

# Les facteurs humains au cœur de la sécurité maritime

Jean-Pierre Clostermann

▶ **To cite this version:**

Jean-Pierre Clostermann. Les facteurs humains au cœur de la sécurité maritime : La gestion des ressources en passerelle de navire. Psychologie. Université de Bretagne Sud, 2014. Français. NNT : . tel-01104027

**HAL Id: tel-01104027**
**https://hal.science/tel-01104027**

Submitted on 15 Jan 2015

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

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



THESE / UNIVERSITE DE BRETAGNE-SUD
*sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne*

*pour obtenir le titre de*
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE BRETAGNE-SUD
*Mention : Psychologie*

Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales

*présentée par*

**Jean-Pierre Clostermann**

Préparée à l'Unité Mixte de recherche CNRS 6285
Université de Bretagne Sud, Lab-STICC
(Laboratoire des Sciences et Techniques de l'information, de la communication et de la connaissance)

# Les facteurs humains au cœur de la sécurité maritime :

# La gestion des ressources en passerelle de navire

**Thèse soutenue le 7 janvier 2014,**
devant le jury composé de :

**Christine Chauvin,**
Professeur, Université de Bretagne Sud / *Directrice de thèse*

**Agnès Van Daele**
Professeur, Université de Mons / *Rapporteur*

**Gilles Coppin**
Professeur, Télécom-Bretagne / *Rapporteur*

**Estelle Michinov**
Professeur, Université Rennes 2 / *Présidente du jury*

# RESUME

Le transport maritime est une activité à risques. Ces dernières années, des accidents maritimes spectaculaires ont mis en évidence des défaillances dans la gestion des situations normales d'exploitation, au niveau local comme au niveau organisationnel, avec des conséquences potentiellement catastrophiques (cf. Costa-Concordia). Suivant son homologue aéronautique, l'Organisation maritime internationale (OMI) met aujourd'hui en œuvre une politique de formation aux facteurs humains pour tenter de diminuer le nombre et le coût des accidents.

Ce doctorat porte sur la gestion de toutes les ressources (*Resource management*), humaines, logicielles, matérielles et environnementales, disponibles sur la passerelle du navire de commerce. Après un bref historique du transport maritime, la première partie passe en revue la littérature concernant les principaux modèles permettant d'appréhender la théorie des facteurs humains sur le plan de la cognition individuelle (compréhension de la situation, prise de décision) et de la cognition d'équipe (coordination, communication). Il fait le point sur les formations CRM (Crew Resource Management) dans plusieurs secteurs de l'industrie, dont le