par l'ordinateur de bord et aucune check-list n'est disponible. Chaque équipier a alors accès à certaines remontées d'informations selon sa propre spécialité (attribuée à chaque participant avant le début de l'expérience). Les informations présentées sont donc identiques et/ou différentes entre les équipiers. Conformément aux procédures fictives de la mission, un compte rendu doit être envoyé au centre de contrôle sol. Différents éléments peuvent y être introduits :

- Des informations sur la panne subie,
- Des demandes d'instructions,
- Des demandes d'autorisations.

##### 2.5.8.2. Intérêt

Le but de cet exercice est de rédiger un compte rendu technique avec cinquante mots au maximum suite à une panne inconnue lors d'un vol habité en retour de Mars. Une panne imaginaire a donc été inventée : la rupture de fatigue d'une branche de la génératrice n°3 d'un véhicule spatial. L'annexe 3 présente les conséquences en chaîne associées et imaginées.

Cet exercice impose aux équipes d'établir une représentation mentale de la situation à partir d'informations techniques brutes et dispersées entre les équipiers selon leurs spécialités respectives. Ces derniers reçoivent donc une fonction au début de l'expérience créant ainsi une spécialisation représentative d'un équipage réel (un commandant de bord, second et un ingénieur de bord à la fois, chercheur et médecin). Les équipiers sont ainsi responsables de leur domaine et ont accès à des informations différentes. Ainsi, ils risquent de valoriser leur propre spécialité via la sélection des informations insérées dans le compte rendu au détriment de sa représentativité par rapport à la panne globale rencontrée. Un autre piège réside dans l'existence de trois incompatibilités techniques. L'absence de ces détections peut soit entraîner un gâchis de mots ou ne pas transmettre les informations vitales au traitement de la panne subie. Des choix rapides doivent finalement être

effectués pour respecter la contrainte du nombre de mots maximum et la durée de l'exercice de trente minutes. Une communication et une compréhension mutuelle minimales sont nécessaires pour réaliser cet exercice.

### 2.5.8.3. Organisation pratique

Les équipiers sont disposés selon la figure 27.

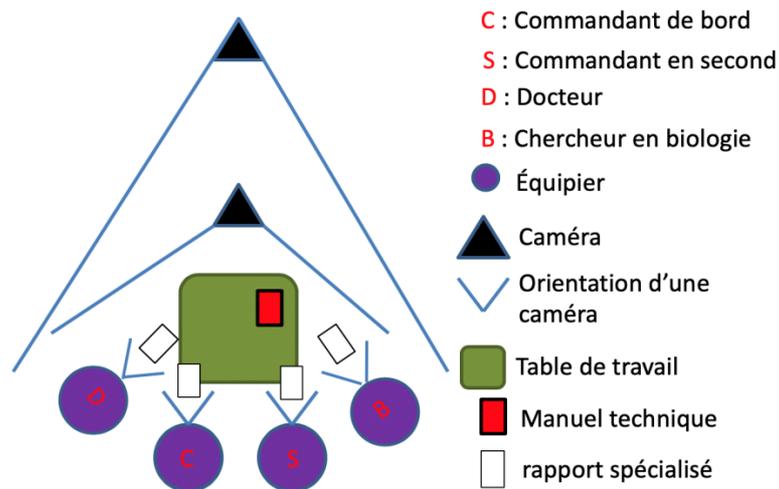


Figure 27. disposition de l'exercice Compte rendu Mars

### 2.5.8.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Vous avez chacun une fonction associée :

- Vous êtes le CDB de la mission,
- Vous êtes le CDB en second et ingénieur de bord,
- Vous êtes le médecin de bord,
- Vous êtes le chercheur biologiste de la mission.

Vous avez donc chacun une fonction propre à vous et devez la mettre en valeur par rapport aux autres.

Vous avez ainsi chacun une feuille particulière devant vous mais attention, ne vous échangez pas les feuilles entre vous. Vous pouvez lire les feuilles des autres mais elles doivent rester dans les mains de la bonne personne. Par exemple, la feuille du CDB peut être lue par le médecin mais le médecin ne doit pas prendre la feuille du CDB dans ses mains.

La performance est mesurée en fonction des informations choisies. Vous avez trente minutes au maximum. Si vous terminez avant, vous pouvez partir avant.

Quatre énoncés différents les uns des autres sont distribués aux équipiers. Le contexte et des informations relatives aux fonctions à bord sont fournis.

#### 2.5.8.5. Mesure de la performance

Toutes les informations présentes dans les comptes rendus spécialisés ne sont pas pertinentes et n'ont pas le même niveau d'importance. Une pondération est donc nécessaire pour traduire la pertinence d'un compte rendu par rapport au contexte proposé. Cette hiérarchie est inspirée des priorités opérationnelles en vol spatial habité lors d'un traitement de pannes :

1. Survie de l'équipage,
2. Préservation des moyens,
3. Exécution de la mission.

Ainsi, certaines informations ont une valeur nulle et d'autres sont plus ou moins utiles. Cette pertinence variable fait l'objet d'une pondération des informations à transmettre, cette valorisation est établie par le doctorant. La performance est finalement sommée à partir des poids des informations (*in fine* une quantité de points) insérées dans le compte rendu rédigé par les équipes.

#### 2.5.9.9<sup>ème</sup> expérience : Évitement d'astéroïde

Cet exercice est créé pour le protocole LETUCA.

##### 2.5.9.1. Contexte

Un équipage en retour de Mars vers la Terre reçoit soudainement de l'ordinateur de bord deux trajectoires en quatre dimensions (position spatiale et temps indiqués), l'une correspondant au véhicule spatial de l'équipage et l'autre à un astéroïde inconnu. Les trajectoires sont définies sur trois graphiques différents : (O; x, y), (O; y, z) et (O; z, x) et comprennent une prévision d'horaires de passage. Les équations décrivant la trajectoire spatiale des deux objets sont définies par :

- Trajectoire du véhicule :

$$y = 2 \cdot x$$

$$z = -y + 3$$

$$x = -\frac{z}{2} + \frac{3}{2}$$

- Trajectoire de l'astéroïde :

$$y = \frac{x + 21}{2}$$

$$z = 31 - 3 \cdot y$$

$$x = \frac{-2 \cdot z - 1}{3}$$

Les représentations en trois dimensions des trajectoires à l'aide du logiciel GeoGebra sont proposées sur la figure 28.

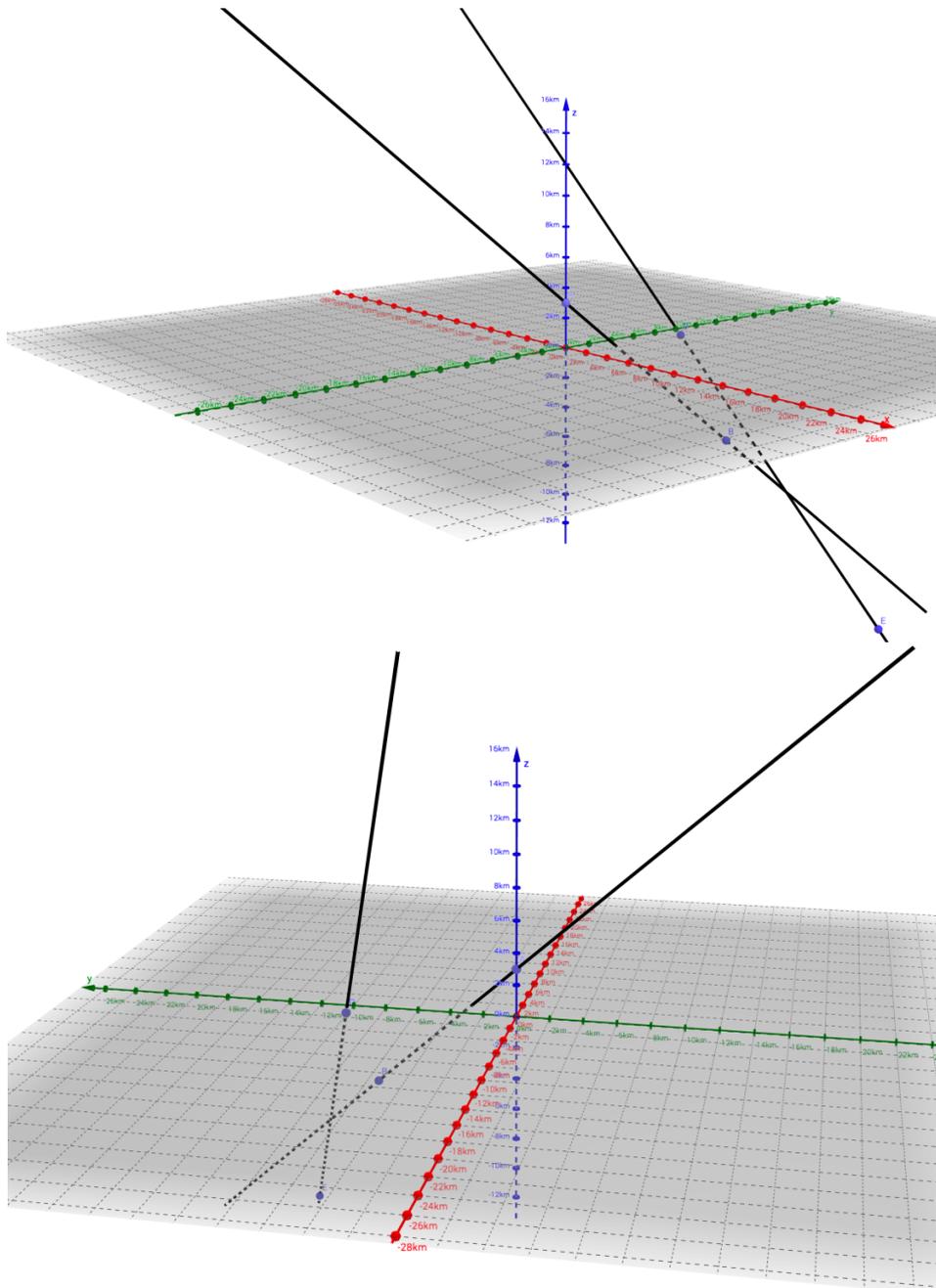


Figure 28. représentations des trajectoires du véhicule spatial et de l'astéroïde

Les deux trajectoires possèdent ainsi un point de croisement imposé au même horaire, d'où une collision à venir. Chauvin, Clostermann et Hoc (2009) ont travaillé sur les méthodes d'évitement en mer entre les navires. Ils précisent les critères pouvant être pris en compte dans l'exécution des corrections :

- (a) « Règles d'évitement des collisions,
- (b) Économie (objectif de rentabilité) et
- (c) Règles géométriques. »

En comparaison aux travaux de Chauvin et *al.* (2009), les équipes doivent :

- Effectuer un évitement physique (cf. règles géométriques),
- En respectant une marge de distance minimale imposée dans le manuel technique restreint fourni aux équipes (cf. règles d'évitement des collisions) et
- En économisant du propergol pour préserver les ressources limitées d'un vol spatial (cf. économie).

### 2.5.9.2. Intérêt

Cet exercice permet d'effectuer un travail collectif complet de la détection d'un problème jusqu'à sa résolution dans le cadre d'un vol spatial habité. Les équipes débutent le traitement avec peu d'informations et doivent malgré tout construire une représentation mentale de la situation. Celle-ci sera ensuite mise à profit pour résoudre le problème. Finalement, au-delà de la simple résolution, celle-ci pourra être optimisée afin de mobiliser le moins de ressources possible, en cohérence avec un contexte spatial.

L'énoncé de cet exercice ne comporte aucune consigne, il est donc qualifié d'inconnu.

### 2.5.9.3. Organisation pratique

Les équipiers ont à leur disposition les trajectoires sous forme de graphiques à deux dimensions sur format papier et de tableaux des coordonnées précises et d'un manuel technique simpliste proposant plusieurs méthodes de correction de trajectoire habillées d'éléments du programme Space Launch System de la NASA. Ces méthodes varient selon la distance corrigée par impulsion et le propergol consommé correspondant.

Les équipes sont disposées selon la figure 29.

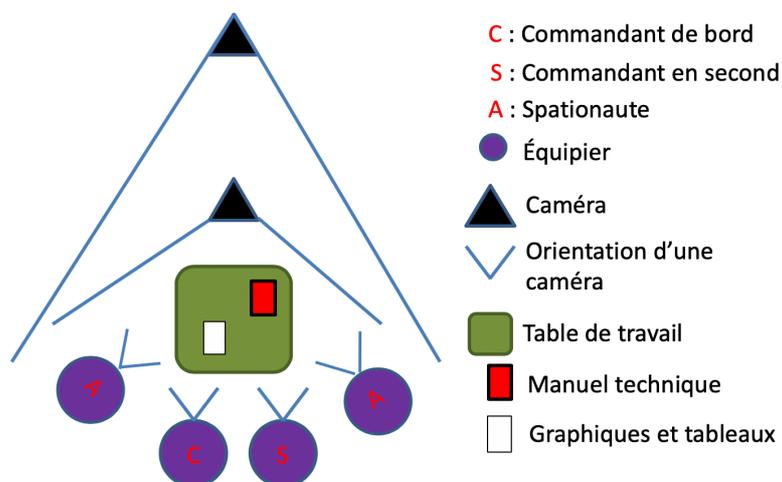


Figure 29. disposition de l'exercice Évitement d'astéroïde

#### 2.5.9.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Vous faites ce que vous voulez des documents devant vous. Avez-vous un chronomètre à votre disposition ? Vous pouvez le préparer.

Vous avez terminé votre mission de six mois sur Mars. Vous avez redécollé et êtes au début du trajet vers la Terre. Vous êtes rentrés dans la routine du retour.

Soudain votre ordinateur de bord vous imprime ces feuilles, la première est blanche. Vous avez trente minutes, votre performance est mesurée sur le temps nécessaire à traiter ce qui se passe.

#### 2.5.9.5. Mesure de la performance

Le problème global est décomposé en trois sous-problèmes discriminés les uns des autres par les étapes chronologiques nécessaires à la résolution totale du problème. Chaque sous-problème fait l'objet d'une performance opérationnelle intermédiaire.

Le premier a pour but de déterminer l'heure exacte de l'impact calculé par l'ordinateur de bord entre le véhicule et l'astéroïde, nécessitant ainsi la compréhension de la situation. Plus cette phase est terminée rapidement, meilleure est la performance.

Le deuxième sous-problème consiste à sélectionner la correction à effectuer pour éviter la collision. Le manuel technique est utilisé au moins à ce stade pour imposer des paramètres de correction parmi une gamme de valeurs limitées définies à la création de l'exercice. Le minimum de temps doit être atteint.

Le troisième et dernier sous-problème a pour but de réduire la quantité de propergol consommé par la correction à venir. En effet, un véhicule spatial a des ressources finies devant donc être préservées d'usages inutiles. Les équipes doivent donc favoriser la correction nécessitant le moins de propergol. Le pourcentage de propergol utilisé pour cet évitement, parmi la quantité réservée aux corrections de trajectoires, doit par conséquent être le plus bas possible. Bien que non précisé dans le texte lu par le doctorant, le contexte spatial et la présence des informations relatives à la réduction de la quantité de propergol nécessaire à une correction permettent aux équipes de se représenter le besoin d'optimisation. Néanmoins, cette optimisation n'est pas liée directement à l'intégrité du véhicule spatial, à la différence des deux premiers sous-problèmes. Finalement, cette différence d'importance doit être traduite dans le calcul de la performance opérationnelle avec un coefficient minorant la performance associée. Défini par le doctorant, un facteur  $\frac{1}{3}$  est imposé à la performance opérationnelle du troisième sous-problème.

#### 2.5.10. 10<sup>ème</sup> expérience : Qualités pilote de drone sur Mars

Cet exercice est créé dans le cadre du protocole LETUCA en se basant sur les travaux du Centre d'Études et de Recherches Psychologiques Air (CERP'AIR 10.535) de l'Armée de l'air.

### 2.5.10.1. Contexte

Lors d'une mission sur Mars, quatre des huit membres d'un équipage sont partis en rover afin de conduire une exploration, ces personnes sont fictives. Les quatre équipiers participant aux expériences sont restés dans la base principale. Le rover a subi une panne inconnue à une distance empêchant tout retour à pied. Malgré le caractère inconnu de la panne, le centre de contrôle sol a pu créer une check-list permettant sa résolution. Cette nouvelle procédure a été envoyée à la base principale. Les actions doivent donc être transmises à l'équipage du rover. Néanmoins, la panne a des conséquences sur les capacités du système de communication du rover (diminution de la distance de réception/émission). Un relai aérien doit donc être établi depuis la base principale. Un drone est disponible mais le pilote du drone est dans le rover et il n'est pas possible de piloter le drone depuis le rover du fait de la panne. Il est donc nécessaire de sélectionner une personne parmi les quatre équipiers dans la base principale pour piloter le drone. Pour ce faire, les équipes doivent énumérer les compétences et connaissances qu'un pilote de drone doit avoir pour réussir cette mission.

### 2.5.10.2. Intérêt

Dans cet exercice, les équipes doivent se représenter mentalement une mission et l'ensemble de ses particularités afin de déterminer les qualités nécessaires pour la réussir.

### 2.5.10.3. Organisation pratique

Les équipes sont disposées selon la figure 30.

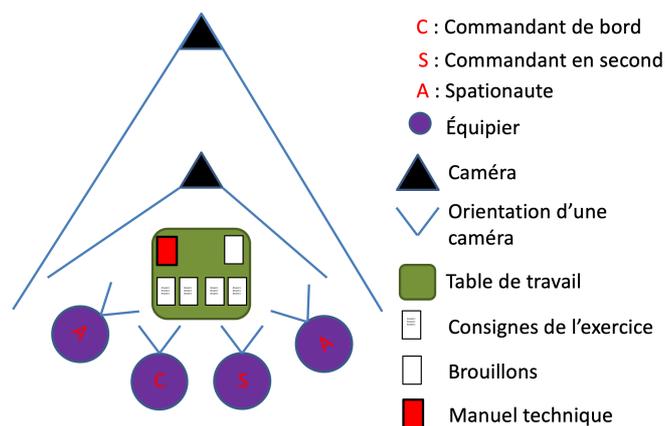


Figure 30. disposition de l'exercice Qualités de pilotes de drone

La majeure partie des consignes est incluse dans la documentation disposée sur la table. Le but est de fournir suffisamment d'éléments de contexte (type et caractéristiques techniques du drone, situation géographique, distances, etc.) pour donner aux équipes une même situation initiale et ainsi ne pas laisser de place à l'imagination.

#### 2.5.10.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Je ne vous lis pas de texte particulier cette fois mais vous donne les consignes par écrit à vous quatre.

Vous avez trente minutes au maximum, si vous terminez avant, vous partez avant.

#### 2.5.10.5. Mesure de la performance

Le CERP'AIR 10.535 a établi une liste de compétences et de connaissances utilisées par les pilotes de drones à des fins de recrutement. Cette liste établie par des experts du recrutement de personnels opérationnels a été adaptée au contexte d'un vol de drone sur Mars pour l'établissement d'un relai radio. Cette adaptation sert de référence pour le calcul de la performance.

Au-delà de l'existence de ces compétences et connaissances, toutes n'ont pas la même importance en regard de l'exécution de la mission de relai. Une pondération est donc nécessaire pour valoriser les items vitaux de ceux permettant une simple optimisation par exemple. Cette pondération est établie à partir des compétences et connaissances du CERP'AIR et par le doctorant.

#### 2.5.11. 11<sup>ème</sup> expérience : Transfert de point d'amarrage

Cet exercice est créé pour le protocole LETUCA, l'outil de travail utilisé est le logiciel soyuzSim de Baroncini (2012).

##### 2.5.11.1. Contexte

Un virus a été chargé dans l'ordinateur de bord de la Station Spatiale Internationale (ISS). Pour l'effacer, le centre de contrôle sol a exécuté un reset complet de la station. Il a fonctionné mais deux conséquences inattendues se sont produites :

- L'ordinateur gérant le point d'amarrage du module Soyuz utilisé par les équipiers a surchauffé et est bientôt inopérant. Ainsi, ce point d'amarrage sera inutilisable trente-cinq minutes après le début de l'exercice. Si le module Soyuz reste arrimé à ce point, il sera perdu dans trente-cinq minutes. Ainsi, un transfert doit être entrepris.
- Les commandes de vol et les interfaces du module Soyuz ont été réinitialisées dans leur version initiale. Malheureusement, les équipages présents dans l'ISS n'ont pas été formés à celle-ci.

Le but du problème est alors de maîtriser le maximum de commandes de vol et d'interfaces liées à l'ancienne version du module Soyuz en moins de dix-neuf minutes. Le delta entre les dix-neuf et les trente-cinq minutes doit permettre d'effectuer l'installation dans le Soyuz et la sortie réelle du point d'amarrage. Un logiciel de simulation des transferts soyuzSim est fourni aux équipes (Baroncini, 2012). Les éléments à rechercher se divisent en trois catégories :

- Informations présentées à l'écran,
- Les commandes moteur,
- Les commandes de maîtrise de la trajectoire.

La figure 31 présente l'interface homme-machine du logiciel soyouzSim (Baroncini, 2012) à maîtriser par les équipes.

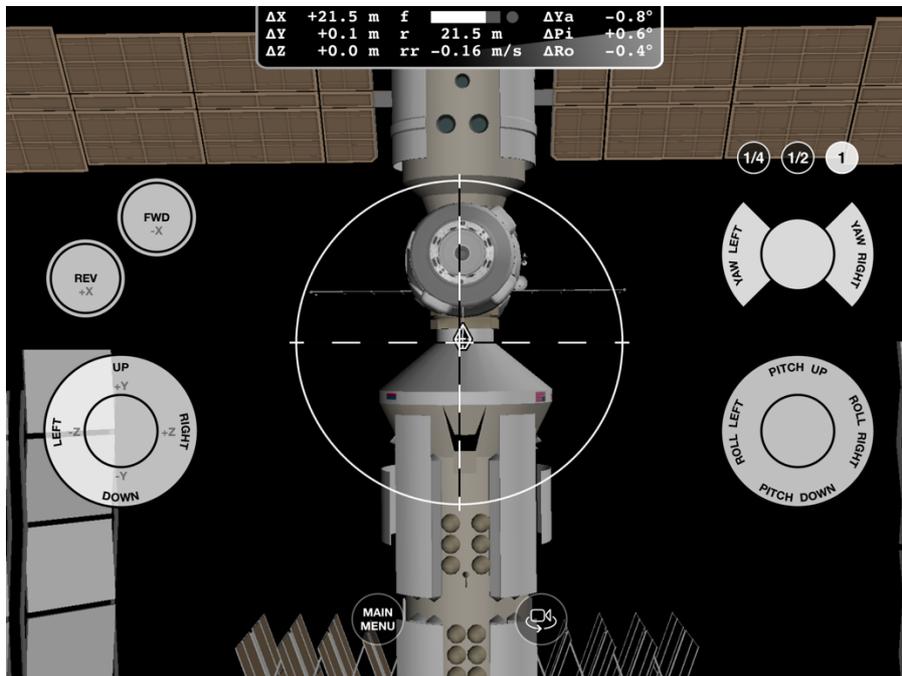


Figure 31. interface homme machine du logiciel soyouzSim (Baroncini, 2012)

#### 2.5.11.2. Intérêt

L'utilisation d'un logiciel pour susciter le travail en équipe a déjà été mis en œuvre par Volpe, Cannon-Bowers, Salas et Spector (1996) par exemple. Ces auteurs (1996) utilisent un « simulateur d'avion F16 sur un support PC » (notre traduction) pour étudier l'impact du « cross-training »<sup>41</sup> sur le fonctionnement d'équipes. Dans le cadre du protocole LETUCA, les buts de l'usage d'un logiciel sont l'étude de la performance opérationnelle et la métacognition, comme décrit dans les hypothèses.

Les équipes comprennent chacune un pilote, seul à pouvoir manipuler la tablette, celui-ci est différent du commandant de bord. Le but est de se rapprocher d'un équipage avec une répartition imposée des fonctions. Le risque est de produire un inconfort au sein des équipes du fait de la volonté de compréhension des paramètres à étudier et de l'interdiction d'accès aux commandes instaurée par les consignes pour trois équipiers sur quatre.

En plus, l'environnement peut détourner la concentration des équipes de la tâche à accomplir. En effet, les équipiers risquent d'être attirés par l'exécution d'un transfert du module Soyuz, principale fonction du logiciel soyouzSim (Baroncini, 2012). La tâche demandée n'est alors pas remplie. Cette situation peut être comparée à un environnement opérationnel où des stimuli extérieurs (vibrations, bruits, lumières, interventions de tierces personnes, etc.) perturbent le travail d'une équipe. De plus,

<sup>41</sup> Pour Volpe et *al.* (1996), le « cross-training réfère à une stratégie dans laquelle chaque équipier est entraîné sur les tâches, fonctions et responsabilités de ses compagnons d'équipe » (notre traduction).

à la quinzième minute, le doctorant annonce la réduction du temps disponible de vingt-deux minutes à dix-neuf. Un effort supplémentaire est donc nécessaire dans cet exercice pour bien cerner l'objectif, s'y tenir et s'adapter.

Cet exercice a été créé pour le protocole LETUCA.

### 2.5.11.3. Organisation pratique

Les équipes sont disposées selon la figure 32.

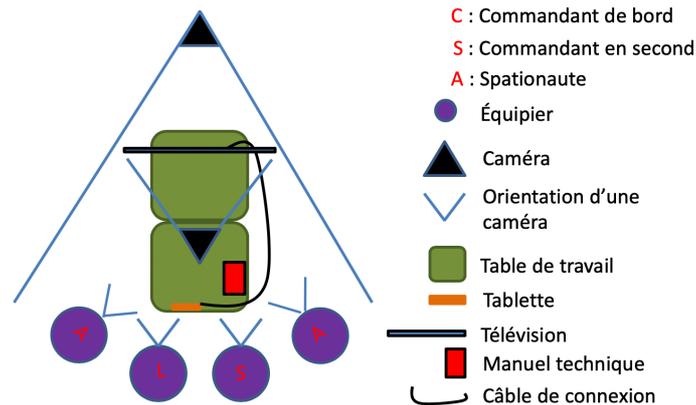


Figure 32. disposition de l'exercice Transfert de point d'amarrage

### 2.5.11.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

Cet exercice s'inscrit dans le cadre d'une recherche scientifique, je vous demande donc de vous projeter avec professionnalisme dans la tâche à accomplir.  
L'exercice dure vingt-deux minutes.

Vous quatre êtes à bord de la station spatiale internationale ISS. Votre vaisseau Soyuz utilisé pour l'aller et le retour vers la station spatiale est amarré sur le point « ZEVZDA », la journée avance et vous êtes tous concentrés sur vos tâches personnelles.  
Soudain, il y a une extinction totale de courant. Quelques secondes plus tard, le courant revient et l'imprimante de bord vous imprime ces cinq feuilles.

Un énoncé avec de nombreuses informations est présenté aux équipes de manière à garantir l'accès à ces éléments et d'axer le travail des équipes sur la reconnaissance de l'interface homme-machine. Ce texte est :

Virus informatique détecté dans l'ordinateur central de la station spatiale internationale.  
Action automatique effectuée : RESET de tous les systèmes de bord.

Trois conséquences du RESET :

- Virus informatique effacé.

- Ordinateur de commande du point d'amarrage « ZVEZDA » court-circuité, arrêt définitif du fonctionnement du point d'amarrage « ZVEZDA » dans trente-cinq minutes. Votre vaisseau Soyuz de retour sur Terre y est amarré et ne sera donc plus utilisable dans trente-cinq minutes. Il n'y a qu'un vaisseau Soyuz disponible sur la station spatiale.
- Vaisseau Soyuz de retour sur Terre réinitialisé sur la version « sortie d'usine » : les affichages et les commandes des moteurs en version « sortie d'usine » sont inconnus de votre équipage.

Pour empêcher le blocage de votre vaisseau Soyuz, il faut le transférer du point d'amarrage « ZVEZDA » en jaune vers le point « PIRS » en vert, voir le plan de la station spatiale disponible sur le PPT pour visualiser la situation (plusieurs planches disponibles).

Téléchargement automatique du simulateur Soyuz avec la version « sortie d'usine » effectué et disponible sur la tablette. Téléchargement effectué afin de permettre à l'équipage de se familiariser avec la version « sortie d'usine ».

La feuille annexe donne les instructions pour configurer le simulateur selon la position réelle de votre Soyuz (voir le plan extérieur sur le PPT) : transfert du point d'amarrage « ZVEZDA » vers le point d'amarrage « PIRS ».

Vous avez vingt-deux minutes au maximum.

**Seul le pilote** de l'équipage est autorisé à manipuler la tablette.

L'unique but de l'exercice est de donner sur une seule feuille réponse **le rôle des affichages et des commandes** du simulateur de Soyuz de la tablette. La performance est mesurée en fonction de la précision de chaque réponse ; si un doute existe, la réponse n'est pas comptée.

Étant en mission à bord de l'ISS, les spationautes connaissent l'environnement normal des systèmes discutés dans ce problème. Les équipiers ne doivent donc pas apprendre ce cadre standard dans cet exercice, soit avant le reset de l'ordinateur de bord. Des planches explicatives de la situation normale de l'ISS sont ainsi fournies aux équipes. Par conséquent, elles contiennent les éléments d'ambiance de la tâche fictive à réaliser : un transfert d'un point d'amarrage à un autre. Ces informations peuvent être utiles mais aussi perturbantes si les équipiers oublient la tâche réelle, *i.e.* comprendre l'interface homme-machine en version initiale du module Soyuz. Deux planches sur quatre sont présentées en figures 33 et 34. La maîtrise des menus du logiciel utilisé n'étant intégrée à la mesure de la performance opérationnelle, un mode d'emploi simplifié est donc fourni.

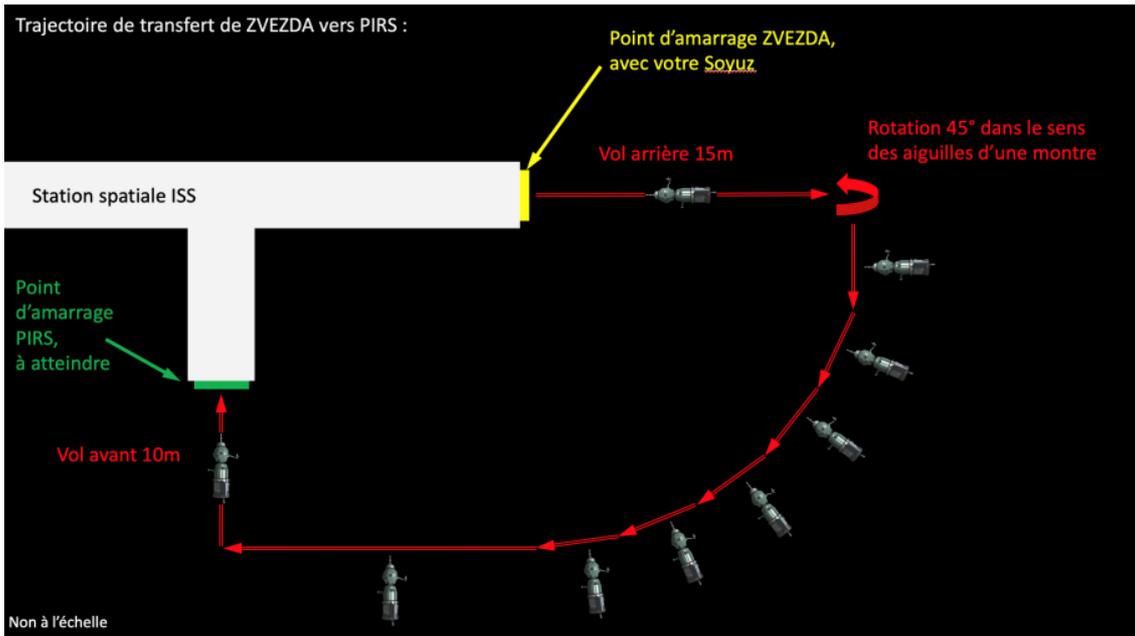


Figure 33. trajectoire générale d'évolution du module Soyuz

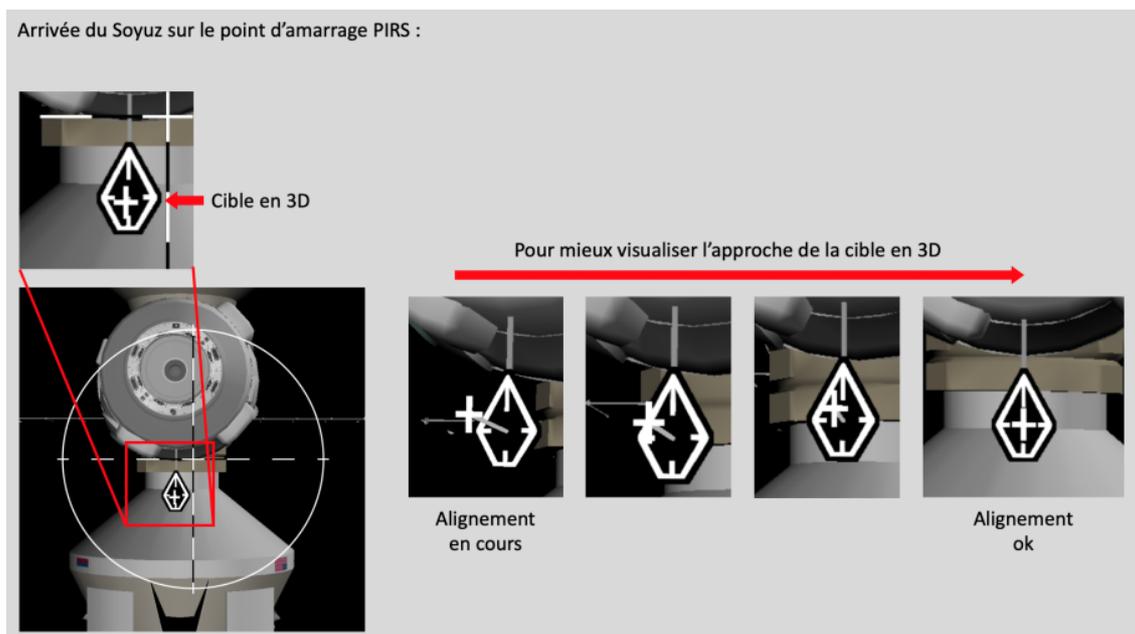


Figure 34. alignement du module Soyuz sur le point d'amarrage ciblé

#### 2.5.11.5. Mesure de la performance

La performance opérationnelle est mesurée à partir de la compréhension de l'interface homme machine présentée. Comme décrit ci-dessus, il s'agit d'éléments relatifs à :

- La présentation d'informations de pilotage,
- Des commandes moteur,
- Des commandes de maîtrise de la trajectoire.

Si une équipe décrit sans doute possible l'un de ces items sur une feuille réponse, un point est attribué. Le risque de doute est élevé du fait des multiples commandes et informations associées selon les axes d'évolution. Si un doute subsiste et qu'il n'est pas possible de discriminer deux éléments, le(les) point(s) correspondant(s) n'est (ne sont) pas attribué(s).

Une analyse de l'interface homme-machine a été effectuée afin de déterminer la liste exhaustive des items possibles. Cette liste comprend les informations relatives :

- Au nom de l'élément,
- Au descriptif de la commande,
- À la grandeur mesurée,
- À l'axe concerné,
- Au besoin pratique de manœuvrabilité.

Des exemples de réponses sont :

- Commande déplacement latéral gauche & droit (à gauche, LEFT RIGHT),
- Distance selon Oz par rapport au point d'amarrage :  $\Delta z$ ,
- Différence entre l'angle de tangage du Soyuz et la valeur cible requise par le point d'amarrage :  $\Delta R_o$ ,
- Indicateur rouge ou vert selon la valeur de la vitesse de rapprochement du Soyuz vers le point d'amarrage.

#### 2.5.12. 12<sup>ème</sup> expérience : Monument Valley

Cet exercice met en œuvre le logiciel Monument Valley (Ustwo, 2014) sur lequel sont imposées une durée, une mesure de la performance et une progression des étapes de l'exercice.

##### 2.5.12.1. Contexte

Cet exercice n'a pas de contexte particulier. Les équipes sont placées devant une tablette avec le logiciel Monument Valley de l'entreprise Ustwo (2014) exposé ci-après. La figure 35 présente une photographie d'une des épreuves relevées par les équipes ; cette image est extraite du « kit press » de Ustwo. Leur but est de déplacer un personnage (en blanc au centre sur la figure 35) jusqu'à une porte de sortie clôturant une épreuve.

Des règles générales sont appliquées pour permettre la bonne conduite de l'expérience et la mesure de la performance opérationnelle.

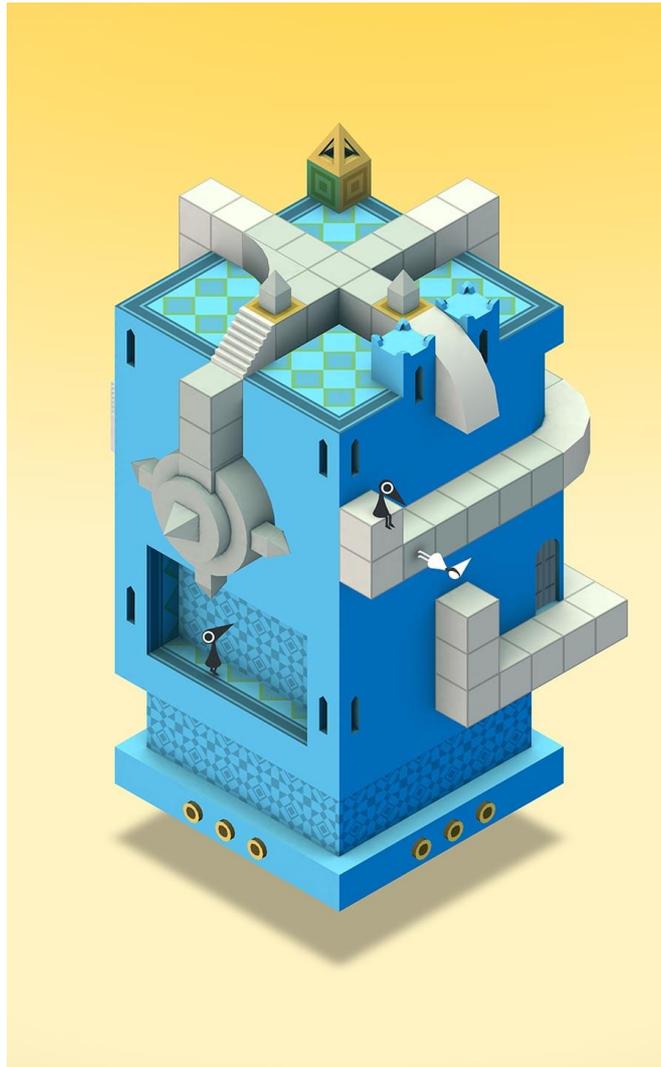


Figure 35. scène du logiciel Monument Valley de Ustwo (2014)

#### 2.5.12.2. Intérêt

Cet exercice clôture le protocole LETUCA car il n'est pas lié aux vols spatiaux habités. Le but est de réduire l'impact d'un arrêt prématuré du protocole pour diverses raisons et ainsi l'impossibilité d'organiser cette douzième expérience. Ainsi, la probabilité d'effectuer les exercices précédents avec un contexte aérospatial est maximisée.

Le logiciel Monument Valley (Ustwo, 2014) permet de mettre à l'épreuve les équipes face à un environnement ne respectant pas les lois physiques communément suivies, par exemple : modifications de la gravité, modification de l'environnement, etc. Les équipes doivent donc s'adapter et progresser dans cet environnement. Monument Valley adapte notamment les œuvres de l'artiste Escher : *Relativity* (1953) et *Waterfall* (1961).

Les équipes ne sont pas informées des règles à suivre pour réussir les sous-problèmes (exemple de la figure 35), uniquement le besoin de les terminer. Par conséquent, cet exercice est considéré comme inconnu.

### 2.5.12.3. Organisation pratique

Les équipes sont disposées selon la figure 36.

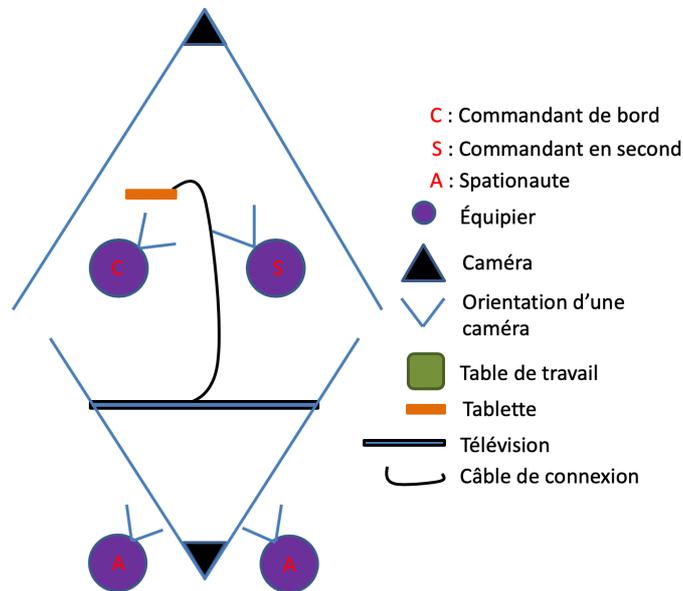


Figure 36. disposition de l'exercice Monument Valley de Ustwo (2014)

### 2.5.12.4. Énoncé

Le texte suivant est lu par le doctorant aux trois équipes :

La performance est mesurée sur le temps nécessaire à terminer le jeu complet ainsi que chaque partie intermédiaire. Une partie commence quand vous entrez dans une porte et se termine quand vous sortez de cette même porte. Vous verrez facilement ces portes sur le jeu.

Attention plus vous terminez de parties, plus votre score est important, ne tardez donc pas quand vous êtes sur la plateforme principale. Tant que je ne vous dis pas que le jeu est terminé, vous continuez à tenter de progresser.

Vous devez rentrer dans chaque porte présente dans le jeu dans un ordre précis : de la plus proche de la position initiale au début du jeu à la plus éloignée le long du chemin. Il n'y a qu'un seul chemin et donc il n'y a pas d'ambiguïté possible sur l'éloignement des portes. Si, vous faites une erreur, je reconfigurerai la tablette, vous perdrez du temps et votre performance sera diminuée.

Je répète : vous devez commencer par la porte la plus proche de la position initiale à la porte la plus éloignée.

Vous avez trente minutes au maximum, si vous terminez avant, vous partez avant.

Un énoncé réduit est fourni aux équipes afin de permettre un suivi rigoureux des consignes et la mesure de la performance. Les règles réduites fournies sont :

Vous avez un logo discret en haut à gauche de l'écran de la tablette. Ce logo sert à revenir au menu principal. Vous ne devez pas y toucher.

Vous devez rentrer dans chaque porte présente dans le jeu dans un ordre précis : de la plus proche de la position initiale au début du jeu à la plus éloignée le long du chemin. Il n'y a qu'un seul chemin et donc il n'y a pas d'ambiguïté possible sur l'éloignement des portes. Si, vous faites une erreur, je reconfigurerai la tablette, vous perdrez du temps et votre performance sera diminuée.

Vous devez commencer par la porte la plus proche de la position initiale à la porte la plus éloignée. Vous avez trente minutes au maximum, si vous terminez avant, vous partez avant.

#### 2.5.12.5. Mesure de la performance

Le problème complet est composé de cinq sous-problèmes matérialisés par une porte d'entrée. La performance associée à chaque sous-problème est le temps nécessaire pour les terminer, *in fine* le temps mesuré entre l'entrée du personnage du logiciel dans une porte et sa sortie. Un ordre a été imposé à la progression des équipes : de la porte la plus proche à la plus éloignée de la position du personnage au début du jeu. Comme décrit dans les consignes, si l'ordre n'est pas respecté, le problème est réinitialisé au détriment de la performance de l'équipe fautive. Cette reconfiguration est nécessaire à la comparaison de la performance entre les équipes.

## Conclusion

Le protocole LETUCA a été composé à partir d'exercices de sources variées ou directement créés pour répondre aux hypothèses retenues. Les douze problèmes permettent de solliciter les équipes sur la base de problèmes majoritairement relatifs à un contexte spatial tout en étant abordable par des non spécialistes. Conçus différemment les uns des autres pour préserver l'effet de surprise et pour diminuer l'application d'une solution d'un exercice à un autre indépendant, les problèmes respectent néanmoins des règles organisationnelles identiques aux trois équipes. Le tableau 9 synthétise la qualification d'inconnu ou non et la ou les origines de chaque exercice.

<b>Synthèse</b>	<b>1. Survie lunaire</b>	<b>2. Mercury 21</b>	<b>3. Missionnaires</b>	<b>4. Sac et l'Euro</b>	<b>5. Untangle</b>	<b>6. Procédure feu</b>
Problème qualifié d'inconnu ?	non	oui	non	oui	oui	oui
Origine du problème	Hall et Watson (1970)	Adapté d'Énigme-facile	Adapté d'Énigme-facile	Adapté des travaux de Davidson et <i>al.</i> (1994) et d'Énigme-facile	Adapté de KECHAP FREE GAMES LIMITED	Créé pour le protocole LETUCA
<b>Synthèse</b>	<b>7. Système électrique</b>	<b>8. Compte rendu Mars</b>	<b>9. Évitement d'astéroïde</b>	<b>10. Qualités pilote drone sur Mars</b>	<b>11. Transfert de point d'amarrage</b>	<b>12. Monument Valley</b>
Problème qualifié d'inconnu ?	oui	non	oui	non	non	oui
Origine du problème	Adapté de Leavitt et Mueller (1951)	Créé pour le protocole LETUCA	Créé pour le protocole LETUCA	Créé pour le protocole LETUCA	Adapté de Baroncini (2012)	Adapté d'Ustwo (2014)

Tableau 9. synthèse des exercices du protocole LETUCA

### 3. Procédure

#### 3.1. La nécessité d'expériences organisées en laboratoire

Pour tester les hypothèses, les équipes doivent résoudre des problèmes en étant soumises à un niveau maximal de conditions identiques : temps disponible, équipement disponible, informations données, configuration de l'espace de travail, contraintes introduites, présence d'un seul observateur (le doctorant) et position du doctorant. Les conditions de résolution de problèmes en laboratoire permettent de remplir cet objectif, au prix d'une absence de contexte réel et de choix limités (Debanne, 2013). En effet, si les conditions de travail varient, les résultats peuvent être différents. Par exemple, comme le soulignent Baiwir et Delhez (2004) : « faut-il rappeler que des expériences précises ont montré que la seule présence d'observateurs modifie les comportements des participants, partant la performance du groupe ? » La présence du doctorant est obligatoire pour assurer l'exécution des expériences conformément aux consignes. En revanche, aucune autre personne n'a assisté aux expériences. Plus largement, des conditions identiques doivent être maximisées afin de limiter l'introduction de biais dans le travail des équipes durant le protocole LETUCA.

Autrement dit, le protocole LETUCA n'a pas été conçu avec une approche écologique qui « traduit l'attention portée à la prise en compte de l'environnement pour comprendre les conduites que la

personne développe pour s'y adapter » (Valot, 1998). Les tests des hypothèses ne s'inscrivent pas dans cette dynamique.

### 3.2. Méthode d'observation de la métacognition

Quatre des cinq hypothèses sont orientées vers l'étude de l'influence de la métacognition lors de résolution de problèmes inconnus. Une méthode de mesure et de détection de la présence de la métacognition doit donc être mise en place. La littérature offre un large panel de mesures possibles, néanmoins, elles ne correspondent pas toutes aux contraintes du protocole LETUCA. Il est donc nécessaire de définir les contraintes imposées par les tests des hypothèses pour étudier la métacognition. Il est alors possible de filtrer les méthodes ne pouvant respecter ce cadre pour finalement en retenir une adaptée et définie.

#### 3.2.1. Observation passive de la métacognition

##### 3.2.1.1. Un choix fondamental : l'absence d'intervention du doctorant

Les tests des hypothèses nécessitent de laisser les équipes librement travailler et ainsi ne pas intervenir durant les expériences. Les équipes sont ainsi libres de résoudre les problèmes proposés et de faire évoluer leurs interactions selon leur vécu. Plusieurs raisons justifient cette position passive et d'observateur du doctorant lors des expériences.

##### (1) Ne pas intervenir pour ne pas contraindre la construction des équipes

Les contraintes cognitives extérieures sont réduites au strict besoin de l'organisation du protocole LETUCA. De cette manière, les équipes ont pu développer de l'implicite, leurs propres procédures, schémas mentaux partagés, etc. Sans obligation ou proposition d'une méthode particulière pour résoudre les problèmes, ces expériences ne sont donc pas l'image d'une réflexion extérieure. Les outils, tactiques, stratégies et raisonnements sont ainsi produits par les équipes de manière à pouvoir coder une métacognition endogène. L'influence du vécu des équipes peut donc être lue avec une minimisation des biais.

##### (2) Un corollaire étant de ne pas former et améliorer les capacités

Les tests des hypothèses ont pour but de comprendre l'influence du vécu partagé par des équipes sur la performance opérationnelle et la métacognition mise en œuvre, il n'est donc pas question de formation à l'un ou l'autre des paramètres étudiés. Plus précisément, les équipes ne sont pas informées de l'étude de la métacognition lors de leurs réflexions afin d'éviter une modification des comportements. De plus, ce travail de recherche n'a pas pour but de mesurer le degré d'assimilation des expériences diversifiées et de qualité par les équipes. Ce positionnement impose donc de ne donner ni procédure, ni méthode, ni standard de travail collectif aux équipes. C'est uniquement la lecture de la présence ou non de la métacognition en fonction du vécu en commun ou non des équipes qui est au centre de l'étude des échanges des équipes.

Finalement, les équipes seront libres de résoudre les problèmes inconnus, aucune formation ou autre incitation ne sera proposée pour les résolutions de problèmes inconnus ou non. Le doctorant

restera donc en retrait et réduira au minimum ses interventions à la préservation du déroulement des expériences.

### 3.2.1.2. Réduisant le spectre des mesures réalisables

Compte tenu de ce choix de ne pas influencer les équipes lors de leur participation au protocole LETUCA, une méthode de lecture *ad hoc* de la métacognition au sein du travail collectif et respectant ce retrait du doctorant doit être élaborée. Le but de cette partie est de présenter succinctement les différentes méthodes extraites de la littérature étudiée et de filtrer celles ne permettant pas cette absence d'influence sur les résolutions de problèmes. Ce critère d'absence d'influence de la méthode d'étude sur le travail des équipes sera formalisé au travers des termes passif et actif. Une méthode sera active à partir du moment où elle impose, de par son fonctionnement, une modification des connaissances et du travail des équipiers. Cette modification pourra avoir lieu via des interventions, questions, sollicitations extérieures à la résolution propre du problème. Au contraire, si les acteurs ne sont pas influencés par le chercheur doctorant (hormis par la présence des instruments de mesure : caméra, micro, trépied, etc.), cette méthode sera qualifiée de passive.

#### 3.2.1.2.1. État de l'art des techniques d'observation existantes

Comme l'expliquent Mariné et Huet (1998), lister l'ensemble des outils employés dans la recherche sur la métacognition est une « tâche impossible étant donné leur foisonnement ». Il est donc question de comprendre les « types de techniques utilisées » (Mariné et Huet, 1998) concernant l'étude de la métacognition afin d'en retenir une cohérente avec les tests des hypothèses.

Une première distinction entre les mesures d'étude de la métacognition réside dans la proximité entre la personne sondée et la tâche mettant en œuvre la métacognition. Deux catégories sont ainsi distinguées : les mesures indépendantes et celles dépendantes.

« Dans les mesures indépendantes (...), les données sur la métacognition sont recueillies indépendamment de la réalisation effective d'une (ou plusieurs) tâche(s) » (Mariné et Huet, 1998). Les réflexions ainsi décrites par les personnes questionnées proviennent d'expériences « hypothétiques ». À l'inverse, les mesures dépendantes vont être liées à l'exécution d'une activité :

*Des mesures dépendantes dans lesquelles les données sont recueillies en relation avec la réalisation d'une tâche particulière ont été élaborées. Le sujet, qu'il soit enfant ou adulte, produit des comportements verbaux et/ou non verbaux sur la base d'une tâche qu'il va réaliser, qu'il est en train de réaliser, ou qu'il vient de réaliser. (Mariné et Huet, 1998, p.18)*

Dans le cadre de ce travail de recherche, les mesures dépendantes sont plus adéquates car permettant d'approcher la métacognition liée à des résolutions de problèmes inconnus, via les exercices du protocole LETUCA. Il sera ainsi possible de « contextualiser l'évaluation métacognitive fournissant ainsi les meilleures conditions d'expression du savoir métacognitif » (Mariné, Huet, 1998). De plus, il ne sera pas fait usage des données pouvant être retenues avant ou après la tâche afin de se concentrer sur la métacognition exprimée pendant l'action. En effet, une anticipation ou un retour sur la métacognition des participants ne sera pas inscrit dans le caractère passif de la

méthode souhaitée. Ces méthodes nécessitent de susciter une réflexion particulière et non naturelle chez les équipiers. Par exemple, le chercheur pourra demander : comment pensez-vous planifier la solution ? La métacognition est alors provoquée ce qui est contraire au positionnement discuté *supra*. Mariné et Huet (1998) ajoutent que les mesures dépendantes « ont pour objectif d'évaluer le savoir métacognitif qu'un sujet met en œuvre pour contrôler et réguler son activité cognitive avant, pendant et/ou consécutivement à la réalisation d'une tâche particulière ». Les mesures dépendantes sont donc cohérentes avec les tests des hypothèses retenues dans le cadre de cette thèse : ce travail doctoral se destine à mettre en parallèle l'influence de métaconnaissances sur la performance et donc le monitoring et le contrôle d'actions. Les mesures dépendantes sont donc bien adéquates pour l'étude de la métacognition selon les contraintes et objectifs de cette thèse.

En parallèle des mesures dépendantes et indépendantes, la littérature propose les mesures « on-line » et « off-line ». Elles doivent être comprises comme une caractéristique supplémentaire des « types de techniques utilisées » (Mariné et Huet, 1998). En effet, Jacobse et Harskamp (2012) décrivent l'utilité des mesures « on-line » et « off-line » dans la recherche sur certains processus métacognitifs : « analyser et explorer une tâche, concevoir une planification, appliquer une planification et vérifier une réponse (...) peuvent être mesurés off-line et on-line du processus d'apprentissage » (notre traduction). Azevedo, Moos, Johnson et Chauncey (2010) précisent ces positions de la mesure par rapport à la tâche : « Les méthodologies online capturent toute activité qui se produit durant le traitement, alors que les méthodes offline capturent toute activité qui arrive soit avant soit après le traitement » (notre traduction et adaptation). Tout comme Jacobse et Harskamp (2012), le terme « trace » a été supprimé de cet extrait. En effet, il est trop réducteur pour définir l'emploi possible des méthodes on-line et off-line dans le cadre des tests des hypothèses de ce travail. Les méthodes on-line et off-line justifient dans cette thèse uniquement la situation temporelle de la mesure par rapport à la tâche (avant, pendant ou après) et non pas l'objet étudié (une trace ou autre). Dans la pratique de l'étude de la métacognition :

- Soit la recherche se concentre sur la métacognition avant ou après l'activité (off-line),
- Soit elle se focalise sur la métacognition délivrée lors du traitement même de problème (on-line).

La méthode off-line nécessite donc de dévoiler l'étude en cours de la métacognition aux participants, compte tenu de ce travail de recherche, ce n'est pas acceptable. De plus, Jacobse et Harskamp (2012) précisent que « les mesures on-line (...) ont l'avantage de mesurer la métacognition en parallèle du comportement d'apprentissage, d'où un apport accru de signes de la véritable utilisation de la métacognition affectant le comportement d'apprentissage » (notre traduction). Sans révéler de contradiction avec les besoins des hypothèses, « les stratégies métacognitives ne peuvent être observées qu'en cours d'action » (Saint-Pierre, 1997) et donc via une approche « on-line ». Finalement, compte tenu de l'observation passive recherchée de la métacognition naturellement mise en place lors de l'exécution d'un traitement de panne, la méthode on-line est choisie dans le cadre de cette thèse.

La figure 37 synthétise les méthodes d'étude de la métacognition abordées ci-dessus.

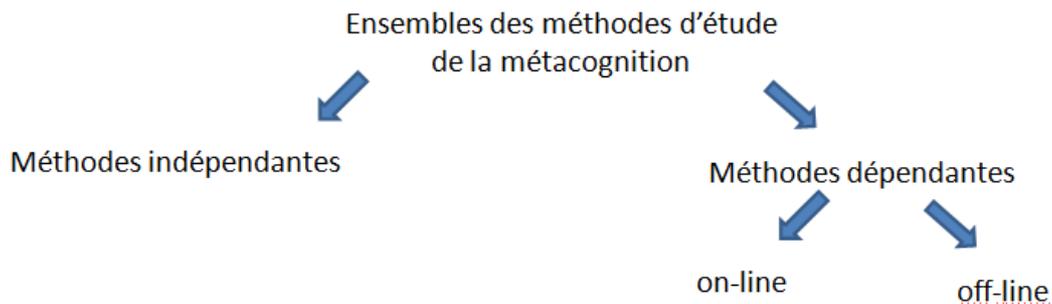


Figure 37. organisation des méthodes d'étude de la métacognition en fonction de la proximité à la tâche

Au-delà des « types de techniques utilisées » (Mariné et Huet, 1998), Frenkel (2014) propose une autre distinction fondée non pas sur la proximité à la tâche mettant en œuvre la métacognition mais sur la manière de prendre en compte la métacognition chez l'acteur. En effet, « un état de l'art permet de distinguer les mesures auto-rapportées (questionnaires) et les mesures hétéro-rapportées (observations, mise en situation de résolution de problème avec indices de mesure) » (Frenkel, 2014). Frenkel (2014) décrit les outils selon leur type :

- Questionnaire,
- Test,
- Entretien,
- Grille d'observation,
- Programme informatique,
- Journal d'apprentissage.

Chaque outil présente des « différences à plusieurs niveaux (*e.g.* format des items, mode de réponse, méthode de cotation) » (Frenkel, 2014), mais aussi « différentes tendances dans leur utilisation » (Frenkel, 2014). Il s'agit donc de décrire brièvement ces outils afin de filtrer ceux ne répondant pas aux nécessités des tests des hypothèses et de sélectionner le plus adéquate.

#### 3.2.1.2.2. Besoin d'une technique d'observation passive : la grille d'observation

La plupart des outils proposés par Frenkel (2014) sont actifs car ils nécessitent une ou plusieurs interventions dans le processus de résolution collective des problèmes. Ces interventions, portant sur la métacognition compte tenu des hypothèses, si elles étaient utilisées dans le cadre de cette thèse, peuvent orienter la réflexion des équipes tout au long du protocole LETUCA et modifier les comportements lors de résolutions ultérieures de problèmes. En effet, « les connaissances métacognitives s'acquièrent par la prise de conscience de son fonctionnement, de sa manière d'apprendre, d'aborder une tâche, de résoudre des problèmes, etc. » (Vianin, 2009). Ces évolutions potentielles des comportements et des traitements de problèmes inconnus peuvent apporter des biais dans les résultats compte-tenu des hypothèses. Les outils actifs ne sont donc pas employés pour étudier la métacognition mise en œuvre par les équipes dans le cadre du protocole LETUCA :

- Le questionnaire : dans l'étude de la métacognition, Jacobse et Harskamp précisent que les questionnaires font partie « des catégories de mesures off-line les plus utilisées » (notre traduction, 2012). En revanche, le questionnaire est un outil actif dans le sens où il pose des questions et incite des axes de réflexions aux personnes sollicitées.

- Le test : proche des questionnaires, les tests sont eux aussi employés (Frenkel, 2014 ; Özsoy et Ataman, 2009 ; Reyes Guerrero, Ramirez-Corona, Lopez-Malo et Palou, 2014) mais aussi considérés comme des outils actifs car ils mettent les personnes soumises aux exercices face à des items orientés vers la métacognition.
- L'entretien : il consiste à « revenir sur différents éléments observés et/ou différents éléments de réponse apportés par le participant » (Frenkel, 2014).
- Le programme informatique : il « permet d'évaluer les composantes métacognitives et d'autres processus d'autorégulation » et « rend possible le recueil de nombreuses informations quantitatives » (Frenkel, 2014). Néanmoins, « En encourageant l'utilisation de la métacognition, le logiciel place les étudiants dans une position de surveillance de leurs processus mentaux, afin de ne pas répéter les erreurs déjà détectées » (notre traduction, Nunes et *al.*, 2003). Un logiciel peut aussi être utilisé dans une dynamique passive (comptage automatique d'occurrences par exemple), cependant, il ne devient plus indispensable (le comptage peut s'effectuer manuellement) et peu pertinent compte tenu du coût financier élevé lié au développement d'un tel outil (Frenkel, 2014).
- Le journal d'apprentissage : Glogger, Schwonke, Holzäpfel, Nückles et Renkl (2012) proposent cet outil d'analyse de la métacognition impliquant l'approfondissement du processus d'apprentissage en inscrivant les stratégies cognitives suivies.

La grille d'observation est un outil de mesure de la métacognition pouvant être actif (observation intrusive de traces, Frenkel, 2014) mais surtout passif grâce à la simple observation des événements (par exemple, l'observation non intrusive de traces, Frenkel, 2014). Cette seconde catégorie d'observation satisfait la contrainte de passivité appliquée aux tests des hypothèses retenues. L'observation passive présente cependant des défauts : rigueur nécessaire dans le traitement des observations, divergences entre les observateurs potentiels (Frenkel, 2014) et destinée aux petits nombres de personnes (Akturk et Sahin, 2011) sous peine d'un long travail d'analyse.

Plus généralement, cette « technique consiste à recueillir les comportements spontanément mis en œuvre par les sujets, enfants ou adultes, pour contrôler et réguler leur activité en cours » (Mariné et Huet, 1998). Cette position d'observateur passif est mise en œuvre par plusieurs chercheurs de la littérature étudiée : Hutchins et Kendall (2010), Anderson, Nashon et Thomas (2009), Rosen (2010) et Wiltshire et *al.* (2014) dans le cadre de communications au sein d'une équipe face à des événements, Jacobse et Harskamp (2012) au sujet de traces écrites schématiques ou picturales selon le degré de maîtrise métacognitive.

La verbalisation à haute voix (think-aloud protocol) :

Les outils décrits par Frenkel (2014) (le questionnaire, test, entretien, grille d'observation, programme informatique et le journal d'apprentissage) peuvent être accompagnés d'un dernier moyen de mettre en valeur la métacognition à des fins de recherche : la verbalisation à haute voix.

Sur la verbalisation à haute voix, parmi d'autres techniques :

*Ces approches obligent l'individu à porter une attention réfléchie sur son action et à établir une communication interne lors de ses processus intellectuels, activités importantes pour révéler la métacognition. Cependant, ces techniques posent aux sujets la contrainte cognitive de devoir verbaliser lorsque d'autres processus cognitifs sont mis en place. (Escorcía, 2007, p.141)*

De plus, des verbalisations plus poussées (justifications des actes et donc de la métacognition) peuvent améliorer les résultats obtenus (Mariné, Huet, 1998) et donc introduire des biais dans les résultats. D'autres défauts accompagnent la verbalisation : sa complexité et son caractère chronophage (Jacobse et Harskamp, 2012).

Bien qu'inadaptée aux hypothèses de ce travail de recherche, la compréhension de la verbalisation permet de valoriser l'exploitation de la grille d'observation. En effet, la verbalisation à haute voix donne une base de données brutes, identique à la grille d'observation : les retranscriptions. « La technique de verbalisation simultanée est similaire à la technique de recueil de protocoles verbaux telle qu'elle est utilisée en psychologie cognitive » (Mariné et Huet, 1998). Une fois les données brutes acquises, l'exploitation des données issues de l'observation et des verbalisations à haute voix sera donc proche. En plus de l'exploitation, Escorcía (2007) présente une autre similitude au sujet des informations recueillies : « les verbalisations à haute voix ou les observations en cours d'action, par exemple, cherchent à connaître les informations et les stratégies utilisées par le sujet ». D'autres avantages de la verbalisation sont partagés avec l'observation passive de résolution collective de problèmes et démontrent l'intérêt de cette dernière technique pour les tests des hypothèses :

- « L'information au sujet du comportement métacognitif est collectée directement quand elle est exécutée » (notre traduction, Jacobse et Harskamp, 2012),
- « Dans les protocoles verbaux, la régulation et le monitoring métacognitif des étudiants sont enregistrés durant toutes les étapes de la résolution du problème » (notre traduction, Jacobse et Harskamp, 2012),
- « Nos résultats confirment que les données de verbalisation recueillies pendant le processus de résolution de problème peuvent fournir de nombreuses informations sur les processus métacognitifs influençant la résolution de problème » (notre traduction, Jacobse et Harskamp, 2012).

La verbalisation peut aussi avoir lieu *a posteriori* (Mariné et Huet, 1998 ; Escorcía, 2007), mais cette technique n'est pas pertinente pour les tests des hypothèses car elle oblige les équipiers à se souvenir de manière forcée des résolutions entreprises. La verbalisation est répandue dans l'analyse de la cognition ; la littérature étudiée présente d'autres travaux employant cet outil : Salas, Rosen, Held et Weissmuller (2009), Carlson et Bloom (2005) et Frenkel (2014).

De nombreux outils existent et permettent l'analyse de la métacognition. Cependant, la plupart ne correspondent pas à la passivité requise par les tests des hypothèses. Seule l'observation passive respecte le retrait nécessaire aux résolutions libres des équipes. En effet, seuls les moyens d'enregistrement et le doctorant sont présents. La littérature met en valeur une méthode active : la verbalisation, car elle provoque une modification des méthodes habituelles de travail (l'opérateur doit dire ce qu'il pense et fait). Néanmoins, la verbalisation peut apporter des clés d'analyse de l'observation grâce à la proximité technique du recueil des données, à savoir l'enregistrement *in situ* des interactions entre les équipiers.

### 3.2.2. Optimisation de l'observation des équipes

D'après l'analyse précédente, l'observation est le meilleur moyen pour étudier la métacognition et tester les hypothèses. Néanmoins, comme le souligne Frenkel (2014) : « aucun outil, aucune méthode n'est malheureusement exempte de critiques négatives ». De plus, « il n'est pas toujours évident dans les rapports verbaux de distinguer ce qui relève des processus cognitifs et métacognitifs » (Mariné et Huet, 1998). Il s'agit donc maintenant d'optimiser l'observation, technique d'analyse de la métacognition, aux particularités des tests des hypothèses afin d'obtenir un outil *ad hoc*.

#### 3.2.2.1. L'observation, un outil aux capacités diversifiées et de qualité

L'observation permet de prendre en compte de nombreuses manières d'exprimer la métacognition. L'utilisation des retranscriptions est bien évidemment le principal moyen d'étude grâce aux dialogues des équipes provoqués par le protocole LETUCA, mais d'autres signaux permettent la mesure de la métacognition. Faisant partie des mesures dépendantes non-verbales, l'observation permet d'« appréhender des processus métacognitifs qui ne sont pas nécessairement verbalisables » (Mariné et Huet, 1998). De manière plus prudente et concernant des enfants de trois à cinq ans, il semble « hautement probable » que les comportements non-verbaux sont des indicateurs des processus métacognitifs mais aussi d'acquisition de la métacognition (Whitebread et *al.*, 2009). Whitebread et *al.* (2009) ont de plus discriminé la présence majoritaire du verbal ou du non-verbal selon les catégories métacognitives chez des enfants de trois à cinq ans :

- La planification et le monitoring sont mis en valeur de manière significative par des comportements ou indicateurs verbaux. Les auteurs donnent un exemple de monitoring non-verbal : « un enfant s'arrête à mi-chemin d'une action (placer une pièce de puzzle), observe une pause et redirige l'action pour la placer autre part » (notre traduction, Whitebread, *et al.*, 2009),
- L'évaluation se remarque grâce aux deux mesures : le verbal et le non verbal,
- Les occurrences du contrôle sont « significativement » plus nombreuses dans le répertoire non verbal.

Dans une approche quantitative, Grave, Boshuizen et Schmidt (1996) stipulent que « l'interaction verbale dans un groupe montre seulement le sommet de l'iceberg des processus cognitifs et métacognitifs (...) » (notre traduction). Mariné et Huet (1998) présentent plusieurs exemples : signaux, gestes, attitudes pouvant signifier de la métacognition non-verbale :

*En situation de résolution de problème, le nombre de consultations de la montre pour surveiller le temps restant (par ex. Bouffard-Bouchard et Pinard, 1988), le fait de noter des résultats intermédiaires au cours de l'apprentissage, de se poser des questions pour sortir d'une impasse, de diviser le problème en sous problème pour faciliter sa résolution (De Jong, 1989) sont autant d'indicateurs d'autorégulation. (Mariné et Huet, 1998, p.25)*

D'autres exemples sont présentés par Flavell, Speer, Green, August et Whitehurst (1981, p.22 à 28 dont certains sont d'ordre métacognitif), Iiskala, Vauras et Lehtinen (2004), Bouffard-Bouchard et Pinard (1988), Iiskala (2015) et justifient ainsi la diversité des comportements métacognitifs non-verbaux.

Néanmoins, Iiskala (2015) remarque une sous-utilisation des comportements non-verbaux dans les recherches sur la métacognition malgré l'apport de « preuves d'indicateurs de processus métacognitifs verbaux et non-verbaux » via la technique d'observation dans le cadre des études de Whitebread et *al.* (notre traduction, 2009). Comme le souligne Georghiades (2004) au sujet de l'emploi d'un silence avant de répondre à une question, la métacognition non-verbale n'est pas toujours évidente à discriminer d'autres facteurs potentiels (le manque de confiance dans cet exemple). Dans ce sens, Whitebread et *al.* (2009) proposent deux axes de difficultés méthodologiques concernant le codage des éléments métacognitifs non verbaux : la validité et la fiabilité.

Bouffard-Bouchard et Pinard (1988) ont fait le choix de réduire les éléments métacognitifs codés à quatre catégories : « consultation de sa montre ou de l'horloge mise à disposition », « lecture préalable de toutes les phrases avant de tester une première hypothèse », « abandon des problèmes avant de trouver une réponse » et « acceptation ou refus du temps supplémentaire de travail ». Cette technique permet de s'affranchir d'un manque de validité et de fiabilité dès que les comportements sont préalablement étudiés et confirmés selon les critères du codage. Cette démarche n'est pas réalisable dans le cadre du test des hypothèses car des items métacognitifs non anticipés peuvent être mis de côté. Afin de pallier ces risques du codage non-verbal explicites, seuls les items dont la catégorie métacognitive est assurée sont codés, comme suggéré par Whitebread et *al.* (2009). Le contexte du travail effectué est alors une aide pour statuer sur la métacognitivité et l'éventuelle catégorie d'une intervention.

Ainsi, « simplement se reposer sur le comportement verbal sous-estimerait et déformerait l'état de la prévalence et de la portée des comportements métacognitifs » (notre traduction, Whitebread et *al.*, 2009). Les interventions non-verbales doivent donc être prises en compte dans le cadre de l'étude des interactions métacognitives de ce travail.

Lors d'une résolution de problème individuelle et collective, des traces métacognitives peuvent être inscrites sur les supports disponibles. Ces traces métacognitives peuvent être observables grâce à des dessins et prises de notes par exemple (Winne et Perry, 2000). Les traces peuvent être observées pour mettre en avant la métacognition tout en étant non intrusives ou intrusives (Frenkel, 2014). En cohérence avec les précédentes contraintes, les traces intrusives ne sont pas employées car elles rompent la résolution spontanée des problèmes par les équipes à cause de l'intervention de l'observateur. En parallèle des dialogues oraux, les « chats » peuvent aussi être employés dans l'observation selon les circonstances des études (Hutchins et Kendall, 2010). Les « chats » ont notamment été utilisés dans l'expérience de Neerincx et *al.* lors du programme Mars500 (ISS Utilisation Department of the ESA, 2011).

#### 3.2.2.2. Qu'il convient d'optimiser pour répondre aux hypothèses

L'observation, comme tous les outils d'analyse de la métacognition, présente « des avantages et des inconvénients inhérents, de plus, (ses) forces et faiblesses sont fonction du paradigme de recherche » (notre traduction, Anderson et *al.*, 2009). Plus largement, Mariné et Huet (1998) stipulent que « le choix le plus approprié de la technique d'évaluation métacognitive dépend

évidemment de l'objectif du chercheur ». Il convient donc de spécialiser l'outil de l'observation au regard des particularités et caractéristiques des hypothèses.

Ce travail de recherche se concentre sur la présence de la métacognition durant la résolution de problèmes inconnus, il convient donc de ne pas concentrer la méthode de mesure sur un élément particulier du spectre métacognitif (traces écrites, dialogue verbal, etc.). Plusieurs travaux se déroulent dans cette logique non spécialisée : Carlson et Bloom (2005), Özsoy et Ataman (2009), Pintrich et *al.*, (1993), Rosen (2010) et Jacobse et Harskamp (2012). Selon les possibilités de la technique de l'observation de la métacognition et comme préconisé par Mariné et Huet (1998), les signes verbaux et non verbaux de la métacognition seront employés dans l'analyse des résolutions de problèmes :

- Les signes verbaux seront les retranscriptions issues des dialogues libres des équipes<sup>42</sup>,
- Les signes non verbaux seront composés des brouillons, sons, expressions faciales, directions des regards et les temps de regards fixés sur certains éléments et enfin les gestes produits par les participants.

Le contexte et les tâches seront aussi exploités via les films afin d'éviter les ambiguïtés potentielles (Salas et *al.*, 2009). Par conséquent, les moyens techniques retenus permettant le stockage de ces données brutes sont la vidéo, les enregistrements audio (Hutchins et Kendall, 2010) et les documents écrits. Les différentes étapes métacognitives pouvant se révéler durant la totalité du temps imparti à la résolution des problèmes proposés, l'enregistrement vidéo doit couvrir la totalité de l'expérience comme pour Jacobse et Harskamp (2012). Les retranscriptions sont effectuées à partir des vidéos de chaque expérience. Les équipiers sont cryptés de manière à limiter l'identification d'un individu particulier. Le temps à partir du début des expériences est utilisé afin de marquer temporellement les dialogues et ainsi rapidement localiser une phrase.

Le protocole LETUCA a pour but de laisser les équipes traiter les problèmes en toute liberté afin de mesurer l'influence des expériences diversifiées et de qualité vécue ou non en commun. La conséquence principale de cette spécificité sur l'outil de mesure de la métacognition est la position d'observation stricte du doctorant lors des expériences. Ainsi seule l'observation passive est une technique pertinente pour cette thèse en se concentrant sur le l'étude des dialogues, des gestes et des brouillons.

---

<sup>42</sup> Le suivi du protocole LETUCA permet de mettre en valeur l'utilité de l'emploi de deux micros au-delà du défaut de fonctionnement de l'un d'en eux. Premièrement, deux micros différents peuvent être utilisés pour varier les prises de son. Les contraintes de l'un pouvant donc être compensées par les avantages de l'autre. Deuxièmement, les deux micros peuvent être placées en deux positions différentes. Ainsi, les verbalisations sont enregistrées avec des angles variés et si un masque physique se crée face à un micro (un participant fait obstacle à un micro), l'autre enregistre toujours.

## Conclusion

Le protocole LETUCA permet ainsi de mettre longitudinalement à l'épreuve les trois équipes constituées de résolutions de problèmes majoritairement inconnus. Les résultats de ces traitements collectifs portent sur l'acquisition de mesures de performance opérationnelle par équipe et par expérience. Cette mesure est nécessaire aux tests des hypothèses 1, 3, 4 et 5. Acquis sur une durée de vingt mois, les interactions entre les équipiers permettent d'observer la métacognition tout au long du partage ou non d'expériences diversifiées et de qualité. Ces données sont nécessaires aux tests des hypothèses 2, 3, 4 et 5. Néanmoins, les données récoltées sont des dialogues verbaux, non-verbaux et des données de performance brutes non comparables. Il est donc nécessaire d'appliquer un traitement mathématique aux données destinées à la mesure de la performance et d'établir une grille de codage de la métacognition exprimée par les équipiers.

À la suite de l'exécution du protocole LETUCA, les données rassemblées doivent être traitées afin de permettre les tests des hypothèses. En effet, ces données brutes ne sont pas directement exploitables dans leur ensemble. La performance n'est pas uniformisée et la métacognition n'est pas soulignée par la simple prise en compte des interactions entre les équipiers.

### 1. Traitements mathématiques des résultats du protocole LETUCA

Le protocole LETUCA soumis aux équipes permet la création de données de performance opérationnelle. Les tests des hypothèses via l'exploitation de ces résultats nécessitent un ou plusieurs traitements mathématiques.

#### 1.1. Formule de la « relativité générale »

Un traitement des résultats du protocole LETUCA est nécessaire afin de les comparer entre eux et de tester l'hypothèse 1 (cf. PIIC1p2.2). C'est l'objet de la relativité générale des résultats entre eux, permettant de mesurer les différences de rapport de performance des équipes entre elles tout au long du protocole LETUCA. Une formule unique est donc nécessaire pour calculer cette relativité.

L'équipe abscisse représente une composition de personnes ne se connaissant pas, ne travaillant pas ensemble, facilement composable et non formée et devant résoudre des problèmes (cf. PIIC3p3). Elle met donc en avant un socle de constitution d'équipes à partir de laquelle des expériences diversifiées et de qualité peuvent être proposées aux équipes. Cette équipe est donc une équipe contrôle, une équipe de référence par rapport aux deux autres. Or, la relativité des résultats impose d'établir des rapports de performance et une référence commune est nécessaire. Les résultats de l'équipe abscisse servent donc de référence pour le calcul de la relativité des performances des équipes.

La formule suivante permet de calculer les résultats propres à chaque équipe, avec :

- $E_i$  : l'expérience notée  $i$ , où  $i \in \llbracket 1, N \rrbracket$ , avec  $N$  le nombre total d'expériences, avec  $N \in \mathbb{N}^*$
- $f_i$  : la fonction donnant le résultat de l'équipe  $j$  pour l'expérience  $i$
- $P_{i,j}$  : le résultat de l'équipe  $j$  pour l'expérience  $i$ .  $j$  signifie : EA = équipe abscisse, ES = équipe soudée, EMS = équipe moins soudée

La fonction de la « relativité générale »  $f_i$  est définie sur  $\mathfrak{R}$  par :

$$f_i(P_{i,j}) = \frac{P_{i,j}}{P_{i,EA}} - 1$$

Ainsi, les résultats de l'équipe abscisse sont toujours sur l'axe des abscisses et servent de référence. Le résultat d'une autre équipe peut être situé au-dessus de l'axe des abscisses (performance supérieure à l'EA) ou au-dessous de l'axe des abscisses (performance inférieure à l'EA).

Pour résumer, la relativité des résultats entre eux :

- Nécessite une première étape consistant à mesurer la performance brute à une expérience donnée,
- Nécessite une seconde étape consistant à calculer la relativité des résultats d'une même expérience entre eux et ainsi
- Permet de comparer les résultats tout au long du protocole LETUCA.

## 1.2. Point proportionné

### 1.2.1. Règles d'emploi du point proportionné

La technique de mesure du point proportionné est utilisée pour comparer les performances des équipes faisant face à un problème avec au moins deux étapes. Cette technique se base sur les rapports entre les performances des équipes pour chaque étape. De plus, elle permet à chaque équipe de progresser selon son rythme, de terminer un nombre différent d'exercices et malgré tout de réaliser un calcul comparable de la performance globale entre les équipes. Pour se faire, cette méthode de calcul de la performance de chaque étape nécessite une première contrainte :

- (1) Plus la valeur du résultat d'une étape est faible, plus la performance associée est élevée.

Par exemple, une équipe doit résoudre un problème avec le temps minimum. Une seconde contrainte existe :

- (2) Les équipes doivent effectuer les étapes dans le même ordre et passer à l'étape suivante une fois que la précédente est réussie.

Si ce n'est pas respecté, les équipes peuvent traiter différentes étapes et obtenir des résultats portant sur des problèmes différents et donc non comparables. Par exemple, pour un exercice à dix étapes, une équipe peut travailler sur les cinq premières étapes et l'autre sur les cinq suivantes. Les hypothèses ne peuvent alors pas être testées car les résultats ne sont pas comparables. Il est donc nécessaire de forcer les équipes à traiter les mêmes problèmes pour comparer des résultats basés sur les mêmes problèmes.

### 1.2.2. Méthode d'utilisation du point proportionné

Posons  $N$ , le nombre d'étapes comprises dans le problème complet soumis à une mesure de la performance via le point proportionné, où  $N \in \mathbb{N}^*$ . Pour une étape notée  $n$ , où  $n \in \llbracket 1, N \rrbracket$ , pour un total de  $m + 1$  équipes, où  $m \in \mathbb{N}^*$ , la meilleure performance initiale est considérée comme référence et est notée  $\Omega_n$  pour l'étape notée  $n$ . Toutes les performances sont des nombres réels. Une performance initiale est le résultat mesuré directement pendant l'exécution d'une des étapes et n'est soumis à aucun traitement. Par exemple, un temps de résolution d'une des étapes peut être une performance initiale. Les performances initiales des autres équipes sont appelées :  $\Omega_{n,1}$  pour l'équipe n°1,  $\Omega_{n,2}$ , pour l'équipe n°2,  $\Omega_{n,3}$ , pour l'équipe n°3 ...  $\Omega_{n,m}$  pour l'équipe n°m, tel que  $\Omega_n \geq \Omega_{n,1} \geq \Omega_{n,2} \geq \Omega_{n,3} \dots \Omega_{n,m}$ . La numérotation des équipes varie donc selon l'étape considérée et les classements mesurés.

Le résultat calculé par la méthode du point proportionné est le rapport entre la performance d'une équipe et le résultat de la meilleure performance à la même étape :

L'équipe (notée M) avec le meilleur score pour l'étape n :  $P_{n,M} = \frac{\Omega_n}{\Omega_n}$

Ainsi, pour la meilleure équipe :  $P_{n,M} = 1$

Pour l'équipe n°1, le résultat proportionné est :  $P_{n,1} = \frac{\Omega_n}{\Omega_{n,1}}$

Avec  $P_{n,1} \leq 1$ , pour l'équipe n°1.

Pour l'équipe n°2, le résultat proportionné est :  $P_{n,2} = \frac{\Omega_n}{\Omega_{n,2}}$

Avec  $P_{n,2} \leq P_{n,1}$ , pour l'équipe n°2.

Pour l'équipe n°3, le résultat proportionné est :  $P_{n,3} = \frac{\Omega_n}{\Omega_{n,3}}$

Avec  $P_{n,3} \leq P_{n,2}$ , pour l'équipe n°3.

Pour l'équipe n°m, le résultat proportionné est :  $P_{n,m} = \frac{\Omega_n}{\Omega_{n,m}}$

Avec  $P_{n,m} \leq P_{n,m-1}$ , pour l'équipe n°m.

Si une équipe appelée m ne résout pas une étape notée n, alors la performance associée  $\Omega_{n,m}$  n'est pas mesurée. Néanmoins, au regard des tests des hypothèses, cet échec d'une équipe doit être considéré pour valoriser le travail du(des) autre(s) équipe(s). Ainsi, un  $\Omega_{n,m}$  fictif doit être imposé parmi les plus basses performances, donc avec des valeurs élevées quel que soit la nature de la mesure. Pour ce faire, la performance d'une étape est calculée par :

$$P_{n,m} = \frac{\Omega_n}{\Omega_{n,m}}$$

Donc, on en déduit avec des valeurs élevées traduisant un échec de l'équipe m à une étape :

$$\lim_{\Omega_{n,m} \rightarrow +\infty} P_{n,m} = \lim_{\Omega_{n,m} \rightarrow +\infty} \frac{\Omega_n}{\Omega_{n,m}}$$

Et ainsi :

$$\lim_{\Omega_{n,m} \rightarrow +\infty} P_{n,m} = 0$$

D'où, quand l'équipe m ne résout pas une étape de problème :

- $\Omega_{n,m}$  tend vers l'infini, signifiant une performance basse et
- La performance d'étape est forcée à :  $P_{n,m} = 0$

Finalement, le résultat de performance d'une équipe notée i, où  $i \in \mathbb{N}^*$ , pour un problème complet est appelée  $P_i$  et  $P_{n,i}$  pour l'étape n. Deux cas de figure existent :

(1) Si un ou plusieurs n existent avec  $\Omega_{n,i} = +\infty$  (étape(s) non résolue(s)), alors :

Pour n avec  $\Omega_{n,i} \neq +\infty$ , autrement dit pour le(s) étape(s) résolue(s) :

$$P_{n,i} = \frac{\Omega_n}{\Omega_{n,i}}$$

Pour n avec  $\Omega_{n,i} = +\infty$ , autrement dit pour le(s) étape(s) non résolue(s) :

$$P_{n,i} = 0$$

(2) Si pour tous les n,  $\Omega_{n,i} \neq +\infty$ , autrement dit pour toutes les étapes résolues alors :

$$P_{n,i} = \frac{\Omega_n}{\Omega_{n,i}}$$

Puis, dans les deux cas :

$$P_i = \sum_{n=0}^N P_{n,i}$$

Pour résumer la méthode du point proportionné, elle est applicable si les trois conditions suivantes sont réunies :

- (1) Plusieurs étapes composent un exercice global,
- (2) Plus la valeur d'un résultat est basse, meilleure est la performance,
- (3) Les équipes doivent résoudre les étapes du problème global dans un ordre précis.

La méthode de calcul du point proportionné consistant à établir les rapports entre les performances initiales puis à les sommer peut alors être exécutée.

### 1.2.3.Méthode du point proportionné appliquée à trois expériences

Trois expériences correspondent aux particularités de la méthode du point proportionné et nécessitent son application afin d'obtenir une valeur unique de la performance opérationnelle de chaque équipe. Il s'agit de la :

- 3<sup>ème</sup> expérience : Missionnaires et cannibales,
- 9<sup>ème</sup> expérience : Évitement d'astéroïde,
- 12<sup>ème</sup> expérience : Monument Valley.

## 1.3. Méthode des intégrales

### 1.3.1.Règles d'emploi de la méthode des intégrales

Le calcul d'un résultat de performance via la méthode des intégrales permet d'établir la performance opérationnelle à partir de deux mesures de natures différentes. Cette méthode est utilisée dans le cadre du protocole LETUCA pour calculer la performance globale d'un exercice à plusieurs étapes. (1) À la différence de la méthode du point proportionné, les étapes du problème ne sont pas effectuées dans un ordre prédéterminé. (2) En revanche, les étapes n'ont pas la même pondération dans le calcul de la performance ; ainsi, la résolution d'une étape peut rapporter plus de points qu'une autre. Par exemple, une panne majeure d'oxygène en vol spatial habité est davantage vitale qu'une panne d'un système de divertissement pour l'équipage et a donc une importance supérieure. Cette panne majeure d'oxygène doit être traitée en priorité. Un nombre de points, fonction de l'importance de chaque étape, est donc donné dès que le problème correspondant est résolu. C'est le premier élément sur lequel la méthode des intégrales se fonde. (3) En outre, dans certains cas, la rapidité de résolution d'une panne peut aussi être un facteur de performance. Selon les circonstances, cette panne majeure d'oxygène peut avoir à être traitée le plus rapidement possible. Une mesure de performance doit prendre en compte ce besoin de rapidité de traitement entre des pannes à partir du déclenchement d'un problème global, au-delà de leur importance propre. C'est le second élément sur lequel la méthode des intégrales se base.

### 1.3.2.Méthode d'utilisation de la méthode des intégrales

Afin de réaliser cette mesure de la performance, les temps de fin de traitement de chaque étape du problème doivent être extraits de la résolution. Une courbe par équipe est alors construite avec sur l'axe des abscisses l'évolution du temps et sur l'axe des ordonnées l'augmentation du nombre de points.

Bien que permettant une analyse visuelle de la performance des équipes, les intégrales de ces trois courbes sont calculées (sommées des triangles et rectangles placés sous chaque courbe) afin de quantifier les écarts de performance entre les équipes. Les valeurs obtenues correspondent alors avec la performance mesurée : traiter les étapes par ordre décroissant d'importance le plus rapidement possible.

Finalement, la méthode des intégrales :

- Permet de calculer une performance quel que soit l'ordre de traitement des étapes d'un problème,
- Nécessite l'établissement de pondérations pour chaque étape,
- Nécessite la prise en compte des temps de résolution de chaque étape,
- Permet de comparer des résultats de performance de dimensions différentes via un seul indicateur.

### 1.3.3.Méthode des intégrales appliquée à trois expériences

La 2<sup>ème</sup> expérience, Mercury 21, correspond aux particularités de la méthode des intégrales et nécessite son application afin d'obtenir une valeur unique de la performance opérationnelle de chaque équipe. La figure 38 présente les résultats des équipes à l'issue de l'exercice Mercury 21 du protocole LETUCA :

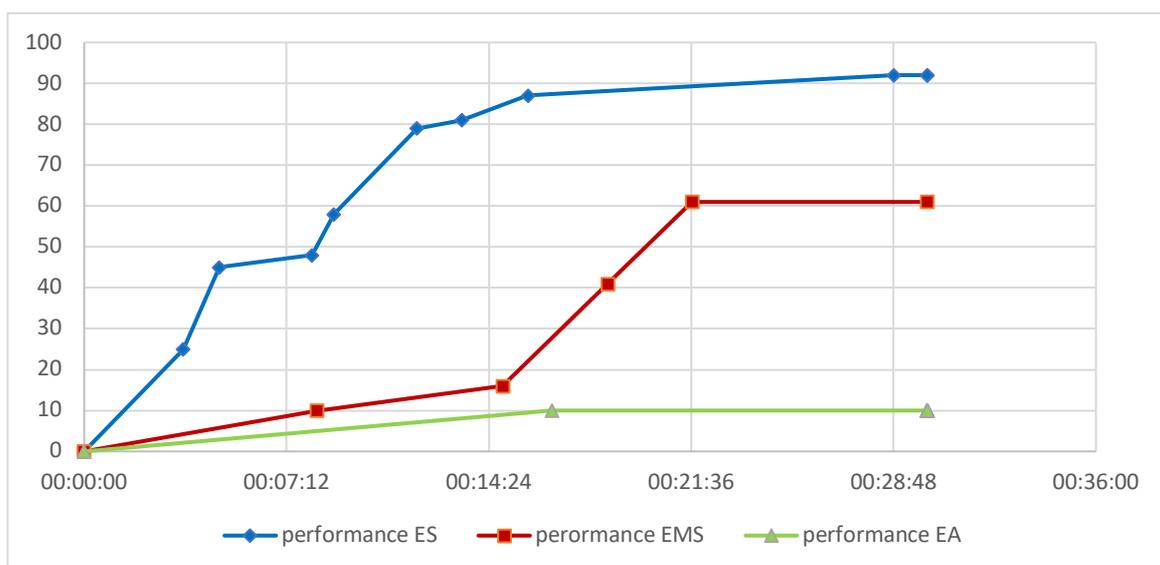


Figure 38. résultats des équipes à l'exercice Mercury 21

## 2. Traitements de la métacognition mise en œuvre

Les hypothèses 2, 3, 4 et 5 nécessitent l'étude de la métacognition mise en œuvre par les équipes au cours du protocole LETUCA. L'outil de l'observation passive est utilisé pour permettre l'accès à la métacognition. Néanmoins, une grille d'analyse doit en plus être composée afin de coder les catégories métacognitives et finalement tester les hypothèses.

### 2.1. Les interventions collectées sont codées

*En apparence, il semble facile de distinguer la cognition de la métacognition. Les métacognitions sont des cognitions de seconds-ordre : pensées sur les pensées, connaissances sur les connaissances ou réflexions sur les actions. Pourtant, des problèmes arrivent quand on essaye d'appliquer cette définition générale à des exemples spécifiques. (Notre traduction, Weinert, 1987, citée par Georghiadès, 2004, p.8)*

C'est l'objet de l'établissement d'une grille de codage regroupant les items métacognitifs à comptabiliser et permettant *in fine* de tester les hypothèses établies. Cette grille n'est cependant pas suffisante pour standardiser le codage sur l'ensemble des expériences LETUCA. Ainsi, des règles empiriques sont imposées à l'ensemble des données en cohérence avec les tests des hypothèses et les orientations de ce travail de recherche (macrométacognitivité par exemple).

#### 2.1.1. Un codage mettant à l'épreuve les hypothèses

Les tests des hypothèses 2, 3, 4 et 5 imposent d'identifier chaque item concerné, d'où la création d'une grille de codage regroupant les étapes du modèle métacognitif en résolution de problème (cf. PIC6p2), les métaconnaissances et les métacompétences. Le tableau de codage suivant synthétise les items métacognitifs nécessaires aux tests des hypothèses dans les retranscriptions issues du protocole LETUCA (cf. tableau 10).

Catégorie	Définition	Exemple
Détection du problème (DT)	« reconnaître l'existence d'un problème » (Geiwitz, 1994, p.22)	« (rire discret à l'annonce de l'écart) » 2017-03-01 Sac et Euro, ES, p.18
Définition et identification du problème (DE)	les éléments et buts du problème sont identifiés et définis	« il y a 320 km à parcourir » 2016-10-02 Survie lunaire, ES, p.2
Représentation mentale (RE)	les expériences, connaissances propres aux équipes au minimum sont mises à profit pour établir une analyse proche de l'optimal pour la solution du problème	« puis sur la Lune on campe pas quoi enfin » 2016-10-02 Survie lunaire, EMS, p.12
Planification (PL)	« les équipiers doivent décider quelles étapes et ressources	« je propose qu'on fasse plus du moins important au plus

	utiliser dans la résolution du problème » (Davidson et <i>al.</i> , 1994, p.7)	important » 2016-10-02 Survie lunaire, ES, p.1
Choix entre plusieurs planifications possibles (PO)	les équipes proposent une planification différente de la première pour exécuter une même tâche	« chacun peut se faire une liste et puis après on compare » 2016-10-02 Survie lunaire, ES, p.12
Monitoring (MO)	le méta niveau est informé par le niveau objet d'informations	« on est presque à 20 minutes » 2017-05-09 Procédure feu, EMS, p.20
Evaluation (EV)	les informations issues d'un monitoring, implicites ou non, sont analysées et/ou évaluées	« je pense que c'est me paraît pas mal » 2016-10-02 Survie lunaire, ES, p.17
Contrôle (CT)	le méta niveau modifie le niveau objet grâce aux informations issues du monitoring et/ou traitées par l'évaluation, implicites ou non	« faut que chacun retienne des fonctions » 2016-10-02 Survie lunaire, EMS, p.4
Métaconnaissances interindividuelles (NI)	la conscience de ce que l'on sait au sujet d'un (ou plusieurs) autre(s) équipier(s) et obtenue avant le début du problème à résoudre	« tu sais Pythagore » 2018-01-29 Qualités pilotes de drones, EMS, p.3
Métaconnaissances générales (NN)	la conscience de ce que l'on sait, hors cas des métaconnaissances interindividuelles et obtenue avant le début du problème à résoudre	« l'idée me serait pas venue d'utiliser une boussole sur la Lune » 2016-10-02 Survie lunaire, ES, p.13
Métacompétences interindividuelles (MI)	la conscience de ce que l'on peut faire au sujet d'un (ou plusieurs) autre(s) équipier(s) et obtenue avant le début du problème à résoudre	« quand t'as vraiment envie de survivre » 2016-10-02 Survie lunaire, ES, p.17
Métacompétences générales (MM)	la conscience de ce que l'on peut faire hors métacompétences interindividuelles et obtenue avant le début du problème à résoudre	« moi enfin ce que je veux dire, c'est que » 2016-10-02 Survie lunaire, EMS, p.3

Tableau 10. codage appliqué aux données du protocole LETUCA

### 2.1.2. Un codage standardisé

Au-delà du respect des définitions du tableau 10, des règles empiriques ont été établies pour standardiser le codage d'éléments issus des expériences du protocole LETUCA. Le but étant que le système de codage soit « intentionnellement fait pour être aussi détaillé et inclusif que possible » (notre traduction, Flavell et *al.*, 1981).

#### (1) Tout codage est justifié

« Seulement les comportements directement observables peuvent être codés » (notre traduction, Whitebread et *al.*, 2009). Ce positionnement choisi par Whitebread et *al.* (2009) est mis à profit pour ce codage de manière à classer une intervention métacognitive si le caractère métacognitif est justifié. Le corollaire étant : une intervention pouvant potentiellement être métacognitive ne sera pas classée comme telle si aucune justification ne peut être apportée.

Ainsi, si une personne suit du regard une action métacognitive d'une autre sans émettre d'intervention métacognitive : rien n'indique qu'elle engage sa réflexion sur ladite intervention. Par exemple, un équipier suivant un travail de MO d'un autre (procédure feu rover, ES, 21' pour ES1<sup>43</sup>) n'est pas codée dès lors que l'observateur n'intervient pas.

Il existe une exception : la lecture initiale des énoncés pouvant être donnés au début d'un problème. Pour uniformiser le codage de cette étape obligatoire au traitement (lire un énoncé), même en cas d'absence d'intervention d'un équipier, un seul code DE est compté par équipier. Ainsi, toutes les équipes sont codées de manière identique pour une même action. Aucune équipe n'est alors sous codée par rapport à une autre selon la méthode choisie pour la lecture initiale des énoncés (lecture silencieuse ou à haute voix avec chaque information précisée).

#### (2) Traduction de l'approche macrométacognitive dans le codage

La dynamique macrométacognitive de ce travail de recherche (*cf.* PIC6p3) doit être intégrée dans la technique de codage. Elle est mise en œuvre à deux niveaux.

Insertion ou non de la boucle MO, EV ou CT :

Seuls les codages initialement MO, EV ou CT sont concernés par cette approche. En effet, seuls eux peuvent être à la fois

- Insérés dans la construction d'une phase métacognitive complexe (approche micrométacognitive) et
- Indépendants d'une autre catégorie dans leur propre dynamique métacognitive (approche macrométacognitive).

---

<sup>43</sup> Par la suite, chaque équipier est codé par son équipe et d'un numéro, pour cet exemple : l'équipier numéro un de l'équipe soudée ou encore ES1.

Dans ce second cas, par exemple, un item monitoring est employé seul pour son action de monitoring et n'est pas consacré à la construction d'une phase métacognitive complexe. Compter le nombre de résultats obtenus avant la fin d'un exercice ou lire le temps restant sont des exemples.

La conséquence pragmatique sur le codage concerne donc la boucle MO-EV-CT : si ces codages sont retenus en première réflexion, le codeur doit systématiquement se poser la question de l'éventuelle intégration de l'item MO-EV-CT dans une construction des catégories DE, RE et PL. Le codeur doit se demander par exemple : « ce MO contribue-t-il à la construction d'une phase de représentation mentale ? ». Si c'est le cas, le codage est RE ; sinon, ce sera bien un codage indépendant MO.

Les interventions principales seulement sont prises en compte :

Le but est de reconnaître les dynamiques de réflexion métacognitive liées à l'une ou l'autre des catégories, démarche inscrite dans le cadre de l'approche macrométacognitive. Cette reconnaissance implique de prendre en compte uniquement les interventions métacognitives contenant l'idée finale exprimée (appelées *interventions principales*). Dans le cas où un autre item métacognitif les soutient (lien de causalité : donc, alors, etc.) et s'avère donc uniquement un support de l'idée finale, ce dernier n'est alors pas codé (appelé *intervention support*). Les dynamiques de réflexion métacognitive sont ainsi respectées dans le cadre de l'approche macrométacognitive.

En effet, au sein d'une réflexion relative à une catégorie métacognitive, il est possible de découvrir une référence ou une dynamique propre à une autre catégorie. En quelque sorte, la catégorie secondaire corrobore la principale. La secondaire existe uniquement pour affirmer la proposition principale. Il n'est donc pas question ici de fonder une distinction sur « la prédominance de processus observés » (notre traduction), comme appliqué par Artz et Armour-Thomas (1992) pour discriminer la cognition de la métacognition. Au contraire, le lien entre interventions principales et support se caractérise par des liaisons logiques au profit de la phrase principale : « parce que », « donc », etc. potentiellement non verbales (pointer un élément dans un énoncé par exemple). Notamment, la RE est une analyse pouvant être fondée sur des références factuelles de la catégorie DE. Par exemple : « il y a 320 km à faire, la bouffe, elle devient importante » (survie lunaire, EMS, p.3), cette intervention complète est de l'ordre de la représentation mentale, via l'idée construite sur l'importance de la nourriture du fait de la distance à parcourir. La présence de la référence à la définition et l'identification du problème (« il y a 320 km à faire ») sert donc uniquement à justifier l'importance de la nourriture : distance élevée donc besoin de nourriture. La dynamique de cette phrase se concentre finalement autour de la représentation mentale du problème. Une telle réflexion est codée en fonction de la catégorie métacognitive principale mise en œuvre et la catégorie métacognitive en support n'est pas codée<sup>44</sup>. La connaissance de l'idée à transmettre est donc fondamentale. Le fil directeur de la discussion en fonction de la tâche à résoudre permet de discriminer quelle intervention est la principale et celle en support. Une idée et sa catégorie sont supports dès lors qu'elles sont réduites à un rôle de justification de la catégorie principale.

---

<sup>44</sup> Les codages de la boucle MO-EV-CT sont considérés comme respectivement MO-EV-CT mais intégrés à la catégorie qu'ils construisent. En revanche, les interventions support ne sont pas codées du tout.

Si cette technique de codage liée à la macrométacognition n'est pas retenue au profit d'un codage de toutes les références, la lisibilité des dynamiques métacognitives globales employées par les équipes est dégradée et la logique macrométacognitive réduite. En effet, des catégories support sont alors présentes dans les codages entre les catégories principales.

### (3) Connaître la tâche pour définir la métacognition

L'étude de la métacognition en résolution de problème implique de définir la tâche. En effet, c'est relativement à une tâche déterminée qu'une cognition est possible et donc la métacognition associée. Ainsi, il est possible d'effectuer de la métacognition sur une tâche pouvant être elle-même considérée comme métacognition dans un autre cadre. Il est donc réalisé de la *méta*-métacognition au sujet de métacognition. Par exemple, si un exercice consiste à résoudre une tâche, si l'équipe effectue une planification, cette dernière est métacognitive. Si en revanche, la tâche exigée est de planifier cet exercice, alors, la planification précédemment métacognitive est maintenant descendue au niveau cognitif. Il existe donc un niveau méta-métacognitif qui prendra pour objet la planification demandée. Pour ne pas produire une infinité de préfixes méta, il est nécessaire de relativiser la métacognition.

C'est la finalité d'une intervention qui est retenue : métacognitive ou simplement cognitive relativement à une tâche assignée. Une analyse systématique des interventions est nécessaire pour déterminer la portée métacognitive ou non d'une intervention en regard de la tâche à réaliser.

### (4) Emploi de la jurisprudence au cours du codage

Flavell et *al.* annoncent : « un système de codage des vidéos a été graduellement construit, fondé à la fois sur les comportements précédemment planifiés comme indices de compréhension du monitoring (...) et sur les comportements notés pendant ces visionnages préliminaires » (notre traduction, 1981). Cette itération de codage est intégrée dans le présent codage via une jurisprudence. En effet, si une technique de codage est décidée face à une intervention d'un équipier lors d'une expérience, cette technique est employée dans la totalité du protocole (impliquant des relectures de codages si besoin).

### (5) « La règle des deux secondes »

La « règle des deux secondes » utilisée par les instructeurs pilote de l'École de l'air, mise en valeur par Dubois, Blättler, Camachon et Hurter (2015), consiste à demander aux élève-pilotes de l'Armée de l'air de ne pas regarder plus de deux secondes dans le cockpit au cours d'un vol. Cette période de deux secondes signifie qu'un élève pilote peut en moins de deux secondes :

- Quitter un objectif visuel à l'extérieur d'un cockpit,
- Localiser une information dans un cockpit moderne et peu familier (il est bien question d'élèves pilote en formation),
- Lire cette information,
- L'enregistrer et
- Porter à nouveau son attention sur l'exécution de la mission.

Le corollaire est donc : en deçà de ces deux secondes, ce travail opérationnel sur l'information n'est pas garanti. Pour le présent codage, dès qu'un(e) équipier(ère) pose son regard plus de deux secondes sur les données initiales d'un problème, il (elle) est considéré(e) en capacité de traiter, analyser, enregistrer, etc. une information. Le codage DE est donc appliqué.

Dans une dynamique similaire, si un équipier stoppe un effort métacognitif durant moins de deux secondes sans verbalisation d'ordre cognitif pour finalement revenir dans l'exécution du même effort métacognitif, seul un item métacognitif est compté. Il n'y a alors pas de manifestation de réflexion portée sur un autre objet.

#### (6) Les enchaînements d'idées ne sont pas comptés

Lorsqu'un équipier cite plusieurs fois le même élément métacognitif mais entrecoupé de :

- Silences d'au moins 2 secondes permettant une réflexion ou
- La verbalisation ou non-verbalisation d'autres éléments cognitifs ou
- La verbalisation ou non-verbalisation de ce même élément métacognitif par un autre équipier,

cet élément métacognitif est compté autant de fois qu'il est cité. Il y a alors une(des) rupture(s) métacognitive(s) entre ces items. Le but de cette rupture est de prendre en compte si l'équipe a eu le temps de considérer un autre élément cognitif avant de revenir à l'élément métacognitif déjà cité. En revanche, si l'enchaînement d'un même élément métacognitif s'effectue sans rupture, cet élément métacognitif répété plusieurs fois est compté pour une seule intervention dans la catégorie métacognitive correspondante. Il n'y a ainsi pas de rupture cognitive mais une simple répétition d'un même élément métacognitif.

Cette technique permet donc de mettre en valeur les items métacognitifs actifs dans la construction des catégories et de filtrer ceux reflétant une simple répétition mécanique d'un seul équipier.<sup>45</sup>

Particulièrement, si un exemple est utilisé pour soutenir une intervention métacognitive, l'exemple est codé parmi ladite intervention. Autrement dit, il n'y a pas doublage du codage. En effet, il ne rajoute rien de plus par rapport à l'information soutenue, celle-ci est répétée plusieurs fois. Il y a donc un seul codage pour le tout. Comme une idée répétée plusieurs fois n'est pas codée autant de fois, un seul codage est retenu. En revanche, si un exemple a valeur seule d'intervention métacognitive car l'information qu'il véhicule est isolée, cet exemple est dûment codé.

#### (7) Ne pas connaître un élément dans l'énoncé

Les énoncés du protocole LETUCA ne présentent pas tous des informations exhaustives. Certains équipiers remarquent une absence de donnée dans la situation initiale du problème, par exemple : « on sait pas ». Cette intervention est à mi-chemin entre la NN, la NI et la DE. En effet, d'un côté le locuteur a conscience de sa méconnaissance, de celle d'un (des) autre(s) équipier et d'un autre côté, il souligne simplement des lacunes parmi les informations de l'énoncé.

---

<sup>45</sup> Une exception existe : la présentation initiale d'un énoncé est comptée comme un seul item DE. Le but est d'éviter de forcer la variation de la netteté selon l'exercice proposé ou la technique de présentation de l'énoncé (lecture silencieuse ou à haute voix notamment)

Le choix retenu dans ce codage est DE. En effet, cette métaconnaissance interpersonnelle se réduit au strict cadre de l'exercice. Une telle métaconnaissance interpersonnelle n'existerait pas sans la lecture de l'énoncé car l'information notée absente est liée à l'énoncé. Cette métaconnaissance n'a de valeur que par le contenu de l'énoncé ; autrement dit, elle ne révèle que des informations données par l'énoncé. Ce positionnement du codage est de plus en accord avec la définition des métaconnaissances (cf. PIC5p1).

#### (8) La place de l'implicite

L'implicite métacognitif existe comme discuté par Chanel Balas (1998) au sujet de la prise de conscience comme « passage de la métacognition implicite à la métacognition explicite ».

L'implicite métacognitif exprimé est codé :

Certaines interventions verbales ou non-verbales, initialement seulement cognitives, sont métacognitives après une brève analyse. Bien que la métacognition ne soit pas directe, elle est néanmoins nécessaire à l'intervention, une telle intervention est tout de même prise en compte car elle suscite de la métacognition sans laisser de doute.

Les raccourcis métacognitifs ne sont pas codés :

Les raccourcis métacognitifs seront absents du codage. Les raccourcis métacognitifs sont des interventions métacognitives qui n'ont pas eu lieu alors que tout laisse à penser de leur existence avant une intervention métacognitive d'un équipier. Ces raccourcis métacognitifs non retranscrits ont forcément existé mais à la différence du paragraphe précédent, les interventions support sont ici métacognitives et non cognitives. Ce choix permet ainsi de valoriser l'existence de métacognition sans risquer de confusion de catégorie métacognitive. Par exemple, l'évaluation ou le contrôle sont fondés sur leur étape précédente (respectivement le monitoring ou l'évaluation, cf. modèle métacognitif en résolution de problème) mais cette étape précédente n'est pas forcément ostensible. Ainsi, l'expression « on doit accélérer le travail » implique une précédente action de monitoring puis d'évaluation du temps restant par rapport au travail encore à effectuer. Néanmoins, l'évaluation peut ne pas être exprimée car elle a lieu dans l'esprit d'un équipier. Ce contrôle sera donc validé sans intervention relative à l'étape précédente, *in fine* l'évaluation.

Cependant, des exceptions existent : si les raccourcis métacognitifs font partie des métaconnaissances et métacompétences définies ci-dessus, ils sont codés. En effet, dans ces cas précis, le niveau de mélange du modèle métacognitif en résolution de problème (cf. hypothèse 5) n'est pas impacté : les quatre catégories NI, NN, MI et MM sont relatives aux hypothèses 2 et 3. Il n'y a pas de problème de codage si un raccourci métacognitif est intégré à ces quatre catégories. Par exemple : « ça va être un peu plus compliqué » (2017-04-11 ES2, 24'27'') relève en premier d'une évaluation mais nécessite aussi de connaître le niveau des équipiers et de l'équipe pour la tâche effectuée. Il est donc question ici d'un raccourci métacognitif correspondant à des métaconnaissances ou métacompétences.

Une intervention douteuse n'est pas codée :

Enfin, lorsqu'une intervention pourrait se révéler métacognitive alors que la phrase est coupée ou s'il n'y a pas assez d'éléments pour statuer de la métacognitivité de la parole, il y a présomption de cognitivité, *cf.* (1).

#### (9) Acquiescer, évaluer un équipier

Lorsqu'une personne acquiesce ou infirme les dires d'un équipier (par exemple un signe de tête, « ok », « je suis d'accord avec toi », « t'as raison », etc.), la catégorie métacognitive dépend de la parole d'origine. Par exemple, si un équipier confirme une représentation mentale, la confirmation est aussi incluse dans cette même catégorie. Grâce à cette technique, la dynamique macrométacognitive du codage est respectée en intégrant dans une catégorie métacognitive complexe les évaluations inscrites dans la construction de cette même catégorie (*cf.* PIC6p3).

Plus précisément, un « ouai », « oui », « non », etc. peuvent être codés de différentes manières : MO, EV, CT, NN ou aucun codage selon le contexte et le non verbal. Un codage *ad hoc* doit systématiquement être appliqué et potentiellement intégré ensuite à une catégorie métacognitive complexe, par exemple :

- CT : Untangle, EMS3 : « c'est ce que j'allai te dire », suivi d'EMS4 : « ouai » ; le « ouai » a valeur d'ordre pour que EMS3 poursuive son intervention.
- Absence de codage : Untangle, EMS2 demande à EMS1 de commencer à écrire, ce dernier répond « ouai ». Le contexte et la précision des interventions avant et après ne permettent pas de déterminer si ce terme est cognitif ou métacognitif.
- NN : Untangle, ES2 demande si ES1 se souvient d'un nombre, ES1 répond « non », c'est codé NN car ES1 fait état de sa connaissance.
- MO : Une question est posée et la réponse ne peut être que oui ou non. Untangle, ES2 se retourne pour voir si le binôme arrière a progressé, ES4 fait signe que non. ES4 donne bien l'état de sa progression et donc MO.

#### (10) L'usage de la première personne

Toute phrase du type « je pense que », « je crois que », « je sais pas » est une connaissance du locuteur vis-à-vis de ses connaissances. Par conséquent, l'intervention est donc codée comme une connaissance métacognitive générale. En revanche, pour une phrase du type : « moi, je (...) », le « moi » est analysé comme une répétition du « je ». Aucun codage n'y est associé.

#### (11) Comparer des éléments en dehors de la tâche à effectuer

Dès lors qu'un équipier compare des éléments entre eux ne relevant pas de la tâche demandée, ces interventions appartiennent à la représentation mentale. En effet, elles participent à l'élaboration d'une représentation mentale proche de l'optimale pour la résolution du problème.

L'équipier réfléchit par rapport à plusieurs objets cognitifs. « Cet objet cognitif est plus élevé que celui-ci » par exemple. Cela revient à une évaluation inscrite dans la représentation mentale car ce travail de comparaison permet d'approfondir la compréhension d'éléments et d'apprécier leur

intégration dans l'environnement du problème. Par exemple, si un problème consiste à montrer l'enfant le plus vieux parmi un groupe d'enfants de tous les âges, la taille peut être un des paramètres pris en compte. Ainsi, comparer leurs tailles peut être pertinent pour approcher la représentation mentale des âges, cette méthode n'est bien sûr pas suffisante et peut être complétée par d'autres réflexions. Cette comparaison des tailles n'est pas la tâche à effectuer mais cet effort permet de mieux se représenter la solution. En revanche, si l'on compare directement les âges des enfants, les éléments comparés appartiennent bien à la tâche demandée et cela correspond donc à la cognition.

Plus largement, dès lors qu'une tâche, additionnelle à la principale, existe en étant allouée d'un nouvel objectif à l'équipe et de catégories métacognitives complexes, alors une seconde dynamique métacognitive sera considérée. À la différence du précédent cas inscrit dans la représentation mentale, il est question dans le cadre de cette tâche additionnelle de mettre en œuvre différentes catégories métacognitives complexes. L'analyse métacognitive est effectuée avec ce nouvel objectif et les catégories métacognitives associées, à part entière de la principale. La relativisation des interventions métacognitives quant à la tâche de référence respecte l'approche macrométacognitive de la résolution des problèmes. La métacognition est ainsi relative à la tâche en cours et des sous-tâches peuvent apparaître. Cette situation peut tout à fait se rencontrer quand plusieurs problèmes en composent un plus global. Par exemple, dans Mercury 21, un problème principal survient : l'explosion à bord du vaisseau a des conséquences dans de nombreux systèmes créant ainsi des sous-problèmes intégrés au principal. Le codeur doit donc situer le niveau de l'intervention métacognitive (problème principal ou sous-problème) avant de coder la catégorie.

#### (12) La conscience de la situation

D'après Fornette *et al.* (2012), la conscience de la situation est métacognitive. Elle doit donc être codée. Endsley (1995) divise la conscience de la situation (SA) en trois étapes :

- La « perception des éléments dans l'environnement » (notre traduction, Endsley, 1995),
- La « compréhension de la situation actuelle » (notre traduction, Endsley, 1995) et
- La « projection de l'état futur » (notre traduction, Endsley, 1995).

La SA décrite par Endsley (1995) est codée par trois catégories métacognitives selon les circonstances : DE, RE ou MO.

Une intervention faisant appel à la « perception des éléments dans l'environnement » (notre traduction, Endsley, 1995) et ne prenant pas pour objet la progression de l'équipe sera codée DE. En effet, comme pour la lecture d'un énoncé, ce type de perception est concentré sur les actions liées à l'étape DE. Pour rappel au sujet de la DE : tous les éléments de l'environnement peuvent être pris en compte dans cette catégorie, comme les données écrites, les données environnementales, les documents en support, le fonctionnement d'une interface, l'organisation du poste de travail, etc.

Une intervention inscrite dans la seconde phase de la SA : « compréhension de la situation actuelle » (notre traduction, Endsley, 1995) sera classée soit DE soit RE. Il sera possible de discriminer selon le contenu de l'intervention d'un équipier. Si ce dernier utilise seulement les éléments de l'énoncé dans sa réflexion, cette intervention sera comptabilisée DE. À l'inverse, si l'équipier emploie ses

connaissances personnelles pour comprendre la situation actuelle (selon la définition d'Endsley, 1995), l'intervention sera donc classée RE.

Si une intervention fait appel à la SA, prend pour objet la progression ou l'état de l'équipe et se réduit aux deux premières phases de la SA, elle sera codée comme monitoring, MO. Par exemple : « on l'a résolu ou pas ? », c'est bien de la SA dont l'objet ne correspond pas à la définition et de l'identification d'un problème. Au contraire, il porte sur la surveillance de l'évolution du travail de l'équipe. Si besoin, un second travail est nécessaire pour catégoriser définitivement cette intervention dans une catégorie métacognitive complexe (cf. approche macrométacognitive).

La troisième phase de la SA est intégrée dans la catégorie de la représentation mentale. En effet, cette phase consiste en une « projection de l'état futur » (notre traduction, Endsley, 1995). Cette projection n'est pas le résultat d'une identification ou d'une définition des données du problème. En effet, un apport des expériences et connaissances de l'équipe est nécessaire pour analyser et projeter l'état actuel du travail dans le futur et *in fine* créer une représentation mentale proche de l'optimale. Par exemple : « si j'ai faux tant pis on se crashera » (Survie lunaire, EA, p.7), cet équipier a bien conscience des conséquences de ses décisions dans un avenir proche et permet de situer l'état actuel et l'importance de certains critères et décisions. Compte tenu des éléments de l'énoncé, c'est bien des expériences et connaissances personnelles à l'origine de cette projection. Cette intervention s'inscrit donc dans la RE.

#### (13) Catégoriser le doute

Le doute verbal ou non verbal peut être classifié dans plusieurs catégories différentes selon l'objet du doute. Par exemple, si les équipiers discutent de la faible utilité d'un objet en vue de l'atteinte d'un objectif : le codage pourrait être RE car il fait référence à des connaissances et projections personnelles. Mais un équipier peut aussi douter de ses connaissances, ce sera alors codé EV et NN à la fois sans contradiction avec les hypothèses. La catégorie métacognitive du doute dépend bien de l'analyse au cas par cas de l'item discuté.

Plus particulièrement, l'expression « dans le doute » implique un schéma cognitif préétabli destinant l'action à un résultat automatique, la plupart du temps vers plus de sécurité. Par exemple : « dans le doute, sélectionne le plus contraignant » (intervention inventée). Cette expression a des conséquences automatiques mais est fondée sur une évaluation de l'état de la réflexion individuelle ou collective. L'expression « dans le doute » sera finalement codée en EV.

#### (14) Les interventions coupées

Si un équipier expose une idée d'ordre métacognitif mais divisée dans la retranscription par l'intervention d'une autre personne, cette idée sera comptée une seule fois dans le codage. En effet, il s'agit de la même phrase.

#### (15) Évaluer ses connaissances et compétences

Les équipiers peuvent être amenés à évaluer leurs propres connaissances et compétences, il y aura alors double codage EV et NN, NI, MM ou MI. À la différence d'interventions du type : « je sais » ou

« je sais pas » qui traduisent un raisonnement en tout ou rien, d'autres incluent une évaluation comme : « on est un peu nul » (Survie lunaire, EA, p.20). Cette dernière est ainsi comptée à la fois en MI et en EV car l'équipier exprime une nuance dans l'expression de cette métacompétence interpersonnelle.

Par définition des métaconnaissances et métacompétences, l'équipier peut tout simplement connaître (ou non) une connaissance ou compétence quel que soit le niveau de fiabilité, performance, confiance, etc. En revanche, dès lors qu'il existe une nuance des métaconnaissances et métacompétences, l'intervention s'inscrit aussi dans une démarche d'évaluation. Le but de ce double codage est de prendre en compte tous les efforts d'évaluation des équipes et de ne pas réduire ces interventions à de simples métaconnaissances et métacompétences. Par exemple, cette question : « t'es sûr de toi » (Mercury 21, EA, p.13), cette personne demande à son équipier d'évaluer sa connaissance sur un élément précis. Les réponses à de telles remarques ou sollicitations seront codées EV et NI car l'équipier posant la question ne discute pas seulement de l'existence d'une métaconnaissance ou métacompétence mais aussi de son évaluation. En revanche, les exemples : « t'es d'accord avec moi ou pas » (Mercury 21, EMS, p.9) et « ça tu vois le truc » (Mercury 21, EMS, p.13) correspondent seulement à un codage NI. En effet, un équipier demande un raisonnement en tout ou rien et non la graduation ou l'évaluation d'une connaissance. Aucun problème de codage ou de discrimination temporelle n'est provoqué.

#### (16) Demander l'attention d'un équipier

Requérir l'attention d'un équipier (« écoute », « regarde », « attends », etc.) relève du CT et non de l'éventuelle catégorie métacognitive bénéficiant de l'attention de l'équipier.

En effet, le contrôle n'est pas exercé sur la catégorie métacognitive du moment mais sur les ressources attentionnelles de l'équipier. Par exemple : « on peut le découper (montre la photo) pour ce regarde par exemple » (Sac et Euro, EA, p.8), le contrôle n'a pas pour but la construction directe de la dynamique métacognitive en cours (en l'occurrence RE) mais l'acquisition des ressources attentionnelles de l'autre équipier. Dans ce cas, le codage est bien CT.

#### (17) Le comptage d'items pour surveiller la progression

Les séquences où un équipier compte des items pour surveiller la progression valent pour un seul MO. Le but de la phase n'est pas de vérifier que l'item numéro n'est présent mais bien de connaître le nombre total d'items présents.

#### (18) Les corrections

Si une personne effectuant une intervention métacognitive se trompe sur le fond métacognitif de l'information et se corrige immédiatement, deux informations métacognitives différentes sont prononcées. En effet, il existe deux informations ; l'initiale et sa correction sont donc codées toutes les deux.

#### (19) Méthodes de limitation des biais possibles

Progression du codage campagne par campagne :

Le codage s'est effectué campagne d'expériences après campagne d'expériences de manière à limiter l'influence des évolutions inconscientes potentielles du codage par le codeur. Par exemple, si une modification du codage a lieu lors de l'analyse de la troisième campagne, cette évolution sera répercutée sur les trois équipes pour toute la suite du protocole. Cette uniformisation forcée des évolutions de codage possibles ne serait pas réalisable si toutes les expériences étaient codées équipe par équipe (les expériences de l'ES, puis les expériences de l'EMS et enfin l'EA).

Analyse du codage une fois que ce dernier est terminé :

Il n'y a pas eu de comptage des items codés lors de la progression du codage. Le but est d'éviter le biais de confirmation par le codeur. Ainsi, le codeur ne cherchera pas à privilégier un type de codage pour une équipe pour correspondre à des résultats intermédiaires.

#### (20) Proposer plusieurs contrôles différents

Lorsqu'une personne propose une intervention de contrôle avec plus de deux options possibles, un seul CT est compté. En effet, bien que plusieurs contrôles soient proposés, le but de l'intervention est d'en effectuer un seul.

#### (21) Prévalence du contexte métacognitif général

Si le caractère métacognitif d'une intervention est assuré mais qu'il y a ambiguïté sur la catégorie associée, le contexte général est alors retenu. Par exemple, dans l'exercice Procédure feu rover, ES3 effectue une revue du classement établi par ses équipiers. Dans cette phase de monitoring soulignée, il dit « ok » avant de tourner à la feuille suivante à 21'22". Isolé de son contexte, il n'est pas possible directement de déterminer si ce « ok » est EV ou MO. Néanmoins, compte tenu du contexte MO dominant, ce ok est codé MO.

#### (22) Seule la métacognition mise en parallèle de la performance est codée

Seules les interventions effectuées lors d'une résolution de problème soumise à une mesure de performance sont codées. Lors de certaines expériences, certaines étapes ou sous-problèmes non résolus mettent en avant de la métacognition mais aucune performance n'est établie par inachèvement de la tâche correspondante. Compte tenu des hypothèses, ces passages n'ont pas d'intérêt et ne sont pas analysés.

#### (23) Codage des erreurs métacognitives

Toutes les interventions métacognitives n'ont pas la même utilité pour la réalisation d'une tâche ; certaines peuvent même se révéler être fausses. Ces interventions relevant d'une catégorie métacognitive pouvant être jugées de mauvaise qualité (information fausse, contre sens, etc.) au regard de la tâche à accomplir sont tout de même comptées dans la catégorie métacognitive correspondante. En effet, ces interventions peuvent œuvrer au travail collectif en justifiant d'autres éléments, favoriser la clarification d'erreurs de compréhension chez d'autres équipiers, préciser un

propos, confirmer un point de vue, etc. et donc *in fine* permettre la construction d'une catégorie métacognitive.

#### (24) Codage des erreurs métacognitives

En plus des règles empiriques établies pour standardiser le codage, certaines liées aux particularités des exercices sont imposées.

##### (a) Procédure feu

Le travail des équipes sur chaque action composant la check-list globale nécessite d'établir une méthode globale de codage pour cet exercice. Dans ce but, l'identification :

- D'une feuille individuelle est intégrée à la cognition de l'équipe. Le but de l'exercice étant de classer des feuilles, il est directement nécessaire de lire leurs intitulés, donc d'identifier une feuille individuelle, d'où la considération cognitive de cette démarche<sup>46</sup>,
- D'une famille de feuilles sur la base du vocabulaire présent est comptée comme DE. Les équipes étudient alors le contenu des feuilles et les regroupent sur la base d'un simple type de vocabulaire. Par exemple : les feuilles mentionnant l'air conditionné sont réunies. Cette dynamique dépasse une lecture isolée d'une feuille.
- D'une famille de points communs entre des feuilles autre que le vocabulaire est codé comme RE. En effet, les caractéristiques des actions demandées nécessitent une analyse sur la base de connaissances personnelles. Par exemple, faire le tri des actions avec une condition (un 'si' par exemple) permet ensuite de ne pas enchaîner deux conditions à la suite.

##### (b) Transfert de point d'amarrage

La première planche de l'ordinateur est présentée aux équipes avant le lancement de l'expérience, les équipiers ont donc le temps de la lire avant le début de la mesure de la performance. Cette première planche n'est ainsi pas comptée en lecture initiale car celle-ci a lieu avant le lancement du chronomètre. Le codage est directement DE au lieu d'un unique dévolu à une lecture initiale. Si cette lecture de la première planche intervient à nouveau, le but n'est plus de lire une première fois mais de remettre à jour les connaissances des équipes.

## 2.2. La netteté, outil de mesure du mélange métacognitif

### 2.2.1. Le mélange s'observe dans les retranscriptions

L'hypothèse 5 pose : un bas niveau de mélange lié avec une performance opérationnelle élevée est attendu durant les résolutions de problèmes inconnus. Ce mélange se traduit dans la pratique de la métacognition par un enchaînement plus ou moins accentué des catégories métacognitives du modèle de métacognition en résolution de problèmes (*cf.* figure 7) dans le codage défini ci-dessus (*cf.* tableau 10). Les deux cas extrêmes de mélange (figure 8 et 9) présentent des répartitions théoriques opposées des codages aux mélanges respectivement élevé et bas. La réalité de l'usage de la métacognition est moins catégorique que ces deux extrêmes comme le laisse entendre ci-dessus

---

<sup>46</sup> La lecture d'une feuille ne correspond pas à celle d'un énoncé, codé DE pour cette dernière.

Goos et al. (2000), entre autres. Finalement, la répartition des codes attribués aux interventions métacognitives des équipiers permet ainsi de mettre à l'épreuve l'hypothèse 5.

### 2.2.2. La netteté métacognitive comme indicateur du mélange

Pour traduire mathématiquement le niveau de mélange métacognitif, un indicateur est nécessaire : la netteté métacognitive. Elle est définie par :

Soit  $E$  : le nombre d'expériences du protocole LETUCA,

Soit  $\eta_i$  : la valeur de la netteté métacognitive relative à l'expérience  $i$ , où  $i \in \llbracket 1, E \rrbracket$ ,

Soit  $N_i$  : le nombre d'interventions métacognitives de l'expérience  $i$ , où  $i \in \llbracket 1, E \rrbracket$ ,

Soit  $n_{i_c}$  : le nombre d'enchaînements d'interventions métacognitives de l'expérience  $i$  de la catégorie  $c$ , où  $i \in \llbracket 1, E \rrbracket$  et  $c$  un nombre entier correspondant au numéro d'une catégorie métacognitive employée dans ladite résolution de problème,

Soit  $C_i \in \llbracket 1, 7 \rrbracket$  : le nombre de catégories métacognitives présentes dans l'expérience  $i$  où  $i \in \llbracket 1, E \rrbracket$ . Selon le modèle métacognitif de résolution de problèmes inconnus choisi dans le cadre de cette thèse, il y a bien sept catégories métacognitives (cf. figure 7). Les métaconnaissances et métacompétences ne sont pas incluses dans le modèle et ne modifie donc pas la netteté.

La netteté métacognitive  $\eta_i$  est définie par :

$$\eta_i = \frac{\sum_{c=1}^{C_i} n_{i_c} + C_i}{N_i}$$

Les particularités de la netteté sont :

- La netteté ne s'emploie pas sans la présence de métacognition. En effet,  $N_i$  vaudrait alors zéro et  $\eta_i$  n'aurait donc pas de sens.
- La netteté n'a pas d'intérêt si une seule catégorie métacognitive est présente, la valeur serait alors systématiquement égale à un.
- $\eta_i$  tend vers zéro lorsque le nombre d'enchaînements des catégories métacognitives diminue pour un nombre fixé d'interventions métacognitives. Le mélange représenté est alors maximum.
- $\eta_i$  tend vers un lorsque le nombre d'enchaînements des catégories métacognitives augmente pour un nombre fixé d'interventions métacognitives. Le mélange représenté est alors minimum. À l'extrême, la netteté totale atteint un.
- Le temps n'est pas pris en compte, seul l'ordre chronologique des interventions est comptabilisé.

Une simplification est appliquée au modèle de métacognition en résolution de problème (cf. figure 7). En effet, les items relatifs à la planification et les choix entre plusieurs planifications possibles sont regroupés ensemble pour le calcul de la netteté. Dans les deux cas : « l'opérateur doit décider quelles étapes et ressources utiliser dans la résolution du problème » (notre traduction, Davidson et al., 1994). Le but de cette scission n'a pas de rapport avec le calcul de la netteté et n'est donc pas pris en compte ici.

Bien que l'évolution du niveau de mélange soit inversement proportionnelle à celle de la netteté, l'étude du mélange est finalement équivalente à celle de la netteté<sup>47</sup>. En outre, il est à noter que la netteté ne permet donc pas de discuter de l'ordre des étapes métacognitives, la formule n'est pas établie dans ce but.

### 2.2.3. Permet donc le test de l'hypothèse 5

Dans la pratique, le codage permet d'obtenir la chronologie de toutes les interventions métacognitives appartenant au modèle de métacognition en résolution de problème (cf. figure 7) d'une expérience. De cette chronologie, le nombre d'interventions métacognitives est établi et le nombre d'enchaînements d'interventions métacognitives calculé. Finalement, la valeur de la netteté de chaque expérience peut être obtenue.

La chronologie des interventions métacognitives doit être respectée malgré une configuration particulière des équipes pendant les expériences : la division du travail collectif. En effet, les équipes peuvent travailler à certains moments avec soit deux binômes soit un trinôme et un équipier isolé. La chronologie basique des retranscriptions ne doit alors plus être respectée pour toute l'équipe mais doit être scindée par division de travail. Il est ainsi possible de conserver la cohérence de l'activité métacognitive des divisions de travail et ne pas les mélanger entre elles. Si tel est le cas, les retranscriptions de chaque division sont colorisées avec une couleur propre. Une fois la discussion à nouveau unique pour toute l'équipe, cette colorisation et scission des retranscriptions sont terminées et la retranscription reprend normalement avec une chronologie unique.

Plus particulièrement, si un équipier effectue individuellement une intervention métacognitive, celle-ci est colorée et déplacée dans les retranscriptions. Ce déplacement est réduit à plus ou moins dix secondes. Le but de ce temps maximal est d'acquiescer une certaine souplesse des dialogues pour correspondre au respect des dynamiques métacognitives collectives (comme décrit au paragraphe précédent). Néanmoins, le temps est plafonné à dix secondes afin de conserver la cohérence temporelle de l'activité métacognitive d'un individu dans le cadre de la progression globale de l'équipe. Si le code couleur n'existait pas, des paroles sans rapport entre elles se suivraient et rendraient la retranscription incohérente du point de vue du travail cognitif des divisions.

Finalement, il y a équivalence entre mélange et netteté donc l'hypothèse 5 peut être convertie. D'où, l'hypothèse 5 : une netteté et une performance opérationnelle élevées sont attendues durant les résolutions de problèmes.

---

<sup>47</sup> Dans le cadre du choix de codage établi dans le chapitre III, paragraphe 5.2.2., règles (2), les interventions principales étant codées et les supports non codés, les valeurs de la netteté augmentent mathématiquement.

## Conclusion

Les tests des hypothèses sont à la fois relatifs à une mesure de performance et à la présence de métacognition. Il est donc nécessaire de proposer aux équipes composées des problèmes suscitant ces deux approches. Le protocole LETUCA remplit ces deux objectifs avec une échelle de mesure de la performance systématique et la mise en place de problèmes à résoudre pouvant susciter la métacognition selon le modèle établi précédemment (*cf.* figure 7). Proposant douze exercices répartis durant vingt mois, le protocole permet ainsi de suivre l'évolution de la performance et de la métacognition employées par les équipes et donc selon le vécu partagé d'expériences diversifiées et de qualité.

Finalement, les exercices, le traitement des performances mesurées et le codage de la métacognition sont conçus en fonction des hypothèses.

## **PARTIE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

## Introduction

Le protocole LETUCA est conçu pour proposer des problèmes inconnus à des équipes. De ces résolutions, des mesures de performance opérationnelle peuvent être rassemblées pour tester :

### Hypothèse 1

Une équipe partageant des expériences diversifiées obtient de meilleures performances opérationnelles face à des situations inconnues qu'une équipe sans un tel entraînement partagé.

Les hypothèses 2, 3, 4 et 5 portent sur l'étude de la métacognition :

### Hypothèse 2

Des développements de connaissances et compétences métacognitives interindividuelles sont attendus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité par rapport à une équipe sans partage.

### Hypothèse 3

Une influence bénéfique est attendue sur la performance opérationnelle en résolution de problèmes inconnus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité.

### Hypothèse 4

Un suivi rigoureux du modèle de métacognition en résolution de problème (*cf.* figure 7) est lié à une augmentation de la performance.

### Hypothèse 5

Un bas niveau de mélange lié avec une performance opérationnelle élevée est attendu durant les résolutions de problèmes inconnus.

Pour étudier l'emploi de la métacognition durant les résolutions de problèmes du protocole LETUCA, les retranscriptions et les signes non verbaux mis en œuvre par les équipes sont codés via la grille de codage établi (*cf.* tableau 10).

Le protocole LETUCA terminé, l'analyse des résultats des trois équipes doit être effectuée par une étude statistique. Cette étude comporte la comparaison des moyennes des quantités mesurées, le test de Wilcoxon et l'analyse graphique des boîtes à moustaches pour confirmer le soutien ou non des cinq hypothèses déterminées.

Les données rassemblées grâce au protocole LETUCA permettent d'approfondir l'étude de la métacognition en résolution de problèmes inconnus. Tout d'abord, une répartition des problèmes en

deux catégories peut être effectuée. Un premier type de problèmes peut exiger un rassemblement de solutions et le second type la construction d'un résultat ou des multiples résultats interdépendants. Selon la répartition des résultats de performance, il peut être possible d'émettre des recommandations en matière d'expériences partagées par des équipes selon la tâche à effectuer (*in fine*, le premier ou le second type). Ensuite, le modèle de métacognition en résolution de problème établi dans le cadre de l'état de l'art (*cf.* figure 7) peut être adapté à partir des résultats du protocole LETUCA. La répartition des interventions métacognitives codées, la netteté et le positionnement chronologique de la métacognition sont alors intégrés. Le modèle devient ainsi un modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème.

## Chapitre 1 : Le partage d'expériences améliore la performance

L'hypothèse 1 pose qu'une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité obtient de meilleures performances opérationnelles face à des situations inconnues qu'une équipe sans un tel entraînement partagé. Pour tester cette hypothèse, trois équipes ont été constituées puis ont travaillé à la résolution des douze problèmes du protocole LETUCA. La durée de ce dernier était de vingt mois permettant ainsi à l'équipe soudée de partager des expériences diversifiées et de qualité dans le cadre de sa formation. Les performances opérationnelles des équipes ont été mesurées selon le degré de réalisation de chaque tâche (cf. PIC3p2). Il s'agit ici d'analyser ces données numériques et de les mettre en relation à l'hypothèse 1.

### 1. Participation équilibrée aux expériences

Les équipes composées ont travaillé à la résolution des exercices du protocole LETUCA durant vingt mois. Le protocole a débuté avec la première rencontre des membres de l'équipe soudée le 27 août 2016 et s'est terminé avec la dernière expérience le 23 avril 2018. Comme établi précédemment, un roulement d'une puis de deux personnes par équipe a été effectué. Un planning de participation aux fonctions des expériences a donc été suivi puis adapté selon les contraintes de planning rencontrées au cours de l'organisation des expériences. L'objectif de ce planning est d'assurer un taux de rotation maximal des équipiers sur chaque fonction. Les tableaux 11, 12 et 13 récapitulent le nombre d'exécutions de chaque fonction lors des expériences pour chaque participant.

Équipier	Commandant de bord	Commandant en second	Spationaute n°1	Spationaute n°2
ES1	2	3	4	2
ES2	3	3	3	2
ES3	2	2	3	2
ES4	1	1	1	1
ES5	2	2	3	1
ES6	2	1	1	1

Tableau 11. participations aux fonctions du protocole LETUCA de l'équipe soudée

Équipier	Commandant de bord	Commandant en second	Spationaute n°1	Spationaute n°2
EMS1	2	3	2	2
EMS2	2	2	2	3
EMS3	2	2	2	3
EMS4	2	2	2	2
EMS5	2	2	2	2
EMS6	2	1	1	1

Tableau 12. participations aux fonctions du protocole LETUCA de l'équipe moins soudée

Équipier	Commandant de bord	Commandant en second	Spationaute n°1	Spationaute n°2
EA1	2	2	3	2
EA2	2	3	2	3
EA3	3	2	2	3
EA4	2	2	2	2
EA5	2	2	1	1
EA6	1	1	2	1

Tableau 13. participations aux fonctions du protocole LETUCA de l'équipe absconse

ES4 correspond à l'étudiant n'ayant pas pu participer à la seconde année du protocole. Ses présences sont donc moins élevées que les autres participants. Les personnes notées ES6, EMS6 et EA6 ont été introduites dans les équipes à mi-vie du protocole (cf. PIIC2p1.2), d'où les écarts de participation observés. Finalement, les participants du protocole LETUCA ont assuré toutes les fonctions avec un souci de proportions similaires.

## 2. Les résultats bruts

Le résultat brut de la performance opérationnelle d'une équipe est mesuré par exercice selon les procédures *ad hoc* à chaque exercice (cf. PIIC2p2.5). Des données non comparables entre les expériences sont alors obtenues. Pour pouvoir tester l'hypothèse 1, la comparaison des données tout au long du protocole LETUCA est nécessaire, c'est le rôle de la fonction de la « relativité générale. »

La formule suivante permet de calculer les résultats propres à chaque équipe, avec :

- $E_i$  : l'expérience notée  $i$ , où  $i \in \llbracket 1, N \rrbracket$ , avec  $N$  le nombre total d'expériences, avec  $N \in \mathbb{N}^*$
- $f_i$  : la fonction donnant le résultat de l'équipe  $j$  pour l'expérience  $i$
- $P_{i,j}$  : le résultat de l'équipe  $j$  pour l'expérience  $i$ .  $j$  signifie : EA = équipe abscisse, ES = équipe soudée, EMS = équipe moins soudée

La fonction de la « relativité générale »  $f_i$  est définie sur  $\mathfrak{R}$  par :

$$f_i(P_{i,j}) = \frac{P_{i,j}}{P_{i,EA}} - 1$$

Les résultats des performances opérationnelles des équipes sont alors relatifs et présentés dans le tableau 14 après application de la formule de la relativité générale des résultats (cf. PIIC1p2.2).

Numéro des expériences	Résultats relatifs de la performance de l'ES	Résultats relatifs de la performance de l'EMS	Résultats relatifs de la performance de l'EA
exp 1	0,2941	-0,04348	0,000
exp 2	8,618	3,134	0,000
exp 3	0,5261	0,1575	0,000
exp 4	-0,04738	-0,5148	0,000
exp 5	-0,3564	0,5698	0,000
exp 6	1,909	1,133	0,000
exp 7	1,156	1,750	0,000
exp 8	-0,01408	-0,8732	0,000
exp 9	-0,01686	-0,7875	0,000
exp 10	-0,02562	-0,2835	0,000
exp 11	2,000	1,000	0,000
exp 12	9,302	7,517	0,000

Tableau 14. résultats relatifs des performances opérationnelles des équipes

La figure 39 rassemble les résultats de performance avec une évolution graphique. L'axe des abscisses correspond aux dates d'exécution de chaque expérience de chaque équipe et l'axe des ordonnées regroupe les résultats relatifs des performances opérationnelles.

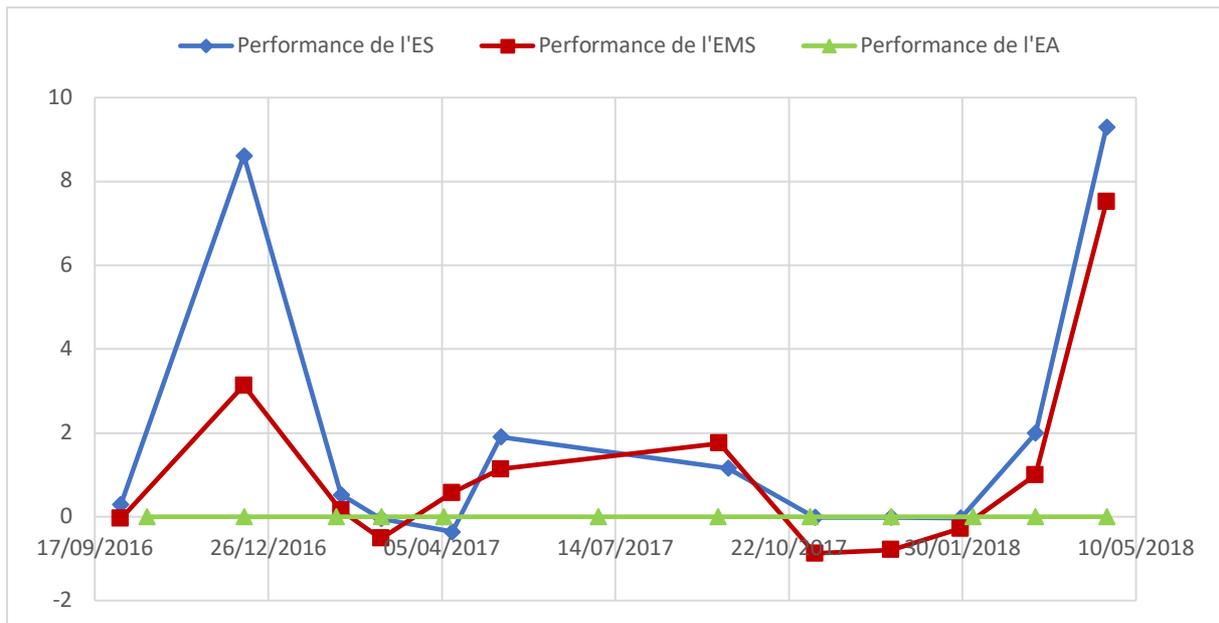


Figure 39. courbes des résultats relatifs des performances opérationnelles des équipes

Une analyse visuelle de ces trois courbes apporte un premier résultat : il n'y a pas d'évolution de la performance suivant une fonction de type affine. Deux sauts de performance des équipes soudée et moins soudée sont observés pour la deuxième et la douzième expériences. Cependant, compte tenu de ces premiers éléments observationnels, il n'est pas possible de soutenir ou non l'hypothèse 1.

### 3. Analysés statistiquement

Une analyse statistique est donc nécessaire pour tester l'hypothèse 1. Une première sera effectuée via le test de Wilcoxon et la seconde par la composition de boîtes à moustaches de Tukey (1977). Le parallèle des résultats permet ensuite de soutenir ou non l'hypothèse.

#### 3.1. Soutien des résultats du test de Wilcoxon

Le tableau 15 rassemble les moyennes et écarts-types des résultats relatifs des équipes. Ces résultats sont relatifs aux performances de l'équipe absconse selon la formule de la relativité des résultats (cf. PIIC1p2.2). Ainsi, les écarts-types doivent être interprétés comme les répartitions par rapport aux performances de l'équipe absconse. D'où un écart-type à zéro pour cette dernière car tous ses résultats sont imposés à zéro par la formule de la relativité générale. Les rapports entre les moyennes indiquent une performance opérationnelle de l'équipe soudée presque trois fois supérieure et deux fois supérieure pour l'équipe moins soudée par rapport à l'équipe absconse.

	Résultats relatifs de la performance de l'ES	Résultats relatifs de la performance de l'EMS	Résultats relatifs de la performance de l'EA
Moyennes	1,945	1,063	0,000
Écarts-types	3,369	2,331	0,000

Tableau 15. analyse des résultats du tableau 14

Le test de l'hypothèse 1 impose la mesure de la significativité des différences des performances entre les équipes. Pour y parvenir, les caractéristiques statistiques des valeurs de performance des équipes doivent être précisées. Ces données :

- Sont indépendantes : la mesure du résultat d'une équipe ne donne pas d'information sur la mesure d'une autre équipe (Frappé, 2011),
- Sont des variables quantitatives continues (très grand nombre de valeurs possibles de la performance),
- Sont appariées (un test par couple d'équipes expérience après expérience) et
- Composent un échantillon inférieur à trente (Frappé, 2011).

Les performances totales acquises par les équipes ont une moyenne de 1,002 et sont réparties selon la figure 40 réalisée avec le logiciel STATA. Frappé (2011) propose une méthode d'analyse graphique permettant de déterminer la normalité ou non de la distribution d'une variable. La méthode graphique nécessite de « tracer un histogramme des données, pour vérifier qu'il a la forme d'une courbe normale, c'est-à-dire une courbe en cloche, centrée sur la moyenne » (Frappé, 2011). Les valeurs de performance de la figure 40 ne sont donc pas réparties selon une loi normale.

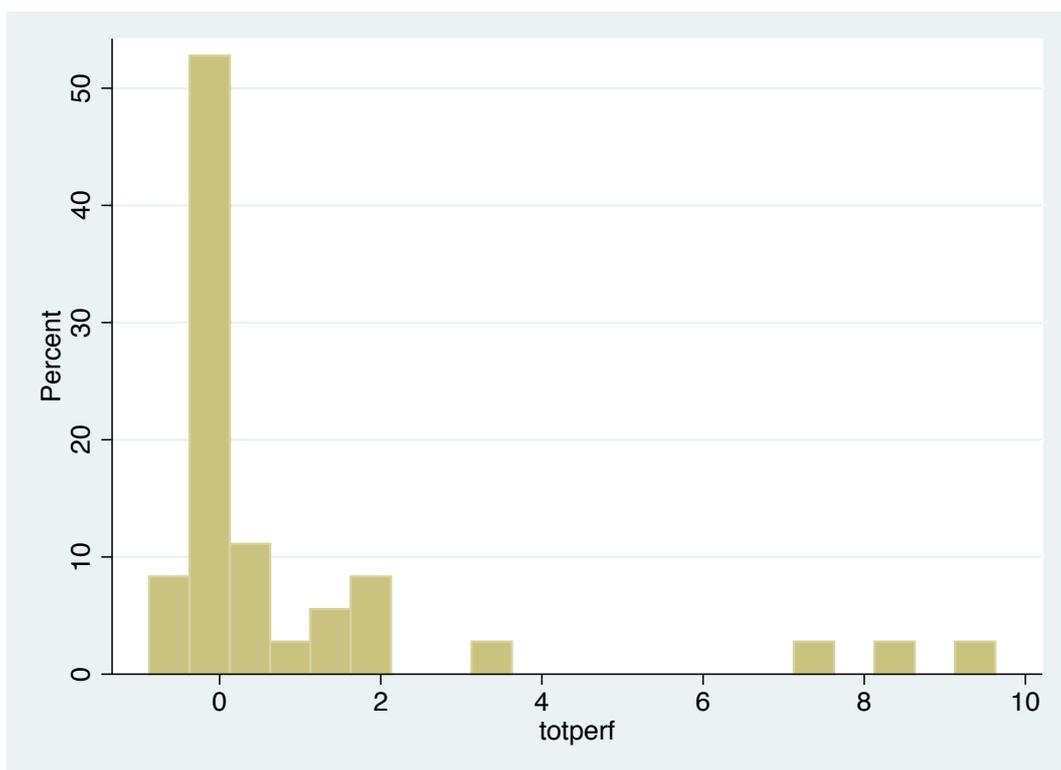


Figure 40. histogramme des résultats relatifs des performances opérationnelles des équipes

Le signed test des rangs de Wilcoxon est ainsi utilisé. En effet, les résultats issus du protocole LETUCA correspondent aux caractéristiques de ce test statistique (Frappé, 2011).

L'hypothèse statistique posée est : la performance de l'équipe X est identique à celles des deux autres équipes, où X représente l'une des trois équipes. Ainsi, trois tests sont nécessaires, un par couple d'équipes. Le tableau 16 présente les résultats des signed test des rangs de Wilcoxon

effectués à l'aide du logiciel STATA, par exemple, « Perf ES » signifie les performances de l'équipe soudée.

Perf ES = Perf EMS	Perf ES = Perf EA	Perf EA = Perf EMS
$p = 0,04990$	$p = 0,07120$	$p = 0,1579$

Tableau 16. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats de performance

Les résultats obtenus mettent en valeur :

- Une différence significative (selon Falissard, 2018) entre les performances des équipes soudée et moins soudée,
- Une différence presque significative (selon Falissard, 2018) entre les performances des équipes soudée et absconse,
- Une tendance (selon Falissard, 2018) entre les performances des équipes soudée et absconse.

### 3.2. Nuances de la lecture des boîtes à moustaches

La figure 41 présente les boîtes à moustaches composées à partir des résultats de performance des trois équipes. La répartition graphique des valeurs apporte une seconde lecture des données. En effet, elle :

- Souligne une différence presque significative entre les performances des équipes soudée et absconse (le premier quartile de l'équipe soudée est positionné à -0,02124 avec l'équipe absconse centrée sur 0),
- Ne permet pas de statuer sur une différence significative entre les performances des équipes soudée et moins soudée et moins soudée et absconse.

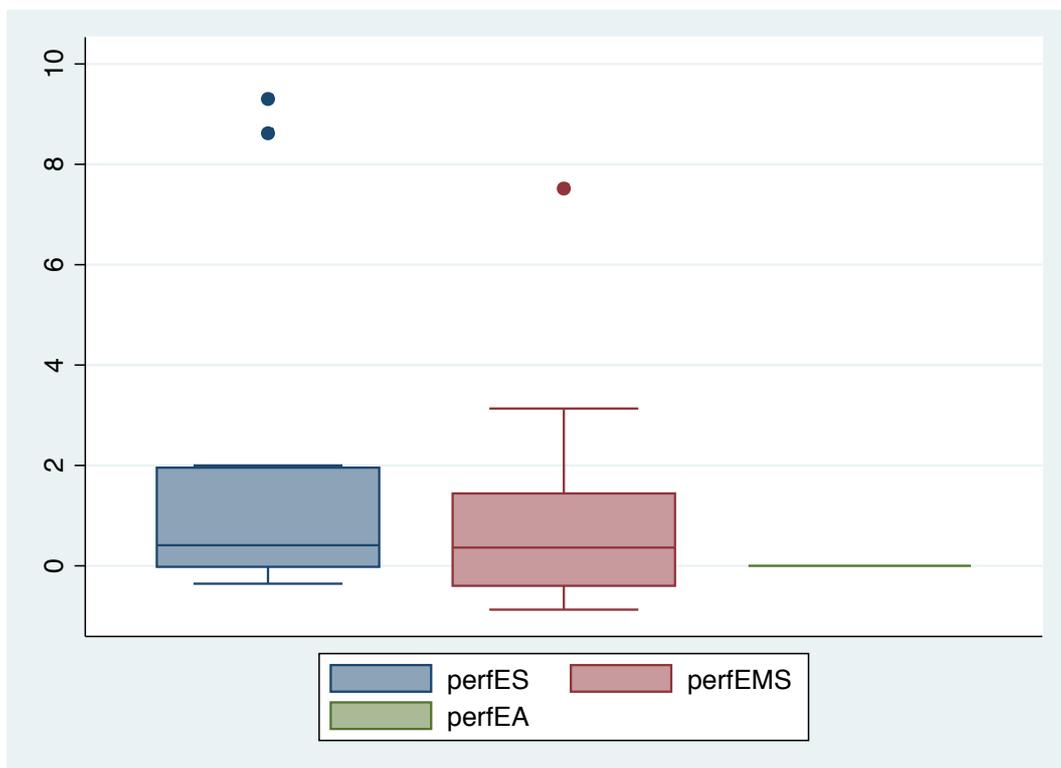


Figure 41. boîtes à moustaches issues des résultats de performance

La figure 41 présente trois valeurs extraites de la représentation en boîte. Elles représentent les sauts de performance et donc font partie du travail des équipes pour certaines expériences (cf. figure 39). Ces valeurs extraites, dans ce cas et dans la suite des tests des hypothèses, ne doivent donc pas être considérées comme aberrantes.

#### 4. Soutien de l'hypothèse 1

En comparant les deux tableaux 15 et 16 et la figure 41 de l'analyse statistique, la performance opérationnelle de l'équipe soudée est significativement supérieure à celle de l'équipe moins soudée avec une différence approchant les cinquante pourcents. La performance opérationnelle de l'équipe soudée est presque significativement supérieure à celle de l'équipe absconse avec une performance quasiment trois fois supérieure.

Par conséquent, les résultats des performances opérationnelles du protocole LETUCA **soutiennent l'hypothèse 1.**

« Les résultats élevés démontrent que les objectifs d'entraînement ont été remplis » (notre traduction, Salas, Paris et Cannon-Bowers, 2000, cf. PIIC2). Appliqué aux résultats de performance (cf. tableau 14), une cohérence globale de ce travail de recherche apparaît. En effet, les différents éléments majeurs de la mesure de performance concordent entre eux :

- L'évaluation des coefficients de pertinence des expériences diversifiées et de qualité (cf. PIIC2p3) mettent en avant une préparation plus pertinente de l'équipe soudée à réagir à l'inconnu,
- Les barèmes de mesure des exercices établis pour le protocole LETUCA traduisent les priorités opérationnelles correspondantes à un vol spatial habité,
- Les résultats de performance obtenus par l'équipe soudée sont supérieurs aux deux autres équipes.

Ainsi, la formation suivie par l'équipe soudée pour réagir à l'inconnu en vol spatial habité est cohérente en comparaison à ses résultats face à l'inconnu par rapport aux deux autres équipes.

Le partage d'expériences diversifiées et de qualité par une équipe constituée permet donc aux équipiers d'acquérir des connaissances et/ou compétences liées avec l'augmentation de la performance opérationnelle. Les expériences partagées par l'équipe soudée sont diversifiées selon la typologie établie (cf. PIIC1p2) et donc dans la cadre de la formation de cette équipe. En effet, l'équipe soudée a partagé des exercices d'aguerrissement, des cours académiques, des traditions, la vie en internat, l'esprit de camaraderie, etc. Par conséquent, les connaissances et/ou compétences acquises peuvent être multiples et ne pas se limiter à un unique axe de recherche (e.g. compétences de travail en équipe, communicationnelles, confiance, affinités sociales). Cette répartition de la performance opérationnelle incite donc à étudier quantitativement chaque apport potentiel du partage d'expériences diversifiées et de qualité. *In fine*, il peut être possible d'établir un tableau de synthèse des quantifications des gains possibles des connaissances et/ou compétences et ainsi pouvoir optimiser les formations d'équipes selon le domaine d'activité, l'effet recherché, les contraintes de l'environnement, etc.

L'hypothèse 2 pose que des développements de connaissances et compétences métacognitives sont attendus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité par rapport à une équipe sans partage. Pour tester cette hypothèse, il est nécessaire de coder les échanges verbaux et non verbaux issus des expériences du protocole LETUCA. L'annexe 4 présente un exemple de codage d'une conversation entre des équipiers lors d'une résolution de problème du protocole LETUCA. Les nombres de codes de métaconnaissances et métacompétences peuvent alors être comparés entre les équipes pour souligner ou non une différence statistique, condition nécessaire non suffisante au test de l'hypothèse 2. Si validée, les différences quantitatives sont comparées pour finalement soutenir ou non l'hypothèse 2.

### 1. Les résultats bruts

Les résultats du codage des métaconnaissances interpersonnelles des équipes au cours des expériences du protocole LETUCA sont présentés dans le tableau 17. Les résultats rassemblés soulignent des variations importantes entre les équipes et les exercices. Néanmoins, les métaconnaissances interpersonnelles sont majoritairement peu employées lors des exercices du protocole LETUCA.

<b>Numéro des expériences</b>	<b>Nombre d'items codés comme NI pour l'ES</b>	<b>Nombre d'items codés comme NI pour l'EMS</b>	<b>Nombre d'items codés comme NI pour l'EA</b>
exp 1	2	16	7
exp 2	2	0	0
exp 3	0	0	0
exp 4	2	3	0
exp 5	0	0	0
exp 6	1	1	0
exp 7	1	5	0
exp 8	0	0	0
exp 9	0	0	0
exp 10	0	3	1
exp 11	2	0	1
exp 12	0	0	0

Tableau 17. métaconnaissances interpersonnelles codées lors du protocole LETUCA

La figure 42 présente les données du tableau 17 sous la forme de courbes. L'axe des abscisses correspond aux dates d'exécution de chaque expérience de chaque équipe et l'axe des ordonnées regroupe le nombre d'items codés comme NI pour chaque équipe. Il en est de même pour les figures 43, 44 et 45 respectivement pour les tableaux 18, 19 et 20.

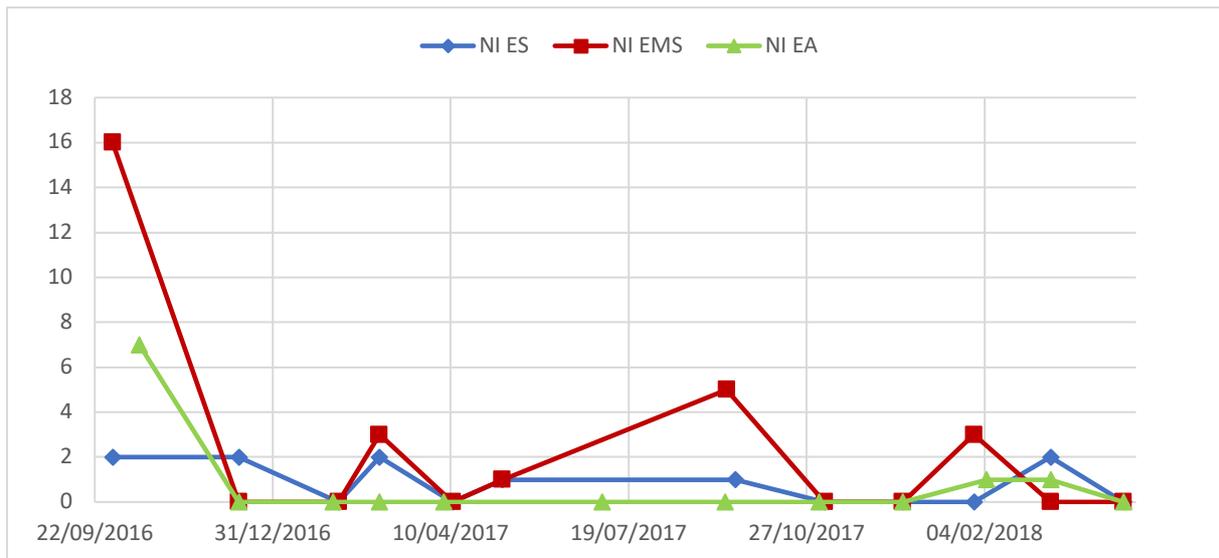


Figure 42. courbes des résultats des métaconnaissances interpersonnes

Les résultats du codage des métaconnaissances générales des équipes lors de leur participation aux expériences du protocole LETUCA sont présentés dans le tableau 18. Tout comme les métaconnaissances interpersonnes, les variations de nombre de métaconnaissances générales sont soulignées avec un maximum pour l'expérience Survie lunaire. Ces augmentations des valeurs similaires aux trois équipes peuvent être justifiées par l'intégration de nombreuses connaissances acquises lors d'exercices de survie pratiqués par les participants au protocole et analogues au scénario de cet exercice. Les applications de connaissances et notamment de conscience de connaissances sont donc facilitées.

Numéro des expériences	Nombre d'items codés comme NN pour l'ES	Nombre d'items codés comme NN pour l'EMS	Nombre d'items codés comme NN pour l'EA
exp 1	31	26	37
exp 2	8	2	4
exp 3	1	0	0
exp 4	2	2	0
exp 5	0	0	2
exp 6	1	0	0
exp 7	0	2	0
exp 8	0	0	0
exp 9	0	0	0
exp 10	3	2	2
exp 11	2	0	0
exp 12	0	0	0

Tableau 18. métaconnaissances générales codées lors du protocole LETUCA

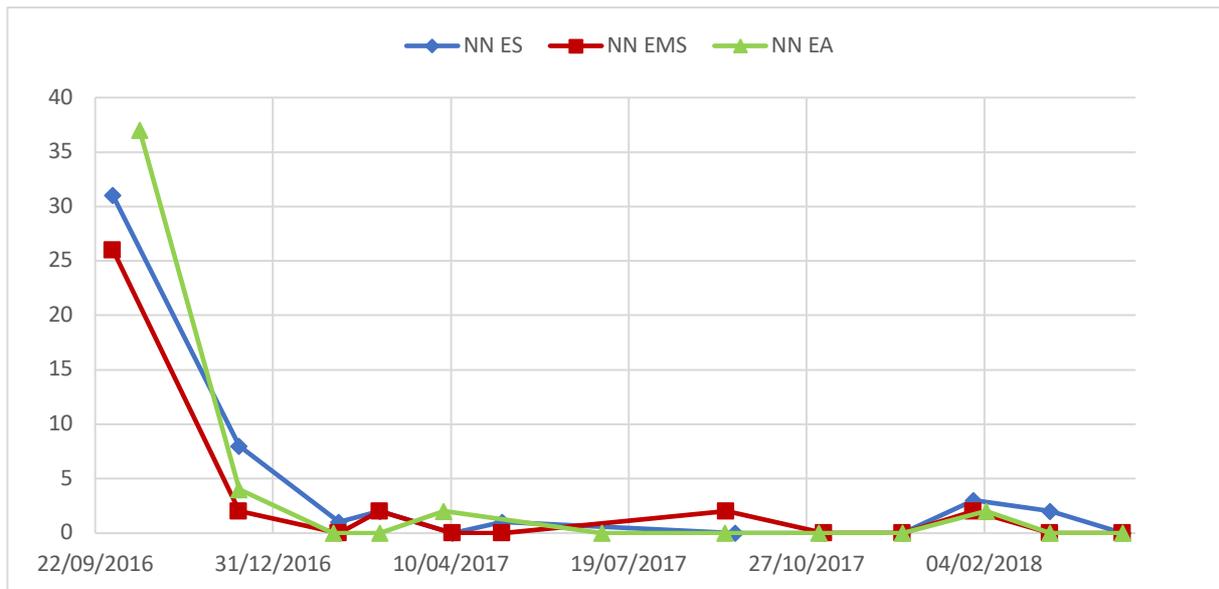


Figure 43. courbes des résultats des métaconnaissances générales

Les résultats du codage des métacompétences interpersonnelles des équipes lors de leur participation aux expériences du protocole LETUCA sont présentés dans le tableau 19. Le spectre des valeurs des nombres de codage est moins important par rapport aux métaconnaissances générales.

Numéro des expériences	Nombre d'items codés comme MI pour l'ES	Nombre d'items codés comme MI pour l'EMS	Nombre d'items codés comme MI pour l'EA
exp 1	7	0	2
exp 2	5	3	14
exp 3	1	0	0
exp 4	10	4	11
exp 5	9	5	14
exp 6	1	1	7
exp 7	12	0	6
exp 8	0	1	3
exp 9	11	6	3
exp 10	3	2	4
exp 11	1	0	2
exp 12	21	5	5

Tableau 19. métacompétences interpersonnelles codées lors du protocole LETUCA

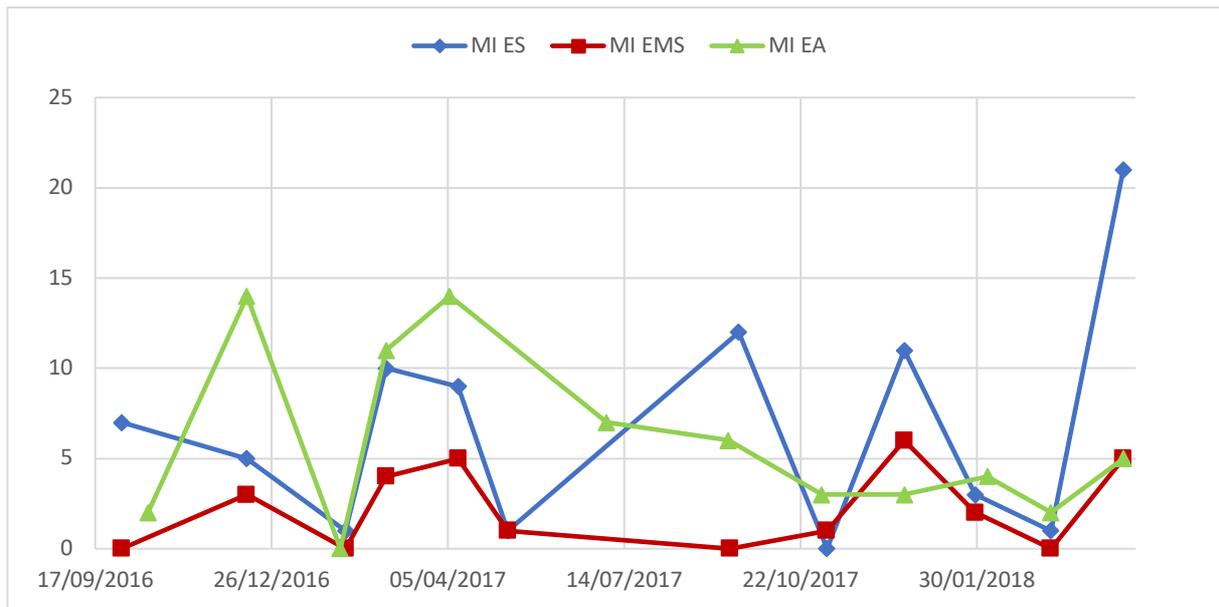


Figure 44. courbes des résultats des métacompétences interpersonnes

Les résultats du codage des métacompétences générales des équipes lors de leur participation aux expériences du protocole LETUCA sont présentés dans le tableau 20. Tout comme les métaconnaissances interpersonnes et générales et les métacompétences interpersonnes, les nombres de codages de métacompétences générales sont faibles. Néanmoins, le tableau 20 met en valeur une relative stabilité des valeurs présentées entre les équipes et les exercices du protocole LETUCA.

Numéro des expériences	Nombre d'items codés comme MM pour l'ES	Nombre d'items codés comme MM pour l'EMS	Nombre d'items codés comme MM pour l'EA
exp 1	3	0	1
exp 2	4	6	10
exp 3	2	1	0
exp 4	6	4	4
exp 5	7	3	5
exp 6	5	1	4
exp 7	3	2	5
exp 8	2	2	5
exp 9	4	8	3
exp 10	8	3	1
exp 11	4	3	2
exp 12	1	2	6

Tableau 20. métacompétences générales codées lors du protocole LETUCA

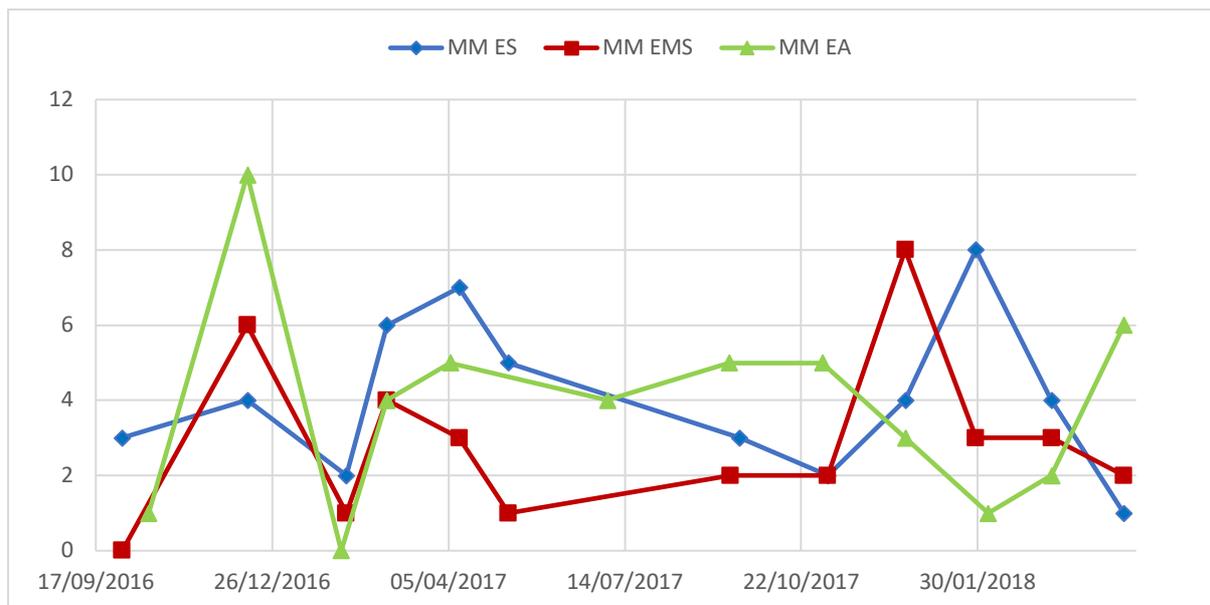


Figure 45. courbes des résultats des métacompétences générales

L'observation des résultats indique les nombres réduits de codages relatifs aux métaconnaissances et métacompétences quelle que soit l'équipe observée.

## 2. Analysés statistiquement

Comme pour le test de l'hypothèse 1, deux études statistiques (Wilcoxon et établissement des boîtes à moustaches) sont conduites pour les hypothèses 2 et 3.

### 2.1. Absence de soutien des résultats du test de Wilcoxon

Le tableau 21 rassemble les moyennes et écarts-types des nombres d'items codés métaconnaissances et métacompétences des équipes.

	<b>Métaconnaissances interpersonnes de l'ES</b>	<b>Métaconnaissances interpersonnes de l'EMS</b>	<b>Métaconnaissances interpersonnes de l'EA</b>
Moyennes	0,8333	2,333	0,8333
Écarts-types	0,9374	4,619	2,290

Tableau 21. analyse des métaconnaissances interpersonnes isolées

La figure 46 présente l'histogramme des résultats des métaconnaissances interpersonnes, la moyenne des valeurs des trois équipes est de 1,306. Ainsi, les résultats des métaconnaissances interpersonnes ne respectent pas une distribution en loi normale.

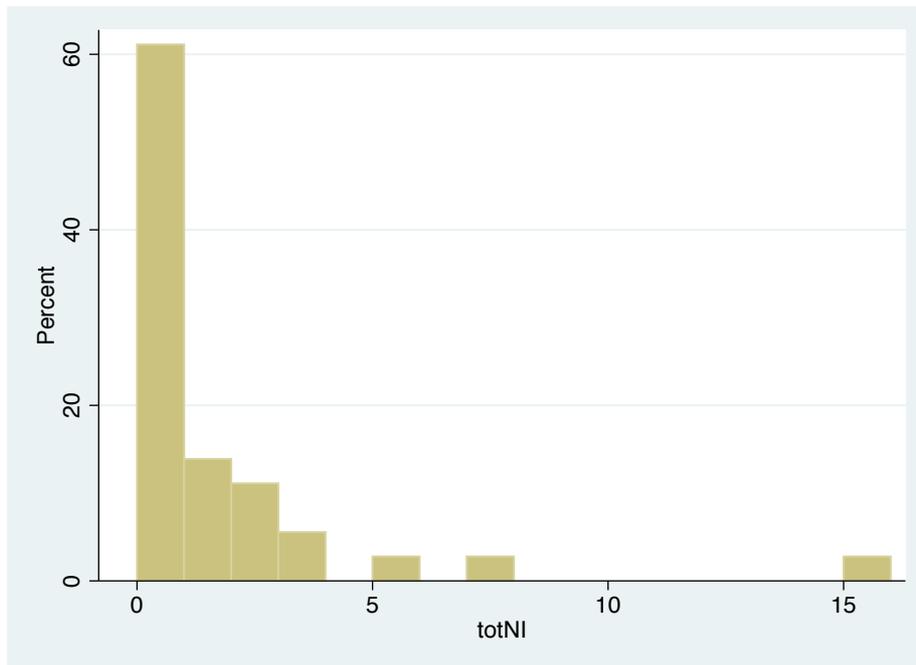


Figure 46. histogramme des métaconnaissances interpersonnes

Comme pour les métaconnaissances interpersonnes, le tableau 22 et la figure 47 présentent les résultats des métaconnaissances générales. La moyenne étant de 3,528, les résultats des métaconnaissances générales ne respectent pas une distribution en loi normale.

	<b>Métaconnaissances générales de l'ES</b>	<b>Métaconnaissances générales de l'EMS</b>	<b>Métaconnaissances générales de l'EA</b>
Moyennes	4,000	2,833	3,750
Écart-types	8,801	7,359	10,55

Tableau 22. analyse des métaconnaissances générales isolées

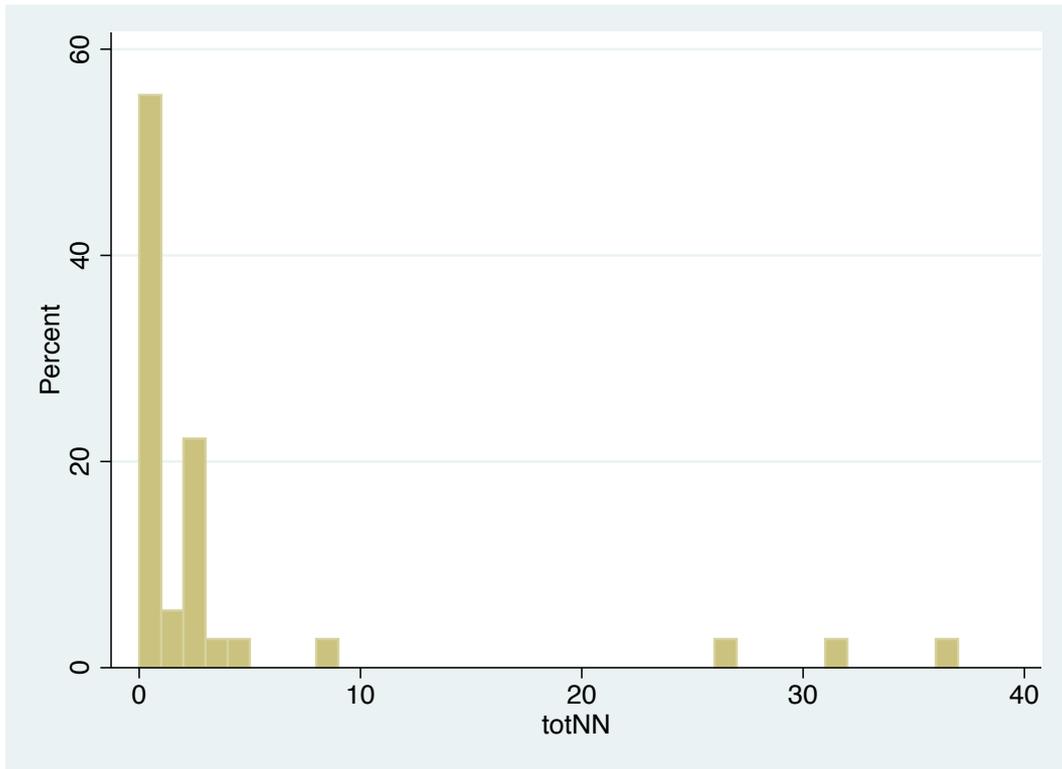


Figure 47. histogramme des métaconnaissances générales

Comme pour les métaconnaissances interpersonnelles, le tableau 23 et la figure 48 présentent les résultats des métacompétences interpersonnelles. La moyenne étant de 4,972, les résultats des métacompétences interpersonnelles ne respectent pas une distribution en loi normale.

	<b>Métacompétences interpersonnelles de l'ES</b>	<b>Métacompétences interpersonnelles de l'EMS</b>	<b>Métacompétences interpersonnelles de l'EA</b>
Moyennes	6,750	2,250	5,917
Écart-types	6,225	2,261	4,719

Tableau 23. analyse des métacompétences interpersonnelles isolées

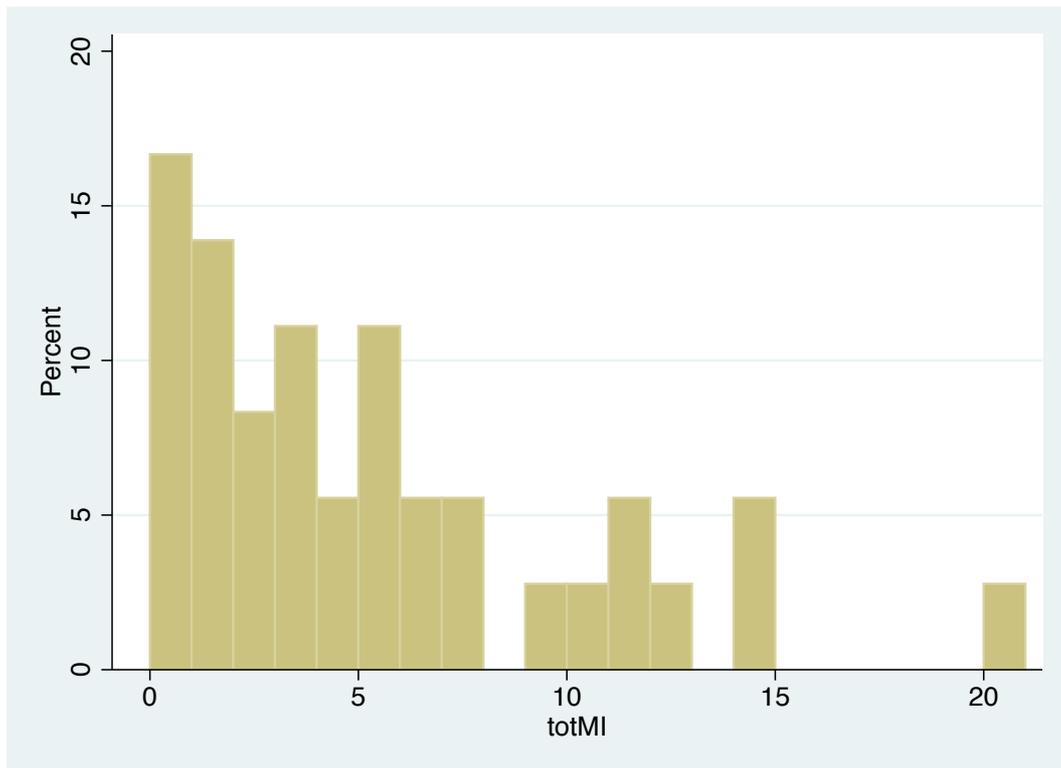


Figure 48. histogramme des métacompétences interpersonnelles

Comme pour les métaconnaissances interpersonnelles, le tableau 24 et la figure 49 présentent les résultats des métacompétences générales. La moyenne étant de 3,611, les résultats des métacompétences générales respectent une distribution en loi normale.

	<b>Métacompétences générales de l'ES</b>	<b>Métacompétences générales de l'EMS</b>	<b>Métacompétences générales de l'EA</b>
Moyennes	4,083	2,917	3,833
Écarts-types	2,109	2,234	2,725

Tableau 24. analyse des métacompétences générales isolées

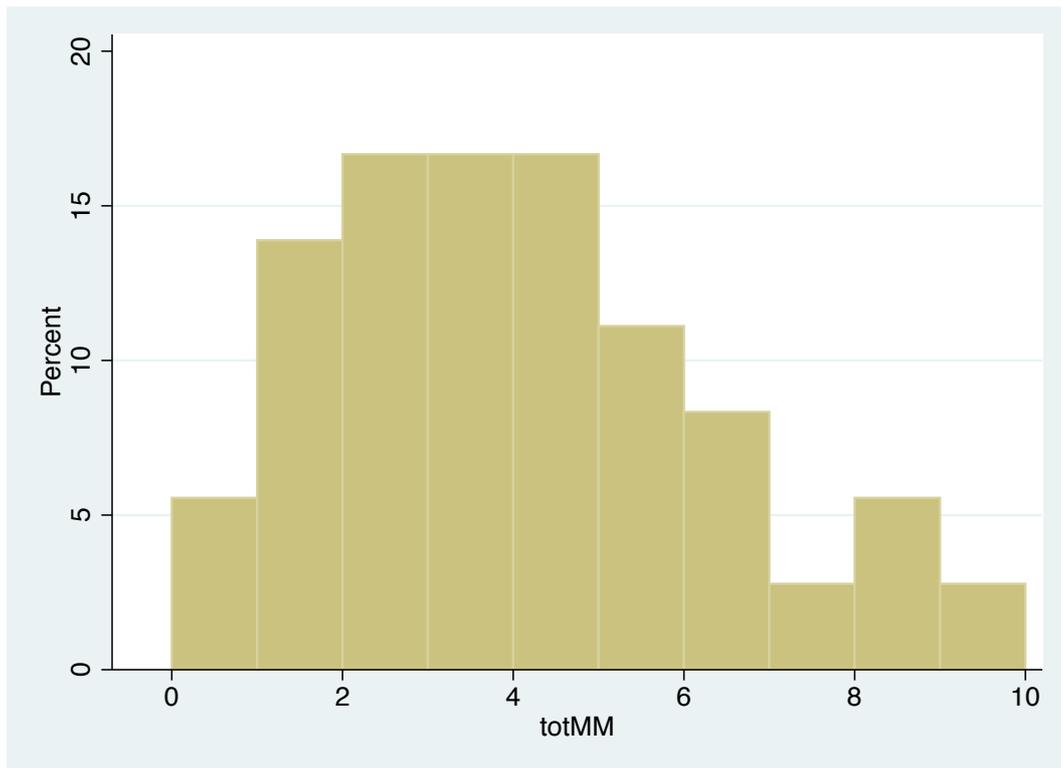


Figure 49. histogramme des métacompétences générales isolées

Au-delà de l'étude des moyennes des métaconnaissances et métacompétences qu'elles soient basses ou élevées, le test de l'hypothèse 3 impose de mesurer la significativité des différences des codages entre les équipes. Le signed test des rangs de Wilcoxon est de nouveau utilisé. En effet, les résultats issus des codages des métaconnaissances interpersonnes et générales et métacompétences interpersonnes, correspondent aux caractéristiques de ce test statistique (Frappé, 2011). Ces données :

- Sont indépendantes : la mesure du résultat d'une équipe ne donne pas d'information sur la mesure d'une autre équipe (Frappé, 2011),
- Sont des variables quantitatives continues (très grand nombre de valeurs possibles de performance),
- Sont appariées (un test par couple d'équipes expérience après expérience) et
- Ont des distributions ne suivant pas la loi normale.

L'hypothèse statistique posée est : le nombre d'items codés comme métaconnaissance interpersonne de l'équipe X est identique à celui des deux autres équipes, où X représente l'une des trois équipes. Une hypothèse statistique identique est appliquée aux métaconnaissances générales, métacompétences interpersonnes et générales. Ainsi, trois tests sont nécessaires par codage, un par couple d'équipes. Respectivement aux codages décrits ci-dessus, les tableaux 25, 26 et 27 présentent les résultats des signed tests des rangs de Wilcoxon effectués à l'aide du logiciel STATA. Par exemple, « NI ES » signifie le nombre d'items codés comme métaconnaissance interpersonne de l'équipe soudée.

<b>NI ES = NI EMS</b>	<b>NI ES = NI EA</b>	<b>NI EA = NI EMS</b>
$p = 0,3304$	$p = 0,3229$	$p = 0,0755$

Tableau 25. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats des métaconnaissances interpersonnes

<b>NN ES = NN EMS</b>	<b>NN ES = NN EA</b>	<b>NN EA = NN EMS</b>
$p = 0,0707$	$p = 0,2948$	$p = 0,5933$

Tableau 26. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats des métaconnaissances générales

<b>MI ES = MI EMS</b>	<b>MI ES = MI EA</b>	<b>MI EA = MI EMS</b>
$p = 0,0058$	$p = 0,9686$	$p = 0,0159$

Tableau 27. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats des métacompétences interpersonnes

À la différence des autres métaconnaissances et métacompétences, la répartition des métacompétences générales suit une loi normale. Les autres propriétés sont néanmoins identiques (indépendance, variables quantitatives continues et appariées). Un autre test statistique est donc nécessaire pour vérifier la validité de l'hypothèse statistique. Le « t test de student » correspond à ces critères et est donc employé pour tester l'hypothèse 3. Le tableau 28 rassemble les résultats du t test de student appliqué avec le logiciel STATA aux résultats des codages des métacompétences générales.

<b>MM ES = MM EMS</b>	<b>MM ES = MM EA</b>	<b>MM EA = MM EMS</b>
$p = 0,1565$	$p = 0,8154$	$p = 0,2774$

Tableau 28. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux résultats des métacompétences générales

Les résultats obtenus mettent en valeur une différence :

- Très significative entre MI ES et MI EMS,
- Significative entre MI EA et MI EMS,
- À la limite de la significativité entre NI EA et NI EMS puis NN ES et NN EMS (pour les qualifications des valeurs : Falissard, 2018).

Les huit autres résultats ne présentent aucune différence statistique notable.

## 2.2. La lecture des boîtes à moustaches s'en rapproche

Les figures 50, 51, 52 et 53 représentent les boîtes à moustaches respectivement des métaconnaissances interpersonnes, métaconnaissances générales, métacompétences interpersonnes et métacompétences générales des équipes.

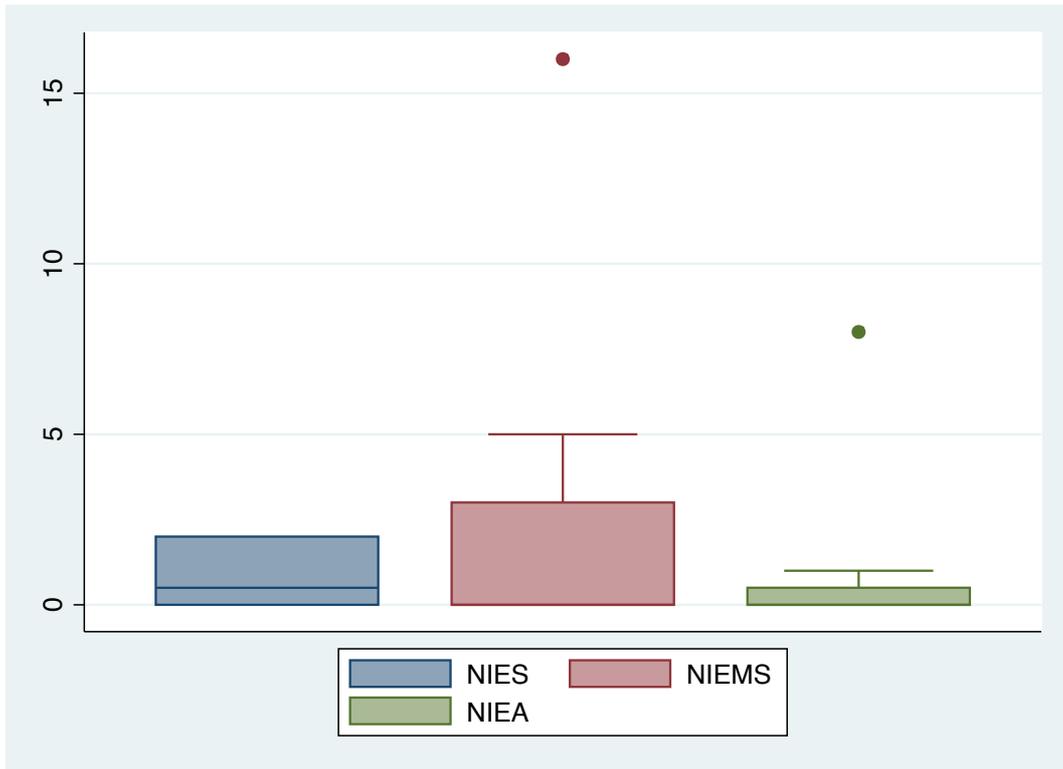


Figure 50. boîtes à moustaches issues des résultats des métaconnaissances interpersonnelles

La figure 50 met en valeur une différence presque significative entre les métaconnaissances interpersonnelles des équipes soudée et absconse (la valeur de la médiane de l'équipe soudée et celle du troisième quartile de l'équipe absconse sont de 0,5). En revanche, cette représentation ne permet pas de statuer sur une différence significative entre les métaconnaissances interpersonnelles des équipes.

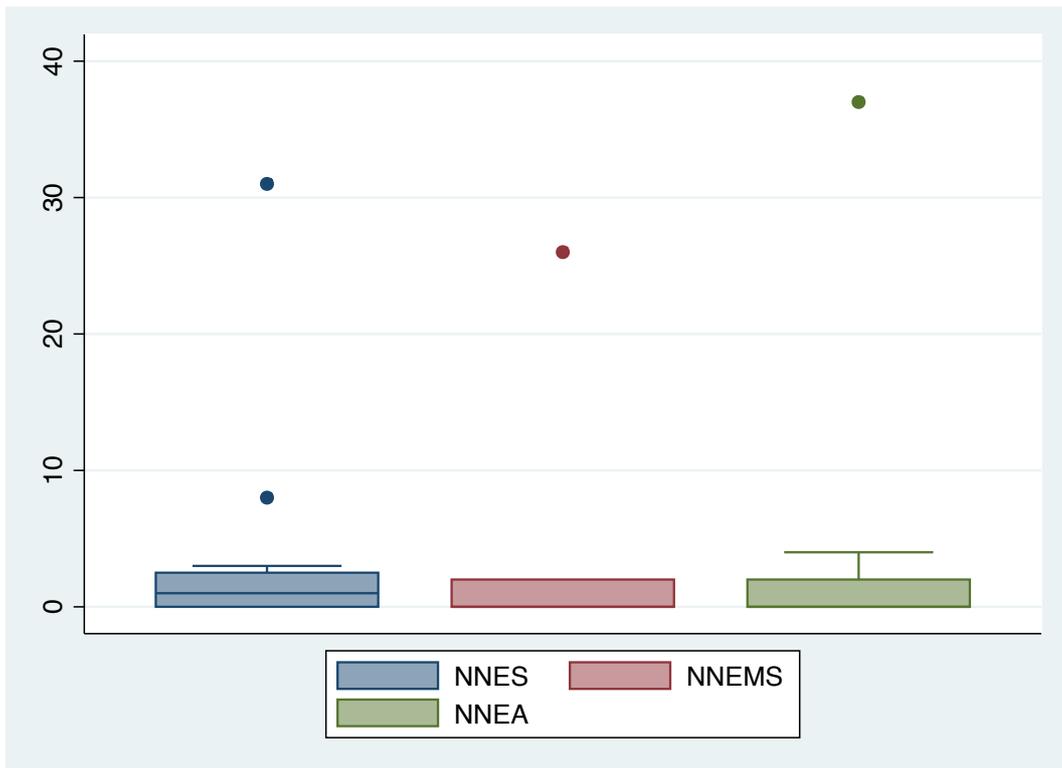


Figure 51. boîtes à moustaches issues des résultats des métaconnaissances générales

La figure 51 ne permet donc pas de confirmer l'existence d'une différence significative entre les métaconnaissances interpersonnelles des équipes.

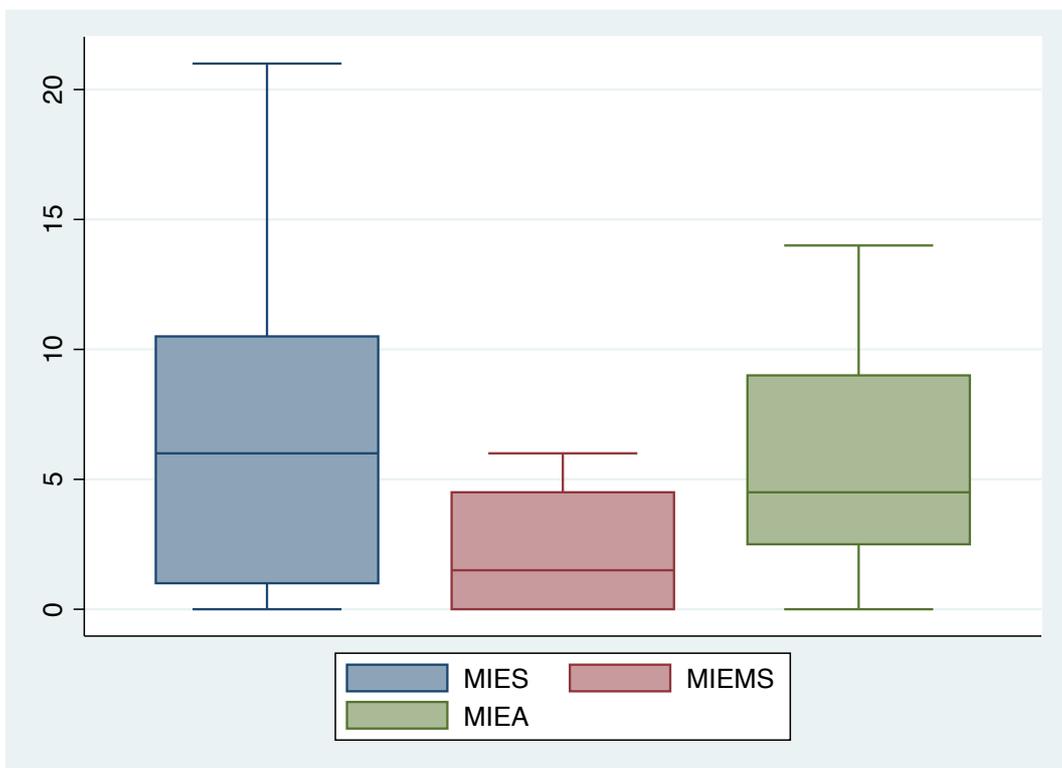


Figure 52. boîtes à moustaches issues des résultats des métacompétences interpersonnelles

La figure 52 met en valeur une différence presque significative entre les équipes soudée et moins soudée et entre les équipes abscisse et moins soudée. En revanche, cette représentation ne permet pas de statuer sur une différence significative entre les métacompétences interpersonnelles des équipes soudée et abscisse.

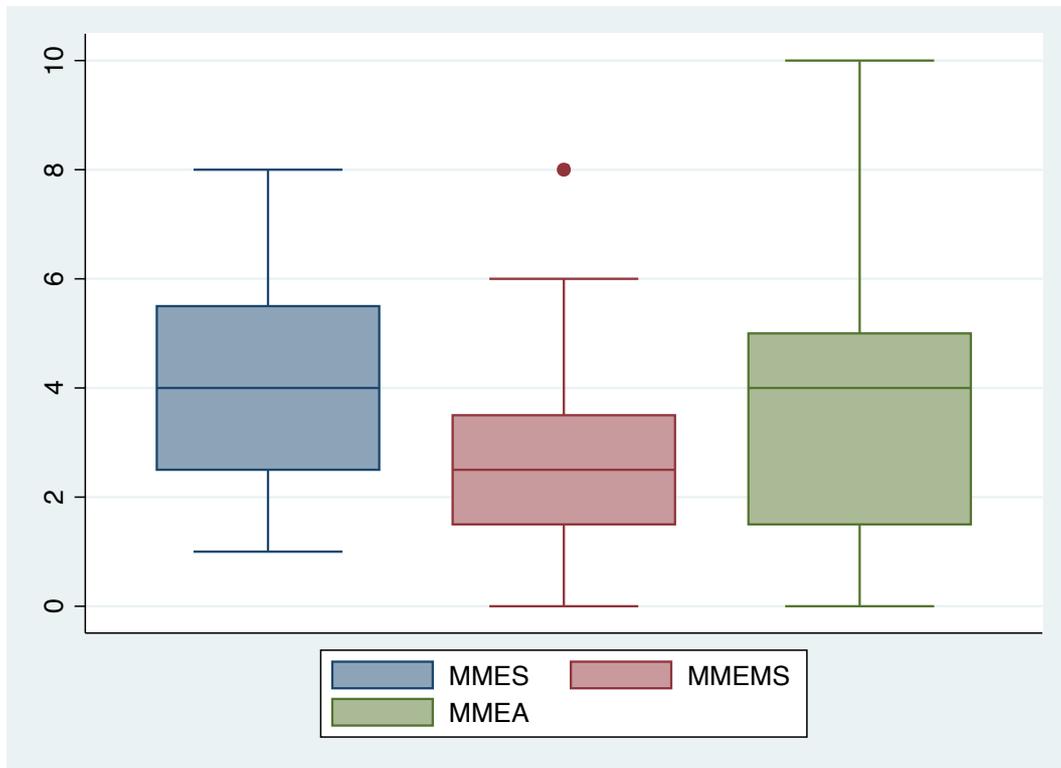


Figure 53. boîtes à moustaches issues des résultats des métacompétences générales

La figure 53 met en valeur une différence presque significative entre les équipes soudée et moins soudée et entre les équipes abscisse et moins soudée. En revanche, cette représentation ne permet pas de statuer sur une différence significative entre les métacompétences interpersonnelles des équipes soudée et abscisse.

### 3. Absence de soutien aux hypothèses 2 et 3

Le tableau 29 rassemble les résultats des analyses des données relatives aux métaconnaissances interpersonnelles, métaconnaissances générales, métacompétences interpersonnelles et métacompétences générales des équipes.

Les analyses effectuées à partir des résultats des métaconnaissances interpersonnelles et générales et des métacompétences générales **ne soutiennent pas l'hypothèse 2**. En effet, aucune cohérence

globale n'est établie à partir des tests statistiques. Ainsi, **l'hypothèse 3<sup>48</sup> fondée sur la deuxième n'est pas soutenue.**

Catégories étudiée	Équipes	Moyennes	Résultats du test de Wilcoxon	Études des boîtes à moustaches
NI	ES	0,8333	ES/EMS : nil	ES/EMS : nil
	EMS	2,333	ES/EA : nil	ES/EA : presque significative
	EA	0,750	EA/EMS : presque significative	EA/EMS : nil
NN	ES	4,000	ES/EMS : presque significative	ES/EMS : nil
	EMS	2,833	ES/EA : nil	ES/EA : nil
	EA	3,750	EA/EMS : nil	EA/EMS : nil
MI	ES	6,750	ES/EMS : Très significative	ES/EMS : presque significative
	EMS	2,250	ES/EA : nil	ES/EA : nil
	EA	5,917	EA/EMS : significative	EA/EMS : presque significative
MM	ES	4,083	ES/EMS : nil	ES/EMS : presque significative
	EMS	2,917	ES/EA : nil	ES/EA : nil
	EA	3,833	EA/EMS : nil	EA/EMS : presque significative

Tableau 29. synthèse des différences statistiques relatives aux métaconnaissances et métacompétences

Cependant, il existe des différences significatives démontrées dans l'étude des métacompétences interpersonnelles entre d'une part l'ES et l'EMS et d'autre part l'EA et l'EMS. Bien que les participants à l'équipe absconse soient déjà formés à leurs métiers respectifs et ont des fonctions spécifiques (moniteur de sport, météorologue, secrétaire, pompier, marqueur opérationnel et fusiller commando), l'étude des interventions codées MI ne suscitent pas de métacompétences particulièrement fondées sur ces spécialités. Par exemple, un équipier pourrait attendre d'un fusiller commando qu'il soit compétent dans les domaines de la survie et du combat. L'autre différence

<sup>48</sup> L'hypothèse 3 pose : une influence bénéfique des métaconnaissances et métacompétences est attendue sur la performance opérationnelle en résolution de problèmes inconnus chez une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité.

entre l'équipe abscisse et les deux autres réside dans l'ancienneté de ses membres (*cf.* tableau 5 et 8). Cette expérience de chaque membre au sein de l'Armée de l'air a pu permettre une construction différente des relations sociales au sein de l'équipe et ainsi l'expression des métacompétences par rapport à un ou plusieurs autres équipiers que le locuteur. Néanmoins, les résultats relatifs aux métacompétences interpersonnelles ne soutiennent pas les hypothèses.

L'équipe soudée a partagé vingt mois d'expériences diversifiées et de qualité (*e.g.* vie en internat, cours académique, exercices militaires et de survie). Ainsi, Les équipiers ont pu développer des métaconnaissances et métacompétences les uns envers les autres par rapport à l'équipe abscisse. Néanmoins, cette existence de métaconnaissances et métacompétences au sein de l'équipe soudée n'est pas observée par l'analyse des résultats du codage. Or, la méthode de prise en compte de la métacognition ne permet pas de relever les interventions non exprimées<sup>49</sup> (verbalement ou non). Ainsi, l'emploi des métaconnaissances et métacompétences ont probablement eu lieu mais sans être codées par la méthode choisie d'observation de la métacognition. Des recherches supplémentaires peuvent être conduites à l'aide d'une autre technique d'étude de la métacognition afin de confirmer ou non les résultats obtenus.

Par construction du protocole LETUCA, des équipes novices doivent être capables de réagir face aux problèmes. Ces problèmes ne nécessitent donc pas de connaissance ou d'expérience préalable. Les métaconnaissances et métacompétences peuvent donc être sous évaluées par rapport à une activité réelles avec de véritables experts. En effet, aucune connaissance ou compétence n'est exigée pour effectuer les tâches demandées dans le protocole LETUCA à la différence d'une équipe employée dans le cadre d'une mission opérationnelle réelle.

---

<sup>49</sup> Une manière d'étudier la métacognition non exprimée est de demander la verbalisation du raisonnement. Néanmoins, cette technique n'est pas applicable dans un contexte collectif car le travail en équipe sera affecté par cette expression sans discontinuité des verbalisations de chaque équipier. En revanche, le questionnaire et l'entretien permettent de cibler ces axes d'étude mais sont difficilement employables dans le cadre du suivi longitudinal d'équipes constituées (outils actifs, *cf.* PIIC2p3.2.1.2.2).

L'hypothèse 4 pose qu'un suivi rigoureux du modèle de métacognition en résolution de problème (cf. figure 7) est lié à une augmentation de la performance. Pour tester cette hypothèse, il est nécessaire de coder les interventions métacognitives verbales et non verbales issues des expériences du protocole LETUCA. Leur ordre chronologique est alors établi et les moyennes de positionnement déduites de chaque catégorie sont comparées entre elles. Comme les équipes ont accompli des performances différentes (cf. test de l'hypothèse 1), une condition nécessaire non-suffisante au soutien de l'hypothèse 4 est l'existence de différences significatives entre ces positionnements des étapes métacognitives. Si cette étape est confirmée, l'étude de la corrélation entre les items codés issus des expériences et les étapes du modèle de métacognition est alors effectuée.

### 1. Les résultats bruts

Les nombres d'items codés relevant de chaque catégorie du modèle de métacognition en résolution de problème lors des expériences du protocole LETUCA sont rassemblés dans le tableau 30. L'annexe 4 présente un exemple de codage d'échange lors d'une résolution de problème du protocole LETUCA. Dans le cadre du suivi du modèle métacognitif, l'ordre chronologique des items est nécessaire, les traces ne sont donc pas comptées dans ce tableau car n'étant pas fixées au niveau chronologique.

Néanmoins, toutes les expériences du protocole LETUCA ne sont pas composées d'un seul exercice, certaines sont construites à partir de deux problèmes ou plus et indépendants les uns des autres. L'étude de la chronologie des étapes métacognitives en résolution de problème impose donc de considérer un sous-problème après l'autre pour préserver le cheminement métacognitif idoine. Ainsi, dix-huit sous-problèmes sont étudiés pour tester l'hypothèse 4. Certains résultats de codage sont ainsi divisés selon la présence ou non de sous-problèmes indépendants. Finalement, il y a une liste de codes par sous-problème et par équipe. Ces dix-huit listes pour trois équipes sont la base du test de l'hypothèse 4.

À partir de ces résultats, la chronologie des items permet de calculer les moyennes de positionnement des catégories du modèle de métacognition. Un premier calcul est effectué pour déterminer la position d'une catégorie pour le sous-problème *ad hoc* (position moyenne des items correspondants) puis un second pour ramener cette position sur une échelle de zéro à cent. Il s'agit alors d'une position normalisée. Il est alors possible de comparer les positions d'un sous-problème à un autre. L'annexe 5 rassemble l'ensemble des positions normalisées des catégories métacognitives des équipes.

Les histogrammes ci-dessous (cf. figures 54, 55, 56, 57, 58 et 59) rassemblent l'ensemble des positions normalisées des trois équipes respectivement des catégories DE, RE, PL, MO, EV et CT. Pour les besoins techniques du logiciel STATA, un facteur cent est appliqué à toutes les moyennes de position, d'où l'échelle abscisse contenant des amplitudes de valeurs de positions normalisées en

milliers<sup>50</sup> et non en dizaines. L'axe des ordonnées présente les pourcentages de répartition des positions normalisées selon les amplitudes.

<b>Expérience</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
ES	DE	49	229	42	60	282	142	58	306	197	200	77	111
	RE	522	127	74	75	59	115	39	180	63	126	11	23
	PL+PO	22	17	3	9	10	0	6	0	11	0	2	0
	MO	65	78	15	222	89	145	368	65	102	81	69	126
	EV	106	189	55	143	93	125	217	117	159	125	118	155
	CT	24	84	15	52	62	59	155	57	48	42	75	141
	<b>total</b>	<b>788</b>	<b>724</b>	<b>204</b>	<b>562</b>	<b>596</b>	<b>586</b>	<b>843</b>	<b>725</b>	<b>580</b>	<b>574</b>	<b>352</b>	<b>556</b>
EMS	DE	53	204	68	69	110	166	64	256	154	275	75	58
	RE	400	116	39	119	55	248	51	119	83	245	2	18
	PL+PO	19	18	0	4	2	5	8	0	17	0	2	4
	MO	77	90	21	143	85	44	226	78	61	45	47	179
	EV	135	95	45	138	175	127	131	89	144	110	101	270
	CT	40	53	27	29	92	60	139	71	75	31	87	404
	<b>total</b>	<b>724</b>	<b>576</b>	<b>200</b>	<b>502</b>	<b>520</b>	<b>650</b>	<b>619</b>	<b>613</b>	<b>534</b>	<b>706</b>	<b>314</b>	<b>933</b>
EA	DE	65	227	53	63	156	214	44	365	185	169	70	95
	RE	476	116	33	121	129	115	21	118	72	91	7	49
	PL+PO	23	20	11	3	0	9	4	25	0	7	0	12
	MO	73	22	14	124	79	78	276	36	15	90	26	123
	EV	156	101	66	200	275	133	212	54	123	168	146	148
	CT	16	54	14	55	109	80	178	57	17	24	68	137
	<b>total</b>	<b>809</b>	<b>540</b>	<b>191</b>	<b>566</b>	<b>748</b>	<b>629</b>	<b>735</b>	<b>655</b>	<b>412</b>	<b>549</b>	<b>317</b>	<b>564</b>

Tableau 30. nombres d'items codés de chaque catégorie du modèle de métacognition<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Les positions normalisées sont tout de même appelées ainsi malgré le facteur mille dans la suite du mémoire. En effet, les proportions entre les positions normalisées sont respectées.

<sup>51</sup> Les codages des métacognitions non-verbales de la catégorie DE peuvent être facilités lorsqu'un équipier lit les données initiales d'un exercice. En effet, si ces données relatives à la catégorie DE sont placées sur une autre feuille de couleur, la prise en compte des lectures DE est donc facilitée. Par exemple pour l'exercice Transfert de point d'amarrage, un manuel d'utilisation est disponible et contient des informations portant sur l'exécution de la tâche. Sa lecture n'est donc pas codée DE à la différence d'autres consignes. Il peut donc revêtir une autre couleur pour faciliter la discrimination de la métacognition par rapport à la cognition.

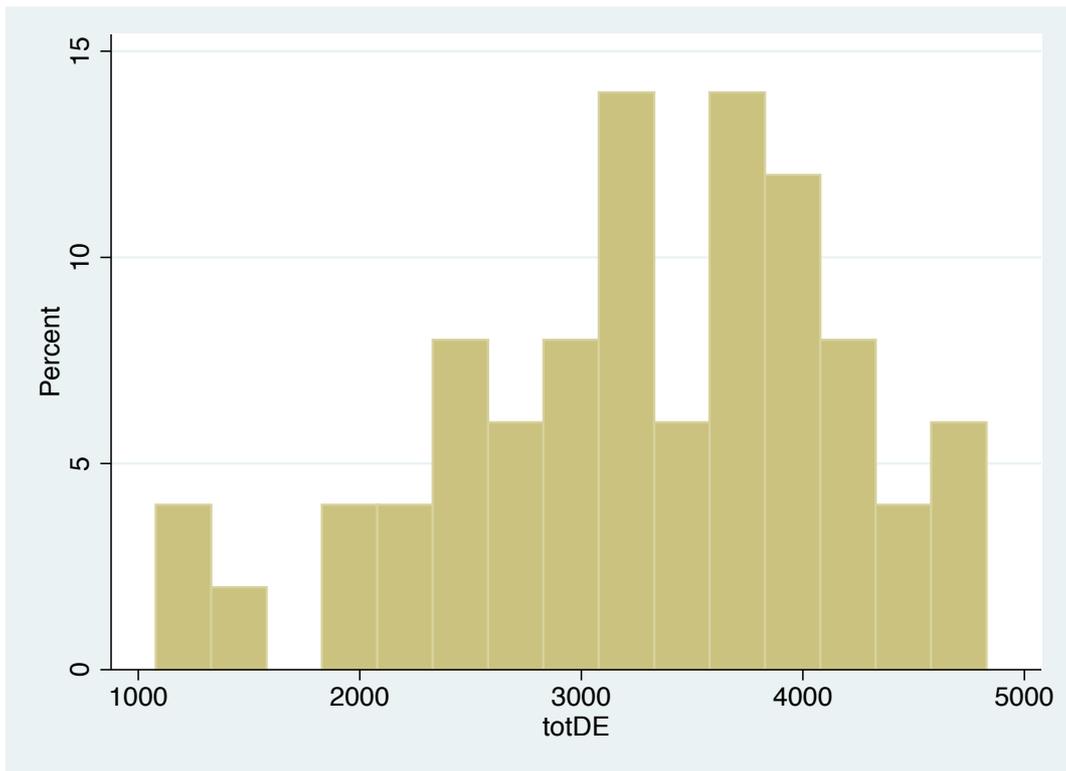


Figure 54. histogramme des répartitions des positions normalisées des DE

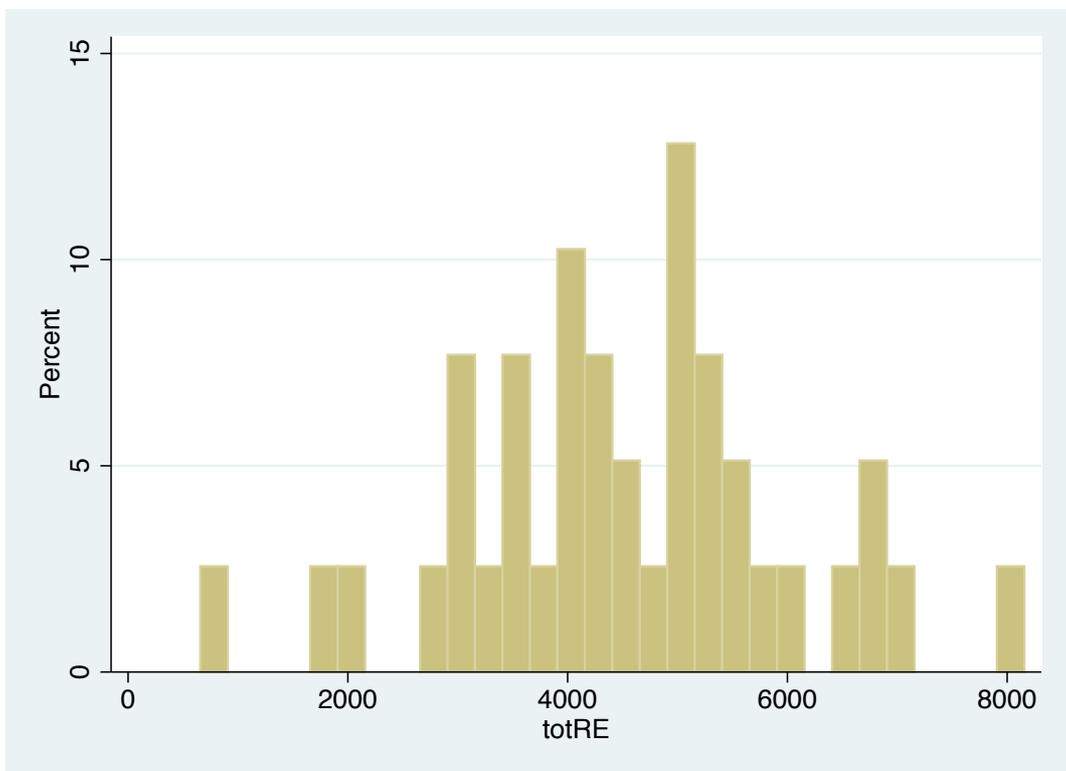


Figure 55. histogramme des répartitions des positions normalisées des RE

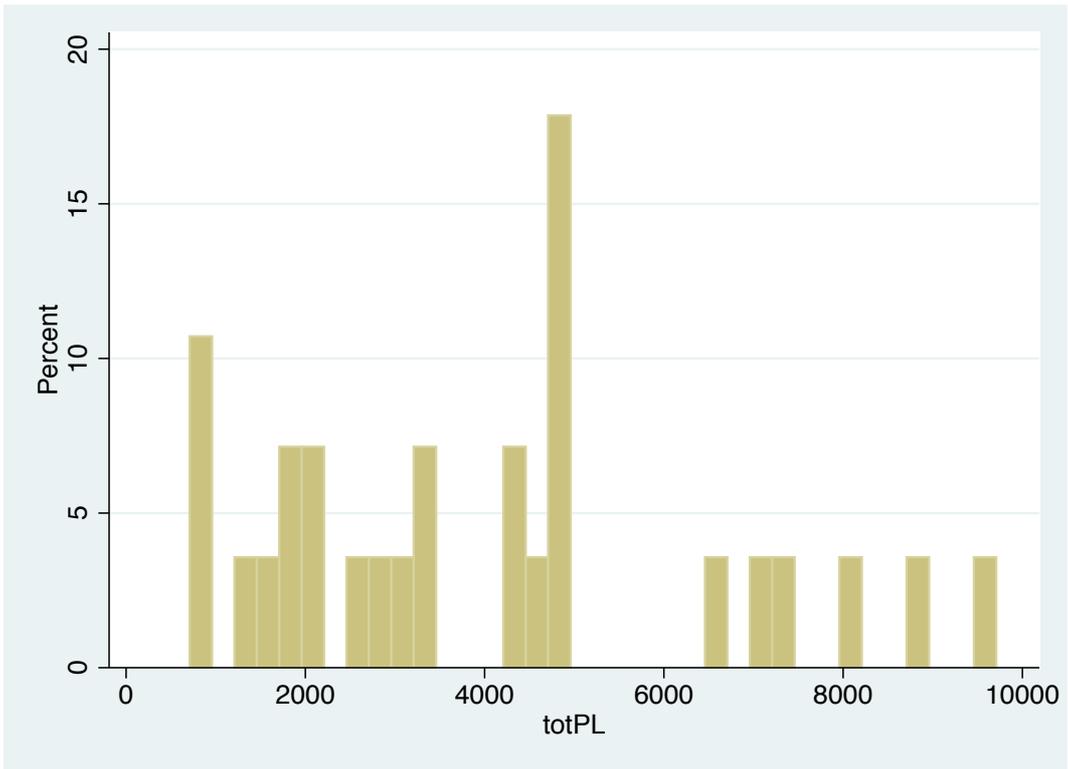


Figure 56. histogramme des répartitions des positions normalisées des PL

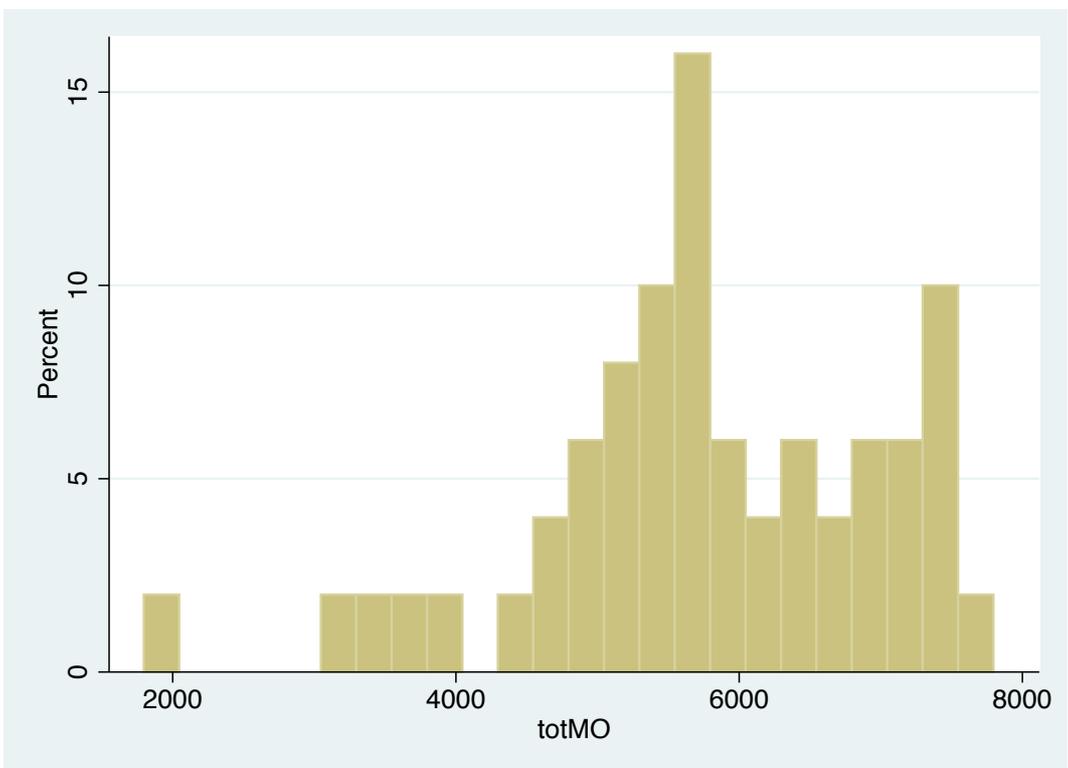


Figure 57. histogramme des répartitions des positions normalisées des MO

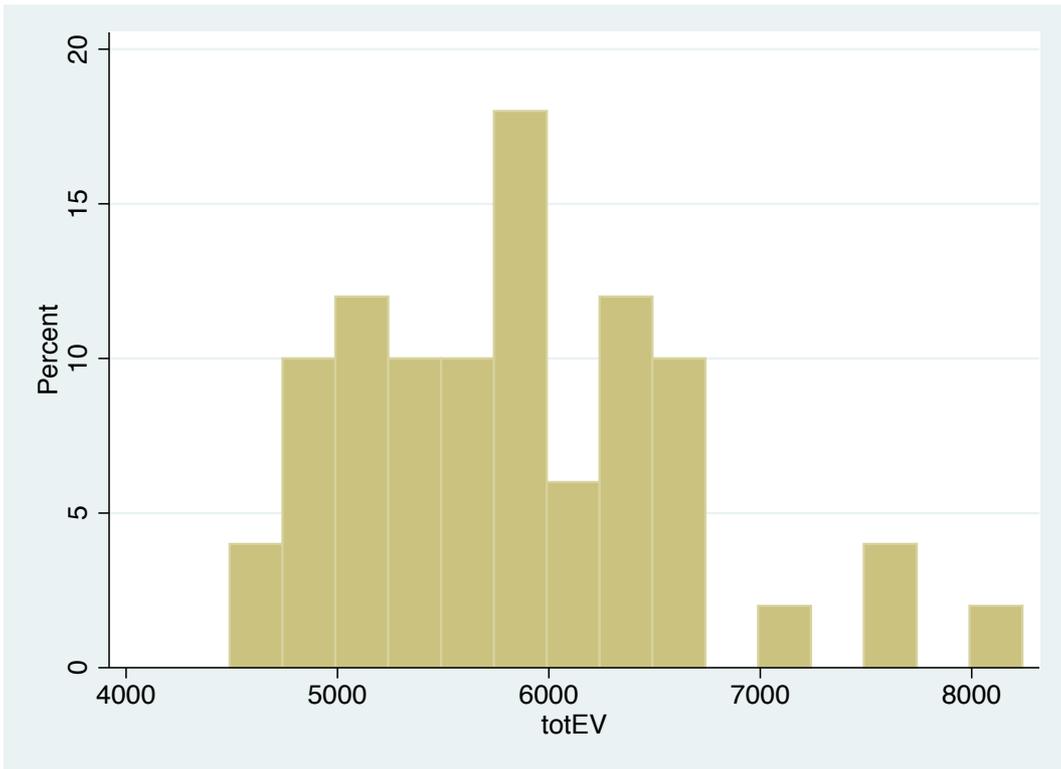


Figure 58. histogramme des répartitions des positions normalisées des EV

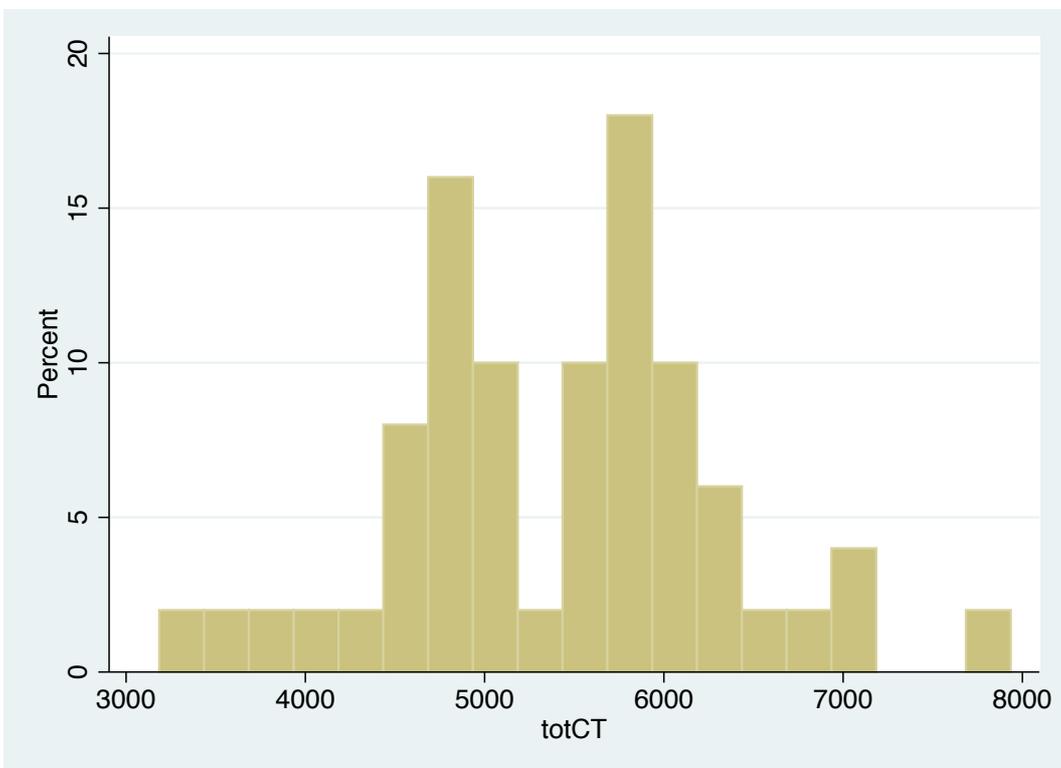


Figure 59. histogramme des répartitions des positions normalisées des CT

Les moyennes des positions normalisées au cours des dix-huit sous-problèmes sont présentées dans le tableau 31 :

Catégorie	Positions moyennes
DE	32,80
RE	45,98
PL	43,00
MO	56,42
EV	58,31
CT	54,23

Tableau 31. moyennes des positions normalisées

Les études des histogrammes DE, RE, PL, MO, EV et CT de chaque équipe n'indiquent pas de distribution normale des variables, hormis pour les items EV de l'équipe soudée.

## 2. Analysés statistiquement

### 2.1. Absence de soutien des résultats du test de Wilcoxon

Les résultats issus des codages des catégories du modèle de métacognition en résolution de problème (cf. tableau 30) :

- Sont indépendants (Frappé, 2011),
- Sont des variables quantitatives continues,
- Sont appariés et
- Ont des distributions ne suivant pas la loi normale.

Le signed test des rangs de Wilcoxon est donc de nouveau utilisé pour tester l'hypothèse 4, posant le suivi du modèle métacognitif comme lié à une performance supérieure. La traduction statistique de cette hypothèse devient : la position d'une même catégorie est identique pour l'équipe X et Y. Les résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué à toutes les catégories pour chaque couple d'équipes sont rassemblés dans le tableau 32. Pour chaque résultat, la ligne supérieure présente l'hypothèse statistique et la colonne de gauche la catégorie métacognitive concernée.

	ES = EMS	ES = EA	EMS = EA
DE	$p = 0,3958$	$p = 0,7299$	$p = 0,1578$
RE	$p = 0,6874$	$p = 0,5509$	$p = 0,7776$
PL	$p = 0,6002$	$p = 0,3454$	$p = 0,8927$
MO	$p = 0,5566$	$p = 0,6378$	$p = 0,2455$
EV	$p = 0,3061$	$p = 0,9250$	$p = 0,0413$
CT	$p = 0,0854$	$p = 0,8261$	$p = 0,1771$

Tableau 32. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux positions normalisées par couple d'équipe

Le tableau 32 ne présente donc aucune différence significative (Falissard, 2018) pour les positions normalisées des catégories entre les équipes. Deux exceptions existent pour :

- La catégorie EV entre les équipes absconse et moins soudée où la différence est significative (Falissard, 2018) et
- La catégorie CT entre les équipes soudée et moins soudée où une tendance est remarquée (Falissard, 2018).

## 2.2. Absence de soutien des boîtes à moustaches s'en rapproche

Les figures 60 à 65 représentent les boîtes à moustaches respectivement des positions normalisées moyennes des équipes associées.

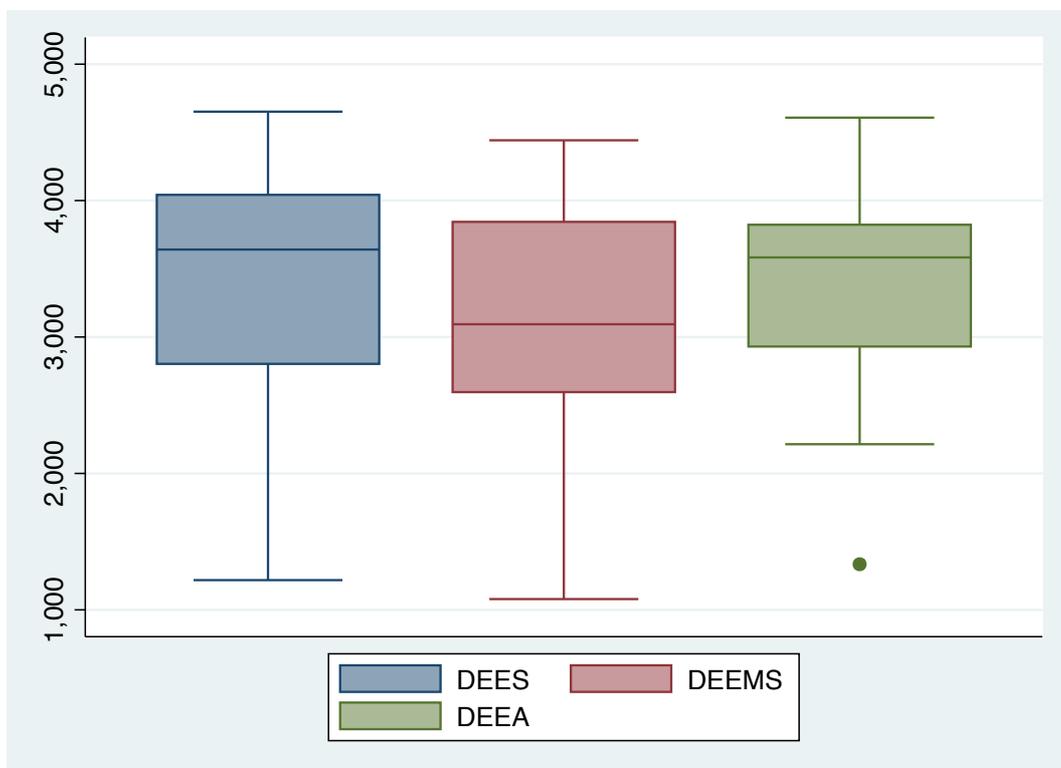


Figure 60. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie DE par équipe

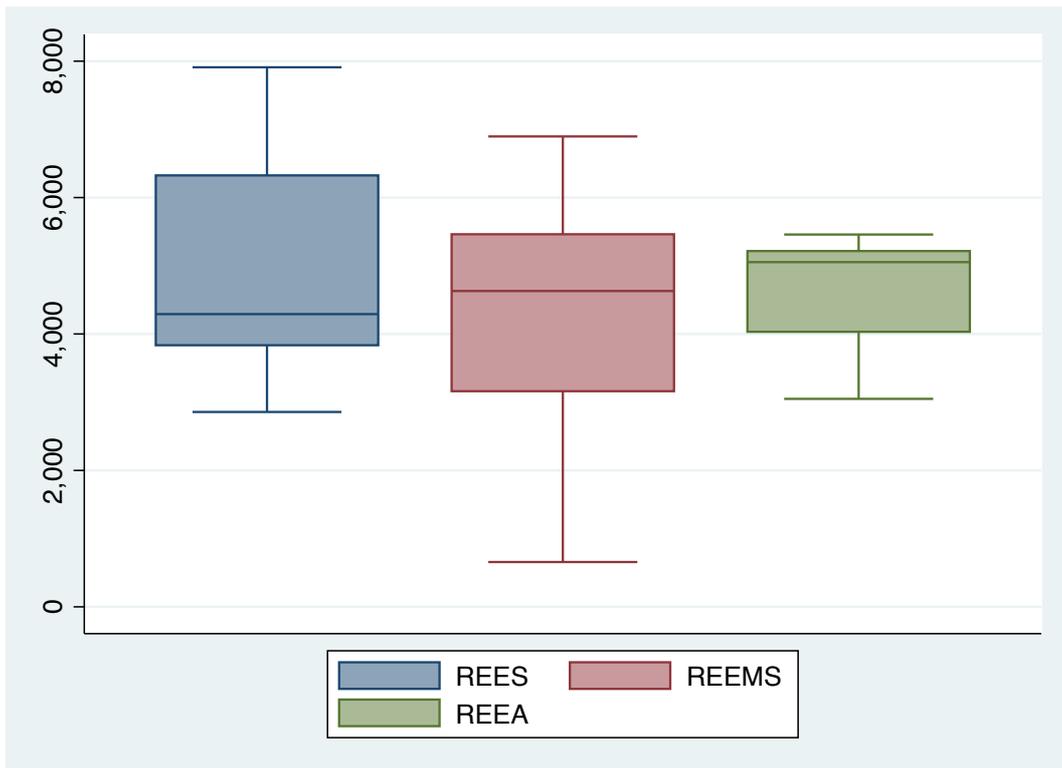


Figure 61. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie RE par équipe

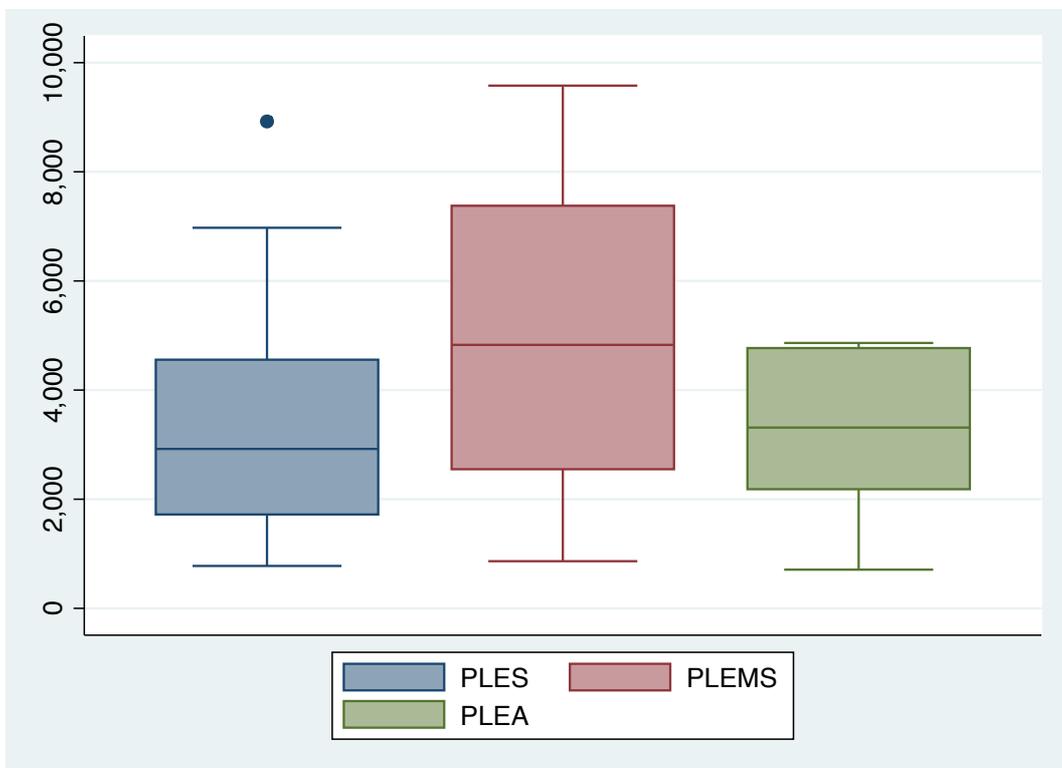


Figure 62. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie PL par équipe

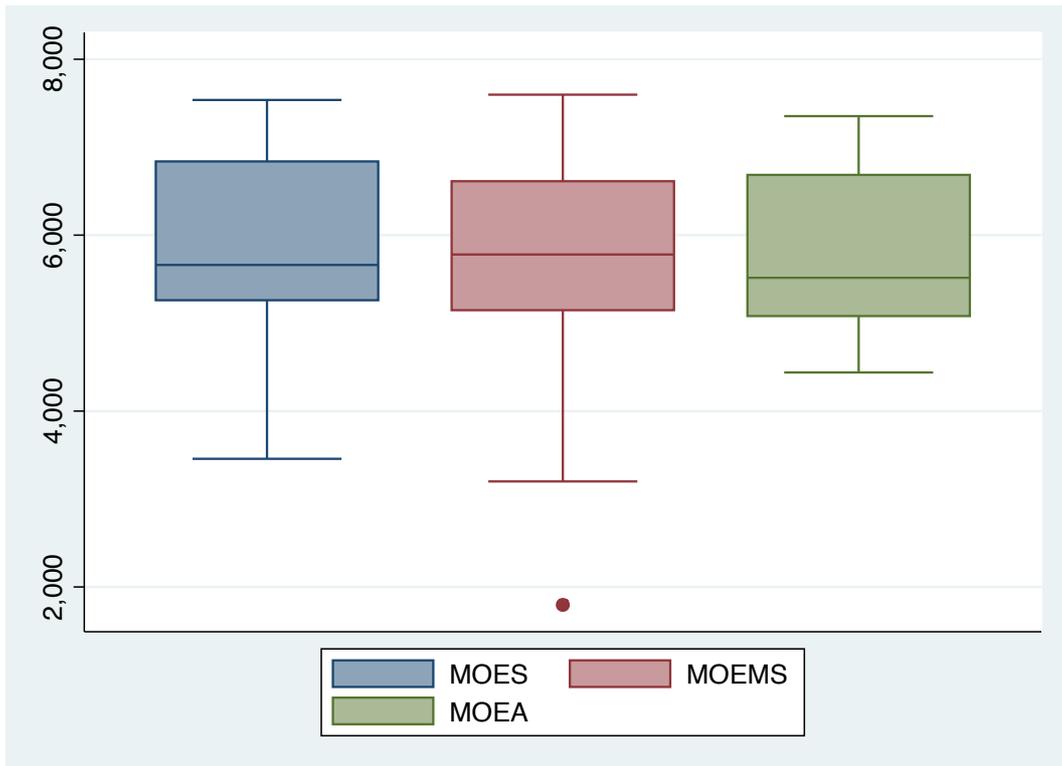


Figure 63. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie MO par équipe

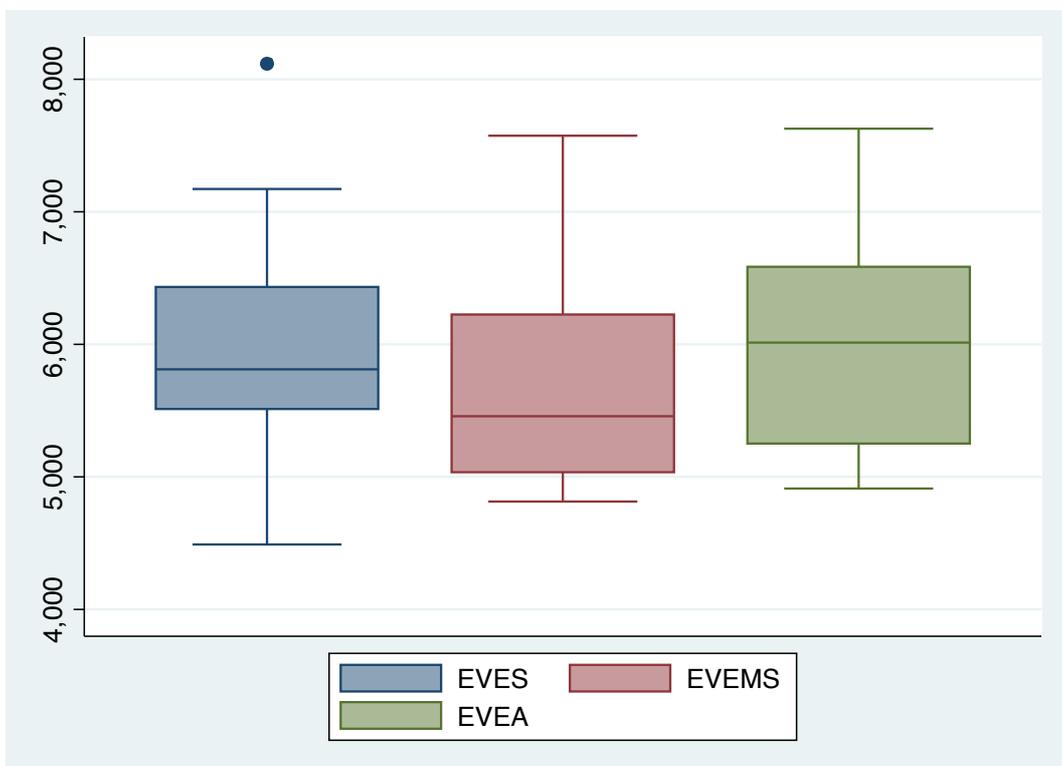


Figure 64. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie EV par équipe

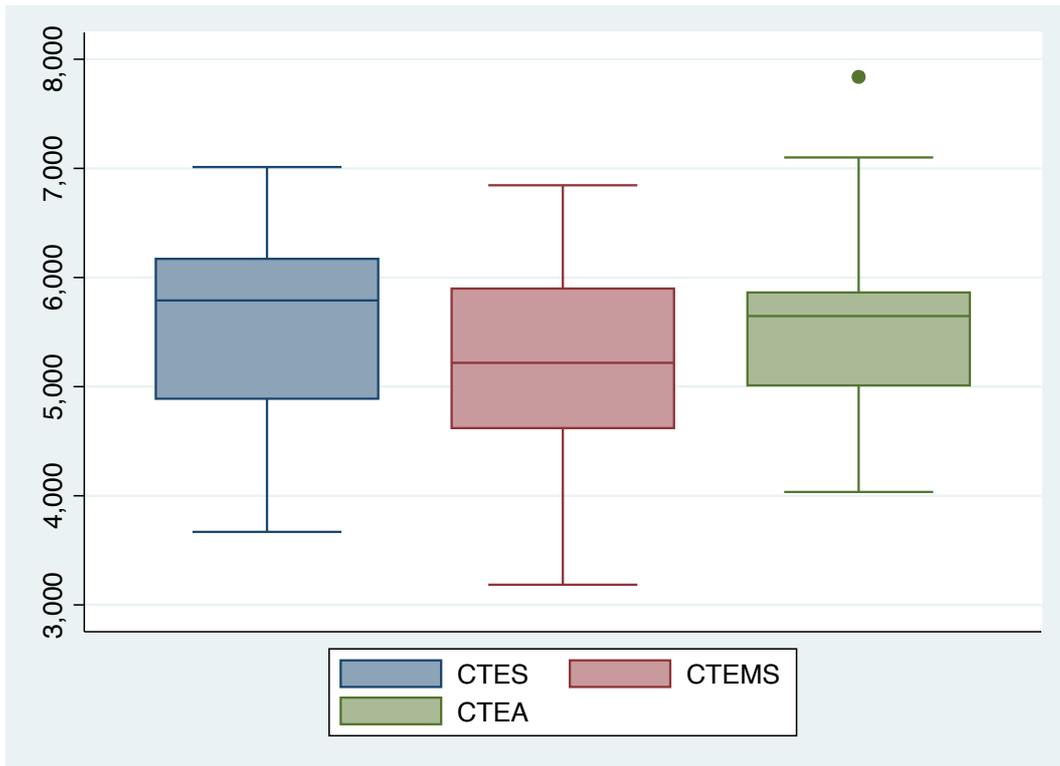


Figure 65. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie CT par équipe

Les figures 60 à 65 ne permettent pas de statuer sur une différence significative entre les positions normalisées moyennes des catégories des équipes sauf pour trois cas. Les exceptions sont une différence :

- Presque significative des positions normalisées moyennes PL entre l'équipe soudée et l'équipe moins soudée,
- Presque significative des positions normalisées moyennes PL entre l'équipe moins soudée et l'équipe absconse,
- Presque significative des positions normalisées moyennes EV entre l'équipe soudée et l'équipe moins soudée.

### 2.3. Synthèse de l'analyse statistique des positions normalisées moyennes des catégories

Le tableau 33 rassemble les résultats des analyses statistiques des positions normalisées moyennes des catégories des équipes.

Catégories étudiée	Équipes	Moyennes	Résultats du test de Wilcoxon	Études des boîtes à moustaches
DE	ES	33,55	ES/EMS : nil	ES/EMS : nil
	EMS	31,03	ES/EA : nil	ES/EA : nil
	EA	33,84	EA/EMS : nil	EA/EMS : nil
RE	ES	49,45	ES/EMS : nil	ES/EMS : nil
	EMS	42,62	ES/EA : nil	ES/EA : nil
	EA	47,51	EA/EMS : nil	EA/EMS : nil
PL	ES	37,79	ES/EMS : nil	ES/EMS : presque significative
	EMS	51,06	ES/EA : nil	ES/EA : nil
	EA	31,66	EA/EMS : nil	EA/EMS : presque significative
MO	ES	57,82	ES/EMS : nil	ES/EMS : nil
	EMS	56,15	ES/EA : nil	ES/EA : nil
	EA	58,21	EA/EMS : nil	EA/EMS : nil
EV	ES	59,18	ES/EMS : nil	ES/EMS : presque significative
	EMS	56,43	ES/EA : nil	ES/EA : nil
	EA	59,83	EA/EMS : significative	EA/EMS : nil
CT	ES	55,32	ES/EMS : presque significative	ES/EMS : nil
	EMS	51,69	ES/EA : nil	ES/EA : nil
	EA	56,05	EA/EMS : nil	EA/EMS : nil

Tableau 33. synthèse des différences statistiques relatives aux positions normalisées moyennes des catégories par équipe

### 3. Approche des résultats par niveau des classements de performance

Une répartition des résultats du codage par classement de performance permet de tester l'hypothèse 4 sous un autre angle. En effet, tous les codages peuvent être répartis selon la position de performance par expérience et non par équipe. L'hypothèse de recherche porte alors sur les classements des équipes sur un podium de la performance pour chaque expérience. Finalement, les positions moyennes de la première équipe pour chaque expérience sont rassemblées dans le groupe appelé *premières équipes*, les positions moyennes de la deuxième équipe dans le groupe appelé *deuxièmes équipes* et les positions moyennes de la troisième équipe dans le groupe appelé *troisièmes équipes*. Cette nouvelle répartition des résultats effectuée, le signed test des rangs de Wilcoxon est appliqué de façon identique au traitement des positions normalisées par couple d'équipe (cf. tableau 33), le tableau 34 présente les résultats statistiques.

	<b>1<sup>ères</sup> équipes = 2<sup>èmes</sup> équipes</b>	<b>1<sup>ères</sup> équipes = 3<sup>èmes</sup> équipes</b>	<b>2<sup>èmes</sup> équipes = 3<sup>èmes</sup> équipes</b>
DE	$p = 0,4997$	$p = 0,4326$	$p = 0,5098$
RE	$p = 0,3560$	$p = 0,9250$	$p = 0,2719$
PL	$p = 0,8927$	$p = 0,6002$	$p = 0,2489$
MO	$p = 0,1446$	$p = 0,1578$	$p = 0,1981$
EV	$p = 0,8107$	$p = 0,4703$	$p = 0,5098$
CT	$p = 0,7112$	$p = 0,0555$	$p = 0,1578$

Tableau 34. résultats du signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux positions normalisées par groupe de performance

Le tableau 34 ne présente donc aucune différence significative (Falissard, 2018) pour les positions normalisées des catégories entre les groupes de performance. Une exception existe pour l'item contrôle entre les premières et les troisièmes équipes où la différence est presque significative (Falissard, 2018).

Les figures 66 à 71 représentent les boîtes à moustaches respectivement des positions normalisées moyennes des équipes associées.

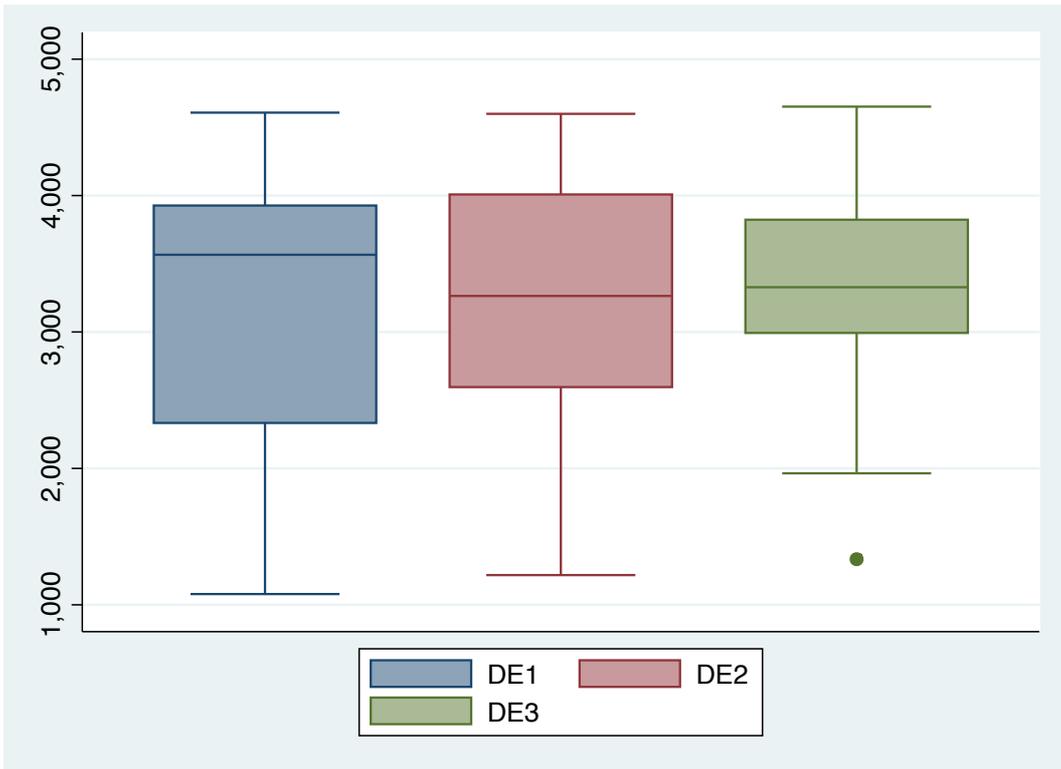


Figure 66. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie DE par groupe

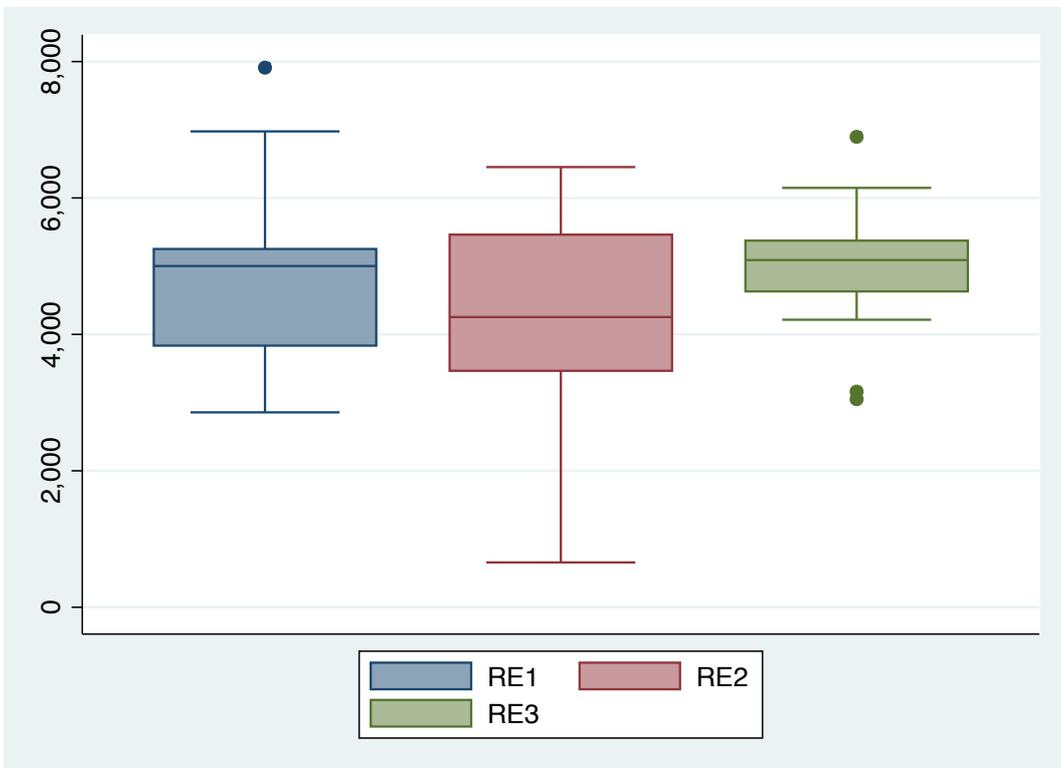


Figure 67. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie RE par groupe

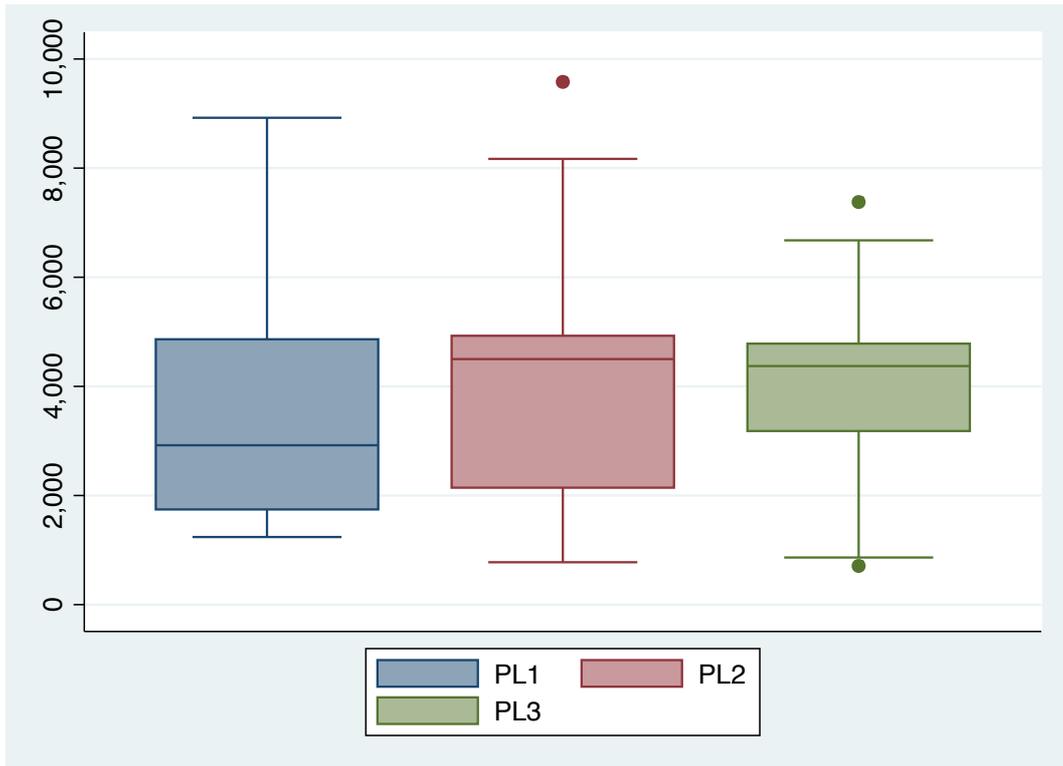


Figure 68. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie PL par groupe

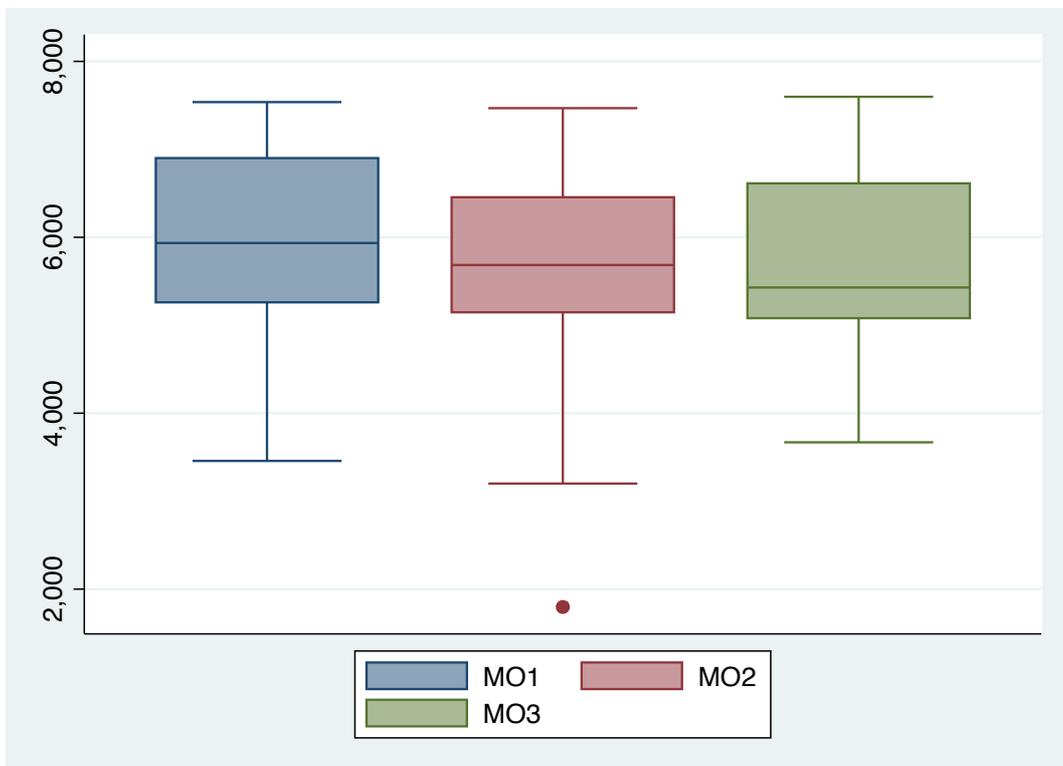


Figure 69. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie MO par groupe

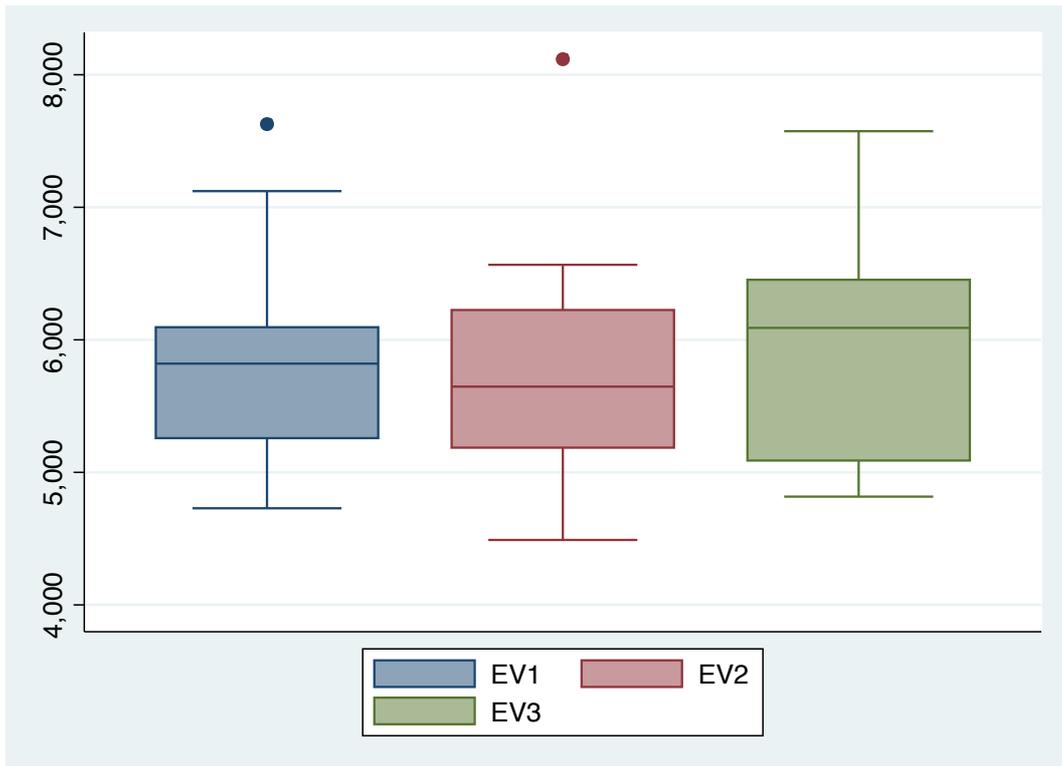


Figure 70. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie EV par groupe

Le troisième quartile de l'équipe soudée est situé à 60,95 et la médiane de l'équipe abscisse à 60,90.

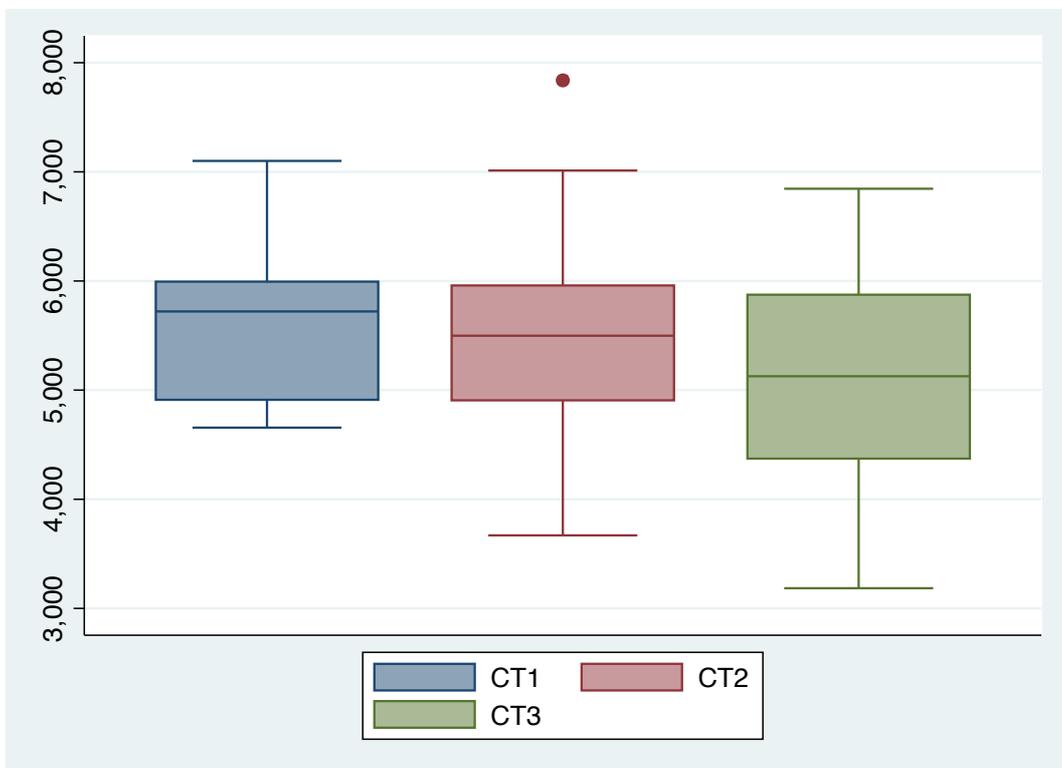


Figure 71. boîtes à moustaches issues des résultats des positions normalisées moyennes de la catégorie CT par groupe

Le tableau 35 rassemble les résultats des analyses statistiques des positions normalisées moyennes des catégories des groupes.

Catégories étudiée	Groupes	Moyennes	Résultats du test de Wilcoxon	Études des boîtes à moustaches
DE	1 <sup>er</sup>	31,94	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil
	2 <sup>ème</sup>	33,15	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil
	3 <sup>ème</sup>	33,18	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil
RE	1 <sup>er</sup>	49,04	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil
	2 <sup>ème</sup>	41,09	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil
	3 <sup>ème</sup>	49,65	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = presque significative
PL	1 <sup>er</sup>	38,21	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil
	2 <sup>ème</sup>	43,14	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = presque significative
	3 <sup>ème</sup>	40,05	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil
MO	1 <sup>er</sup>	58,86	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil
	2 <sup>ème</sup>	56,40	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil
	3 <sup>ème</sup>	56,55	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil
EV	1 <sup>er</sup>	58,78	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil
	2 <sup>ème</sup>	57,38	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil
	3 <sup>ème</sup>	59,09	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil
CT	1 <sup>er</sup>	56,00	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil
	2 <sup>ème</sup>	55,12	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = presque significative	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil
	3 <sup>ème</sup>	50,77	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil

Tableau 35. synthèse des différences statistiques relatives aux positions normalisées moyennes des catégories par groupe

#### 4. Absence de soutien de l'hypothèse 4

Selon les tableaux 33 et 35, il n'y a pas de différence statistique entre les répartitions des catégories métacognitives du modèle lors des résolutions de problèmes. De plus, ce résultat est stable entre un classement par équipe ayant vécu ou non des expériences diversifiées et de qualité<sup>52</sup> et une hiérarchisation par classement en groupes de performance. **L'hypothèse 4 n'est donc pas soutenue** par les résultats du protocole LETUCA. Ainsi, il n'y a pas de relation entre la performance opérationnelle et le respect ou non du modèle de métacognition en résolution de problème (cf. figure 7).

Deux justifications peuvent être avancées pour expliquer cette conclusion.

Tout d'abord, la catégorie définition et identification d'un problème est systématiquement positionnée en première position pour les trois équipes et dans des valeurs de positions normalisées comprises entre trente et un et trente-quatre (les valeurs possibles sont comprises entre zéro et cent, cf. annexe 5). Cette position est cohérente entre les trois équipes dans le cadre d'une résolution de problème. En effet, avant de se représenter mentalement ou de planifier une solution à un problème, il est nécessaire d'identifier et de définir ses éléments et ses buts. Ainsi, si la DE n'est pas discutée par une équipe, les étapes métacognitives suivantes ne se construisent alors sur aucun élément propre à la situation rencontrée. Par conséquent, il est logique pour une équipe de débiter une résolution de problème par la définition et l'identification d'un problème. La définition et l'usage de la DE soutiennent ainsi la similarité des répartitions des catégories métacognitives du modèle.

Ensuite, la boucle MO-EV-CT et ses catégories sont positionnées systématiquement en dernière position pour les trois équipes (cf. annexe 5). Par définition de l'approche macrométacognitive retenue dans ce codage, la boucle MO-EV-CT ne s'inscrit pas dans le cadre de la construction d'une des catégories DE, RE et PL/PO (cf. PIC6p3). Ainsi, ce positionnement traduit la concentration des catégories DE, RE et PL/PO en début de résolutions de problèmes ; concentration notamment cohérente avec le positionnement de la DE. Cette division des positions moyennes des interventions est donc partagée par les équipes, e.g. les catégories DE, RE et PL/PO sont abordées en première partie de traitement de problème et la boucle MO-EV-CT en seconde. La boucle MO-EV-CT ne s'inscrivant pas dans le cadre de la construction d'une des catégories DE, RE et PL/PO contribue donc à un ou plusieurs autres efforts cognitifs. Ces autres objets de réflexion sont notamment la résolution du problème à un niveau cognitif, implémentation d'une solution construite, évaluation d'un résultat, modification d'une résolution si besoin, monitoring des solutions proposées, etc. Ces exemples sont produits par les équipes à l'issue des étapes DE et RE car ils en dépendent, e.g. une solution n'est pas proposée tant que le problème n'est pas défini et identifié un minimum. Finalement, les équipes emploient la boucle MO-EV-CT de façon similaire en seconde partie de traitement.

D'après la littérature étudiée (cf. PIC4p3), la métacognition permet une augmentation de la performance. Entre autres, les résultats d'Artz et Armour-Thomas (1992) « supportent l'importance des processus métacognitifs lors des résolutions de problèmes mathématiques dans des petits groupes » (notre traduction). Néanmoins, les performances opérationnelles mesurées pour chacune des équipes sont différentes malgré des positionnements similaires des catégories métacognitives

---

<sup>52</sup> L'hypothèse 1 supporte que le classement par équipe respecte aussi une différence de performance entre les équipes.

employées. Ainsi, il est possible que les interventions métacognitives soient d'utilités variables dans le cadre de la réalisation d'une tâche. Une hypothèse peut donc être formulée au sujet de la qualité d'interventions métacognitives : à progressions métacognitives comparables, un lien existe entre les performances opérationnelles élevées et les hautes qualités d'interventions métacognitives.

## Conclusion

Les hypothèses 2, 3 et 4 ne sont pas soutenues par les résultats du protocole LETUCA bien que la métacognition soit reconnue par la littérature comme bénéfique à l'augmentation de la performance. Par conséquent, le partage ou le vécu individuel d'expériences diversifiées et de qualité ne permet pas l'établissement d'un lien entre performance opérationnelle et la constitution de métaconnaissance, métacompétence et d'un suivi particulier du modèle de métacognition en résolution de problème (*cf.* figure 7). Donc, la **métacognition a probablement un lien avec la performance via une autre approche.**

## Chapitre 4 : Correspondance significative de la netteté et de la performance

L'hypothèse 5 annonce qu'un bas niveau de mélange est lié avec une performance opérationnelle élevée durant les résolutions de problèmes. Pour la tester, les résultats du codage des expériences du protocole LETUCA sont nécessaires. Leur chronologie est mise à profit pour calculer la netteté par équipe et par expérience. Finalement, des études statistiques sont effectuées pour calculer les valeurs de netteté des équipes, établir si une différence statistique existe et ainsi soutenir ou non l'hypothèse 5.

### 1. Résultats par équipe

#### 1.1. Les résultats bruts

Les résultats du codage présentés dans le tableau 30 sont classés par ordre chronologique. Ce classement permet de mettre en valeur les enchainements d'interventions métacognitives des différentes catégories métacognitives du modèle en résolution de problème et d'en extraire le nombre. Ce nombre est alors intégré à la formule de la netteté métacognitive  $\eta_i$  définie ci-dessus. Le tableau 36 présente les résultats de netteté des équipes tout au long du protocole LETUCA.

<b>Expérience</b>	<b>Netteté de l'ES</b>	<b>Netteté de l'EMS</b>	<b>Netteté de l'EA</b>
1	0,7551	0,6644	0,7370
2	0,6146	0,5816	0,5611
3	0,6716	0,6350	0,6230
4	0,5908	0,5578	0,5371
5	0,5906	0,4731	0,5410
6	0,5922	0,5985	0,5800
7	0,4911	0,4830	0,4140
8	0,6634	0,5954	0,7040
9	0,6552	0,6124	0,6748
10	0,6342	0,6827	0,6320
11	0,6619	0,5796	0,5990
12	0,4730	0,4512	0,4060

Tableau 36. résultats de netteté par équipe

La figure 72 rassemble les nettetés par courbe avec en abscisse les dates d'exécution des expériences et en ordonnée les valeurs de netteté.

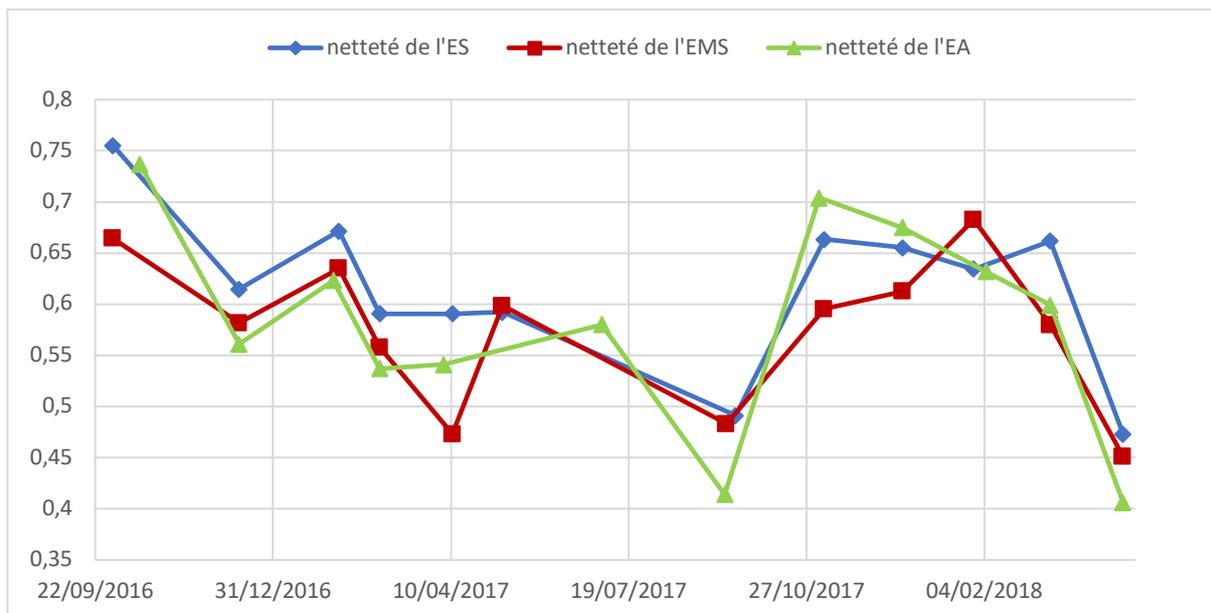


Figure 72. courbes des résultats de netteté par équipe

L'histogramme 73 rassemble l'ensemble des valeurs de netteté des trois équipes. L'axe des abscisses contient les gammes de netteté et celui des ordonnées présente les pourcentages de répartition des positions normalisées selon les amplitudes. La moyenne des valeurs de netteté des trois équipes est de 0,5922. Ainsi, la distribution n'est pas normale. Il en est de même pour la distribution des valeurs de netteté de chaque équipe pendant le protocole LETUCA.

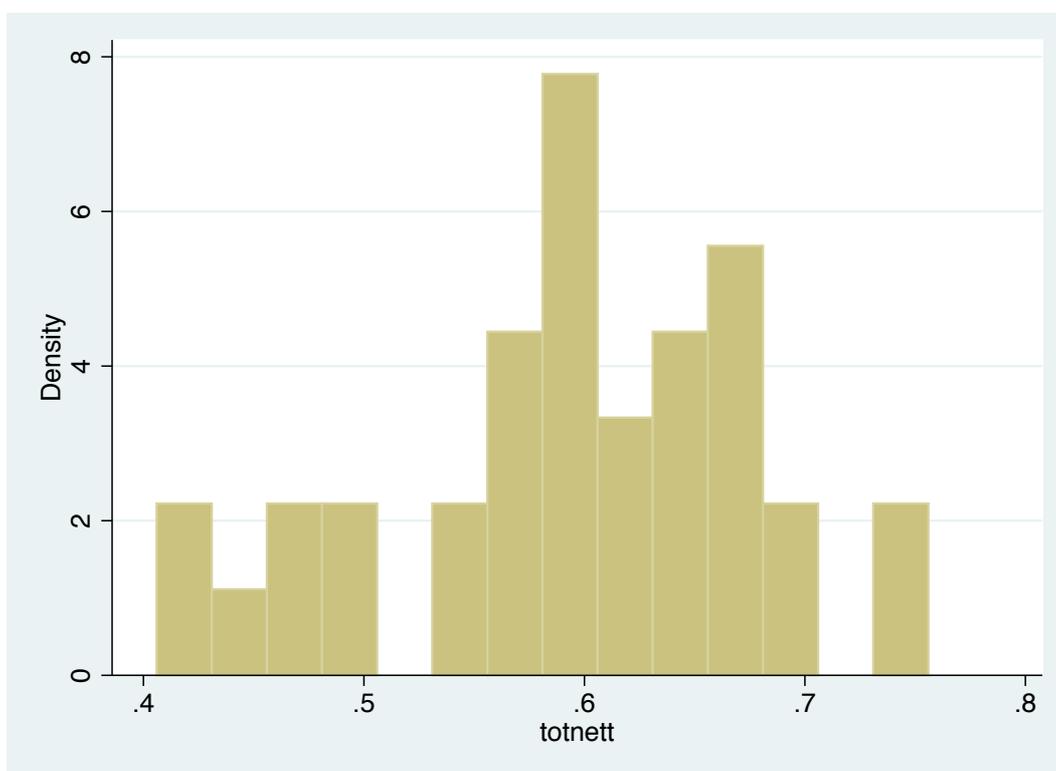


Figure 73. histogramme des répartitions des valeurs de netteté

## 1.2. Analysés statistiquement

### 1.2.1. Soutien des résultats du test de Wilcoxon

Le tableau 37 présente les moyennes et écarts-types des nettetés des équipes. La moyenne de la netteté de l'équipe soudée est supérieure à celles des deux autres équipes. De plus, l'écart des valeurs de netteté des équipes moins soudée et abscisse est inférieur comparé à celui entre l'équipe soudée et l'équipe abscisse. En effet, la différence entre la valeur de l'équipe abscisse et moins soudée est de 0,0079 et celle entre l'équipe abscisse et soudée est de 0,032. Ainsi, les différences décrites présentent un facteur quatre. Les écarts-types traduisent une relative stabilité des nettetés au cours du protocole LETUCA.

	<b>Netteté de l'ES</b>	<b>Netteté de l'EMS</b>	<b>Netteté de l'EA</b>
Moyennes	0,6161	0,5762	0,5841
Écarts-types	0,07779	0,07390	0,1024

Tableau 37. analyse des résultats du tableau 36

Les nettetés des équipes sont calculées en fonction du nombre d'interventions métacognitives (cf. tableau 30). Les moyennes totales calculées à partir du protocole sont comparables d'une équipe à l'autre. En effet, celle de l'équipe soudée est de 590,8, l'équipe moins soudée de 574,3 et l'équipe abscisse de 559,6. La moyenne générale des interventions métacognitives est donc de 574,9 avec une déviation standard de 15,61. Ainsi, les valeurs de netteté sont calculées à partir d'un nombre similaire d'interventions, ou encore le  $N_i$  de la formule de calcul de la netteté.

Les nettetés présentées dans le tableau 36 :

- Sont indépendantes,
- Sont des variables quantitatives continues,
- Sont appariées et
- Ont des distributions ne suivant pas la loi normale (Frappé, 2011).

Le signed test des rangs de Wilcoxon est donc de nouveau utilisé pour le test de l'hypothèse 5. L'hypothèse statistique est une égalité des valeurs de netteté pour un couple d'équipes. Les résultats sont répertoriés dans le tableau 38. Le couple d'équipes pour un p donné est précisé sur la ligne supérieure.

<b>ES = EMS</b>	<b>ES = EA</b>	<b>EA = EMS</b>
$p = 0.0186$	$p = 0.0186$	$p = 0.7537$

Tableau 38. signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux nettetés des équipes

Le tableau 38 présente :

- Une différence très significative de netteté entre les équipes soudée et moins soudée (Falissard, 2018),
- Une différence très significative de netteté entre les équipes soudée et abscisse (Falissard, 2018),
- Aucune différence statistique de netteté entre les équipes moins soudée et abscisse (Falissard, 2018).

### 1.2.2. La lecture des boîtes à moustaches confirme

Le figure 74 représente les boîtes à moustaches des nettetés des équipes.

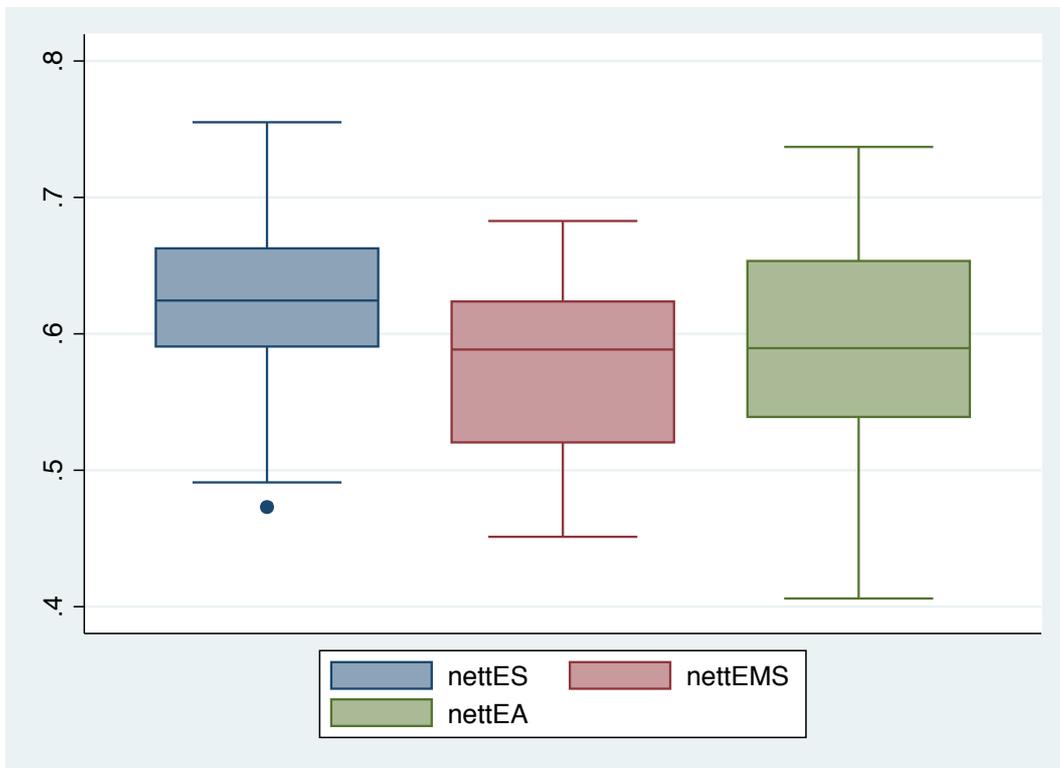


Figure 74. boîtes à moustaches issues des résultats des nettetés des équipes

Le premier quartile de l'équipe soudée est situé à 0,5907, la médiane de l'équipe moins soudée à 0,5885 et abscisse à 0,5895.

Le tableau 39 synthétise les résultats des analyses statistiques des nettetés des équipes.

Équipes	Moyennes	Résultats du test de Wilcoxon	Études des boîtes à moustaches
ES	0,6161	ES/EMS : très significative	ES/EMS : presque significative
EMS	0,5762	ES/EA : très significative	ES/EA : presque significative
EA	0,5841	EA/EMS : nil	EA/EMS : nil

Tableau 39. synthèse des différences statistiques relatives aux nettetés par équipe

### 1.3. Soutien de l'hypothèse 5

Compte tenu des différences de moyennes et statistiques entre les nettetés des équipes, l'hypothèse 5 est soutenue. Un lien entre bas niveau de mélange et performance opérationnelle élevée est supporté par les résultats précédents.

Néanmoins, une nuance existe. En effet, malgré les différences statistiques des nettetés très significatives entre les équipes, les différences de moyennes sont basses en comparaison du spectre de valeurs possibles (de zéro à un).

## 2. Résultats par groupe de performance

Comme pour le test de l'hypothèse 4, il est possible de répartir les résultats du codage par classement de performance et composer ainsi trois groupes à partir des mêmes résultats.

### 2.1. Les résultats bruts

Le tableau 40 présente les résultats de netteté réorganisés par classement de performance. Les distributions des valeurs de netteté de chaque groupe de performance pendant le protocole LETUCA ne suivent pas la loi normale (Frappé, 2011).

<b>Expérience</b>	<b>Nettetés du 1<sup>er</sup> groupe</b>	<b>Nettetés du 2<sup>ème</sup> groupe</b>	<b>Nettetés du 3<sup>ème</sup> groupe</b>
1	0,7551	0,7370	0,6644
2	0,6146	0,5816	0,5611
3	0,6716	0,6350	0,6230
4	0,5371	0,5908	0,5578
5	0,4731	0,5410	0,5906
6	0,5922	0,5985	0,5800
7	0,4830	0,4911	0,4140
8	0,7040	0,6634	0,5954
9	0,6748	0,6552	0,6124
10	0,6320	0,6342	0,6827
11	0,6619	0,5796	0,5990
12	0,4730	0,4512	0,4060

Tableau 40. résultats de netteté par classement de performance

La figure 75 rassemble graphiquement les résultats avec en abscisse les dates d'exécution des expériences et en ordonnée les valeurs de netteté.

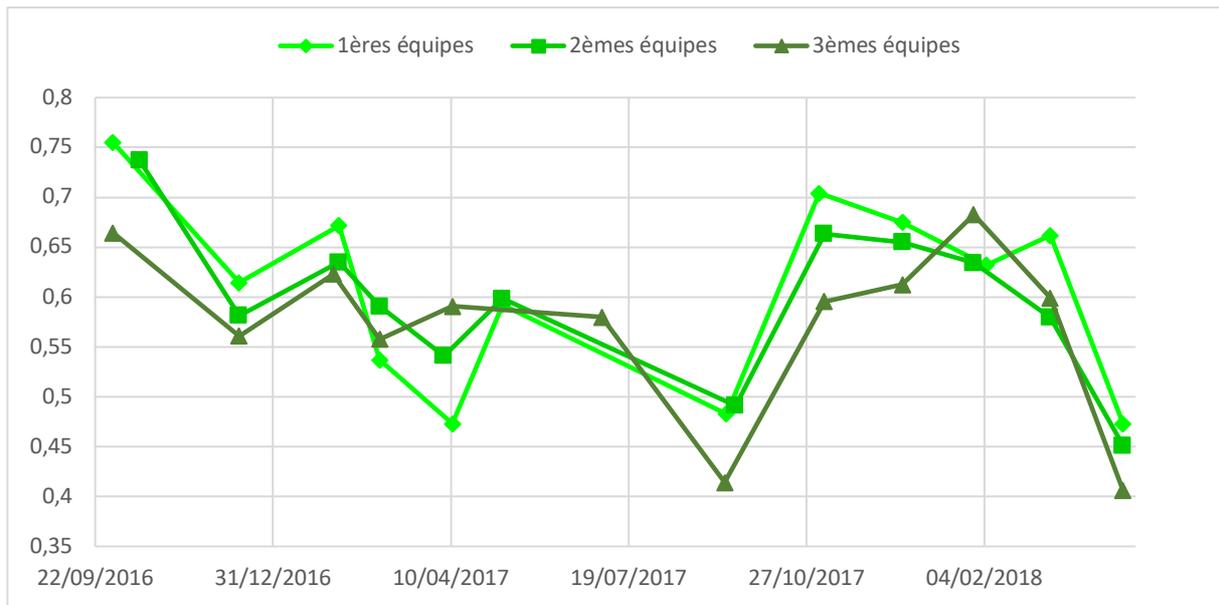


Figure 75. courbes des résultats de netteté par classement de performance

## 2.2. Analysés statistiquement

### 2.2.1. Absence de confirmation du test de Wilcoxon

Le tableau 41 les moyennes et déviations standards des nettetés respectives des groupes de performance.

	Netteté du 1 <sup>er</sup> groupe	Netteté du 2 <sup>ème</sup> groupe	Netteté du 3 <sup>ème</sup> groupe
Moyennes	0,6060	0,5966	0,5739
Écarts-types	0,09542	0,07770	0,08502

Tableau 41. analyse des résultats de netteté par classement de performance

Le tableau 41 présente des moyennes avec des écarts inférieurs comparés à la répartition par équipe des résultats. L'amplitude est de 0,0399 pour le tableau 37 et de 0,0321 pour le tableau 41. En revanche, les déviations standards ont des valeurs similaires. Compte tenu des caractéristiques des valeurs de netteté relevées précédemment et de la distribution non normale, le signed test des rangs de Wilcoxon est employé. Le tableau 42 présente les résultats de ce test appliqué aux nettetés classées par performance. Ces résultats sont calculés avec le logiciel STATA (le terme NetX dans le tableau correspond à la netteté du X<sup>ème</sup> groupe de performance). L'hypothèse statistique retenue est l'égalité des valeurs de netteté entre deux groupes de performance, le couple de groupes concernés est noté sur la ligne supérieure du tableau.

Net1 = Net2	Net1 = Net3	Net3 = Net2
$p = 0.3465$	$p = 0.0995$	$p = 0.1361$

Tableau 42. signed test des rangs de Wilcoxon appliqué aux nettetés par classement de performance

Les résultats du tableau 42 soutiennent :

- Une tendance de netteté entre le 1<sup>er</sup> et le 3<sup>ème</sup> puis entre le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> groupe (Falissard, 2018),
- Aucune différence statistique de netteté entre le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> groupe (Falissard, 2018).

Comparé au tableau 38 des nettetés testées par équipe, les différences de nettetés sont moins significantes lorsque le signed test des rangs de Wilcoxon est exécuté pour le classement par performance. En effet, les moyennes des  $p$  de du 1<sup>er</sup> groupe est de 0,2230 et le  $p$  de l'équipe soudée est de 0,0186. Cette différence est la plus remarquable pour le test de nettetés entre les nettetés de l'équipe soudée et celle de l'équipe moins soudée d'une part ( $p = 0.0186$ ) et celui entre le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> groupe d'autre part ( $p = 0,3465$ ).

### 2.2.2. La lecture des boîtes s'en rapproche

Le figure 76 représente les boîtes à moustaches des nettetés des groupes de performance.



Figure 76. boîtes à moustaches issues des résultats de netteté par classement de performance

Le tableau 43 synthétise les résultats des analyses statistiques des nettetés des groupes de performance.

Groupes	Moyennes	Résultats du test de Wilcoxon	Études des boîtes à moustaches
1 <sup>er</sup>	0,6060	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil	1 <sup>er</sup> /2 <sup>ème</sup> = nil
2 <sup>ème</sup>	0,5966	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = tendance	1 <sup>er</sup> /3 <sup>ème</sup> = presque significative
3 <sup>ème</sup>	0,5739	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = tendance	2 <sup>ème</sup> /3 <sup>ème</sup> = nil

Tableau 43. synthèse des différences statistiques relatives aux nettetés par classement de performance

### 2.3. Soutien de l'hypothèse 5

La répartition de la netteté par classement de performance et les résultats du signed test des rangs de Wilcoxon ne soutiennent pas l'hypothèse 5. En revanche, **l'hypothèse 5 est soutenue** par la répartition des nettetés par équipe, les différences entre les valeurs des équipes  $\gamma$  sont très significatives par rapport à l'équipe soudée.

Comme décrit précédemment (cf. PIC6p4), les hautes valeurs de netteté métacognitive permettent d'approcher la capacité d'équipiers à réfléchir ensemble dans une même catégorie métacognitive. Ainsi, grâce au vécu d'expériences diversifiées et de qualité, les équipiers de l'ES sont capables d'exercer une réflexion davantage commune et longitudinale par rapport aux autres équipes. L'ES crée ainsi une dynamique de travail favorisant l'augmentation de la performance opérationnelle et se rapproche de la proposition de Dunlosky et Mueller (2016) : « une meilleure réflexion et un raisonnement plus profond (...) améliorent la performance » (notre traduction). En dialoguant au sein d'une même catégorie métacognitive, les équipiers :

- Se positionnent dans une situation d'écoute des uns et des autres,
- Facilitent la remise en cause ou le soutien des interventions proposées et *in fine*
- Favorisent la construction de la catégorie métacognitive discutée.

Finalement, si la construction de chaque catégorie métacognitive est optimisée, les conditions sont réunies pour favoriser une performance opérationnelle augmentée. D'où les résultats décrits précédemment (cf. PIVC1p4), les valeurs de performance de l'ES sont supérieures à celles des deux autres équipes, malgré un nombre réduit de classements de l'ES en deuxième voire troisième position.

L'écart de significativité entre les résultats par répartition par équipe ou par classement de performance suggère une nouvelle piste de recherche. En effet, la comparaison des nettetés par équipe présente des basses valeurs du  $p$  (cf. tableau 36) et donc semble pertinente alors qu'une comparaison des nettetés fondée sur les groupes de performance a des valeurs plus élevées du  $p$  (cf. tableau 40) et pas de significativité. Plus largement, une comparaison établie sur des nettetés regroupant plusieurs équipes dans une même banque de données pourrait ne pas être pertinente et à l'inverse, une suite de valeurs de netteté d'une même équipe peut probablement la caractériser par rapport à d'autres équipes.

## Chapitre 5 : Les écarts de performance dépendent de la tâche à effectuer

Les exercices du protocole LETUCA sont différents les uns des autres et mettent en valeur des efforts métacognitifs variant d'une expérience à une autre. Par exemple, la première expérience, Survie lunaire, a suscité une moyenne d'interventions métacognitives de 774 et la neuvième expérience, Évitement d'astéroïde, 509 pour respectivement 27 et 26,7 minutes de traitement ; soit une différence de 34,4 %. Une discrimination des exercices entre eux peut mettre en valeur une tendance de performance selon la tâche demandée par rapport à l'expérience commune d'une équipe.

### 1. Rassemblement de solutions ou construction d'un résultat ou des multiples interdépendants

Baiwir et Delhez (2004) ont proposé de classer des exercices selon trois dimensions de leur nomenclature : la nature de la tâche, la forme de la tâche et l'intention. La nature de la tâche présente des activités relevant de la résolution de problème, prise de décision, transmission et traitement de l'information, planification, négociation, médiation, échange d'opinion, objectivation expressive, construction d'un objet, présentation, évaluation et expérimentation comportementale (Baiwir et Delhez, 2004). Cependant, chacun des exercices du protocole LETUCA nécessite plusieurs natures différentes de tâche et communes à plusieurs exercices. Entre autres, tous les exercices requièrent la prise de décision. Il en est de même pour la caractérisation proposée des problèmes par Breuker (1994). Les exercices du protocole LETUCA nécessitent à différents niveaux la modélisation, planification, attribution, prédiction, etc. La forme de la tâche définit la « manière selon laquelle la tâche se déroule », soit l'échange non-verbal, la réunion-discussion, le jeu de rôles<sup>53</sup>, la simulation, situation dyadique, test et le questionnaire (Baiwir et Delhez, 2004). Les exercices donnés à résoudre aux équipes dans le protocole LETUCA sont tous des jeux de rôles. La classification selon la nature ou la forme de la tâche ne sont donc pas satisfaisantes. L'intention est caractérisée par Baiwir et Delhez (2004) comme « le but que l'on se propose d'atteindre, la finalité de l'exercice ou sa visée essentielle ». Breuker (1994) propose de caractériser les problèmes d'une façon similaire, soit par leur « solution, *in fine* leurs conclusions génériques » (notre traduction). Les exercices du protocole LETUCA ayant des buts différents, il est donc possible de les discriminer avec cette approche.

Cinq problèmes et sous-problèmes ont pour but de rassembler des résultats sans lien entre eux. Ils sont appelés *exercices de rassemblement*. Il s'agit des exercices :

- N°4 Sac (Davidson et *al.*, 1994), les équipes doivent trouver les fonctions possibles d'un sac, sans rapport entre elles,
- N°5 Untangle seconde partie, le but est de lister des conseils particuliers permettant de gagner une partie,
- N°7 Système électrique, inspiré des travaux de Leavitt et Mueller (1951),
- N°10 Qualités pilote drone sur Mars où les compétences et connaissances précises d'un pilote de drone pour une mission sur Mars doivent être établies,
- N°11 Transfert de point d'amarrage au sujet de la compréhension d'une interface homme/machine, adapté de Baroncini (2012).

---

<sup>53</sup> « Jeu de rôles : situation fictive dans laquelle la participation de chacun ou de certaines personnes est déterminée par des consignes » (Baiwir et Delhez, 2004).

Neuf autres problèmes et sous-problèmes imposent aux équipes de construire un résultat unique ou des multiples interdépendants compte tenu de la mesure de la performance. Ils sont appelés *exercices de construction*. Sont classés dans cette catégorie :

- N°1 Survie lunaire (Hall et Watson, 1970) où une liste de priorités doit être établie,
- N°2 Mercury 21 avec une priorisation entre plusieurs sous-problèmes de logique, adapté à partir du site internet Énigme-facile,
- N°3 Missionnaires et cannibales avec une séquence d'actions à trouver puis à adapter, exercice conçu à partir du site internet Énigme-facile,
- N°4 Euro, avec la résolution d'une erreur, adapté à partir du site internet Énigme-facile,
- N°5 Untangle première partie (adapté de Kechap Free Games Limited), un schéma doit être résolu,
- N°6 Procédure feu avec l'ordonnance d'une séquence d'actions,
- N°8 Compte-rendu Mars, où des informations doivent être sélectionnées au détriment d'autres,
- N°9 Évitement d'astéroïde, un problème doit être traité, de sa détection à sa résolution,
- N°12 Monument Valley avec la résolution de problèmes de logique, adapté d'Ustwo (2014).

Parmi ces exercices, deux exigent de construire un résultat unique (Euro et Untangle avec la résolution d'un schéma). Il n'est donc pas possible de créer une troisième catégorie liée à la construction d'un résultat unique car son étude statistique ne sera pas pertinente par manque de données.

## 2. Augmentation de la performance de l'équipe soudée lors d'un exercice de construction

Les tableaux 44 et 45 présentent les résultats des performances des différentes équipes redistribuées selon cette division.

<b>Performance des équipes</b>				
<b>Expérience</b>	<b>Numéro<sup>54</sup></b>	<b>ES</b>	<b>EMS</b>	<b>EA</b>
4 Sac	4	0	-0,1579	0
5, 2 <sup>nde</sup> partie	5	0,3333	0,3333	0
7	7	1,156	1,75	0
10	10	-0,02562	-0,2835	0
11	11	2	1	0
<b>Moyennes :</b>		0,6927	0,5284	0
<b>Écarts types :</b>		0,8730	0,8490	0

Tableau 44. données de performance des exercices de rassemblement

<sup>54</sup> Le numéro correspond au point associé des courbes présentées dans la figure 77.

Performance des équipes				
Expérience	Numéro <sup>55</sup>	ES	EMS	EA
1	1	0,2941	-0,04348	0
2	2	8,618	3,134	0
3	3	0,5261	0,1575	0
4 Euro	4	-0,04738	-0,3569	0
5, 1 <sup>ère</sup> partie	5	-0,6897	0,2365	0
6	6	1,909	1,133	0
8	8	-0,01409	-0,8732	0
9	9	-0,01686	-0,7875	0
12	12	9,302	7,517	0
<b>Moyennes :</b>		2,209	1,124	0
<b>Écart types :</b>		3,895	2,689	0

Tableau 45. données de performance des exercices de construction

La figure 77 rassemble les données des tableaux 44 et 45.

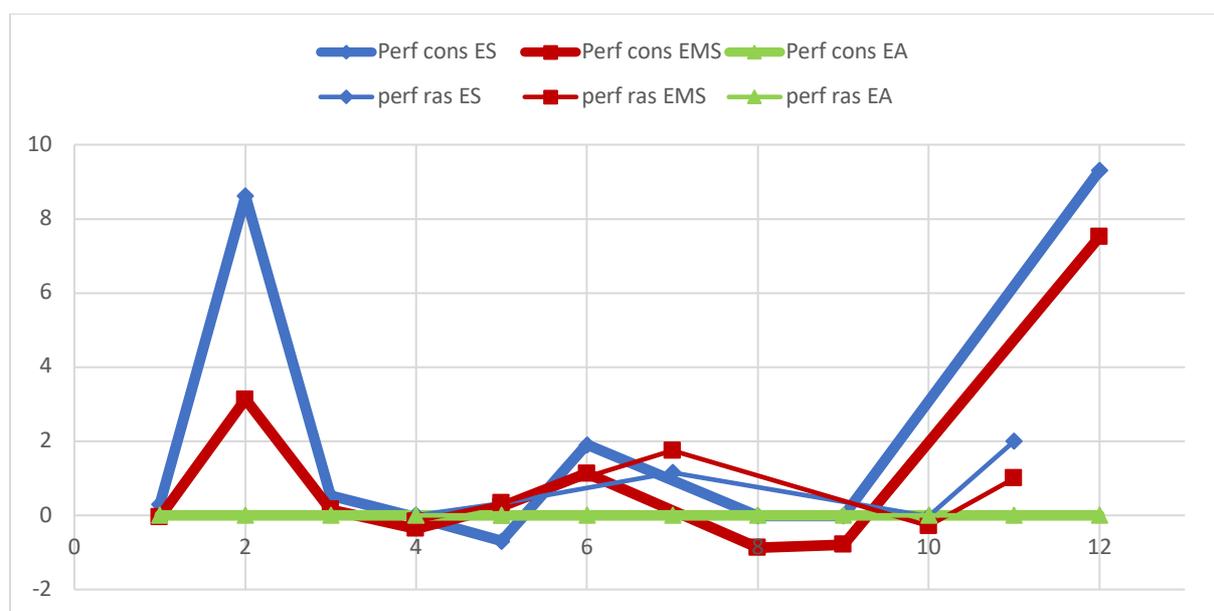


Figure 77. courbes rassemblant les résultats de performance des exercices de rassemblement et de construction

Ces résultats réorganisés mettent en valeur une augmentation des rapports de performance entre les équipes au bénéfice des exercices de construction. Ainsi, les résultats de performance de l'ES sont plus élevés lors des exercices de construction par rapport aux deux autres équipes et aux résultats totaux du protocole LETUCA du tableau 14. La moyenne des résultats de l'ES a augmenté de 13,57 % et celle de l'EMS de 5,738 %. À l'inverse, pour les exercices de rassemblement, les moyennes de l'ES et de l'EMS ont respectivement diminué de 64,39 % et de 50,30 %.

<sup>55</sup> Le numéro correspond au point associé des courbes présentées dans la figure 77.

Ainsi, lorsqu'une équipe doit effectuer une activité requérant de construire un résultat unique ou des multiples interdépendants, il est recommandé de sélectionner des équipiers avec des expériences diversifiées et de qualité partagées entre eux. L'exécution d'une mission habitée vers Mars correspond à ce cas de figure. En revanche, si une équipe doit rassembler des résultats sans lien entre eux, le besoin de constituer une équipe partageant des expériences diversifiées et de qualité pour effectuer cette tâche est moins souligné compte tenu des contraintes de formation associées.

### 3. Accentuation de la netteté lors d'un exercice de construction

Les tableaux 46 et 47 présentent les résultats des nettetés des différentes équipes redistribuées selon la division entre exercices de rassemblement et de construction.

Netteté des équipes				
Expérience	Numéro	ES	EMS	EA
4 sac	4	0,5930	0,5625	0,5151
5, 2 <sup>nde</sup> partie	5	0,6654	0,4518	0,5502
7	7	0,4911	0,4830	0,4140
10	10	0,6342	0,6827	0,6320
11	11	0,6619	0,5796	0,5990
<b>Moyennes :</b>		0,6091	0,5519	0,5421
<b>Écart types :</b>		0,07206	0,09049	0,08445

Tableau 46. données de netteté des exercices de rassemblement

Netteté des équipes				
Expérience	Numéro	ES	EMS	EA
1	1	0,7551	0,6644	0,7370
2	2	0,6146	0,5816	0,5611
3	3	0,6716	0,6350	0,6230
4 Euro	4	0,6538	0,5798	0,6863
5, 1 <sup>ère</sup> partie	5	0,5446	0,6316	0,5370
6	6	0,5922	0,5985	0,5800
8	8	0,6634	0,5954	0,7040
9	9	0,6552	0,6124	0,6748
12	12	0,4730	0,4512	0,4060
<b>Moyennes :</b>		0,6248	0,5944	0,6121
<b>Écart types :</b>		0,08144	0,06037	0,1033

Tableau 47. données de netteté des exercices de construction

La figure 78 rassemble les données des tableaux 46 et 47.

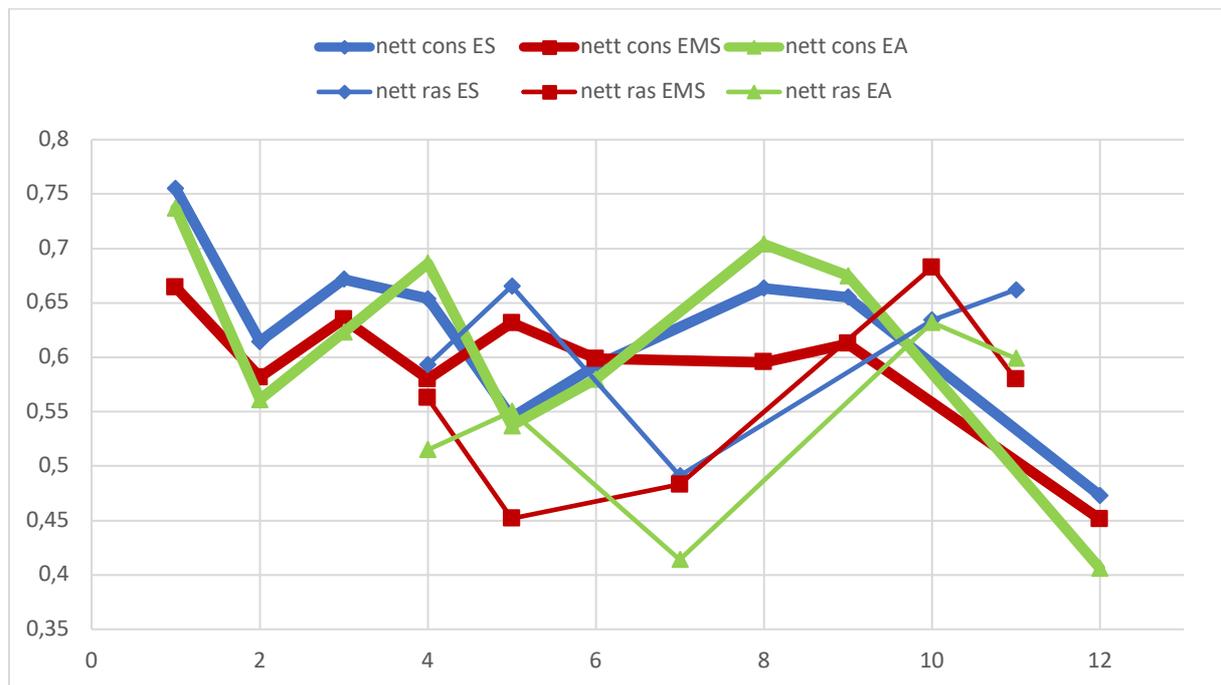


Figure 78. courbes rassemblant les résultats de netteté des exercices de rassemblement et de construction

Cette distribution des nettetés entre les exercices de rassemblement et de construction permet tout d'abord de conserver l'ordre des équipes selon les valeurs de netteté. *In fine*, l'ES met en œuvre un mélange métacognitif inférieur aux deux autres équipes. Ensuite, la netteté moyenne des équipes augmente de 7,539 % entre les exercices de rassemblement et ceux de construction. Les exercices de construction impliquent ainsi un mélange de la métacognition réduit lors des résolutions de problèmes. Les exercices de construction sont donc liés à un raisonnement métacognitif plus stable et potentiellement davantage inscrit dans le travail en profondeur d'une catégorie métacognitive. Enfin, les augmentations de netteté par équipe des exercices de rassemblement à ceux de construction sont de 2,578 % pour ES, 7,701 % pour l'EMS et 12,91 % pour l'EA. Avec cette discrimination des exercices de rassemblement et de construction, l'équipe soudée délivre une métacognition nettement plus stable lors de ses résolutions de problèmes par rapport aux deux autres équipes où les variations sont davantage soulignées, notamment l'équipe absconse.

## Chapitre 6 : Un nouveau modèle de métacognition collective empirique

Le codage des données issues du protocole LETUCA selon les catégories du modèle métacognitif en résolution de problème (cf. PIIC1p3.2) permet d'adapter empiriquement ce dernier. L'ordre chronologique des codages, les quantités d'interventions métacognitives et les nettetés réduites à chaque catégorie sont ainsi intégrées au modèle. Par conséquent, un nouveau modèle de métacognition en résolution de problème inconnu adapté à la réalité des codages rencontrés est composé, il est appelé *modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème*.

### 1. Fondé sur des données réelles

Les données obtenues grâce au protocole LETUCA sont de plusieurs natures. Certaines peuvent être insérées dans le modèle métacognitif en résolution de problème afin de mieux représenter visuellement le travail métacognitif des équipes. Il s'agit des moyennes des trois équipes :

- Des nettetés métacognitives réduites de chaque catégorie,
- De l'ordre chronologique des codages,
- Des quantités d'items relevant de chaque catégorie métacognitive.

#### 1.1. Nettetés métacognitives réduites de chaque catégorie

L'indicateur de la netteté métacognitive réduite permet, sur le même principe de calcul de la netteté métacognitive, de souligner ou non la concentration des interventions d'une catégorie métacognitive par rapport à une autre. À la différence de la netteté métacognitive portée sur toutes les étapes métacognitives, la netteté réduite à une catégorie permet d'affiner la compréhension du mélange métacognitif lors d'une résolution de problème. En effet, cet outil indique les niveaux de mélange de chaque catégorie. Il peut donc mettre en valeur des mélanges ou au contraire des stabilités et des rassemblements plus prononcés des interventions de l'une ou l'autre des catégories métacognitives.

Soit  $E$  : le nombre d'expériences du protocole LETUCA,

Soit  $c$  : une des catégories métacognitives DP, DE, RE, PL, MO, EV ou CT,

Soit  $\eta_{c_i}$  : la valeur de la netteté métacognitive réduite de la catégorie métacognitive  $c$  relative à l'expérience  $i$ , où  $i \in \llbracket 1, E \rrbracket$ ,

Soit  $n_{c_i}$  : le nombre d'enchaînements d'interventions métacognitives de la catégorie  $c$  de l'expérience  $i$ , où  $i \in \llbracket 1, E \rrbracket$ ,

Soit  $N_{c_i}$  : le nombre d'interventions métacognitives de la catégorie  $c$  de l'expérience  $i$ , où  $i \in \llbracket 1, E \rrbracket$ .

La netteté métacognitive réduite  $\eta_{c_i}$  de la catégorie métacognitive  $c$  est définie par :

$$\eta_{c_i} = \frac{n_{c_i} + 1}{N_{c_i}}$$

Les particularités de la netteté métacognitive réduite sont :

- L'addition « +1 » dans la formule netteté métacognitive réduite a le même but que  $C_i$  dans la formule de la netteté métacognitive : pouvoir atteindre la valeur théorique  $\eta_{c_i} = 1$ ,
- La netteté ne s'emploie pas sans la présence d'au moins un item de la catégorie métacognitive  $c$ . En effet,  $N_{c_i}$  vaut alors zéro et  $\eta_{c_i}$  n'a donc pas de sens,
- La netteté n'a pas d'intérêt si une seule catégorie métacognitive est présente, la valeur est alors systématiquement de 1,
- $\eta_{c_i}$  tend vers zéro lorsque le nombre d'enchaînements de la catégorie métacognitive  $c$  diminue pour un nombre fixé d'interventions métacognitives. Le mélange de la catégorie métacognitive  $c$  représenté est alors maximum,
- $\eta_{c_i}$  tend vers un lorsque le nombre d'enchaînements de la catégorie métacognitive  $c$  augmente pour un nombre fixé d'interventions métacognitives. Le mélange représenté est alors minimum. À l'extrême, la netteté totale atteint un,
- Les métaconnaissances et métacompétences ne sont pas incluses dans le modèle et ne modifient donc pas la netteté.

Cette formule est d'abord appliquée aux résultats du codage de chaque équipe. Les nettetés métacognitives réduites obtenues sont ensuite moyennées pour chacune des équipes. Enfin, les trois valeurs (une par équipe) des catégories métacognitives sont moyennées entre elles. Les résultats calculés sont présentés dans le tableau 48.

Catégorie métacognitive associée	Nettetés réduites
DE	0,7063
RE	0,5675
PL+PO	0,3760
MO	0,4779
EV	0,4934
CT	0,2789

Tableau 48. nettetés métacognitives réduites de chaque catégorie

Cet outil permet notamment de mettre en valeur un effet miroir entre :

- Les proportions des interventions de la boucle MO-EV-CT des trois équipes par rapport à la totalité des items métacognitifs employés par chaque équipe et
- La valeur de la netteté métacognitive des trois équipes.

Pour correspondre à la méthode graphique utilisée par Le Conte et Arnold (1988) pour souligner deux valeurs inversement proportionnelles, la figure 79 présente l'évolution la proportion des interventions de la boucle MO-EV-CT en fonction de la valeur de netteté pour une même expérience.

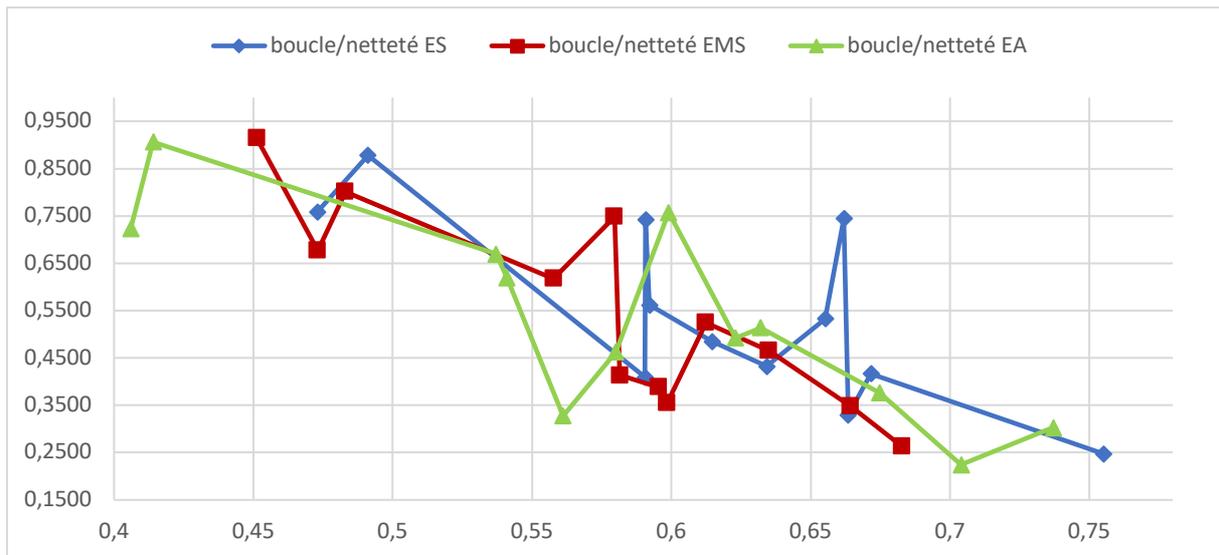


Figure 79. proportions inversement proportionnelles de la boucle MO-EV-CT et de la netteté métacognitive

L'utilisation de la boucle MO+EV+CT est donc inversement proportionnelle aux valeurs élevées de netteté. Autrement dit :

- Plus il y a d'interventions relevant de la boucle MO-EV-CT pendant les expériences (axe des ordonnées), moins la netteté est élevée (axe des abscisses) et
- Moins il y a d'interventions relevant de la boucle MO-EV-CT pendant les expériences (axe des ordonnées), plus la netteté est élevée (axe des abscisses).

L'usage de la boucle MO-EV-CT est donc lié au mélange de la métacognition. Ce résultat se constate en comparant l'augmentation du nombre d'interventions relevant de la boucle MO-EV-CT des exercices de construction à ceux de rassemblement entre les trois équipes (augmentation de 55,03 %) aussi associée à une diminution de la netteté (cf. tableaux 46 et 47).

## 1.2. Quantités d'items métacognitifs

Les moyennes des quantités d'items relevant de chaque catégorie métacognitive pour les trois équipes sont rassemblées dans le tableau 49, à partir des résultats du codage du tableau 30.

Catégories métacognitives	Nombres moyens d'interventions
DE	139,2
RE	118,3
PL+PO	7,583
MO	96,58
EV	137,3
CT	75,86
Moyennes des sommes d'interventions	574,8

Tableau 49. moyennes des quantités d'items codés

### 1.3. Ordre chronologique des catégories métacognitives

L'ordre chronologique moyen des catégories métacognitives est calculé à partir des classements chronologiques de chaque catégorie pour chaque équipe et pour chaque expérience. Comme pour le calcul de la netteté et des nettetés métacognitives réduites, la mesure du temps n'est pas utilisée ici. Pour observer les courbes d'évolution des positions des catégories métacognitives au cours du protocole LETUCA, la procédure de calcul suivie est :

- Calculs des positions moyennes réelles de chaque catégorie pour chaque équipe pour chaque expérience,
- Calculs des positions moyennes sur une échelle fictive de zéro à cent des résultats précédents, où zéro est le début des résolutions et cent correspond à la fin.
- Calculs des positions moyennes sur l'échelle fictive des trois équipes,

Le tableau 50 rassemble les positions moyennes fictives de chaque catégorie au cours des dix-huit problèmes et sous-problèmes du protocole LETUCA.

<b>Problèmes et sous- problèmes</b>	<b>posit DE</b>	<b>posit RE</b>	<b>posit PL+PO</b>	<b>posit MO</b>	<b>posit EV</b>	<b>posit CT</b>
1	32,89	50,89	15,89	61,73	52,16	62,66
2	40,70	57,66	41,40	65,63	53,20	46,14
3	39,26	49,86	48,15	54,82	62,41	51,02
4	33,66	49,61	41,53	56,58	49,13	50,07
5	28,40	61,37	21,43	42,97	70,05	40,06
6	36,34	45,00	30,58	56,85	58,22	54,57
7	25,97	53,07	38,12	66,59	62,23	58,10
8	12,10	30,75	22,13	56,83	51,99	54,67
9	38,70	42,90	48,63	74,72	72,12	65,46
10	33,74	40,76	56,16	69,09	63,71	63,90
11	39,65	50,38	12,39	66,42	53,03	49,16
12	26,74	52,23	75,72	64,82	57,75	48,63
13	31,63	49,73	95,79	52,38	61,70	57,12
14	35,34	33,33	47,83	45,70	51,97	57,13
15	30,23	34,86	nil	59,58	59,45	58,47
16	33,19	38,18	49,27	26,26	55,76	51,28
17	38,56	41,07	nil	54,39	53,79	47,97
18	33,37	nil	nil	40,24	60,82	59,76

Tableau 50. positions moyennes fictives des trois équipes<sup>56</sup>

La figure 80 présente les résultats du tableau 50 sous forme graphique et ainsi les évolutions des positions chronologiques moyennes au cours du protocole LETUCA. L'axe des abscisses correspond

<sup>56</sup> Le terme « nil » indique une absence de donnée si une expérience n'a suscité aucun item de la catégorie métacognitive concernée pour les trois équipes.

aux numéros des problèmes et sous-problèmes et les ordonnées les positions relatives des différentes catégories métacognitives.

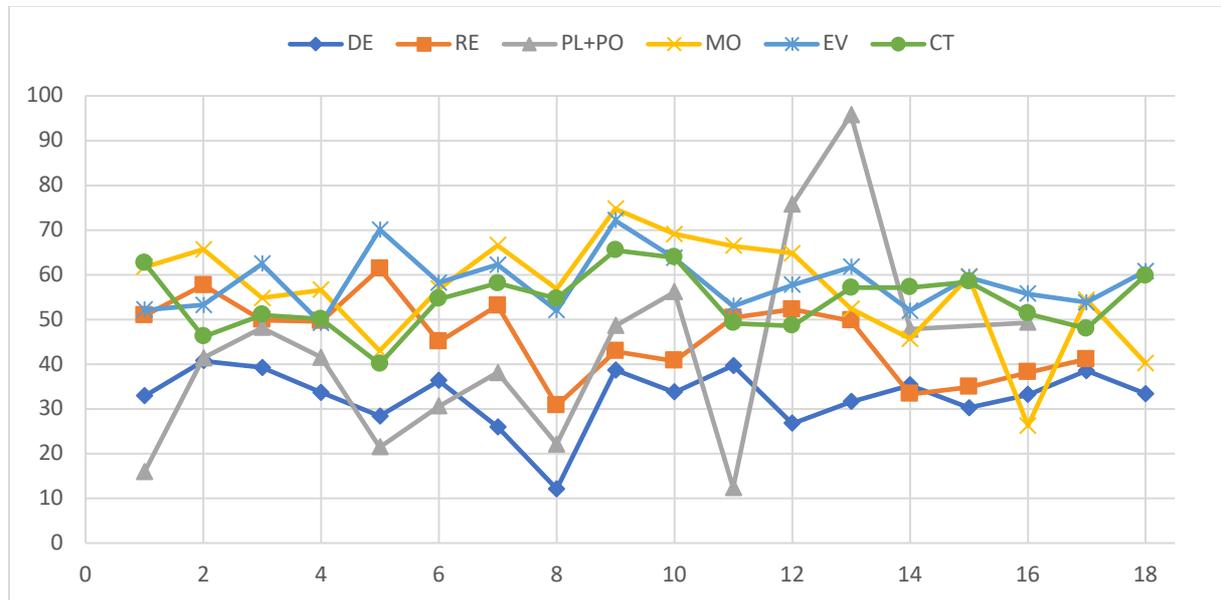


Figure 80. positions chronologiques moyennes au cours du protocole LETUCA

Les moyennes pour la totalité du protocole LETUCA ont été calculées à partir de la totalité des positions fictives par équipe et par expérience. Ces moyennes et les écart-types associés sont rassemblés dans le tableau 51.

	posit DE	posit RE	posit PL+PO	posit MO	posit EV	posit CT
Moyennes	32,72	45,02	40,56	57,33	58,37	54,22
Écart-types	8,826	15,07	25,10	12,31	7,938	9,104

Tableau 51. positions moyennes et écart-types des catégories métacognitives

La moitié des catégories métacognitives sont ainsi positionnées avec un écart-type inférieur à 10. La catégorie définition et identification d'un problème est ainsi fixée en première position d'une résolution de problème. D'un point de vue pratique, il est logique pour les équipes de commencer la résolution d'un problème par la prise en compte des éléments et buts du problème. De même la boucle MO-EV-CT est positionnée avec un écart-type inférieur à 10 en dernière position, seul l'écart-type du monitoring dépasse les 10. À l'inverse, la catégorie de planification est très variable avec un écart-type supérieur à 25. Cette donnée est à rapprocher du faible nombre d'items 7,583 sur 574,8 (cf. tableau 30) entrainant ainsi une plus forte variabilité le peu de fois où les équipes utilisent cette planification. La représentation mentale est largement utilisée et possède un écart-type de 15,07 ; elle est donc employée de façon étendue durant les traitements de problèmes par les équipes.

## 2. Des données représentées

Le modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème adapté à la réalité des codages rencontrés (cf. figure 81) est donc composé à partir des résultats des nettetés métacognitives réduites, des quantités des items métacognitifs et de l'ordre chronologique des catégories métacognitives. Ces données sont issues des interactions des trois équipes durant les dix-huit problèmes et sous-problèmes du protocole LETUCA, soit cinquante-quatre résolutions de problèmes, dépassant ainsi les grands échantillons (Frappé, 2011). Chacun est ainsi intégré grâce à une règle figurative dans la figure 81.

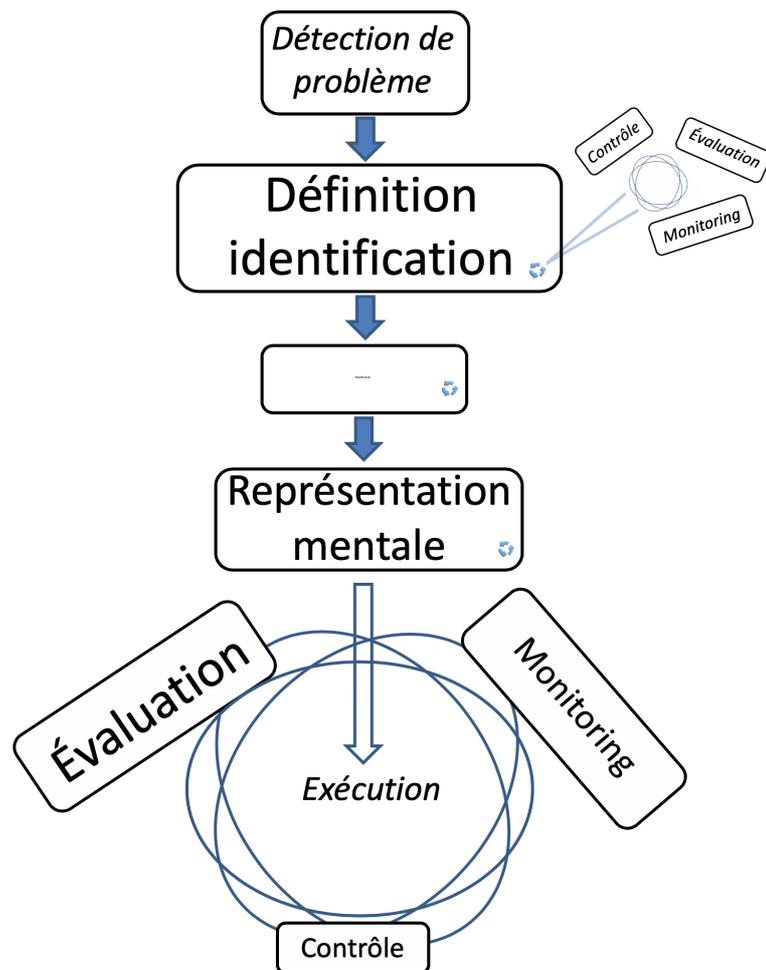


Figure 81. modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème

Les catégories métacognitives choisies dans le tableau de codage (cf. tableau 10) et extraites du modèle de métacognition en résolution de problème établi à partir de la littérature (cf. figure 7) sont séquencées selon l'ordre chronologique mis en valeur ci-dessus. La planification apparaît donc en deuxième position, avant la représentation mentale.

Les nombres d'items métacognitifs de chaque catégorie sont pris en compte. Ils sont traduits dans le modèle (cf. figure 81) par la taille des caractères : le plus grand est le nombre d'items métacognitifs,

les plus grandes sont les lettres de la catégorie associée. Par exemple, l'étape de la planification est très peu utilisée lors des résolutions, elle est donc difficilement visible (cf. tableau 81). Le rapport de taille entre les polices d'écriture de la planification et de la définition et identification d'un problème est de dix-huit.

Les résultats des nettetés métacognitives réduites sont pris en compte au travers des tailles des rectangles : plus la netteté est élevée, plus la taille du rectangle est importante. Le contrôle est ainsi utilisé avec des interventions plus isolées que les autres catégories métacognitives par les équipes. À l'inverse, la définition et l'identification d'un problème, étant située majoritairement en début de résolution, est bien plus condensée.

Les trois cercles imbriqués liant la boucle monitoring, évaluation et contrôle représentent les trois courbes des items MO, EV et CT dans la figure 80. En effet, elles s'entrecroisent :

- Sans différence significative entre les positionnements de MO et CT (test des rangs de Wilcoxon pour une hypothèse statistique d'égalité des positions de MO et CT,  $p = 0,1989$ ),
- Sans différence significative entre les positionnements de MO et EV (test des rangs de Wilcoxon pour une hypothèse statistique d'égalité des positions de MO et EV,  $p = 0,9826$ ) ;
- Cependant, une différence significative existe entre EV et CT (test des rangs de Wilcoxon pour une hypothèse statistique d'égalité des positions de EV et CT,  $p = 0,0279$ ).

La flèche menant à la phase de résolution du problème « exécution » est représentée d'une autre manière. En effet, le travail n'est plus au niveau métacognitif mais cognitif. La réflexion est alors portée non plus sur la réflexion mais sur la résolution directe du problème avec l'application d'actions et/ou planifications décidées précédemment.

### 3. Précisions ultérieures du modèle

Le modèle métacognitif empirique en résolution de problème inconnu présente des limitations liées aux objectifs du protocole LETUCA : tester les hypothèses.

Certains éléments apparaissent en italiques : la détection de problème, les boucles internes et la phase d'exécution. Ces trois phases ne sont pas concernées par les règles de représentation du modèle établies ci-dessus (insertion de la netteté métacognitive réduite et des quantités d'items métacognitifs). Premièrement, le protocole LETUCA n'est pas conçu pour mettre les participants face à une situation de détection de problème. En effet, les équipes du protocole savent qu'un problème doit être résolu lorsqu'une expérience débute, d'où l'absence de donnée relative à cette catégorie métacognitive. Deuxièmement, les boucles internes MO-EV-CT ne sont pas codées du fait du positionnement macrométacognitif de ce travail de recherche et donc du tableau de codage. Par exemple, un item de monitoring inclus dans la construction de la représentation mentale est codé comme cette dernière. Troisièmement, la phase d'exécution est une phase importante de la résolution d'un problème car elle applique les résultats du travail métacognitif. Néanmoins, cette phase est cognitive et n'est donc pas concernée par ce travail et donc le tableau de codage (cf. tableau 10).

Le modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème proposé (cf. figure 81) peut donc être amélioré via des études portées sur la micrométacognition et la détection d'un problème.

#### 4. Écarts et correspondances entre les modèles de la littérature et le modèle empirique

L'étude des modèles métacognitifs issus de la littérature (cf. PIC6) permet de proposer le modèle de métacognition en résolution de problème (cf. figure 7). Ce dernier modèle est ensuite employé afin de coder les interactions entre les équipes lors des résolutions de problèmes du protocole LETUCA. Ces codages fournissent donc des données empiriques pouvant être mises à profit pour mieux représenter l'usage réel de la métacognition collective en résolution de problème, d'où le modèle métacognitif collectif empirique. Finalement, il existe donc des éléments identiques et similaires intégrés au modèle métacognitif collectif empirique par rapport aux modèles métacognitifs issus de la littérature mais aussi nouveaux.

Les points identiques, donc non modifiés par la mise à l'épreuve des résultats du protocole LETUCA, concernent le contenu des catégories métacognitives. Leurs définitions sont établies à partir de la littérature (cf. PIC6p2), employées pour le codage et n'évoluent donc pas à l'issue du traitement des retranscriptions.

Le modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème intègre les données de codage et donc évolue. Cependant, des similarités persistent avec certains modèles de la littérature.

Premièrement, comme décrit précédemment (cf. tableau 30), une boucle de retour en arrière ou encore monitoring, évaluation et contrôle est mise en valeur par les résultats du protocole LETUCA. Elle est donc intégrée au modèle collectif empirique et correspond ainsi aux travaux de Davidson et al. (1994), Özsoy et Ataman (2009), Saint-Pierre (1994), Yimer et Ellerton (2006), Goos et al. (2000), Carlson et Bloom (2005) et Sinnott (1989). Néanmoins, le modèle collectif empirique caractérise plus précisément le processus métacognitif à travers les phases de monitoring, d'évaluation et de contrôle que celui de Saint-Pierre (1994) où la boucle MO-EV-CT y est implicite ou celui de Geiwitz (1994) où le contrôle n'est pas présent.

Deuxièmement, l'ordre du modèle empirique est identique à celui du modèle établi à partir de la littérature étudiée excepté le positionnement de la planification. En effet, les calculs des moyennes de position des différentes étapes soulignent cette particularité : la PL est située entre la DE et la RE. La littérature étudiée ne propose pas de correspondance à cet ordre, le modèle collectif empirique est ainsi singulier quant au positionnement de la planification. En revanche, étant une position moyenne, placer la planification avant la représentation mentale n'implique pas une absence totale de codage RE avant les codages PL. En effet, des interventions codées comme RE peuvent avoir lieu avant d'autres relatives à la PL malgré des positions moyennes inversées. Ces transpositions concordent ainsi avec la littérature.

Le modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème permet finalement d'intégrer des représentations nouvelles de la métacognition et donc sans équivalent dans la littérature. Il s'agit du comptage des interventions métacognitives codées et de la netteté métacognitive.

Le comptage des interventions métacognitives souligne le faible usage de la planification lors des résolutions de problèmes. Ce résultat n'est pas traduit dans la littérature, les modèles étudiés peuvent donc être adaptés dans ce sens. Néanmoins, une planification numériquement peu présente

n'implique pas une faible influence de ce nombre réduit d'interventions de planification dans le processus métacognitif. En effet, une simple et unique remarque codée comme planification peut avoir des conséquences primordiales sur une résolution de problème.

L'indicateur de netteté et son adaptation aux différentes catégories métacognitives, *i.e.* les nettetés réduites, sont proposés pour la première fois dans ce travail de recherche. Les nettetés réduites sont donc absentes des autres modèles de métacognition en résolution de problème de la littérature.

Finalement, contrairement aux modèles de la littérature étudiée, le modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème permet deux apports graphiques traduisant directement le travail métacognitif des équipes. Le premier intègre la métacognition employée par des équipes en termes numériques (nombre d'items d'une catégorie métacognitive représenté par la taille des caractères) et le second met en valeur la stabilité métacognitive des équipes pour chaque catégorie métacognitive (nettetés réduites représentées par la taille des rectangles).

## Chapitre 7 : Des choix limités mais existants entre plusieurs planifications possibles

En plus du codage d'une unique planification pour une tâche donnée, le tableau de codage permet de mettre en valeur « une planification différente de la première pour exécuter une même tâche » (cf. tableau de codage 10). En effet, Fiore (2010a et 2010b), Rasmussen (1983), Letsky et *al.* (2007) et Flin et *al.* (2003) proposent la présence de plusieurs planifications. Le codage des retranscriptions du protocole LETUCA des catégories « planification » et « choix entre plusieurs planifications possibles » sont rassemblés dans le tableau 52 et permettent de mettre à l'épreuve la présence de planifications différentes de la première.

Expérience	ES		EMS		EA	
	PL	PO	PL	PO	PL	PO
1	2	20	5	14	13	10
2	17	0	18	0	20	0
3	3	0	0	0	11	0
4	9	0	4	0	3	0
5	10	0	2	0	0	0
6	0	0	5	0	9	0
7	5	1	8	0	4	0
8	0	0	0	0	25	0
9	11	0	9	8	0	0
10	0	0	0	0	7	0
11	2	0	2	0	0	0
12	0	0	4	0	11	1
Moyennes	4,917	1,750	4,750	1,833	8,583	0,9167

Tableau 52. résultats des codages de planification unique et multiples

D'après le tableau 52, sur les trente-six expériences, seules six ont suscité des choix entre plusieurs planifications possibles, soit deux expériences par équipe. En revanche, dans ces rares cas, les équipes ont utilisé un nombre remarquable de choix entre plusieurs planifications possibles avec une moyenne de neuf interventions. Ainsi, les choix entre plusieurs planifications possibles existent mais sont rarement employés par les équipes. Les données disponibles ne permettent pas d'associer ou non cette catégorie à une performance augmentée.

## Chapitre 8 : Recommandations de formation collective pour réagir à l'inconnu

L'ensemble des résultats obtenus grâce au travail des équipes soudée, moins soudée et absconse tout au long du protocole permet de proposer des recommandations de formation pour préparer des équipes à réagir avec performance à des situations inconnues. Ces recommandations se divisent en trois catégories selon les activités prises en compte, donc selon les méthodes de formation d'une activité professionnelle donnée et *in fine* les exigences de stabilité d'une équipe, de son entraînement à son emploi lors de missions réelles.

Tout d'abord, deux recommandations portent sur la formation de personnels destinés à travailler collectivement mais non formés avec leur future équipe composée pour effectuer une mission réelle. Ces personnels reçoivent ainsi une ou plusieurs formations individuelles du point de vue de leur future équipe. L'entraînement des personnels navigants de l'aviation commerciale est un exemple : ils sont formés individuellement au travail en équipe et sont ensuite réunis pour effectuer un vol.

Premièrement, la littérature annonce que la métacognition permet une augmentation de la performance (comme, Geiwitz, 1994). De plus, les résultats de ce travail de recherche soutiennent un lien entre stabilité métacognitive (réduction du mélange métacognitif ou encore des transitions entre catégories métacognitives) et performance opérationnelle. Ainsi, une formation théorique individuelle des équipiers au sujet de la métacognition en résolution de problèmes et notamment du besoin de stabilité du raisonnement est recommandée. Les personnels sensibilisés peuvent alors appliquer pendant une résolution ultérieure de problème inconnu un effort de stabilisation métacognitive du raisonnement. Les étapes métacognitives peuvent alors être discutées avec un plus grand nombre d'interventions avant d'aborder une autre catégorie. L'équipe peut alors débattre plus profondément d'une catégorie métacognitive et ainsi mieux la maîtriser avant d'aborder la suivante. Deuxièmement, un modèle actuel de traitement de panne utilisé dans l'Armée de l'air lors de mission en vol est appelé 3ABDI et ordonne les traitements de panne selon le séquençement suivant :

- Annonce : consiste à effectuer une annonce « claire, précise » de la panne accompagnée d'une description sommaire,
- Analyse : l'analyse demande à un équipage de considérer les causes immédiates et possibles de panne (erreur humaine par exemple) avant de mettre en œuvre la documentation technique,
- Action : exécution des check-lists correspondant à la situation rencontrée,
- Bilan : une fois la panne traitée, le but du bilan est d'effectuer un état des capacités du système et pour orienter la suite du vol en regard de la mission assignée,
- Décision : une décision est prise quant à l'orientation de la suite du vol,
- Information : l'équipage informe son environnement opérationnel de la décision retenue.

Du fait de l'emploi seul de check-lists déjà établies, ce modèle n'est donc pas adapté au traitement des situations inconnues. Les étapes Annonce et Analyse peuvent donc être adaptées à la réaction face aux pannes inconnues en intégrant la détection d'un problème, sa définition et identification, sa représentation mentale, la planification d'une solution suivie de son exécution et accompagnée de la boucle MO-EV-CT afin de faciliter une démarche correctrice si besoin. Ces étapes métacognitives doivent de plus être traitées avec stabilité et augmenter ainsi la netteté d'un traitement. Cette augmentation de la netteté peut être acquise en inscrivant les étapes métacognitives sur une check-

list de raisonnement et ainsi inciter les équipes à progresser pas-à-pas et donc en minimisant les va-et-vient et finalement les mélanges métacognitifs. Le modèle STAR à utiliser en vol spatial habité permet « de réagir à un évènement ou de débiter une tâche » (notre traduction, Noe et *al.*, 2011). STAR est décrit par : arrêtez-vous, réfléchissez, agissez et évaluez (notre traduction, pour Stop, Think, Act et Review, Noe et *al.*, 2011). Le modèle de métacognition empirique est intégré dans les phases « réfléchissez » et « évaluez » ; par conséquent le modèle STAR peut être davantage précisé pour définir les étapes métacognitives du modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème et permettre leur étude stable (*in fine* sans mélange métacognitif). Dans le cadre d'une utilisation par une équipe non formée ensemble, ces modèles standardisés et partagés constituent des bases de connaissances communes ne nécessitant pas de partage d'expérience préalable. Or, les bases de connaissances communes sont employées par les équipes efficaces et impliquées dans la performance des équipiers (Salas, Stout et Cannon-Bowers, 1994). Ainsi, une adaptation de ces modèles (comme 3ABDI et STAR, Noe et *al.*, 2011) au traitement des situations inconnues peut contribuer à la performance d'une équipe face à une situation inconnue.

Ensuite, des recommandations sont proposées dans le cas d'équipes constituées parmi les membres d'un groupe plus large et stable. Cependant, ce groupe implique d'être suffisamment réduit pour que chaque membre puisse ressentir des relations affectives, émotionnelles et solidaires pouvant devenir intenses entre les membres (*cf.* définition de l'équipe établie en PIC1p1.3). Les équipiers potentiels peuvent alors être amenés à partager des expériences au sein de ce groupe et être ensuite assignés à une mission donnée. Ce cadre favorise un partage réduit d'expériences diversifiées entre les équipiers potentiels. Ainsi, il est possible d'appliquer la recommandation de formation théorique individuelle de la métacognition en résolution de problèmes et d'approfondir cette formation à l'inconnu avec un partage des expériences diversifiées reconnues de plus haute qualité. Les résultats du questionnaire concernant la préparation à réagir à l'inconnu (*cf.* PIIC2p3) permettent de souligner l'apport des expériences suscitant les interactions pour préparer à réagir à l'inconnu en équipe constituée, *i.e.* exécution d'une mission par une équipe, vie normale avec l'équipe et réception de connaissances avec des interactions et avec l'équipe. Le temps en commun des potentiels futurs équipiers est ainsi optimisé par le partage des expériences les plus bénéfiques à la préparation au traitement de l'inconnu.

Enfin, compte tenu des différences de performance opérationnelle mesurées entre les équipes ayant partagé ou vécu vingt mois d'expériences diversifiées et de qualité (facteur trois entre l'équipe soudée et absconse), la troisième recommandation porte sur le partage longitudinal de tous les types d'expériences. La formation théorique au sujet de la métacognition en résolution de problème reste pertinente et intégrée aux expériences liées aux réceptions de savoirs. Néanmoins, cette recommandation d'un partage complet est très exigeante compte tenu du temps nécessaire à vivre en commun longitudinalement des expériences diversifiées et de qualité par une même équipe malgré les contraintes extérieures à une formation à l'inconnu (*e.g.* vie personnelle, autres formations). Ainsi, cette recommandation finale est destinée aux agences spatiales dans le cadre de la préparation d'un équipage constitué pour une mission d'exploration vers Mars. Les durées de

formation mises en œuvre pour la préparation des équipages constitués sont particulièrement élevées<sup>57</sup> et peuvent potentiellement intégrer cette recommandation.

---

<sup>57</sup> Une journée de mission à bord de la navette spatiale américaine impliquait vingt-six jours d'entraînement et dix jours pour chaque journée à bord de l'ISS (Barshi et Dempsey, 2016). Dans le cadre d'une étude sur les systèmes intelligents de formation d'une mission habitée vers Mars, Landon et O'Keefe (2018) font l'hypothèse d'une formation en équipage constitué de trois à quatre années avant le décollage.

## Chapitre 9 : Futures perspectives de recherche

Les données rassemblées par le travail des équipes du protocole LETUCA comportent des limites liées à la composition des équipes, au protocole LETUCA et à l'analyse des données. L'emploi d'analyses statistiques duales, d'une construction du protocole LETUCA correspondant aux besoins des tests des hypothèses et d'une grille de codage standardisée permettent de compenser les biais rencontrés. Néanmoins, l'identification de ces limites et biais permet d'établir de futures perspectives de recherche afin de les atténuer davantage.

### 1. Relatives aux équipes

Les équipes doivent remplir des critères afin de satisfaire les contraintes imposées par les hypothèses. Néanmoins, toutes n'ont pas pu être respectées.

Le nombre d'équipes est de trois, limitant d'une part les valeurs de partage d'expériences diversifiées et de qualité et des pertinences de la formation des équipes étudiées et d'autre part le nombre de données disponibles par type de diversification d'expériences vécues. Ainsi, une seule équipe de chaque type existe, chaque participant a donc une influence d'autant plus élevée par rapport à un protocole proposé à un plus grand nombre d'équipes. Par conséquent, chaque équipe est considérée comme une référence du niveau de vécu d'expériences diversifiées et de qualité à la date d'une expérience. Ces trois références de partage d'expériences sont notamment intégrées au calcul des résultats du signed test des rangs de Wilcoxon. Afin de diminuer cette limitation, une double analyse statistique fondée sur le signed test des rangs de Wilcoxon et sur l'emploi des boîtes à moustaches est appliquée. La significativité des différences entre les données de chaque équipe est finalement réalisée à partir de la synthèse de ces résultats. De futures recherches peuvent constituer un grand nombre d'équipes afin d'établir une moyenne des résultats par niveau de partage ou de vécu d'expériences diversifiées et de qualité.

Les équipes sélectionnées elles-mêmes comportent des limitations. La première relève de la répartition entre les femmes et les hommes participant selon les équipes. Compte tenu des personnes candidates et des priorités entre les critères de composition des équipes (*cf.* PIIC4p3.2), il n'a pas été possible d'établir de standardisation entre le nombre d'hommes et de femmes. Au cours de l'année 2016-2017 du protocole LETUCA, l'équipe soudée était composée de cinq hommes, l'équipe moins soudée d'une femme et quatre hommes et l'équipe abscisse de deux femmes et trois hommes. Ces différences peuvent avoir influencé les données. Pour réduire cet écart, la reconstitution de l'équipe soudée à mi-protocole a été modifiée dans ce sens en introduisant une femme. Sa présence n'avait pas été réalisable au début du protocole LETUCA compte-tenu de l'ordre de priorisation des contraintes établi précédemment (*cf.* PIIC4p3.2). Un axe d'étude future est la composition dès le début du protocole d'équipes représentatives de la répartition entre les femmes et les hommes d'un équipage à destination de Mars.

La seconde limitation concerne les différences d'origines académiques des participants aux équipes. En effet, les équipes soudée et moins soudée sont composées d'élèves issus d'un recrutement sur concours de niveau bac+2 avec une moyenne d'âge respectivement de 20,60 et de 21,80 années. L'équipe abscisse rassemble des militaires qualifiés dans leur domaine de recrutement sous-officier

et militaire technicien de l'air. La moyenne d'âge de ces équipiers est de 29,40 années et ils n'ont pas été recrutés à partir des CPGE. Ces différences ont pu influencer les données issues du protocole LETUCA. Néanmoins, des membres de l'équipe absconse sont actifs dans leur vie personnelle (comme un membre pratiquant la planche à voile au niveau international et un athlète la course au niveau national). L'établissement d'une équipe absconse ayant des origines académiques identiques peut être effectué dès le début du protocole et recommandé pour de futures recherches.

## 2. Relatives au protocole LETUCA

En parallèle des équipes, le protocole LETUCA comporte des limites. Les premières sont liées aux exercices eux-mêmes. En effet, il y a douze scénarios appliqués à trois équipes réduisant d'autant la quantité de données disponibles. Par défaut de scénario novateur remplissant les contraintes du protocole LETUCA, l'ajout d'exercices supplémentaires aurait impliqué des scénarios avec des redondances et similitudes avec des précédents. Des transferts de méthodes de traitement d'une expérience à une autre auraient été réalisables directement et nuire à la nécessité d'inconnu. En revanche, ce nombre de douze permet de varier les situations et les énoncés entre les scénarios. Les risques de similitudes sont donc diminués entre les exercices et donc de transferts de schéma type de résolution d'un problème à l'autre. De plus, une analyse statistique est appliquée aux résultats pour mettre en valeur ou non une différence significative entre les résultats. Au-delà du simple nombre d'exercices, cinq ne sont pas qualifiés comme problèmes inconnus. En effet, la conception d'un exercice à la fois dépourvu d'énoncé et dont la tâche à réaliser est suffisamment simple pour être malgré tout comprise est rare (PIIIC2p2.3). Néanmoins, les sept exercices sont répartis dans le protocole LETUCA et les cinq problèmes non inconnus possèdent tout de même des méthodes de résolutions qui « doivent encore être trouvées » (Breuker, 1994). De plus, ces problèmes sont conçus de manière à être unique au sein du protocole LETUCA. De futures études peuvent porter sur la conception et la proposition à des équipes d'un nombre plus important de problèmes inconnus.

Les heures d'exécution des exercices variaient selon les équipes. En effet, pour des raisons organisationnelles, l'équipe absconse comportant des personnes qualifiées était disponible entre huit heures et dix-sept heures. À l'inverse, les équipes d'élèves étaient disposées à participer aux expériences le soir après les journées de cours, soit entre dix-neuf et vingt et une heures. Cette différence entre les horaires a pu impliquer une variation de la fatigue cognitive donc de capacités entre les participants, d'où un biais potentiel.

La dernière limite, donc perspective d'évolution, concernant le protocole LETUCA porte sur les impositions des hypothèses. En effet, les conditions de laboratoire sont appliquées (*cf.* PIIIC2p3.1) et limitent ainsi les modifications des comportements, comme souligné par Baiwir et Delhez (2004) au sujet de la présence d'observateurs lors d'une expérience. Néanmoins, la représentativité d'un vol spatial habité à destination de Mars est réduite par l'absence de contexte réel, de choix limités (Debanne, 2013) et de la non prise en compte de l'environnement dans les travaux des participants (Valot, 1998). Afin de diminuer cet écart aux vols spatiaux, les contextes des exercices y sont orientés au niveau conceptuel (l'interface homme-machine de l'exercice Untangle par exemple) et des problématiques abordées (contexte d'une collision avec un astéroïde par exemple). Un effort supplémentaire peut donc être conduit au sujet de l'augmentation de la représentativité d'une mission spatiale habitée à destination de Mars, via l'utilisation des simulations notamment.

### 3. Relatives à l'analyse des données

Les traces métacognitives observées sur les brouillons rédigés par les équipes ne sont pas marquées chronologiquement. Elles ne peuvent donc pas être prises en compte ni dans les calculs de la netteté ni dans l'établissement du modèle empirique de métacognition collective. En effet, le marquage chronologique de la plupart des traces ne peut pas être relevé ; le(s) angle(s) de prises de vue de la (des) caméra(s) utilisée(s) et les placements des participants par rapport aux caméras n'ont pas permis de relèvements exhaustifs. Néanmoins, après codage des traces métacognitives présentes sur les brouillons utilisés par les participants, seuls 81 codages métacognitifs<sup>58</sup> ont été relevés sur les 20777 codages métacognitifs<sup>59</sup> correspondants à une des étapes du modèle en résolution de problème (cf. figure 7). Comme la différence de pourcentage entre le nombre total de codages métacognitifs avec et sans trace est de  $3,899.10^{-3}$ , les traces sont donc négligées.

Enfin, le codage comporte aussi des limites. Premièrement, une seule personne a codé les interventions verbales et non-verbales des équipes impliquant ainsi des choix individuels. En effet,

*Le manque de consensus dans la littérature concernant la manière de reconnaître et de mesurer la métacognition en cours d'action, en parallèle de l'absence d'outil fiable dans ce but, signifie que toute tentative sera problématique et fortement dépendante des jugements subjectifs des chercheurs. (notre traduction, Georghiades, 2004, p.11)*

Afin de réagir à ce risque, le tableau de codage présenté est accompagné de vingt-quatre règles (cf. PIIC3p2.1.2) uniformisant et justifiant les choix de codage en correspondance avec les tests des hypothèses. De plus, le codage d'interactions de trois équipes lors des douze exercices du protocole LETUCA (soit 20777 codages métacognitifs) peut être effectué par plusieurs chercheurs pour diminuer le jugement subjectif individuel.

---

<sup>58</sup> Dont 66 sont codées DE et 15 RE.

<sup>59</sup> Les items codés comme métaconnaissances et métacompétences interindividuelles et générales ne sont pas compris dans ces 20777 codes.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objet de ce travail de thèse est l'étude de la préparation d'un équipage à réagir avec performance à une situation inconnue lors d'un vol spatial à destination de Mars, environnement extrême, contraint et potentiellement volatil (Godé-Sanchez, 2008). Cet inconnu a été abordé comme une singularité des événements pouvant être rencontrés lors de missions opérationnelles. En effet, par définition, les situations inconnues ne sont « jamais rencontrées ni anticipées » (notre traduction, L Haridon et *al.*, 2017) et sont donc nouvelles et uniques pour l'équipage et le système y faisant face. Ainsi, lors d'une mission en environnement contraint, l'équipage n'a ni formation ni aide disponible des systèmes pour apporter une solution immédiate préalablement établie pour l'évènement rencontré. Néanmoins, compte tenu du contexte et du risque encouru par l'équipage lors d'un vol spatial à destination de Mars, la situation inconnue doit être malgré tout traitée.

Pour améliorer le traitement des situations inconnues, la formation des équipes potentiellement exposées peut être améliorée. Dans cette dynamique, la littérature aborde les bénéfices possibles du partage d'expériences par une même équipe pour améliorer sa performance (comme McLennan et *al.*, 2006 et Noe et *al.*, 2011). Néanmoins, la littérature n'apporte pas de réponse à la caractérisation de la diversité et de la qualité des expériences à vivre par des équipiers pour se préparer à réagir ultérieurement à l'inconnu. Un questionnaire sur ce thème a ainsi été proposé à des agents pouvant avoir une action directe sur le traitement collectif d'une situation inconnue. Le but de ce questionnaire est de déterminer les coefficients de pertinence de dix expériences différentes destinées à former une équipe constituée à traiter une situation inconnue. Plus particulièrement, les résultats de ce questionnaire soutiennent deux axes d'amélioration de la préparation à l'inconnu lors d'un vol spatial à destination de Mars. Le premier axe porte sur l'utilité de la préparation classique des équipes opérationnelles : la qualification technique. Celle-ci consiste à former à maîtriser les fonctions techniques élémentaires d'un métier et d'assurer sa sécurité (des simulateurs de vol par exemple). Cette activité est largement répandue dans les formations opérationnelles actuelles pour préparer les équipes à appliquer des procédures de traitement de pannes déjà anticipées. Cette qualification technique est située en quatrième position sur les dix activités évaluées pour se préparer à l'inconnu. L'écart par rapport à l'expérience précédente, la réception de connaissances avec des interactions et avec l'équipe, est de plus remarquable (treize pourcents). Ainsi, par exemple, un cours dans une salle avec de nombreuses interactions au sein de l'équipe prépare mieux à l'inconnu qu'une séance de simulateur spécialisée dans le traitement de pannes. L'inconnu ne se prépare donc pas comme le connu. Le second axe porte sur la meilleure préparation à une situation inconnue. Elle consiste simplement à interagir au sein d'une équipe. Ces interactions peuvent être suscitées de différentes manières : exécution d'une mission, vie normale ou réception de connaissances avec des interactions et le tout par/avec l'équipe étudiée. Ces trois types d'activités, liées par l'existence d'interactions au sein d'une équipe constituée, sont jugés comme les trois plus hautes pertinences pour préparer une équipe à réagir à des situations inconnues. La formation collective à l'inconnu doit donc d'abord être trouvée par les interactions et le travail en équipe. Ainsi, la préparation à l'inconnu se dénote des formations actuelles des équipes expertes, axées sur la maîtrise des fonctions techniques élémentaires d'un métier par une équipe et le maintien de sa sécurité.

Ces dix coefficients de pertinence d'expériences vécues par des équipes sont ensuite utilisés pour constituer trois équipes représentatives de divers degrés de partage d'expériences. Ce partage d'expériences diversifiées et de qualité étant jugé comme potentiellement bénéfique par la

littérature, une équipe est composée par des participants partageant un maximum d'expériences ensemble ; elle est appelée équipe soudée. Une deuxième équipe est constituée par des participants vivant les mêmes d'expériences diversifiées et de qualité mais les partageant au minimum. Cette équipe, appelée équipe moins soudée, permet donc de souligner l'apport possible du partage d'expériences par des équipiers. Une troisième équipe est constituée par des participants ne vivant pas d'expérience ensemble ; cette équipe contrôle est appelée équipe abscisse. Afin de déterminer si le partage d'expériences diversifiées et de qualité bénéficie à l'amélioration de la performance face à une situation inconnue et *in fine* d'optimiser la formation collective d'équipage, les trois équipes formées ont été soumises au protocole LETUCA (Longitudinal Evaluation of Team via Unknown and Collective Activities). Constitué de douze exercices, ce protocole a été proposé aux équipes constituées durant vingt mois, entre septembre 2016 et avril 2018. Les données rassemblées ont permis de mettre en avant l'apport d'un vécu partagé d'expériences par une même équipe sur ses performances face à l'inconnu. En effet, l'équipe soudée, avec un niveau maximisé de partage, a obtenu des résultats approchant le facteur trois par rapport à l'équipe abscisse.

En parallèle de l'analyse des résultats de performance opérationnelle des équipes, la littérature précise l'intérêt de la métacognition dans le cadre des résolutions de problèmes et donc de l'amélioration des formations à réagir à l'inconnu (notamment Geiwitz, 1994). Les interactions verbales ou non verbales entre les équipiers ont donc été codées pour analyser l'usage de la métacognition lors des exercices du protocole LETUCA et établir ou non un lien entre métacognition et performance opérationnelle. Compte tenu de l'intérêt du partage d'expériences pour une même équipe et des développements potentiels de métaconnaissances et métacompétences, ces deux dernières ont plus particulièrement été étudiées. De plus, la littérature propose différents modèles métacognitifs en résolution de problème. Ces modèles ont été synthétisés au travers d'un unique adapté à une résolution de situation inconnue (*cf.* figure 7). La métacognition lors des résolutions des exercices du protocole LETUCA a été analysée via ce modèle et la grille de codage en a été directement extraite. Cette grille permet notamment de considérer le mélange des étapes métacognitives entre elles, relevé par la littérature mais sans le quantifier (Goos et *al.*, 2000 ; Saint-Pierre, 1994). Un haut mélange métacognitif, mesuré par la netteté, peut être lié à la performance opérationnelle par un manque d'approfondissement des catégories métacognitives lors des résolutions de problèmes inconnus. L'analyse de la métacognition lors du protocole LETUCA permet de mettre en valeur l'intérêt des bas niveaux de mélange, autrement dit des hautes valeurs de netteté, lors d'une résolution de problèmes inconnus. En revanche, ni le suivi rigoureux du modèle de métacognition, ni la présence de métaconnaissances et de métacompétences n'ont été liés à une augmentation de performance.

Ces résultats ont été obtenus dans le contexte d'un vol spatial habité vers Mars dont la concentration de contraintes n'est pas représentative des autres activités opérationnelles. Néanmoins, ces activités possèdent des caractéristiques communes avec l'exploration spatiale habitée comme la prise de risque, l'hostilité de l'environnement extérieur et l'impact médiatique. Finalement, les résultats établis dans le cadre de ce travail sont bien multidisciplinaires et peuvent donc être employés dans des contextes bien plus vastes.

Au-delà des réponses aux hypothèses, ce travail apporte des avancées théoriques, méthodologiques et opérationnelles.

*La recherche sur les équipes est difficile à conduire. Elle est couteuse, complexe, exige un travail intensif (demandez juste à quelqu'un qui a retranscrit des bandes audio de discussions d'équipes) et elle présente des défis logistiques non rencontrés lors d'études d'individus. (notre traduction, Cannon-Bowers et Salas, 1998)*

Ainsi, la création de la base de données issue du protocole LETUCA et du travail des trois équipes participantes constitue l'intérêt théorique majeur de cette thèse et se décline à plusieurs niveaux.

Tout d'abord, cette base de données est un point de départ d'études avec de multiples approches au-delà de la macrométacognition. De plus, aucun protocole avec des équipes constituées d'une durée similaire et supérieure n'a été mis en avant dans la littérature étudiée.

Ensuite, le mélange métacognitif lors de résolutions de problèmes est remarqué par la littérature étudiée mais non décrit. Ce mélange est à présent quantifié grâce à l'indicateur de netteté et évalué de manière empirique via les données du protocole LETUCA. Les résultats indiquent des catégories métacognitives remarquablement mélangées, la netteté moyenne étant de 0,5921. Cette dernière valeur met donc en doute les modèles de métacognition en résolution de problèmes n'abordant pas le mélange des catégories au sein même du processus métacognitif au profit d'un axe de progression unidirectionnel. Parmi la littérature étudiée, sont concernés les modèles de Özsoy et Ataman (2009), Davidson et al. (1994), Geiwitz (1994), Gick (1986), Jonassen (1997) et Garofalo et Lester discutés par Carlson et Bloom (2005).

Enfin, la base de données issue du protocole LETUCA est intégrée à un modèle métacognitif collectif empirique en résolution de problème. Ce dernier traduit donc les comportements métacognitifs moyennés des équipes face aux résolutions de problèmes du protocole LETUCA. Une conséquence remarquable est la présence de la catégorie de planification avant celle de la représentation mentale. Ce positionnement va à l'encontre des modèles de Davidson et al. (1994), Geiwitz (1994), Yimer et Ellerton (2006), Goos et al. (2000), Sinnott (1989). Néanmoins, le modèle métacognitif empirique établi ne contredit pas ces modèles car il est construit à partir des moyennes des positions des catégories métacognitives. Des interventions relevant de la représentation mentale peuvent tout à fait se produire avant la position moyenne de la planification et y être nécessaires. Ce même modèle métacognitif collectif empirique intègre également la quantité d'interventions et la netteté réduite de chaque catégorie métacognitive. Ce modèle métacognitif collectif empirique apporte donc un nouveau point de vue de la métacognition en résolution de problème.

L'apport méthodologique principal réside dans la création du protocole LETUCA composé de douze exercices facilement reproductibles avec des moyens de bureautique, pendant des périodes inférieures ou égales à trente minutes, sans connaissance particulière préalable et disposant d'une grille de performance éprouvée. Ces exercices ont différentes origines. Un est issu directement des travaux de Hall et Watson (1970), sept sont adaptés à divers degrés d'exercices existants et quatre sont conçus dans le cadre du protocole LETUCA. Grâce à ces caractéristiques, ce protocole peut être utilisé librement et évoluer selon les éventuels besoins d'une étude. Notamment via l'augmentation possible du niveau de difficulté des exercices, toutes les populations de participants peuvent être confrontées à ce protocole : d'une équipe d'enfants à une de spatonautes.

L'apport méthodologique réside aussi dans la création du questionnaire relatif à la détermination des pertinences d'expériences diversifiées par des acteurs de milieux opérationnels. La sollicitation d'un expert par Hall et Watson (1970) et de deux experts par Barnett et Koslowski (2002) est ici

développée en rassemblant un nombre d'avis dépassant la taille d'un grand échantillon (Frappé, 2011). Les résultats synthétisent donc une position opérationnelle générale. Cette méthode peut tout à fait être reproduite dans le cadre d'une activité précise avec la sollicitation d'un échantillon suffisamment grand d'acteurs afin de préciser des besoins non plus généraux mais ciblés.

Les milieux opérationnels peuvent aussi bénéficier des conclusions de ce travail de recherche via une optimisation des formations délivrées.

Maintenir une équipe constituée durant une formation afin de la préparer à exécuter une mission ensemble est exigeant pour diverses raisons, comme la composition des plannings de formation soumise aux contraintes de tous les équipiers, le besoin d'anticipation de la composition de l'équipe, la mise en parallèle des formations individuelles probables (un équipage vers Mars sera probablement composé de spationautes formés à différentes spécialités, Salotti et *al.*, 2014). Ainsi, les équipes constituées sont entraînées ensemble lorsque l'activité l'impose (composition d'un équipage à destination de l'ISS) et à l'inverse sont composées pour une mission particulière si sa réalisation ne nécessite pas une formation partagée (composition d'un équipage d'un vol commercial). Afin d'intéresser l'ensemble des activités mettant en œuvre des équipes pouvant faire face à des situations inconnues, les recommandations proposées aux milieux opérationnels sont réparties en trois niveaux selon le degré de partage d'une formation appliquée à une équipe constituée. Tout d'abord, dans le cadre d'une activité opérationnelle réunissant des équipiers pour réaliser une mission *ad hoc*, les propositions d'évolutions de formations sont réduites à une formation théorique concernant la métacognition des équipes. Ensuite, si les moyens d'entraînement permettent de réunir en amont d'une mission réelle les futurs équipiers, une formation théorique sur la métacognition accompagnée d'expériences suscitant des interactions entre les équipiers est recommandée. Le partage d'expériences réduit à celles reconnues de plus haute qualité (*cf.* tableau 4) est ainsi accessible. Enfin, si une équipe constituée suit une formation propre à sa préparation à la réalisation d'une mission spécifique (*i.e.* la préparation d'une mission habitée vers Mars), le partage complet d'expériences diversifiées, incluant une formation théorique au sujet de la métacognition, est recommandé. Au-delà des sciences cognitives et de la netteté métacognitive, le partage d'expériences diversifiées et de qualité peut aussi développer des relations de confiance, sociales, etc., potentiellement utiles pour la performance et non mises en valeur par le codage retenu dans ce travail de recherche.

« Parce que les facteurs humains sont souvent une réflexion après-coup, les humains ont été modernisés comme des exigences des systèmes technologiques » (notre traduction, Kozlowski et Ilgen, 2006). Ainsi, les présentes recommandations concernant la préparation au traitement de situations inconnues ne s'inscrivent pas dans cette tendance de préparation des équipages. Au contraire, les conclusions et recommandations de ce travail de recherche soutiennent les compétences primordiales des équipes dans le cadre du traitement des situations inconnues.

L'analyse des résultats du codage issu du protocole LETUCA met en avant un usage des métaconnaissances et métacompétences et un suivi du modèle de métacognition similaires entre les équipes malgré des écarts de performance. Or, la métacognition est reconnue comme bénéfique à l'augmentation de la performance. Donc, la métacognition a probablement un lien avec la performance via une autre approche. Les résultats du protocole LETUCA correspondent à cette dynamique avec l'établissement d'un lien entre performance opérationnelle augmentée et stabilité métacognitive élevée, autrement dit une netteté supérieure. Compte tenu de ce lien unique mis en

avant par les résultats, forcer l'élévation de la netteté peut permettre ainsi un apport opérationnel davantage prononcé. De plus, l'intérêt opérationnel peut être développé en intégrant la gestion des situations inconnues dans les méthodes existantes de traitement de panne, il y a alors deux bénéfices. Premièrement, les utilisateurs sont sensibilisés à la survenance de l'inconnu dans le cadre de leur formation à l'usage de cette méthode de traitement de panne. Deuxièmement, en suivant la chronologie des étapes d'une méthode optimisée, les utilisateurs sont contraints d'exécuter une progression étape après étape, réduisant ainsi les mélanges de catégories. La netteté associée est donc augmentée. Deux exemples de méthodes actuelles pouvant être optimisées sont :

- 3ABDI employée dans l'Armée de l'air pour un usage en vol et
- STAR utilisée en vol spatial habité pour « réagir à un événement ou (...) débiter une tâche » (notre traduction, Noe et *al.*, 2011).

Cette préconisation s'adresse plus particulièrement aux organismes ne pouvant pas maintenir ou former ensemble des équipes du fait des particularités de l'activité en question, l'exemple direct est la réalisation des vols de l'aviation commerciale.

Ce travail s'inscrit dans une continuité d'études relatives à la métacognition et offre donc des perspectives de recherches afin de répondre aux questions et développements connexes et à la réduction des biais rencontrés dans le cadre de l'exécution du protocole LETUCA. Ces recherches potentielles se divisent en trois axes principaux : le développement de la base de données du protocole LETUCA, la diversification de son exploitation et de nouvelles perspectives d'étude de la métacognition.

Premièrement, de futures études peuvent employer directement les douze exercices LETUCA et les appliquer à de nouvelles équipes pendant une durée de vingt mois. Il est ainsi possible de composer des résultats de performance et métacognitifs statistiques pour une catégorie d'équipe déterminée par le niveau de partage d'expériences diversifiées et de qualité.

Deuxièmement, le protocole LETUCA et les données associées peuvent être étudiés avec d'autres objectifs. Compte tenu de l'établissement d'un lien entre la netteté métacognitive et la performance, un travail immédiat peut être consacré à l'étude d'un lien éventuel de causalité, directement exploitable dans les activités opérationnelles. L'étude de la métacognition a été considérée avec une approche macrométacognitive, le niveau micrométacognitif n'est donc pas pris en compte et peut néanmoins influencer la construction de chaque catégorie métacognitive complexe, donc le raisonnement métacognitif et finalement la performance opérationnelle. L'étude macrométacognitive a souligné la position moyenne remarquable de la planification lors des résolutions de problèmes, située entre la définition et l'identification d'un problème et la représentation mentale. Ce positionnement moyen ne concorde pas avec la littérature mais est néanmoins confirmé par les résultats du codage des résolutions de problèmes du protocole LETUCA. Ainsi, d'autres études peuvent aborder cette particularité de positionnement et déterminer la pertinence de la planification, régulièrement citée dans la littérature (comme Davidson et *al.*, 1994 et Özsoy et Ataman, 2009) mais paradoxalement peu employée par les équipes dans le cadre du protocole LETUCA.

Troisièmement, aucun lien entre performance opérationnelle et suivi du modèle de métacognition en résolution de problème n'a été mis en avant. En effet, il n'existe pas de différence significative entre les suivis du modèle de métacognition par les trois équipes lors du protocole LETUCA malgré les différences significatives entre les performances. Bien qu'un lien ait été établi entre netteté

métacognitive et performance, d'autres liens peuvent exister et expliquer ces écarts de performance. La métacognition est reconnue comme facteur potentiel d'amélioration de la performance (Geiwitz, 1994). Or, les interventions métacognitives peuvent être utiles, inutiles ou avoir des degrés d'utilité variable à une résolution de problème. Par conséquent, l'utilité d'une intervention métacognitive peut causer une variation de la performance. Compte tenu de l'intérêt reconnu de la métacognition sur la performance en résolution de problème, les potentialités de la qualité métacognitive sont directement liées avec l'amélioration de la performance individuelle et collective. Ainsi, l'étude de la qualité métacognitive est un nouvel axe d'étude de la métacognition.

## BIBLIOGRAPHIE

- AAIPC. (2008). *Final Report* (No. A-00X/CENIPA/2008) (p. 282). Command of Aeronautics General Staff of the Aeronautics. Consulté à l'adresse [https://reports.aviation-safety.net/2006/20060929-0\\_B738\\_PR-GTD.pdf](https://reports.aviation-safety.net/2006/20060929-0_B738_PR-GTD.pdf)
- Académie de l'Air et de l'Espace. (2013). *Le traitement de situations imprévues en vol* (Vol. 37).
- Airbus. (2017a). *Flight Crew Operating Manual A330/A340*.
- Airbus. (2017b). *Flight Crew Techniques Manual A330/A340*.
- Akturk, A. O., & Sahin, I. (2011). Literature Review on Metacognition and its Measurement. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 3731–3736. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.364>
- Alliger, G. M., Cerasoli, C. P., Tannenbaum, S. I., & Vessey, W. B. (2015). Team resilience: How teams flourish under pressure. *Organizational Dynamics*, 44(3), 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.orgdyn.2015.05.003>
- Anderson, D., Nashon, S. M., & Thomas, G. P. (2009). Evolution of Research Methods for Probing and Understanding Metacognition. *Research in Science Education*, 39(2), 181–195. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9078-1>
- Anzieu, D., & Martin, J. Y. (1968). *La dynamique des groupes restreints* (2nd ed). Paris: PUF.
- Artz, A. F., & Armour-Thomas, E. (1992). Development of a Cognitive-Metacognitive Framework for Protocol Analysis of Mathematical Problem Solving in Small Groups. *Cognition and Instruction*, 9(2), 137–175. [https://doi.org/10.1207/s1532690xci0902\\_3](https://doi.org/10.1207/s1532690xci0902_3)
- Azevedo, R., Moos, D. C., Johnson, A. M., & Chauncey, A. D. (2010). Measuring Cognitive and Metacognitive Regulatory Processes During Hypermedia Learning: Issues and Challenges. *Educational Psychologist*, 45(4), 210–223. <https://doi.org/10.1080/00461520.2010.515934>
- Baiwir, J., & Delhez, R. (2004). Des exercices structurés en dynamique des groupes : Comment ? *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale*, Numéro 64(4), 63–68.
- Baker, D. P., Gustafson, S., Beaubien, J. M., Salas, E., & Barach, P. (2005). Medical Team Training Programs in Health Care. In *Advances in Patient Safety: from Research to Implementation* (Programs, tools and concepts, Vol. 4, p. 253-267). Rockville: AHRQ Publication. Consulté à l'adresse [http://europepmc.org/books/NBK20580/pdf/Bookshelf\\_NBK20580.pdf](http://europepmc.org/books/NBK20580/pdf/Bookshelf_NBK20580.pdf)
- Barnett, S. M., & Koslowski, B. (2002). Adaptive expertise: Effects of type of experience and the level of theoretical understanding it generates. *Thinking & Reasoning*, 8(4), 237–267. <https://doi.org/10.1080/13546780244000088>
- Baroncini, I. (2012). *SoyuzSim* [Apple store]. anglais.
- Barshi, I., & Dempsey, D. (2016). *Risk of Performance Errors Due to Training Deficiencies* (Technical Report No. JSC-CN-35755) (p. 35). National Aeronautics and Space Administration Lyndon B. Johnson Space Center Houston, Texas: NASA. Consulté à l'adresse <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20160003868>
- Bayley, J. E., Wallace, L. M., Spurgeon, P., Barwell, F., & Mazelan, P. (2007). Teamworking in healthcare: longitudinal evaluation of a teambuilding intervention. *Learning in Health and Social Care*, 6(4), 187-201. <https://doi.org/10.1111/j.1473-6861.2007.00164.x>
- BEA. (2011). *Pannes multiples liées à une anomalie électrique-rapport*. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses. Consulté à l'adresse <https://www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2010/f-gh100119/pdf/f-gh100119.pdf>

- BEA. (2012). *Rapport final AF447* (p. 229). Paris: Bureau enquête accident. Consulté à l'adresse <https://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601/pdf/f-cp090601.pdf>
- BEA-É. (2012a). *Rapport d'enquête C160 Transall NG* (No. BEAD-air-A-2012-006-I) (p. 47). Armée de l'air. Consulté à l'adresse <https://www.defense.gouv.fr/content/download/395747/5929598/T%C3%A9l%C3%A9charger%20le%20rapport%20public%20BEAD-air-A-2012-006-I.pdf>
- BEA-É. (2012b). *Rapport d'enquête de sécurité C130H30* (No. BEAD-air-A-2012-010-I) (p. 40). Armée de l'air. Consulté à l'adresse <https://www.defense.gouv.fr/content/download/395981/5935076/T%C3%A9l%C3%A9charger%20le%20rapport%20public%20BEAD-air-A-2012-010-I-2.pdf>
- BEA-É. (2012c). *Rapport d'enquête WG13 LYNX MK4* (No. BEAD-air-A-2012-017-I) (p. 38). Armée de l'air. Consulté à l'adresse <https://www.defense.gouv.fr/content/download/395983/5935094/T%C3%A9l%C3%A9charger%20le%20rapport%20public%20BEAD-air-A-2012-017-I.pdf>
- BEA-É. (2005a). *Rapport Public d'Enquête technique Mirage 2000D* (No. BEAD-A-2004-001-A) (p. 94). Armée de l'air. Consulté à l'adresse <https://www.defense.gouv.fr/portail/ministere/organisation-du-ministere-des-armees/organisation-du-ministere-des-armees/organismes-dependant-du-ministre/les-bead/bea-e/2004/rapports-2004/a-2004-001-a>
- BEA-É. (2005b). *Rapport Public d'Enquête technique Mirage 2000D* (No. BEAD-A-2004-020-A) (p. 40). Armée de l'air. Consulté à l'adresse <https://www.defense.gouv.fr/english/portail-defense/ministry/organisation/organisation-du-ministere-des-armees/organismes-dependant-du-ministre/les-bead/bea-e/2004/rapports-2004/a-2004-020-a>
- Beaubien, J. M., & Baker, D. P. (2004). The use of simulation for training teamwork skills in health care: how low can you go? *BMJ Quality & Safety*, 13(suppl 1), 51-56. <https://doi.org/10.1136/qshc.2004.009845>
- Belan, G. (2015, mai 29). Pourquoi l'armée française veut des C-130. Consulté 29 janvier 2019, à l'adresse <http://www.air-cosmos.com/pourquoi-l-armee-francaise-veut-des-c-130-35954>
- Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4), B-141. <https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141>
- Biryukov, P. (2004). Metacognitive Aspects of Solving Combinatorics Problems. *International Journal in Education Mathematics*, (74), 19.
- Blanchard, P. (2015). *modélisation de la contribution du design industriel au processus de conception de produits ou services innovants dans un environnement contraint* (phdthesis). Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM. Consulté à l'adresse <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01180081/document>
- Boterf, G. L. (1998). Evaluer les compétences. Quels jugements ? Quels critères ? Quelles instances ? *Education permanente*, (135), 143–152.
- Bouffard-Bouchard, T., & Pinard, A. (1988). Sentiment D'auto-Efficacité et Exercice Des Processus D'autorégulation Chez Des Étudiants de Niveau Collégial. *International Journal of Psychology*, 23(1-6), 409-431. <https://doi.org/10.1080/00207598808247776>
- Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., & Sève, C. (2008). Caractérisation des modes de coordination interpersonnelle au sein d'une équipe de basket-ball. *Activités, Association Recherches et Pratiques sur les activités*, 5(1), 21–39.

- Bourgy, M. (2012). *L'adaptation cognitive et l'improvisation dans les environnements dynamiques : pour une intégration de l'expérience sensible dans les modèles de l'activité experte* (thèse). Paris 8. Consulté à l'adresse <http://www.theses.fr/2012PA084127>
- Bouty, I., Drucker-Godard, C., Godé-Sanchez, C., Lièvre, P., Nizet, J., & Pichault, F. (2011). Les pratiques de coordination en situation extrême. *Revue Management et Avenir [= RMA]*, 41. Consulté à l'adresse <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/120833/1/cahier%20situation%20extreme.pdf>
- Brannick, M. T., Salas, E., & Prince, C. W. (1997). *Team Performance Assessment and Measurement: Theory, Methods, and Applications*. Psychology Press.
- Bransford, J., & Stein, B. S. (1984). *The ideal problem solver : a guide for improving thinking, learning, and creativity*. New York, NY: W.H. Freeman. Consulté à l'adresse <http://archive.org/details/idealproblemsolv00bran>
- Breuker, J. (1994). Components of problem solving and types of problems. In L. Steels, G. Schreiber, & W. Van de Velde (Eds.), *A Future for Knowledge Acquisition* (pp. 118–136). Springer Berlin Heidelberg.
- Brown, A. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation and other more mysterious mechanisms. In *Metacognition, motivation, and understanding* (pp. 65–116). Lawrence Erlbaum.
- Burian, B. K., Barshi, I., & Dismukes, K. (2005). *The Challenge of Aviation Emergency and Abnormal Situations* (No. NASA/TM—2005–213462) (p. 21). Ames Research Center Moffett Field, California: National Aeronautics and Space Administration. Consulté à l'adresse <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20060023295.pdf>
- Burke, C. S., Salas, E., Wilson-Donnelly, K., & Priest, H. (2004). How to turn a team of experts into an expert medical team: guidance from the aviation and military communities. *Quality and Safety in Health Care*, 13(suppl 1), i96-i104. <https://doi.org/10.1136/qshc.2004.009829>
- Butler, D. L., & Winne, P. H. (1995). Feedback and Self-Regulated Learning: A Theoretical Synthesis. *Review of Educational Research*, 65(3), 245–281. <https://doi.org/10.3102/00346543065003245>
- Cannon-Bowers, J. A., & Salas, E. (1998). Team Performance and Training in Complex Environments: Recent Findings From Applied Research. *Current Directions in Psychological Science*, 7(3), 83–87. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10773005>
- Cannon-Bowers, J. A., & Salas, E. (2001). Reflections on Shared Cognition. *Journal of Organizational Behavior*, 22(2), 195–202.
- Cannon-Bowers, J. A., Salas, E., & Converse, S. (1993). Shared mental models in expert team decision making. In *Individual and group decision making: Current issues* (p. 221-246). Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Cannon-Bowers, J., & Bowers, C. (2010). Synthetic learning environments: On developing a science of simulation, games, and virtual worlds for training. In *Learning, training, and development in organizations* (pp. 229–261). New York, NY, US: Routledge/Taylor & Francis Group.
- Canon-Bowers, J. A., & Bell, H. H. (1997). *Training Decision Makers for Complex Environments: Implications of the Naturalistic Decision Making Perspective*. Consulté à l'adresse <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a483721.pdf>
- Carlson, M. P., & Bloom, I. (2005). The Cyclic Nature of Problem Solving: An Emergent Multidimensional Problem-Solving Framework. *Educational Studies in Mathematics*, 58(1), 45–75. <https://doi.org/10.1007/s10649-005-0808-x>

- Caroly, S. (2010). *Activité collective et réélaboration des règles : des enjeux pour la santé au travail* (HDR). Université Victor Segalen Bordeaux 2, Bordeaux. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00464801v2/document>
- Caron-Fasan, M.-L. (2001). Une méthode de gestion de l'attention aux signaux faibles. Université Pierre Mendès France. Consulté à l'adresse <http://www.veille-strategique.org/docs/2001-sim-caron.pdf>
- Chanel Balas, A. (1998). *La prise de conscience de sa manière d'apprendre. de la métacognition implicite à la métacognition explicite*. UNIVERSITE GRENOBLE II - PIERRE MENDES-FRANCE. Consulté à l'adresse <http://www.diffusiontheses.fr/28022-these-de-chanel-balas-armelle.html>
- Chauvin, C. (2003). *Gestion des risques lors de la prise de décision en situation d'interaction dynamique : approches systémique et cognitive* (p. 56). Lorient: Université de Bretagne Sud. Consulté à l'adresse [http://sfpsy.org/spe-grape/Actes-Epique-2003/EPIQUE2003Actes\(2\)-3.pdf](http://sfpsy.org/spe-grape/Actes-Epique-2003/EPIQUE2003Actes(2)-3.pdf)
- Chauvin, C., Clostermann, J.-P., & Hoc, J.-M. (2009). Impact of training programs on decision-making and situation awareness of trainee watch officers. *Safety Science*, 47(9), 1222–1231. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.03.008>
- Connolly, Joosten, K., Drake, B., Hoffman, S., Polsgrove, T., Rucker, M., ... Williams, N. (2017). Human Mars Mission Design - The Ultimate Systems Challenge (p. 13). Présenté à 68th International Astronautical Congress, Adelaide, Australia. Consulté à l'adresse <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170008879>
- Cooke, N. J., Gorman, J. C., Duran, J. L., & Taylor, A. R. (2007). Team Cognition in Experienced Command-and-Control Teams. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(3), 146–157.
- Cooke, N. J., Gorman, J. C., & Rowe, L. J. (2004). An ecological perspective on team cognition. In *Team effectiveness in complex organizations: Cross-disciplinary perspectives and approaches* (pp. 157–182). New York, NY, US: Routledge/Taylor & Francis Group.
- Cooke, N. J., Salas, E., Cannon-Bowers, J. A., & Stout, R. J. (2000). Measuring Team Knowledge. *Human Factors*, 42(1), 151-173. <https://doi.org/10.1518/001872000779656561>
- Cooke, N. J., Salas, E., Kiekel, P. A., & Bell, B. (2004). Advances in measuring team cognition. In *Team cognition: Understanding the factors that drive process and performance* (pp. 83–106). Washington, DC, US: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10690-005>
- Cordier, A., & Fuchs, B. (2006). Apprendre à mieux adapter en raisonnement à partir de cas. In B. Morello (Éd.), *14ème Atelier de Raisonnement à Partir de Cas* (p. 27-37). Besançon, France, France. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01583933>
- Coulet, J.-C. (2016). Les notions de compétence et de compétences clés : l'éclairage d'un modèle théorique fondé sur l'analyse de l'activité. *Activités*, 13(1), 1–33. <https://doi.org/10.4000/activites.2745>
- Csapó, B., & Funke, J. (2017). The Nature of Problem Solving: Using Research to Inspire 21st Century Learning. *OECD Publishing*. <https://doi.org/anglais>
- Davidson, J. E., Deuser, R., & Sternberg, R. J. (1994). The Role of Metacognition in Problem Solving. *Metcalfe & A. P. Shimamura (Eds.), Metacognition: Knowing about knowing*, 207–226.
- Dawson, T. (2008, août 23). Metacognition and learning in adulthood. Developmental Testing Servic. Consulté à l'adresse <https://dts.lectica.org/PDF/Metacognition.pdf>
- De Grave, W. S., Boshuizen, H. P. A., & Schmidt, H. G. (1996). Problem based learning: Cognitive and metacognitive processes during problem analysis. *Instructional Science*, 24(5), 321–341. <https://doi.org/10.1007/BF00118111>

- de Spinoza, B. (1662). *The Chief Works of Benedict de Spinoza* (Vol. 2). Consulté à l'adresse [http://lfs3.amazonaws.com/titles/1711/Spinoza\\_1321.02\\_EBk\\_v6.0.pdf](http://lfs3.amazonaws.com/titles/1711/Spinoza_1321.02_EBk_v6.0.pdf)
- Debanne, T. (2013). *Prise de décisions de cadres confrontés à un environnement dynamique, coopératif et compétitif. Une approche en ergonomie cognitive : application à l'entraînement professionnel de handball de match*. Paris Sud. Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01016692/document>
- Drake, B. G., & Watts, K. D. (2014, March). Human Exploration of Mars Design Reference Architecture 5.0 Addendum #2. NASA Johnson Space Center.
- Dubois, E., Blättler, C., Camachon, C., & Hurter, C. (2015). Eye Movements Data Processing for Ab Initio Military Pilot Training. In *Intelligent Decision Technologies* (Vol. 39, pp. 125–135). Springer. <https://doi.org/78-3-319-19856-9>
- Duncker, K. (1945). On problem-solving. *Psychological Monographs*, 58(5), i–113. <https://doi.org/10.1037/h0093599>
- Dunlosky, J., & Mueller, M. L. (2016). Recommendations for exploring the disfluency hypothesis for establishing whether perceptually degrading materials impacts performance. *Metacognition and Learning*, 11(1), 123–131. <https://doi.org/10.1007/s11409-016-9155-9>
- EASA. (2012a). *Airplane Flight Manual – Blocked Angle of Attack Sensor – Operational Procedure* (No. 2012-0264-E). EASA. Consulté à l'adresse [https://ad.easa.europa.eu/blob/easa\\_ad\\_2012\\_0264\\_E\\_superseded.pdf/EAD\\_2012-0264-E\\_2](https://ad.easa.europa.eu/blob/easa_ad_2012_0264_E_superseded.pdf/EAD_2012-0264-E_2)
- EASA. (2012b). *Angle of Attack (AoA) Sensors – Replacement* (AIRWORTHINESS DIRECTIVE No. 2012-0236R1) (p. 3). EASA. Consulté à l'adresse [http://ad.easa.europa.eu/blob/easa\\_ad\\_2012\\_0236\\_R1.pdf/AD\\_2012-0236R1\\_1](http://ad.easa.europa.eu/blob/easa_ad_2012_0236_R1.pdf/AD_2012-0236R1_1)
- EASA. (2012c). *Navigation – Angle Of Attack Probe – Operational Procedure* (No. 2012-0258-E) (p. 2). EASA. Consulté à l'adresse [https://ad.easa.europa.eu/blob/easa\\_ad\\_2012\\_0258\\_E\\_superseded.pdf/EAD\\_2012-0258-E\\_1](https://ad.easa.europa.eu/blob/easa_ad_2012_0258_E_superseded.pdf/EAD_2012-0258-E_1)
- École de l'air. (2017). *Règlement des études 2017-2018* (No. 872/EA/GI) (p. 37). Armée de l'air.
- Edmondson, A. (1999). Psychological Safety and Learning Behavior in Work Teams. *Administrative Science Quarterly*, 44(2), 350–383. <https://doi.org/10.2307/2666999>
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 32–64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- Enigme Facile : des milliers d'énigmes à résoudre. (s. d.). Consulté 28 décembre 2017, à l'adresse <http://www.enigme-facile.fr/>
- Escher, M. C. (1953). *Relativity* [Lithograph]. Consulté à l'adresse <http://www.mcescher.com/gallery/back-in-holland/relativity/>
- Escher, M. C. (1961). *Waterfall* [Lithograph]. Consulté à l'adresse <http://www.mcescher.com/gallery/recognition-success/waterfall/>
- Escorcía, D. (2007). *Composantes métacognitives et performance à l'écrit : une approche sociocognitive du travail étudiant*. Paris X, Nanterre. Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00170924/document>
- Falissard, B. (2018, octobre 21). Tests statistiques : l'approche de Neyman et Pearson. Consulté 9 novembre 2018, à l'adresse <https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:UPSUD+42001+session10/courseware/4ed8e0d7960244a69b0c83e58c03cc15/ceae20b723284d02ae753a699fa03a0e/>
- Falzon, P. (1991). Les activités verbales dans le travail. In R. Amalberti, D. De Montmollin, & J. Theureau, *Modèles en analyse du travail* (pp. 229–252). Bruxelles: Mardaga.

- Fiore, S. M., Rosen, M. A., Smith-Jentsch, K. A., Salas, E., Letsky, M., & Warner, N. (April 1, 2010a). Toward an Understanding of Macrocognition in Teams: Predicting Processes in Complex Collaborative Contexts. *Human Factors*, 52(2), 203–224. <https://doi.org/10.1177/0018720810369807>
- Fiore, S. M., Smith-Jentsch, K. A., Salas, E., Warner, N., & Letsky, M. (July 1, 2010b). Towards an understanding of macrocognition in teams: developing and defining complex collaborative processes and products. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 11(4), 250–271. <https://doi.org/10.1080/14639221003729128>
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906–911. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
- Flavell, J. H., Speer, J. R., Green, F. L., August, D. L., & Whitehurst, G. J. (1981). The Development of Comprehension Monitoring and Knowledge about Communication. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 46(5), 1–65. <https://doi.org/10.2307/1165875>
- Fleming, S. M., & Lau, H. C. (2014). How to measure metacognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00443>
- Flin, R. H., Martin, L., Goeters, K.-M., Hormann, H. J., Amalberti, R., Valot, C., & Nijhuis, H. (2003). Development of the NOTECHS (non-technical skills) system for assessing pilots' CRM skills. *Human factors and aerospace safety*, 3(2), 97–119.
- Flin, R., & Maran, N. (2015). Basic concepts for crew resource management and non-technical skills. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 29(1), 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2015.02.002>
- Fornette, M.-P., Bardel, M.-H., Lefrançois, C., Fradin, J., Massioui, F. E., & Amalberti, R. (2012). Cognitive-Adaptation Training for Improving Performance and Stress Management of Air Force Pilots. *The International Journal of Aviation Psychology*, 22(3), 203–223. <https://doi.org/10.1080/10508414.2012.689208>
- Frappé, P. (2011). *Initiation à la recherche*. Neuilly-sur-Seine; Paris: Global Média Santé.
- Freeman, J. T., & Cohen, M. S. (1994). *Training Metacognitive Skills for Situation Assessment* (p. 15). Cognitive Technologies Inc. Consulté à l'adresse <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA526703>
- Frenkel, S. (2014). Composantes métacognitives ; Définitions et outils d'évaluation. *Enfance: Psychologie, Pédagogie, Neuropsychiatrie, Sociologie*, 4, 427–457. <https://doi.org/10.4074/S0013754514004029>
- Garderes, R. (2015). *Glossaire interarmées de terminologie opérationnelle*. Centre interarmées de concepts, de doctrine et d'expérimentations.
- Geiwitz, J. (1994). *Training Metacognitive Skills for Problem Solving*. (No. ASC-TR-051-3). United States Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. Consulté à l'adresse <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA290310>
- Georghiadis, P. (2004). From the general to the situated: three decades of metacognition. *International Journal of Science Education*, 26(3), 365–383. <https://doi.org/10.1080/0950069032000119401>
- Gick, M. L. (1986). Problem-Solving Strategies. *Educational Psychologist*, 21(1–2), 99–120. <https://doi.org/10.1080/00461520.1986.9653026>
- Glogger, I., Schwonke, R., Holzäpfel, L., Nückles, M., & Renkl, A. (2012). Learning strategies assessed by journal writing: Prediction of learning outcomes by quantity, quality, and combinations of

- learning strategies. *Journal of Educational Psychology*, 104(2), 452–468.  
<https://doi.org/10.1037/a0026683>
- Godé, C. (2013). *Se coordonner en situation extrême, pratiques et usages technologiques dans la fabrique de la coordination intra organisationnelle* (HDR). Université Jean Moulin Lyon III. Consulté à l'adresse [https://www.researchgate.net/profile/Cecile\\_Gode/publication/268188776\\_SE\\_COORDONNER\\_EN\\_SITUATION\\_EXTREME\\_PRACTIQUES\\_ET\\_USAGES\\_TECHNOLOGIQUES\\_DANS\\_LA\\_FABRIQUE\\_DE\\_LA\\_COORDINATION\\_INTRA-ORGANISATIONNELLE\\_MEMOIRE\\_Soutenu\\_publicument\\_l'Universit\\_Jean\\_Moulin\\_Lyon\\_III\\_par/links/54635b070cf2c0c6aec43cbd.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cecile_Gode/publication/268188776_SE_COORDONNER_EN_SITUATION_EXTREME_PRACTIQUES_ET_USAGES_TECHNOLOGIQUES_DANS_LA_FABRIQUE_DE_LA_COORDINATION_INTRA-ORGANISATIONNELLE_MEMOIRE_Soutenu_publicument_l'Universit_Jean_Moulin_Lyon_III_par/links/54635b070cf2c0c6aec43cbd.pdf)
- Godé-Sanchez, C. (2008). Les pratiques de coordination en environnement volatile : le cas des forces aériennes françaises en situation opérationnelle (p. 1-29). Présenté à XVII<sup>e</sup> conférence internationale de management stratégique, Sophia-Antipolis, France: Centre de Recherche de l'Armée de l'Air (CREA). Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00293535/document>
- Goos, M., Galbraith, P., & Renshaw, P. (2000). A money problem: A source of insight into problem solving action. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*, April 13, 1–21.
- Gorman, J. C., Cooke, N. J., & Amazeen, P. G. (2010). Training Adaptive Teams. *Human Factors*, 52(2), 295–307. <https://doi.org/10.1177/0018720810371689>
- Gourinat, Y., Apel, U., & Delbart, F. (2010). The AEROCREW mission: Training space session at Ny Ålesund Arctic Base. *Acta Astronautica*, 66(1), 74-77. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.05.017>
- Gurtner, A., Tschan, F., Semmer, N. K., & Nägele, C. (2007). Getting groups to develop good strategies: Effects of reflexivity interventions on team process, team performance, and shared mental models. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 102(2), 127–142. <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2006.05.002>
- Hall, J., & Watson, W. H. (1970). The Effects of a Normative Intervention on Group Decision-Making Performance. *Human Relations*, 23(4), 299–317. <https://doi.org/10.1177/001872677002300404>
- Hamman, W. R. (2004). The complexity of team training: what we have learned from aviation and its applications to medicine. *BMJ Quality & Safety*, 13(suppl 1), i72–i79. <https://doi.org/10.1136/qshc.2004.009910>
- He, J., Butler, B. S., & King, W. R. (2007). Team Cognition: Development and Evolution in Software Project Teams. *Journal of Management Information Systems*, 24(2), 261–292. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240210>
- Hedlund, E., & Österberg, J. (2013). Team Training, Team Learning, Leadership and Psychology Safety : A Study of Team Training and Team Learning Behavior during a Swedish Military Staff Exercise. *Sociology Mind*, 3(1), 89–98.
- Hepher, T. (2015, juin 10). Enquête sur des données effacées accidentellement de l'A400M. Consulté 23 décembre 2018, à l'adresse <https://fr.reuters.com/article/businessNews/idFRKBN0OQOF520150610>
- Hepher, T. (2017, novembre 8). Airbus knew of software vulnerability before A400M crash. Consulté 23 décembre 2018, à l'adresse <https://www.reuters.com/article/us-airbus-a400m-idUSKBN1D819P>

- Hepher, T., & Altmeyer, C. (2015, juin 3). UPDATE 1-Airbus says three engines froze on crashed A400M. Consulté 23 décembre 2018, à l'adresse <https://www.reuters.com/article/airbus-a400m-idUSL5N0YP1XG20150603>
- Hoegl, M., & Gemuenden, H. G. (2001). Teamwork quality and the success of innovative projects: A theoretical concept and empirical evidence. *Organization Science*, 12(4), 435–449. <https://doi.org/10.1287/orsc.12.4.435.10635>
- Hoffman, S. J., & Kaplan, D. I. (1997). *Human Exploration of Mars: The Reference Mission of the NASA Mars Exploration Study Team* (No. NASA Special Publication 6107) (p. 237). Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas: NASA. Consulté à l'adresse <https://space.nss.org/media/1997-NASA-Human-Exploration-Of-Mars-Reference-Mission.pdf>
- Horneck, G., Facius, R., Reichert, M., Rettberg, P., Seboldt, W., Manzey, D., ... Gerzer, R. (2003). *HUMEX A Study on the Survivability and Adaptation of Humans to Long-Duration Exploratory Missions* (p. 405). ESA Publications Division. Consulté à l'adresse <http://emits.sso.esa.int/emits-doc/RD1-AO-1-5173.pdf>
- Huckman, R. S., Staats, B. R., & Upton, D. M. (2008). Team Familiarity, Role Experience, and Performance: Evidence from Indian Software Services. *Management Science*, 55(1), 85–100. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1080.0921>
- Hutchins, S. G., & Kendall, T. (2010). *Analysis of Team Communications to Understand Cognitive Processes used During Team Collaboration*. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA GRADUATE SCHOOL OF OPERATIONAL AND INFORMATION SCIENCES. Consulté à l'adresse <https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA525252>
- Iiskala, T. (2015). Socially shared metacognitive regulation during collaborative learning processes in student dyads and small groups. Consulté à l'adresse <http://www.utupub.fi/handle/10024/113800>
- Iiskala, T., Vauras, M., & Lehtinen, E. (2004). Socially-shared metacognition in peer learning? *Hellenic Journal of Psychology*, 1(2), 147–178.
- ISS Utilisation Department of the ESA. (2011, février). Mars500 Isolation Study.
- Jacobse, A. E., & Harskamp, E. G. (2012). Towards efficient measurement of metacognition in mathematical problem solving. *Metacognition and Learning*, 7(2), 133–149. <https://doi.org/10.1007/s11409-012-9088-x>
- Jonassen, D. H. (1997). Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 45(1), 65–94. <https://doi.org/10.1007/BF02299613>
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63–85. <https://doi.org/10.1007/BF02300500>
- Jones, K. J., Skinner, A. M., High, R., & Reiter-Palmon, R. (2013). A theory-driven, longitudinal evaluation of the impact of team training on safety culture in 24 hospitals. *BMJ Quality and Safety*, 22(5), 394–404. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2012-000939>
- Katzenbach, J. R., & Smith, D. K. (1993). *The Wisdom of Teams: Creating the High-performance Organization*. Harvard Business School Press.
- Kechap Free Games Limited. (s. d.). Stay away from the line (Version iPad). Kechap Free Games Limited.
- Klein, C., DiazGranados, D., Salas, E., Le, H., Burke, C. S., Lyons, R., & Goodwin, G. F. (2009). Does Team Building Work? *Small Group Research*, 40(2), 181–222. <https://doi.org/10.1177/1046496408328821>

- Klein, G. (1993). Sources of Error in Naturalistic Decision Making Tasks. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 37(4), 368–371. <https://doi.org/10.1177/154193129303700424>
- Koeppen, K., Hartig, J., Klieme, E., & Leutner, D. (2008). Current Issues in Competence Modeling and Assessment. *Zeitschrift Für Psychologie / Journal of Psychology*, 216(2), 61–73. <https://doi.org/10.1027/0044-3409.216.2.61>
- Kolb, D. A. (2014). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development* (2<sup>e</sup> éd.). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson FT Press.
- Kozlowski, S. W. J., & Ilgen, D. R. (2006). Enhancing the Effectiveness of Work Groups and Teams. *Psychological Science in the Public Interest*, 7(3), 77–124. <https://doi.org/10.1111/j.1529-1006.2006.00030.x>
- L Haridon, D., Chaudron, L., Marchand, A.-L., & Gourinat, Y. (2017). Teams Coping with Unknown Failures in Aerospace and Operational Environments. *Aeronautics and Aerospace Open Access Journal*, 1(4), 1–2. <https://doi.org/10.15406/aaaj.2017.1.00018>
- Lamm, A. J., Shoulders, C., Roberts, T. G., Irani, T. A., Snyder, L. J. U., & Brendemuhl, J. (2012). The Influence of Cognitive Diversity on Group Problem Solving Strategy. *Journal of Agricultural Education*, 53(1), 18–30. <https://doi.org/10.5032/jae.2012.01018>
- Landon, L. B., & O’Keefe, W. S. (2018). Team training is a go: team training for future space flight. In *Building Intelligent Tutoring Systems for Teams* (Vol. 19, p. 279-298). Emerald Publishing Limited. Consulté à l’adresse <https://sci-hub.tw/10.1108/S1534-085620180000019015>
- Landon, L. B., Rokholt, C., Slack, K. J., & Pecena, Y. (2016). *Selecting Astronauts for Long-Duration Exploration Missions: A Retrospective Review and Considerations for Team Performance and Functioning* (No. NASA/TM-2016-219283) (p. 68). Johnson Space Center Houston, Texas: NASA. Consulté à l’adresse <https://ston.jsc.nasa.gov/collections/TRS/techrep/TM-2016-219283.pdf>
- Landon, L. B., Slack, K. J., & Barrett, J. D. (2018). Teamwork and collaboration in long-duration space missions: Going to extremes. *The American Psychologist*, 73(4), 563–575. <https://doi.org/10.1037/amp0000260>
- Le Conte, Y., & Arnold, G. (1988). Étude du thermopréférendum de *Varroa jacobsoni* Oud. *Apidologie*, 19(2), 155-164.
- Leavitt, H. J., & Mueller, R. A. H. (1951). Some Effects of Feedback on Communication. *Human Relations*, 4(4), 401–410. <https://doi.org/10.1177/001872675100400406>
- Lesgold, A. (1988). Problem solving. In R. J. Sternberg, *The Psychology of Human Thought* (p. 188-213). CUP Archive.
- Letsky, M., Warner, N., Fiore, S. M., Rosen, M. A., & Salas, E. (2007). Macrocognition in Complex Team Problem Solving (p. 36). Présenté à Twelfth International Command and Control Research and Technology Symposium (12th ICCRTS), Newport,. Consulté à l’adresse [https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKewIqIXZzM DMAhWhAcAKHUSTBl4QFggnMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.dtic.mil%2Fcgi-bin%2FGetTRDoc%3FAD%3DADA481422&usq=AFQjCNGRVIuonJepiO215D938wpFydMiBg&sig=2=0xV9LcM\\_kfc3-qV8Qyl4iA&cad=rja](https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKewIqIXZzM DMAhWhAcAKHUSTBl4QFggnMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.dtic.mil%2Fcgi-bin%2FGetTRDoc%3FAD%3DADA481422&usq=AFQjCNGRVIuonJepiO215D938wpFydMiBg&sig=2=0xV9LcM_kfc3-qV8Qyl4iA&cad=rja)
- Lia Schlact, I., & Ono, A. (2009). Creative process to improve astronaut reliability (p. 10). Présenté à International Astronautical Congress, Daejeon Korea. Consulté à l’adresse <http://www.extreme-design.eu/doc/2009-IAC-Creativity.pdf>

- Lièvre, P., & Rix-Lièvre, G. (2005). Organisation apprenante : le cas « ex employé » des expéditions polaires ? (p. 18). Présenté à Intelligence de la complexité, Université Blaise-Pascal. Consulté à l'adresse <http://archive.mcxapc.org/docs/cerisy/a1-3.pdf>
- Lovell, J. (s.d.). Houston, We've had a problem. Consulté 25 février 2016, à l'adresse <http://history.nasa.gov/SP-350/ch-13-1.html>
- Marchand, A. L. (2009). *Usage des récits expérientiels et des savoirs épisodiques dans l'apprentissage de la gestion des risques* (Érgonomie). Conservatoire National des Arts et Métiers. Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00453455/document>
- Mariné, C., & Huet, N. (1998). Techniques d'évaluation de la métacognition. Les mesures indépendantes de l'exécution de tâches. II Les mesures dépendantes de l'exécution de tâches. *L'année psychologique*, 98(4), 711–742. <https://doi.org/10.3406/psy.1998.28566>
- Marks, M. (2006). The Science of Team Effectiveness. *Psychological Science in the Public Interest*, 7(3), 1–1. <https://doi.org/10.1111/j.1529-1006.2006.00029.x>
- Marks, M. A., Mathieu, J. E., & Zaccaro, S. J. (2001). A Temporally Based Framework and Taxonomy of Team Processes. *Academy of Management Review*, 26(3), 356–376. <https://doi.org/10.5465/amr.2001.4845785>
- Mathieu, J. E., Heffner, T. S., Goodwin, G. F., Salas, E., & Cannon-Bowers, J. A. (2000). The influence of shared mental models on team process and performance. *Journal of Applied Psychology*, 85(2), 273–283. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.85.2.273>
- Maynard, M. T., & Kennedy, D. M. (2016). *Team Adaptation and Resilience: What Do We Know and What Can Be Applied to Long-Duration Isolated, Confined, and Extreme Contexts* (No. NASA/TM-2016-218597) (p. 100). Johnson Space Center Houston, Texas: NASA. Consulté à l'adresse <https://ston.jsc.nasa.gov/collections/trs/techrep/TM-2016-218597.pdf>
- McCarthy, A., & Garavan, T. N. (2008). Team Learning and Metacognition: A Neglected Area of HRD Research and Practice. *Advances in Developing Human Resources*, 10(4), 509–524. <https://doi.org/10.1177/1523422308320496>
- McLennan, J., Holgate, A., Omodei, M. M., & Wearing, A. J. (2006). Decision making effectiveness in wildfire incident management teams. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 14(1), 27–37. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5973.2006.00478.x>
- Mercantini, J.-M. (2015). Introduction. In J.-M. Mercantini & C. Faucher, *Risk and Cognition*. Springer.
- Michaux, V. (2005). Performance collective et compétences individuelle, collective et organisationnelle : construction d'une grille d'analyse unifiée (p. 26). Présenté à 16ème Conférence de l'AGRH, Paris Dauphine. Consulté à l'adresse <https://www.agrh.fr/assets/actes/2005michaux0101.pdf>
- Montague, M. (1992). The Effects of Cognitive and Metacognitive Strategy Instruction on the Mathematical Problem Solving of Middle School Students with Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 25(4), 230–248. <https://doi.org/10.1177/002221949202500404>
- NASA. (2013). *International Space Station (ISS) EVA Suit Water Intrusion* (N° S-2013-199-00005; p. 222). Consulté à l'adresse National Aeronautics and Space Administration website: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/Suit\\_Water\\_Intrusion\\_Mishap\\_Investigation\\_Report.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/Suit_Water_Intrusion_Mishap_Investigation_Report.pdf)
- National Research Council, Committee on Human Spaceflight Crew Operations. (2011). *Preparing for the High Frontier: The Role and Training of NASA Astronauts in the Post-Space Shuttle Era*. National Academies Press.

- Nelson, T. O. (1996). Consciousness and metacognition. *American Psychologist*, 51(2), 102–116. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.51.2.102>
- Nelson, T. O., & Narens, L. (1989). Metamemory: A Theoretical Framework and New Findings. In *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 26, pp. 125–173). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60053-5](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60053-5)
- Nelson, T. O., & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition? In *Metacognition: Knowing about knowing* (pp. 1–25). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Neyns, V. (2011). *Cognitive control in dynamic situation: anticipation and risk management. The case of anesthesia* (Theses). Université Toulouse le Mirail - Toulouse II. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00628433>
- Nicolas, M., Gaudino, M., Martinet, G., & Weiss, K. (2016). Les émotions en situations extrêmes : situations spatiales et polaires. In *Les émotions en sport et en EPS : Enseignement, performance et santé* (Editions De Boeck, p. 293-306). Consulté à l'adresse [https://www.researchgate.net/publication/324280805\\_Mesures\\_des\\_emotions\\_en\\_sport\\_Les\\_approches\\_quantitatives\\_qualitatives\\_et\\_comportementales](https://www.researchgate.net/publication/324280805_Mesures_des_emotions_en_sport_Les_approches_quantitatives_qualitatives_et_comportementales)
- Nishisaki, A., Keren, R., & Nadkarni, V. (2007). Does Simulation Improve Patient Safety?: Self-Efficacy, Competence, Operational Performance, and Patient Safety. *Anesthesiology Clinics*, 25(2), 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2007.03.009>
- Noe, R. A., Dachner, A. M., Saxton, B., & Keeton, K. (2011). *Team Training for Long-duration Missions in Isolated and Confined Environments: A Literature Review, an Operational Assessment, and Recommendations for Practice and Research* (No. NASA/TM-2011-216162). Johnson Space Center Houston, Texas: National Aeronautics and Space Administration. Consulté à l'adresse [https://www.researchgate.net/profile/Brian\\_Saxton/publication/272179167\\_Team\\_Training\\_for\\_Long-duration\\_Missions\\_in\\_Isolated\\_and\\_Confined\\_Environments\\_A\\_Literature\\_Review\\_an\\_Operational\\_Assessment\\_and\\_Recommendations\\_for\\_Practice\\_and\\_Research/links/54e357c70cf2d618e1964146/Team-Training-for-Long-duration-Missions-in-Isolated-and-Confined-Environments-A-Literature-Review-an-Operational-Assessment-and-Recommendations-for-Practice-and-Research.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Brian_Saxton/publication/272179167_Team_Training_for_Long-duration_Missions_in_Isolated_and_Confined_Environments_A_Literature_Review_an_Operational_Assessment_and_Recommendations_for_Practice_and_Research/links/54e357c70cf2d618e1964146/Team-Training-for-Long-duration-Missions-in-Isolated-and-Confined-Environments-A-Literature-Review-an-Operational-Assessment-and-Recommendations-for-Practice-and-Research.pdf)
- Ntirampeba, P. (2003). La progression en didactique du texte argumentatif écrit. *Canadian Journal of Applied Linguistics*, 6(2), 159–169.
- NTSB. (1993). *Aircraft accident report 46E* (No. AAR-96/06) (p. 110). National Transportation Safety Board. Consulté à l'adresse <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR9306.pdf>
- NTSB. (1996). *In-Flight Loss of Propeller Blade, Forced Landing, and Collision with Terrain* (No. NTSB/AAR-96/06) (p. 121). NTSB. Consulté à l'adresse <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR9606.pdf>
- Nunes, C. A. A., Nunes, M. M. R., & Davis, C. (2003). Assessing the Inaccessible: metacognition and attitudes. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 10(3), 375–388. <https://doi.org/10.1080/0969594032000148109>
- Office of Public Affairs - NASA. (1970). *Apollo 13 « Houston, we've got a problem »* (No. 1970 384-459) (p. 34). Washington, DC, US: National Aeronautics and Space Administration. Consulté à l'adresse <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo13.pdf>
- Orasanu, J. (2005). Crew collaboration in space: a naturalistic decision-making perspective. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(6), 154–163.

- Özsoy, G., & Ataman, A. (2009). The Effect of Metacognitive Strategy Training on Mathematical Problem Solving Achievement. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 1(2), 68–83.
- Patel, H., Pettitt, M., & Wilson, J. R. (2012). Factors of collaborative working: A framework for a collaboration model. *Applied Ergonomics*, 1(43), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.04.009>
- Perrenoud, P. (1998b). Construire des compétences, est-ce tourner le dos aux savoirs ? *Mensuel de l'École valaisanne*, 3(Savoirs et compétences), 3–7.
- Perrenoud, P. (1998a). La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(3), 487–514. <https://doi.org/10.7202/031969ar>
- Perrenoud, P. (1994). Compétences, habitus et savoirs professionnels. *European Journal of Teacher Education*, 17(1–2), 45–48. <https://doi.org/10.1080/0261976940170108>
- Pintrich, P. R., Smith, D. A. F., Garcia, T., & Mckeachie, W. J. (1993). Reliability and Predictive Validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (Mslq). *Educational and Psychological Measurement*, 53(3), 801–813. <https://doi.org/10.1177/0013164493053003024>
- Plovnick, M., Fry, R., & Rubin, I. (1975). New developments in OD technology: Programmed team development. *Training & Development Journal*, 29(4), 19-25.
- Poissant, H., Poëllhuber, B., & Falardeau, M. (1994). Résolution de problèmes, autorégulation et apprentissage on JSTOR. *Revue canadienne de l'éducation*, 19(1), 30–44. <https://doi.org/10.2307/1495305>
- Polya, G. (1957). *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method* (2nd ed.). Princeton University Press.
- Prichard, J. S., Stratford, R. J., & Bizo, L. A. (2006). Team-skills training enhances collaborative learning. *Learning and Instruction*, 16(3), 256–265. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.005>
- Prichard, J., Stratford, R. J., & Hardy, C. (2004, janvier). Training students to work in teams. University of Southampton. Consulté à l'adresse <https://eprints.soton.ac.uk/18556/1/TrainingStudentsToWorkInTeams.PDF>
- Quiles, C. (2014). *Comment évaluer la métacognition ? Intérêts et limites de l'évaluation de la conscience métacognitive " on-line "*. Bordeaux, Bordeaux. Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01139905/document>
- Rahman, S., Laosirihongthong, T., & Sohal, A. S. (2010). Impact of lean strategy on operational performance: a study of Thai manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(7), 839–852. <https://doi.org/10.1108/17410381011077946>
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13(3), 257–266. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>
- Reyes Guerrero, S., Ramirez-Corona, N., Lopez-Malo, A., & Palou, E. (2014). Assessing Metacognition During Problem-Solving in Two Senior Concurrent Courses. Présenté à 121st ASEE Annual Conference & Exposition, Indianapolis.
- Roe, R. A. (2002). What Makes a Competent Psychologist? *European Psychologist*, 7(3), 192–202.
- Rosen, M. (2010). *Collaborative Problem Solving: The Role Of Team Knowledge Building Processes And External Representations*. University of Central Florida. Consulté à l'adresse <https://stars.library.ucf.edu/etd/4213/>

- Saint-Pierre, L. (1994). La métacognition, qu'en est-il? *Revue des sciences de l'éducation*, 20(3), 529–545. <https://doi.org/10.7202/031740ar>
- Salas, E., Burke, C. S., Bowers, C. A., & Wilson, K. A. (2001). Does Crew Resource Management (CRM) Training Work? *Human Factors*, 43(4), 641–674. <https://doi.org/10.1518/001872001775870386>
- Salas, E., Dickinson, T. L., Converse, S. A., & Tannenbaum, S. I. (1992). Toward an understanding of team performance and training. In *Teams: Their training and performance* (pp. 3–29). Westport, CT, US: Ablex Publishing.
- Salas, E., Fiore, S. M., & Letsky, M. P. (Eds.). (2012). *Theories of Team Cognition: Cross-Disciplinary Perspectives* (1 edition). New York: Routledge.
- Salas, E., Paris, C., & Cannon-Bowers, J. (2000). Teamwork in multi-person systems: a review and analysis. *ERGONOMICS*, 43(8), 1052–1075.
- Salas, E., Reyes, D. L., & Woods, A. L. (2017). The Assessment of Team Performance: Observations and Needs. In A. A. von Davier, M. Zhu, & P. C. Kyllonen (Eds.), *Innovative Assessment of Collaboration* (pp. 21–36). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-33261-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-33261-1_2)
- Salas, E., Rosen, M. A., Burke, C. S., Goodwin, G. F., & Fiore, S. M. (2006). The Making of a Dream Team: When Expert Teams Do Best. In *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (p. 439-453). New York, NY, US: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816796.025>
- Salas, E., Rosen, M. A., Held, J. D., & Weissmuller, J. J. (2009). Performance Measurement in Simulation-Based Training: A Review and Best Practices. *Simulation & Gaming*, 40(3), 328–376. <https://doi.org/10.1177/1046878108326734>
- Salas, E., Stagl, K. C., Burke, C. S., & Goodwin, G. F. (2007). Fostering team effectiveness in organizations: toward an integrative theoretical framework. *Nebraska Symposium on Motivation. Nebraska Symposium on Motivation*, 52, 185–243.
- Salas, E., Stout, R., & Cannon-Bowers, J. (1994). The role of shared mental models in developing shared situational awareness. In R. Gilson, D. Garland, & J. Koonce, *Situational awareness in complex systems* (p. 297–304). Consulté à l'adresse <http://www.academia.edu/download/31111083/GetTRDoc.pdf#page=309>
- Salas, E., Wilson, K. A., Burke, C. S., & Wightman, D. C. (2006). Does Crew Resource Management Training Work? An Update, an Extension, and Some Critical Needs. *Human Factors*, 48(2), 392–412. <https://doi.org/10.1518/001872006777724444>
- Salotti, J.-M., Heidmann, R., & Suhir, E. (2014). Crew size impact on the design, risks and cost of a human mission to Mars. In *2014 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1–9). <https://doi.org/10.1109/AERO.2014.6836241>
- Salotti, J.-M. (2011). Simplified scenario for manned Mars missions. *Acta Astronautica*, 69(5), 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2011.03.020>
- Salotti, J.-M., Labache, L., Pellet, E., Riffaud, P., & Chator, O. (2015). Human Factors Issues for a Sustainable Settlement of Mars. In *9th IAA Symposium on the Future of Space Exploration*. Turin, Italy. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01263200>
- Schmidt, L. L., Landon, L. B., & Patterson, H. (2015). *A Model of Psychosocial Factors for Long-Duration Spaceflight Exploration Missions* (Technical Memorandum No. NASA/TM-2015-218582) (p. 42). Lyndon B. Johnson Space Center Houston, Texas 77058: NASA. Consulté à l'adresse <https://ston.jsc.nasa.gov/collections/TRS/techrep/TM-2015-218582.pdf>

- Sengul, S., & Katranci, Y. (2012). Metacognitive Aspects of Solving Function Problems. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 46, 2178–2182. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.450>
- Shectman, Z., & Kenny, D. A. (1994). Metaperception Accuracy: An Israeli Study. *Basic and Applied Social Psychology*, 15(4), 451–465. [https://doi.org/10.1207/s15324834basp1504\\_4](https://doi.org/10.1207/s15324834basp1504_4)
- Singh, V., Dong, A., & Gero, J. S. (2012). Computational studies to understand the role of social learning in team familiarity and its effects on team performance. *CoDesign*, 8(1), 25–41. <https://doi.org/10.1080/15710882.2011.633088>
- Sinnott, J. D. (1989). *Everyday problem solving: Theory and applications*. New York: Praeger Publishers.
- Smith-Jentsch, K. A. S., & Sierra, M. J. (2016). *Teamwork Training Needs Analysis for Long-Duration Exploration Missions* (Technical Report No. JSC-CN-40388) (p. 44). NationalAeronauticsand Space AdministrationJohnsonSpace Center Houston, Texas: NASA. Consulté à l'adresse <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170008539>
- Stout, R. J., Cannon-Bowers, J. A., & Salas, E. (1996). The Role of Shared Mental Models in Developing Team Situational Awareness: Implications for Training. *Training Research Journal*, 2, 85–116. <https://doi.org/10.4324/9781315087924-18>
- Strasser, D. C., Falconer, J. A., Stevens, A. B., Uomoto, J. M., Herrin, J., Bowen, S. E., & Burrige, A. B. (2008). Team Training and Stroke Rehabilitation Outcomes: A Cluster Randomized Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(1), 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.08.127>
- Sundar, E., Sundar, S., Pawlowski, J., Blum, R., Feinstein, D., & Pratt, S. (2007). Crew Resource Management and Team Training. *Anesthesiology Clinics*, 25(2), 283–300. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2007.03.011>
- Test Division Apollo Spacecraft Program Office. (1970). *Technical air-to-ground voice transcription* (p. 765). Houston: NASA. Consulté à l'adresse [http://www.jsc.nasa.gov/history/mission\\_trans/AS13\\_TEC.PDF](http://www.jsc.nasa.gov/history/mission_trans/AS13_TEC.PDF)
- Toutain, O., & Fayolle, A. (s. d.). Apprentissage expérientiel et éducation (p. 12/10/2011). Présenté à 7ème Congrès de l'Académie de L'Entrepreneuriat et de l'Innovation, Paris. Consulté à l'adresse <https://docplayer.fr/5847270-Apprentissage-experientiel-et-education.html>
- Troadec, J. (2011). Les différentes formes d'imprévu. In *Colloque international de l'Académie de l'Air et de l'Espace* (pp. 29–34). Paris, France.
- Tukey, J. (1977). *Exploratory Data Analysis* (1st ed.). Addison-Wesley, Reading, MA.
- Ustwo games. (2014). *Monument Valley*. Consulté à l'adresse <https://www.monumentvalleygame.com/mv1>
- Valot, C. (1998). *Métacognition et connaissances métacognitives : Intérêt pour l'ergonomie* (thesis). Toulouse 2. Consulté à l'adresse <http://www.theses.fr/1998TOU20089>
- van Woerkom, M., & Croon, M. (2009). The relationships between team learning activities and team performance. *Personnel Review*, 38(5), 560–577. <https://doi.org/10.1108/00483480910978054>
- Vianin, P. (2009). *L'aide stratégique aux élèves en difficulté scolaire: Comment donner à l'élève les clés de sa réussite*. De Boeck Supérieur.
- Volpe, C. E., Cannon-Bowers, J. A., Salas, E., & Spector, P. E. (1996). The Impact of Cross-Training on Team Functioning: An Empirical Investigation. *Human Factors*, 38(1), 87–100. <https://doi.org/10.1518/001872096778940741>

- Weaver, S. J., Lyons, R., DiazGranados, D., Rosen, M. A., Salas, E., Oglesby, J., ... King, H. B. (2010). The Anatomy of Health Care Team Training and the State of Practice: A Critical Review. *Academic Medicine*, 85(11), 1746. <https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3181f2e907>
- Webber, S. S. (2008). Development of Cognitive and Affective Trust in Teams: A Longitudinal Study. *Small Group Research*, 39(6), 746–769. <https://doi.org/10.1177/1046496408323569>
- West, M. (2000). Reflexivity, revolution and innovation in work teams. In M. M. Beyerlein & D. A. Johnson, S. T. Beyerlein (Ed.), *Product development teams* (Vol. 5, pp. 1–29). Stamford: JAI Press.
- Whitebread, D., Coltman, P., Pasternak, D. P., Sangster, C., Grau, V., Bingham, S., ... Demetriou, D. (2009). The development of two observational tools for assessing metacognition and self-regulated learning in young children. *Metacognition and Learning*, 4(1), 63–85. <https://doi.org/10.1007/s11409-008-9033-1>
- Wiltshire, T. J., Rosch, K., Fiorella, L., & Fiore, S. M. (2014). Training for Collaborative Problem Solving: Improving Team Process and Performance through Metacognitive Prompting. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 1154–1158. <https://doi.org/10.1177/1541931214581241>
- Winne, P. H., & Perry, N. E. (2000). Measuring Self-Regulated Learning. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of Self-Regulation* (pp. 531–566). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50045-7>
- Wittorski, R. (1998). de la fabrication des compétences. *Éducation Permanente*, 135, 57 à 69.
- Wood, P. K. (1983). Inquiring Systems and Problem Structure: Implications for Cognitive Development. *Human Development*, 26(5), 249–265. <https://doi.org/10.1159/000272887>
- Yimer, A., & Ellerton, N. F. (2006). Cognitive and Metacognitive Aspects of Mathematical Problem Solving: An Emerging Model, 575–582.

## ANNEXES

## Annexe 1

### Situations inconnues réelles

La littérature étudiée n'aborde pas la reconnaissance d'évènements opérationnels comme situation inconnue. Dans un premier temps, il est donc nécessaire d'établir des règles de reconnaissance de l'inconnu avant de les appliquer à des situations réelles pour les qualifier ainsi. Dans un second temps, l'application de ces règles aux enquêtes du BEA, BEA-É, National Transportation Safety Board (NTSB), Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center (CENIPA) et de la mission Apollo 13 menées au sujet d'évènements datés entre 1993 et 2016 (trois missions spatiales habitées non comprises) révèle treize situations inconnues et une probable.

#### 1. Établissement des règles de reconnaissance de l'inconnu lors d'une activité opérationnelle

La littérature étudiée ne présente pas de travail sur l'analyse de l'inconnu dans le cadre d'activités opérationnelles réelles<sup>60</sup>. De plus, les rapports d'enquête du BEA, BEA-É, National Transportation Safety Board (NTSB), Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center (CENIPA) et de la mission Apollo 13 menées au sujet d'évènements datés entre 1993 et 2016 (mission Apollo 13 non comprise) n'ont pas fait l'objet d'une approche portée sur l'existence de problème inconnu. Par conséquent, les rapports d'enquête peuvent ne pas stipuler si un évènement est inconnu ou a déjà été rencontré ou anticipé (L Haridon et *al.*, 2017). Ainsi, selon l'évènement, une étude supplémentaire peut être nécessaire pour mettre en valeur si l'évènement n'a jamais été rencontré ni anticipé, *in fine* est inconnu (L Haridon et *al.*, 2017).

Dans le cadre de l'étude de ces rapports, si un équipage tente de résoudre une panne pour laquelle :

- Il n'a aucune référence à des expériences antérieures spécifiquement pour le problème vécu et
- Il n'applique aucune procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré,

alors l'équipage n'est pas expérimenté par rapport à cette panne et cette-dernière n'est pas anticipée au regard de l'équipage (aucune procédure connue de lui). L'équipage se retrouve alors dans une situation de panne inconnue. Le fait de n'appliquer aucune procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré peut être justifié par :

- Il n'y a aucune procédure pour traiter la situation (non anticipée) ou
- L'équipage ne connaît/reconnait pas la procédure à appliquer (Trodec, 2011).

La seconde justification peut être due à l'une des trois catégories d'erreurs mises en avant par Klein (1993) dans son étude centrée sur les jugements erronés, résolutions de problèmes ou prise de décisions inadéquates. Klein décrit (1993) des erreurs dues :

---

<sup>60</sup> Seul le travail de thèse de Bourgy (2012) aborde trois évènements aériens jugés inconnus (imprévus selon sa définition) mais ne propose pas de méthode générique d'étude de l'inconnu rencontré lors de missions réelles. Les deux premiers évènements aériens jugés inconnus ne sont pas référencés par Bourgy (2012) et donc pas étudiés dans ce travail de recherche. Le troisième correspond au crash d'un Mirage 2000D de l'Armée de l'air, le 8 janvier 2004, reconnu comme une situation inconnue dans ce travail de thèse et relaté ci-dessous.

- Au manque d'expérience (anticipation lacunaire d'une conséquence d'une action, jugement des dynamiques d'une situation de faible qualité, la sélection d'une fausse analogie et l'utilisation inadéquate d'une analogie),
- Au manque d'informations et
- À une simulation mentale incomplète ou inadéquate.

Les deux justifications mentionnées peuvent alors conduire à des exécutions de check-lists incohérentes avec la panne réelle rencontrée et n'améliorant donc pas la résolution. Le problème est alors inchangé et la situation reste inconnue de l'équipage.

## 2. Caractérisation de situations inconnues réelles

### a. Apollo 13 « Houston, we've got a problem »

La treizième mission du programme Apollo a décollé pour la Lune le 11 avril 1970. Elle devait être la troisième à se poser sur le sol lunaire. Malheureusement, après deux jours, sept heures et cinquante cinq minutes de vol (Test Division Apollo Spacecraft Program Office, 1970, référence des retranscriptions Apollo 13), une chute de courant d'un des deux circuits électriques principaux du module de commande survient. De nombreux autres problèmes liés à différents éléments et paramètres de la mission suivront :

- Oxygène,
- Dioxyde de carbone,
- Navigation inertielle,
- Conséquence inconnue de la rupture haute pression du réservoir d'oxygène sur le moteur principal du module de commande,
- Modification en vol de l'emploi du matériel,
- Santé de l'équipage,
- etc. (Office of Public Affairs - NASA, 1970).

Malgré la participation de milliers personnes dans la résolution du problème (Office of public affairs - NASA, 1970), cet évènement est considéré comme « le plus complexe et urgent des problèmes jamais rencontrés en vol habité » (notre traduction, Office of public affairs - NASA, 1970). L'agence spatiale américaine ajoute ensuite que l'équipage a vécu un évènement qu'aucun homme n'a rencontré auparavant (1970). Cet évènement est aussi non anticipé, un exemple de sous problème concerne l'incompatibilité des piles à hydroxyde de lithium entre le module de commande et le module lunaire. Ces piles sont utiles à l'évacuation du dioxyde de carbone. Ce problème a été résolu par Bob Smylie, Jim Correale et Tony England et la solution d'un adaptateur de fortune fut transmise par radio aux astronautes à bord (Office of public affairs - NASA, 1970). Cette improvisation souligne l'absence d'anticipation de ce cas de figure. Ou encore, « des procédures complètement nouvelles ont dues être écrites et testées dans le simulateur avant d'être transmises » à l'équipage (Lovell).

Ainsi, la panne rencontrée lors de la mission Apollo 13 est considérée comme une panne inconnue.

### b. Séparation d'un moteur, Boeing B747-121, vol 46E de la Japan Airlines, 31 mars 1993

Un Boeing 747-121 de la Japan Airlines effectue un vol cargo le 31 mars 1993, le vol 46E. Peu de temps après le décollage, le moteur numéro deux se décroche. Aucune personne n'a été blessée. Le

National Transportation Safety Board (NTSB, 1993) a déterminé que la rupture du moteur numéro deux a probablement résulté d'efforts dynamiques multiaxiaux latéraux (issus d'ondes orographiques) dépassant les capacités de résistance du pylône du moteur. Ce dernier était déjà lui-même affaibli par des criques. Les conceptions et certifications de l'époque ne considéraient pas les efforts multiaxiaux sur les pylônes (NTSB, 1993). L'avion a donc rencontré des efforts qui dépassaient les prévisions des bureaux d'étude. En poursuivant dans ce sens et compte tenu des formations actuelles de pilotes de ligne, il est probable que les pilotes n'étaient pas préparés et n'ont pas anticipé un tel cas de figure.

Ainsi, la panne rencontrée lors du vol 46E de la Japan Airlines du 13 mars 1993 est considérée comme probable panne inconnue.

c. Rupture d'une pale d'hélice, Embraer EMB-120RT, Atlantic Southeast airlines, vol 529, 21 août 1995

L'équipage d'un Embraer EMB-120RT a subi une rupture d'une pale d'hélice au départ d'Atlanta le 21 août 1995 (NTSB, 1996). Cette séparation a eu une conséquence immédiate et exceptionnelle sur la conduite du vol car l'avion s'est incliné à gauche, pris une attitude négative et à débiter une descente involontaire. Malgré les efforts sur les commandes de vol par le commandant de bord en premier puis par les deux pilotes en même temps, l'avion ne pouvait pas suivre des paramètres de vol normaux. Le commandant de bord a ainsi dit : « je ne peux pas le tenir » suivi de « aide-moi à le tenir » (notre traduction, NTSB, 1996). Au-delà du caractère exceptionnel de cette situation, elle est bien inconnue de l'équipe : aucune procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré n'est appliquée et aucune référence à des expériences antérieures spécifiquement pour le problème vécu n'est référencée.

Tout d'abord, les pilotes n'axent pas leur travail vers une procédure *ad hoc*. En effet, le rapport laisse comprendre qu'aucune procédure n'existe pour palier la perte d'une pale d'hélice. Les variations anormales des paramètres de vol dans le cadre d'une panne (valeurs soudaines d'accélération dans les plans vertical et latéral, NTSB, 1996) et les efforts extrêmes sur les commandes de vol par l'équipage (deux actions simultanées exercées) le justifient.

Ensuite, les pilotes n'ont pas rencontré ce cas précédemment. L'équipage ne reconnaît pas la panne subie au début de l'évènement, en atteste leur dialogue : « bon sang, qu'est-ce qui se passe avec ce truc » annoncée par le commandant de bord (21'53'' des retranscriptions) et le copilote répond immédiatement : « je ne sais pas » (notre traduction, NTSB, 1996). Or, les pilotes ont été dûment formés ; ces formations permettent de détecter et réagir aux pannes rencontrées, anticipées et jugées suffisamment probables par les constructeurs ; c'est l'objet des check-lists pannes. Donc, la panne est bien nouvelle. De plus, l'équipage réduit une commande moteur et dit : « bien, ça, ça devient plus contrôlable maintenant ... le moteur ... regardons notre vitesse » (23' des retranscriptions) ; ces interventions des pilotes présentent un cheminement d'essais sans l'apport d'une expérience passée et non une application d'une procédure préétablie (cf. (1)). De plus, les pilotes se représentent mal la situation au début en supposant simplement une panne moteur (22'09'' pour la première mention), c'est exact mais incomplet pour expliquer les valeurs soudaines

d'accélération. À 28'19'', la situation est davantage comprise avec une visualisation des dommages sur le moteur, mais il n'est toujours pas fait mention d'arrachement d'une pale d'hélice.

Ainsi, la panne rencontrée lors de ce vol 529 d'Atlantic Southeast airlines du 21 août 1995 est considérée comme une panne inconnue.

d. Crash d'un Mirage 2000D, Armée de l'air, 8 janvier 2004

« Le blocage de deux circuits anémométriques de pression totale » accompagné d'une « représentation erronée de la situation par l'équipage » expliquée par diverses causes a provoqué la perte d'un Mirage 2000D en mission d'entraînement le 8 janvier 2004 (BEA-É, 2005a).

Le rapport d'enquête du Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É) ne met pas en valeur l'utilisation d'une expérience passée spécifique au problème rencontré mais uniquement d'une mauvaise priorisation « sur la base d'expériences passées » (2005a). Ce rapport d'enquête (BEA-É, 2005a) avance un scénario possible de sortie de l'évènement et propose la commande « gain secours » pour retrouver le contrôle de l'appareil. Cette commande n'a pas été utilisée à cause de la « représentation erronée de la situation par l'équipage » (BEA-É, 2005a).

Donc, l'équipage n'utilise :

- Aucune référence à des expériences antérieures spécifiquement pour le problème vécu et
- N'applique aucune procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré, par défaut de reconnaissance de la procédure à appliquer.

Ainsi, l'équipage s'est trouvé face à une panne inconnue

e. Crash d'un Mirage 2000D, Armée de l'air, 26 août 2004

Un décrochage partiel du réacteur d'un Mirage 2000D s'est produit lors d'une évolution à la limite basse vitesse de son domaine de vol associée à des « manœuvres rapides et de forte amplitude à la manette de gaz » (BEA-É, 2005b).

Le rapport d'enquête du Bureau Enquête Accident d'État (BEA-É) ne met pas en valeur l'utilisation d'une expérience passée utile à la résolution du problème rencontré. Il existe cependant une procédure permettant la résolution de la panne : « La check-list de l'appareil définit les actions que le pilote doit entreprendre pour traiter un décrochage du moteur » (BEA-É, 2005b). Néanmoins, « une fausse évaluation de la situation » et « une absence de réaction adaptée » ont contribué à l'accident (BEA-É, 2005b). Ainsi, l'équipage n'a pas reconnu et mis en œuvre la check-list correspondant à la situation et n'avait donc pas l'orientation initiale *ad hoc* à cette situation.

Finalement, relativement à cet équipage et à ce contexte, il y a situation inconnue.

f. Collision en vol, Boeing B737 EH, Gol Transportes Aéreos S.A., 29 septembre 2006

L'Aeronautical Accident Investigation and Prevention Centre (AAIPC, 2008) a analysé une collision en vol entre un Boeing 737 et un Embraer-135 ayant eu lieu le 29 septembre 2006. Le Boeing 737 a

perdu les 6,95 mètres extérieurs de son aile gauche et l'Embraer-135 a vu son winglet gauche arraché. L'équipage de ce dernier a compris qu'une collision avait eu lieu et s'est notamment concentré sur le pilotage pour réagir à l'évènement : « Just fly the airplane » annoncé par le copilote (AAIPC, 2008). La situation pour lui était donc connue. A la suite de la collision, le Boeing 737 a débuté une spirale descente conduisant à la perte de l'appareil et de ses occupants.

Le rapport d'enquête de l'AAIPC (2008) met en valeur deux expériences passées pouvant avoir pu jouer un rôle dans la réaction de l'équipage du Boeing 737 : les conséquences des turbulences en condition de vol à vue<sup>61</sup> à haute altitude ou un problème de commande de vol. Néanmoins, compte tenu de l'origine de la perte des 6,95 mètres de l'aile, ces expériences ne sont pas utiles pour résoudre cette situation. De plus, « il n'y a aucun entraînement en simulateur de vol » (notre traduction, AAIPC, 2008) pour ce genre de situation et partant pas d'expérience passée réutilisable dans ce cas. En parallèle, « les pilotes n'ont jamais appris qu'ils avaient subi un tel dommage sur leur aile gauche » (notre traduction, AAIPC, 2008). Ils n'ont donc pas appliqué de procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré qu'elle existe ou non.

Ainsi, l'équipage s'est trouvé face à une situation inconnue.

g. Décrochage, Airbus A330, vol AF447 d'Air France, 1<sup>er</sup> juin 2009

Un Airbus A330 de la compagnie Air France effectue un vol de Rio de Janeiro à Paris le 1<sup>er</sup> juin 2009.

*À 2 h 10 min 05, vraisemblablement à la suite de l'obstruction des sondes Pitot par des cristaux de glace, les indications de vitesse deviennent erronées et des automatismes se désengagent. La trajectoire de l'avion n'est pas maîtrisée par les deux copilotes. Ils sont rejoints 1 minute 30 plus tard par le commandant de bord, alors que l'avion est dans une situation de décrochage qui se prolonge jusqu'à la collision avec la mer, à 2 h 14 min 28. (BEA, 2012, p.21)*

Au sujet du caractère inconnu de la situation relativement à l'équipage, les retranscriptions de l'enregistreur de vol des dialogues équipages ne présentent pas de référence à des expériences antérieures. De plus, « aucun des pilotes n'a formellement identifié la situation de décrochage » et « l'équipage, progressivement déstructuré, n'a vraisemblablement jamais compris qu'il était confronté à une "simple" perte des trois sources anémométriques » (BEA, 2012). Partant, les procédures associées et notamment celle de sortie de décrochage n'ont pas été initiées conduisant à la perte d'altitude puis à la collision avec l'océan. Plus largement, « l'équipage était dans un état de perte quasi complète de la gestion de la situation. » (BEA, 2012).

Ainsi, l'équipage s'est trouvé face à une situation inconnue.

h. « Pannes multiples liées à une anomalie électrique », A320, Air France, 19 janvier 2010

Un Airbus A320 de la compagnie Air France effectue un vol d'Orly à Toulouse le 19 janvier 2010. Pendant la phase de montée, un incident dû à « un défaut de connexion du harnais de la génératrice

---

<sup>61</sup> Connues sous le nom de Clear Air Turbulence (CAT).

1 qui a entraîné la survenue de multiples alarmes intempestives » est survenu (BEA, 2011). L'avion s'est posé sur Toulouse sans dommage aux personnes à bord de l'avion.

Au sujet du caractère inconnu de la situation relativement à l'équipage, le rapport du Bureau Enquête Analyse (BEA) ne met pas en valeur d'expérience antérieure de l'équipage utile pour traiter le problème rencontré. Au-delà de sa propre expérience aéronautique, l'équipage a tenté d'obtenir de l'aide de l'extérieur mais sans succès : « le CDB<sup>62</sup> contacte la maintenance d'Orly pour savoir si ce type de problème est connu et s'il existe des actions spécifiques à réaliser. Aucune information pertinente ne peut lui être donnée. » (BEA, 2011).

Une panne en vol peut être traitée selon quatre documentations (Airbus, 2017a), dans le cadre de l'exploitation d'un Airbus : les memory items (procédures d'urgence), les Operating Engineering Bulletins (OEB), les pannes affichées sur les écrans du cockpit (pannes ECAM, Electronic Centralized Aircraft Monitor) et les pannes disponibles dans le Quick Reference Handbook (QRH). Chaque documentation contient des pannes bien précises correspondant à des situations particulières ; les équipages doivent savoir traiter un évènement selon la situation rencontrée (Airbus, 2017a). Du point de vue de l'application d'une procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré, le pilote monitoring, effectuant le traitement de panne, tente de traiter les check-lists de pannes affichées par l'avion (BEA, 2011). Néanmoins, « il ne parvient pas à lire les alarmes, en raison de la rapidité avec laquelle elles se succèdent » à l'écran. La situation rencontrée est particulière car « les baisses de tension répétées aux bornes de la barre BUS 1 pendant des durées plus courtes que celles nécessaires au déclenchement de la surveillance de baisse de tension sont à l'origine de cette anomalie électrique » (BEA, 2011). Le système n'est donc pas capable de donner des informations complètes à l'équipage. Ajouter à cela, « La méthode de traitement des pannes sur A320 (Check-list ECAM) laisse peu de place à l'analyse de la situation par l'équipage. En cas d'absence d'un diagnostic de panne par le système, son origine est difficile à déterminer par l'équipage » (BEA, 2011). Ainsi, l'équipage a rencontré un stress lié au risque d'établir « un diagnostic erroné sur l'origine de ces alarmes multiples, ainsi de se retrouver confronté à une situation qui pourrait se dégrader » (BEA, 2011). Du fait de la complexité de la situation, le « défaut de connexion du harnais de la génératrice 1 » (BEA, 2011) ayant entraîné les « multiples alarmes intempestives, sans que leur origine ait pu être identifiée par le système de surveillance de l'avion ou par l'équipage » (BEA, 2011). Ainsi, ne comprenant pas l'origine du problème, l'équipage n'a pas appliqué de procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré. Le caractère inconnu de la panne rencontrée et donc le besoin de gagner en expérience est finalement souligné par les modifications ultérieures imposées par l'avionneur Airbus : « à la date de publication de ce rapport, consécutivement à une occurrence similaire survenue à un A321, Airbus a émis un bulletin d'information (OIT\_FOT 99.0105\_10 du 19 nov 2010) et inséré une procédure « DISPLAY UNIT FAILURE » dans son QRH en avril 2011 » (BEA, 2011).

Ainsi, l'équipage s'est trouvé face à une situation inconnue.

---

<sup>62</sup> Commandant de bord (CDB)

- i. Blocage temporaire de la commande de gauchissement, C160 Transall NG, Armée de l'air, 18 avril 2012

Un Transall décolle du terrain de Toulouse Francazal dans le but d'effectuer une mission de largage matériel à très grande hauteur avec ouverture basse au niveau 180 avant de revenir sur le même aérodrome. Après 34 minutes de vol, l'équipage est « confronté à un blocage de la commande de gauchissement » (BEA-É, 2012a). Un déroutement est alors entrepris en urgence sur l'aérodrome de Pau. Après le début de la descente, l'usage de la commande de gauchissement est récupéré et l'atterrissage s'effectue sans dommage (BEA-É, 2012a). Après enquête du BEAÉ, le blocage de la commande de gauchissement est dû à « l'action du gel d'humidité de condensation » sur « la traversée étanche » (hypothèse « la plus probable ») voire dans « la boîte à ressort », cette dernière hypothèse « ne peut être totalement écartée » (BEA-É, 2012a). « Les causes du blocage temporaire de la commande de gauchissement ressenti par l'équipage au cours de ce vol, [sont] difficiles à déterminer avec certitude » (BEA-É, 2012a). De plus, « la procédure décrite dans le manuel de vol et le mémento de l'équipage n'évoque des problèmes possibles de givrage qu'au niveau des servocommandes » (BEA-É, 2012a) et non au niveau de la traversée étanche voire de la boîte à ressort, cause(s) mise(s) en avant du blocage de la commande de gauchissement. La documentation utile à l'équipage technique ne propose donc pas ce cas de panne. Plus largement, « la procédure de traitement des pannes de commandes de vol, succincte, ne peut véritablement aider l'équipage » (BEA-É, 2012a). Ainsi, l'équipage n'applique aucune procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré.

Au sujet du caractère inconnu de la situation relativement à l'équipage, le rapport du BEA-É ne met pas en valeur d'expérience antérieure de l'équipage utile pour traiter le problème rencontré. De plus, « le type de dysfonctionnement rencontré par l'équipage (...) n'est pas évoqué en entraînement aux pannes ni inscrit dans la mémoire collective » (BEA-É, 2012a).

Ainsi, l'équipage s'est trouvé face à une situation inconnue.

- j. Décalage de pas d'hélice, Hercules C130H30, Armée de l'air, 21 juin 2012

Un Hercules C130H30 de l'Armée de l'air effectue un vol de Saint-Denis de la Réunion vers Djibouti le jeudi 21 juin 2012. À 55 miles nautiques au Nord du terrain de Saint-Denis, le mécanisme de changement de pas de la pale d'hélice n°1 du moteur n°1 subit une rupture interne conduisant au décalage de 50° de la pale correspondante (BEA-É, 2012b). Ensuite, « l'aéronef se met à vibrer de manière violente. Il effectue une embardée vers la gauche et continue à virer par la gauche avec une assiette de 10° à piquer » (BEA-É, 2012b). « Les commandes de vols vibrent également et ne répondent plus aux sollicitations des pilotes » (BEA-É, 2012b). Finalement, l'équipage « coupe le moteur selon la procédure d'urgence » (moteur n°1) et les vibrations s'arrêtent aussitôt (BEA-É, 2012b). Néanmoins, le fait qu'une procédure de résolution d'une panne déjà anticipée permette la résolution d'une panne inconnue ne supprime aucunement le caractère inconnu de cette dernière. En effet, la définition d'une situation inconnue ne fait pas référence à la manière de la résoudre mais à :

- L'inexpérience de l'équipage quant à cette situation (jamais rencontrée) et
- L'inexistence d'une check-list dévolue à cette situation précise (ni anticipée).

Une panne standard de moteur ne déclenche pas les violentes vibrations et pertes de contrôle rencontrées. L'origine de ce problème va donc au-delà du cas de figure préparé des équipages d'avion multi-moteur (formation au simulateur, calcul des performances pour chaque vol notamment).

Au sujet du caractère inconnu de la situation relativement à l'équipage, le rapport du BEA-É ne met pas en valeur d'expérience antérieure de l'équipage utile pour traiter le problème rencontré. Suite à un entretien en 2016 avec le copilote de ce vol, il a été mis en avant l'incompréhension initiale des pilotes quant aux symptômes rencontrés à travers un regard échangé. Cette incompréhension est d'autant plus marquée que le niveau de qualification du commandant de bord est élevé : il occupe les fonctions de commandant l'escadrille d'instruction des équipages C130 depuis 2010 au moment des faits (BEA-É, 2012b). La procédure de résolution permet certes la suppression des vibrations et la reprise du contrôle de l'avion néanmoins, cette panne n'est pas prévue pour une rupture du mécanisme de changement de pas de pale et donc n'est pas une procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré.

Ainsi, l'équipage s'est trouvé face à une situation inconnue.

- k. Oscillations sur l'axe vertical, WG13 Lynx MK4, atelier industriel de l'aéronautique de Cuers Pierrefeu, 14 septembre 2012

Lors d'un vol de bon de fonctionnement au profit d'un hélicoptère Lynx de la Marine nationale à l'atelier industriel de l'aéronautique de Cuers Pierrefeu, des oscillations sur le plan vertical ont lieu « de manière inattendue, brutale et entretenue. » (BEA-É, 2012c). Après avoir tenté de stopper le phénomène, le pilote effectue un posé d'urgence et l'appareil est évacué (BEA-É, 2012c).

Le rapport d'enquête du BEA-É décrit la partie relative à la panne rencontrée dans le manuel de vol du Lynx WG13 comme « confuse » et « interprétable » (2012c). De plus, « elle ne prend pas en compte le cas de figure rencontré par l'équipage » (2012c). En effet,

*Le traitement de la panne est présenté de telle sorte qu'elle est sensée disparaître après la coupure des deux voies COLL 1 et COLL 2 du CAC sur le boîtier du PA. Ceci est confirmé par le constructeur. Le cas où la panne persiste après avoir désengagé les deux voies du CAC n'est pas traité dans la documentation. Dès lors l'équipage n'avait plus de procédure à sa disposition. (BEA-É, 2012c, p.33)*

Au-delà des procédures proposées par le manuel de vol pour les pannes en général, « la réaction de l'équipage découle donc plus de son niveau d'expérience et de sa connaissance de l'aéronef que de l'application de procédures interprétables et contradictoires » (BEA-É, 2012c). Ainsi, l'équipage n'applique aucune procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré. D'autre part, « quatre pannes similaires sont recensées » (BEA-É, 2012c) sur la flotte Lynx et donc non identiques à celle rencontrée par l'équipage. De plus, ce rapport d'enquête ne met pas en valeur l'utilisation d'une expérience passée spécifiquement pour le problème rencontré. Ainsi, aucune expérience antérieure spécifiquement pour le problème rencontré n'est mise en avant par ce rapport d'enquête.

D'où, l'équipage s'est trouvé face à une situation inconnue.

- I. Introduction d'eau dans une unité de mobilité extravéhiculaire à bord de l'ISS, NASA, 16 juillet 2013

Lors d'une sortie extravéhiculaire lors d'une mission sur l'ISS et suite à une panne, un spationaute a dû réagir à une production d'eau à l'intérieur de son scaphandre. Les opérations extérieures ont alors été interrompues et le spationaute a réintégré l'ISS pour se déséquiper (NASA, 2013).

« Comme cette panne n'avait pas été rencontrée précédemment ou anticipée » (notre traduction, NASA, 2013), les contrôleurs de la mission et l'équipage de l'ISS se sont trouvés face à une situation inconnue.

- m. Triple panne moteur, A400M, Airbus Defense and Space, 9 mai 2015

Le premier vol d'un A400M est en cours d'exécution le 9 mai 2015, l'avion s'est écrasé<sup>63</sup> aux alentours de l'aérodrome de Séville quelques instants après le décollage.

*Airbus a annoncé que les données des « boîtes noires » et les enregistreurs du cockpit ont indiqué que trois des quatre turbopropulseurs de l'avion se sont figés à une puissance élevée peu de temps après le décollage. En premier, les trois moteurs affectés « ne répondaient pas aux tentatives de l'équipage de contrôler la puissance de manière normale », a annoncé Airbus dans une déclaration. (notre traduction, Hepher et Altmeyer, 2015)*

La réduction de puissance a pu être réalisée en passant les manettes de commande moteur en plein réduit (Hepher et Altmeyer, 2015). Malheureusement, la puissance s'est à nouveau figée mais en position réduite cette fois-ci malgré les tentatives de l'augmenter par l'équipage (Hepher et Altmeyer, 2015). Les autres systèmes ont bien fonctionné. « Un cadre supérieur d'Airbus a été cité peu après comme annonçant que les investigations initiales ont confirmé que le crash était causé par un problème de configuration du logiciel moteur » (notre traduction, Hepher et Altmeyer, 2015). « Des données nécessaires au fonctionnement des moteurs ont été accidentellement effacées lors de l'installation du logiciel [moteur] par les techniciens sol et les pilotes n'ont pas eu d'avertissement qu'il y avait un problème jusqu'aux pannes des moteurs » (notre traduction, Hepher, 2017). Finalement, « les enquêteurs ont conclu que les pilotes n'ont pas été entraînés pour prévoir ce scénario et que le système de traitement de panne de l'A400M ne les a pas aidés. Airbus a annoncé que les pilotes étaient qualifiés et très expérimentés » (notre traduction, Hepher, 2017).

*Selon des sources proches de l'enquête, le système a fonctionné comme il a été conçu pour le faire, ce qui ne présenterait pas de problème pour des pilotes entraînés à gérer un problème de puissance sur un moteur. Mais faire face à ce problème sur trois moteurs a emmené l'équipage en territoire totalement inconnu. « Personne n'a imaginé qu'un problème tel que celui-ci pourrait se produire sur trois moteurs », a dit une source proche du projet. (notre traduction, Hepher, 2015)*

---

<sup>63</sup> Le rapport d'enquête idoine n'est pas public et n'a donc pas été consulté dans cette étude.

Donc, l'équipage n'a pas appliqué de procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré. De plus, les articles étudiés ne mettent pas en valeur l'utilisation d'une expérience antérieure spécifique pour le problème vécu.

Ainsi, l'équipage s'est trouvé face à une situation inconnue.

n. Blocage de deux sondes d'incidence, A330

« Un avion Airbus A330 (...) a fait l'expérience d'un blocage de toutes les sondes AoA<sup>64</sup> durant la montée menant à la déconnexion du pilote automatique et à l'activation de la protection Alpha alors que le nombre de Mach augmentait » (notre traduction, EASA, 2012a). De plus, « en condition de vol normale (en loi normale<sup>65</sup>), si la protection Alpha s'active et que le nombre de Mach augmente, les lois de commande de vol imposent un ordre à piquer de l'avion que l'équipage peut ne peut être capable de contrer avec une utilisation du manche, même avec une position en butée arrière » (notre traduction, EASA, 2012b). L'équipage a finalement réussi à rétablir le contrôle de l'appareil et l'accident a été évité. À la suite de cet évènement, Airbus a émis un OEB à transmettre « à tous les équipages sans délai » (Airbus, 2017a) et fourni par la même une procédure répondant à cette situation anormale : « ABNORMAL V ALPHA PROT » (Airbus, 2017a).

Compte tenu de la dangerosité de l'évènement<sup>66</sup>, de la mise en place d'investigations pour « déterminer ce qui a causé le blocage de ces sondes d'AoA » (notre traduction, EASA, 2012b) et de la création en réponse à l'évènement (EASA, 2012b ; EASA, 2012c) d'une procédure *ad hoc* diffusée à tous les opérateurs (Airbus, 2017a), il est conclu qu'aucune procédure préétablie correspondant exactement au problème rencontré n'existait. Par conséquent, l'équipage du vol n'était pas formé à cette panne. Compte tenu de l'absence d'anticipation de cette panne par l'industriel Airbus, il est peu probable qu'un des pilotes y soit parvenu et ait ainsi développé une expérience antérieure spécifiquement pour le problème vécu.

Par conséquent, l'équipage s'est trouvé face à une situation inconnue.

---

<sup>64</sup> Sonde d'AoA : sonde d'incidence, de l'anglais Angle of Attack (AoA).

<sup>65</sup> « La loi normale fournit la protection d'enveloppe de vol complète » (Airbus, 2017a)

<sup>66</sup> Si cet évènement avait été anticipé correctement, il aurait été intégré à l'ensemble des procédures anormales des avions concernés.

## Annexe 2

### Questionnaire de détermination de la qualité d'expériences pour préparer à la résolution de problèmes inconnus

Texte introductif :

« Vous allez participer à un questionnaire intégré à un travail de thèse en sciences cognitives. Le but final est de déterminer la meilleure manière de former des équipes pour réagir à des situations inconnues. Le contexte choisi est l'exploration spatiale habitée de longues durées, typiquement l'exploration de Mars.

Les situations inconnues sont des **évènements jamais anticipés, jamais rencontrés**. L'exemple le plus connu est l'explosion à bord du vaisseau Apollo 13. Malgré les difficultés de la situation, trois astronautes sont dans le vaisseau et ont besoin d'être secourus. Mais comment peut-on **améliorer les capacités à résoudre les situations inconnues** ?

Vous allez prendre part à ce projet pouvant améliorer la résilience des équipages aérospatiaux.

Scénario du questionnaire :

Imaginez une formation préparant à un vol habité dans laquelle sont intégrées 10 expériences à vivre par une même équipe d'astronautes. Une fois cette formation terminée, l'équipe part pour une véritable mission spatiale de longue durée.

Le but est de **déterminer si chacune de ces 10 expériences est intéressante ou non pour préparer cette équipe à résoudre des situations inconnues** pendant la mission spatiale.

Vous n'avez pas besoin de connaître le monde des vols spatiaux habités. En effet, vous êtes déjà un expert en leadership d'équipes et votre expertise est suffisante pour répondre aux questions.

À tout moment, vous pouvez revenir sur vos précédentes réponses. »

Question 1 :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues de **partager, avec tous ses membres et avec des interactions, un moment où elle reçoit des connaissances** ?

Dans cette expérience, l'équipe entière partage un moment où aucune tâche n'est à effectuer. L'équipe reçoit uniquement des connaissances et peut en discuter entre ses membres ou avec une tierce personne.

Le partage d'un cours où le professeur et des élèves interagissent est un exemple.

Question 2 :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues de **partager, avec tous ses membres mais sans interaction, un moment où elle reçoit des connaissances ?**

Ici, toute l'équipe partage une expérience où aucune tâche ne doit être exécutée. L'équipe reçoit des connaissances mais n'a pas l'opportunité d'interagir.

Une conférence est un exemple de ce type d'expériences : des connaissances reçues mais très peu d'interactions possibles au sein de l'équipe.

Question 3 :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues qu'**un(e) des membres reçoive seul(e) des connaissances sans son équipe ?**

Un(e) membre de l'équipe est ici isolé(e) et dans une situation où il(elle) reçoit des connaissances, avec ou sans interaction avec des tierces personnes.

Si un(e) des équipiers reçoit une instruction sans son équipe, cette expérience vécue s'inscrit dans cette catégorie.

Question 4 :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues qu'**un(e) des membres exécute seul(e) une tâche en présence de son équipe ?**

Le fait qu'un(e) équipier(ère) effectue seul(e) une tâche individuelle ou collective (son équipe ne participe pas à la tâche) alors que son équipe peut l'observer appartient à ce type d'expériences.

Un exemple est : un match de football avec un équipier sur le terrain et le reste de l'équipe en tribune.

Question 5 :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues qu'**un des membres exécute seul(e) une tâche sans son équipe ?**

Une tâche individuelle ou collective doit être effectuée par un(e) des équipiers mais le reste de son équipe ne peut pas l'observer.

Effectuer une épreuve du baccalauréat à l'abri des regards est un exemple de ce type d'expériences à vivre.

Question 6 :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues de **partager l'exécution d'une tâche avec toute l'équipe** ?

Dans ce type d'expériences, toute l'équipe exécute une tâche collective.

Un exemple est de réussir une course d'orientation avec toute son équipe.

Question 7 :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues de **partager une qualification technique avec toute l'équipe** ?

Une qualification technique permet à une équipe de maîtriser le cœur technique d'un métier et d'assurer sa sécurité.

La formation initiale sur simulateur des pilotes de ligne est un exemple.

Question 8 :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues de **partager la vie normale avec toute l'équipe** ?

Cette catégorie regroupe tout ce que l'on partage lors d'une vie en internat.

Le moment du dîner est un exemple.

Question 9 :

Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues de **partager des événements sociaux exceptionnels avec toute l'équipe** ?

Les événements sociaux exceptionnels dépassent la vie normale et routinière en internat.

Un exemple est une sortie en boîte de nuit avec toute l'équipe réunie.

Question 10 :

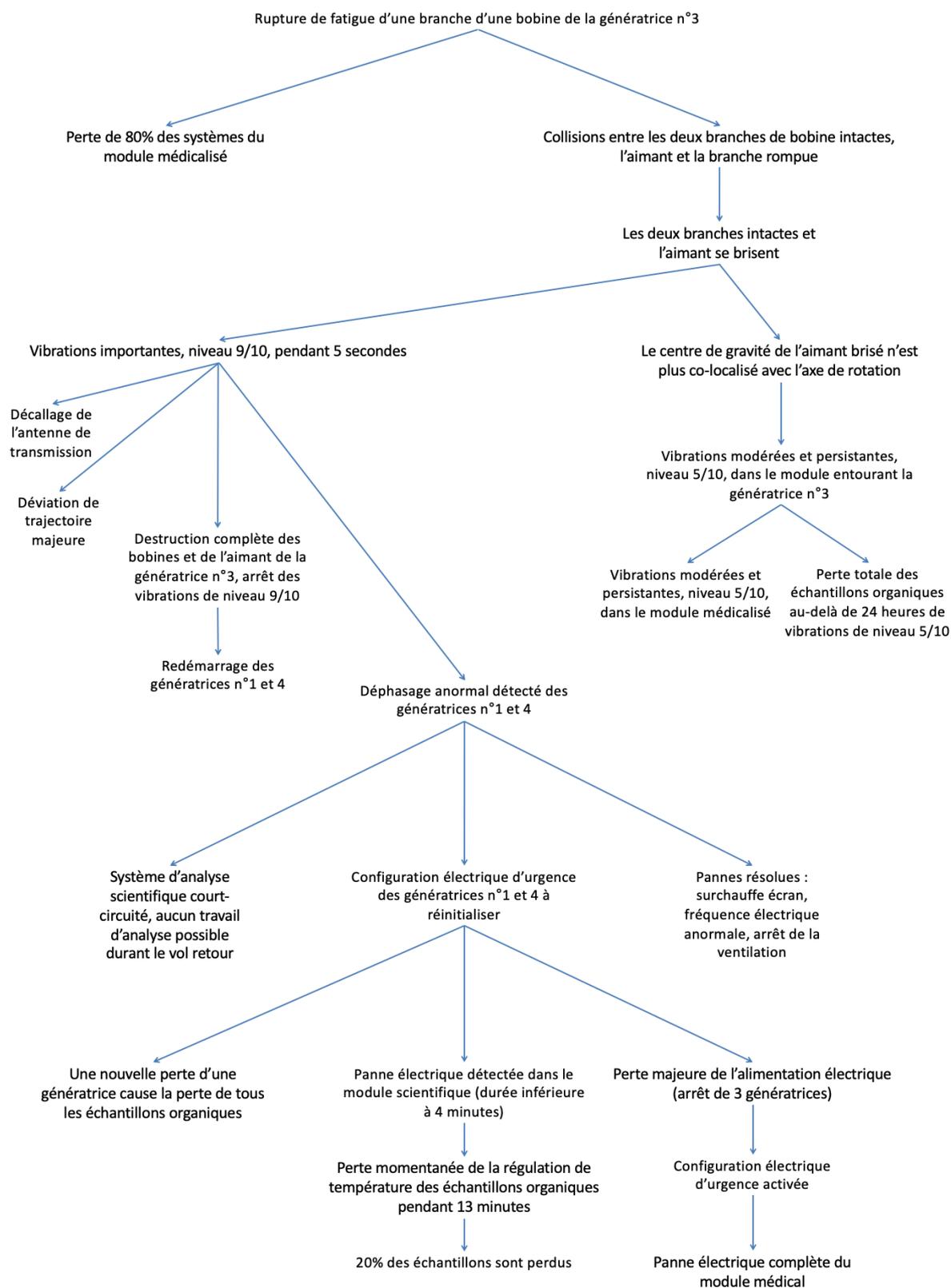
Est-ce utile à une équipe pour résoudre des situations inconnues de **partager des événements intergénérationnels avec toute l'équipe** ?

Ces évènements relatifs aux traditions permettent de créer un dénominateur commun à travers les années entre les personnes suivant une formation précise.

Un exemple de ce type d'expériences est une équipe partageant une cérémonie solennelle et annuelle de remise des diplômes.

## Annexe 3

# 8<sup>ème</sup> expérience : compte rendu Mars, chronologie d'enchaînement des pannes



## Annexe 4

### Extrait des retranscriptions, dialogues de l'ES, Survie lunaire

Début de l'expérience :

ES1, 2 et 3 : (lancent un chrono, **MO, MO, MO**)

ES2 : (retourne feuille)

ES tous : (lisent l'énoncé, **DE, DE, DE, DE**)

ES2 : (se redresse sur sa chaise)

ES3 : ok (**NN**)

ES2 : ok (**NN**) donc là on travaille sur le module de survie (vers ES3, **RE**) euh donc se protéger (**RE**) (compte sur ses doigts) se signaler (**RE**) s'hydrater (**RE**)

ES3 : s'hydrater (**RE**) se nourrir (**RE**)

ES2 : se nourrir (**RE**) (compte avec ses doigts, **RE**) donc les aliments ils iront en dernier

ES4 : hum (valide, **EV**)

ES3 : (indescriptible) se protéger (**RE**)

ES2 : je propose qu'on fasse plus du moins important au plus important (marque un mouvement de doigt vers l'avant, **PL**)

ES1 : hum (valide, **PL**)

ES3 : canot de sauvetage auto gonflable (montre du doigt la feuille)

ES2 : le plus important je pense que (**NN**) ce sera plus difficile à choisir (**MI**) et les moins importants on peut les éliminer directement (**MI**)

ES4 : oui (**EV**)

ES2 : alors les aliments (saisit le stylo et écrit)

ES4 : les aliments concentrés

ES2 : alors ça on peut (saisit une seconde feuille et trace des traits) on va on va faire quatre catégories (**PO**)

ES4 : oui (acquiesce, **PO**)

ES2 : la catégorie (trace des traits pour modéliser les catégories) se protéger (**PO**)

## Annexe 5

### Positions normalisées des catégories métacognitives par exercice et par équipe

Cat	Eq	1	2	3	4 sac	4 euro	5	6	7	8	9	10	11	12-1	12-2	12-3	12-4	12-5	12-6
DE	ES	41,41	39,27	36,89	45,99	31,97	46,52	23,33	12,18	40,08	30,05	40,99	21,27	19,97	35,95	28,03	40,42	32,69	36,87
	EMS	32,39	38,44	42,66	19,64	31,08	27,34	25,28	10,79	29,93	30,79	41,20	24,79	38,63	32,85	32,43	25,96	44,42	29,87
	EA	24,88	44,41	38,23	35,37	22,14	35,16	29,30	13,34	46,08	40,39	36,76	34,17	36,29	37,21	nil	nil	nil	nil
RE	ES	50,62	63,25	38,35	57,83	64,53	42,15	50,02	30,40	42,54	42,91	39,16	68,86	79,10	28,57	35,06	69,79	37,53	nil
	EMS	51,48	59,05	57,20	51,09	68,96	52,52	54,62	31,36	46,30	31,61	61,48	35,67	20,22	17,69	34,66	6,57	44,62	nil
	EA	50,56	50,70	54,03	39,91	50,63	40,32	54,58	30,49	39,86	47,74	50,51	52,16	49,86	53,74	nil	nil	nil	nil
PL	ES	17,20	29,21	89,22	16,28	21,43	43,73	nil	7,77	nil	45,57	nil	69,74	nil	nil	nil	nil	nil	nil
	EMS	8,64	47,29	nil	73,78	nil	17,44	44,43	25,49	nil	66,76	nil	81,69	95,79	nil	nil	49,27	nil	nil
	EA	21,83	47,70	7,09	34,55	nil	nil	31,81	33,13	48,63	nil	12,39	nil	nil	47,83	nil	nil	nil	nil
MO	ES	54,63	75,37	52,60	52,73	46,43	55,82	68,38	56,24	74,68	63,97	72,39	69,29	56,98	39,20	61,71	34,57	57,31	48,48
	EMS	66,13	70,73	58,15	56,20	36,69	59,27	64,55	59,43	75,97	74,31	53,75	71,46	55,78	49,33	57,45	17,96	51,47	32,00
	EA	64,43	50,80	53,72	60,82	45,79	55,47	66,85	54,83	73,53	69,00	73,11	53,70	44,39	48,56	nil	nil	nil	nil
EV	ES	52,58	47,29	71,72	44,90	81,17	55,34	58,58	55,12	64,33	65,66	58,40	56,51	67,08	55,72	59,38	59,67	53,95	57,83
	EMS	50,35	48,18	48,92	51,80	62,96	60,08	62,25	51,74	75,74	64,53	48,17	57,42	55,52	49,30	59,52	51,86	53,63	63,81
	EA	53,57	64,13	66,60	50,69	66,03	59,24	65,85	49,12	76,27	60,95	52,51	59,31	62,49	50,89	nil	nil	nil	nil
CT	ES	62,35	46,56	57,35	49,42	36,69	58,74	51,64	49,06	70,12	61,71	58,45	48,89	65,97	59,71	64,28	46,89	48,06	59,94
	EMS	47,27	44,83	55,35	43,72	31,85	49,11	64,02	59,68	68,45	58,99	38,91	51,69	46,20	54,62	52,67	55,68	47,88	59,59
	EA	78,38	47,02	40,35	57,07	51,64	55,87	58,63	55,27	57,80	71,00	50,11	45,30	59,18	57,07	nil	nil	nil	nil

## Positions normalisées des catégories métacognitives moyennes par équipe

Équipe	DE	RE	PL	MO	EV	CT
ES	33,55	49,45	37,79	57,82	59,18	55,32
EMS	31,03	42,65	51,06	56,15	56,43	51,69
EA	33,84	47,51	31,66	58,21	59,83	56,05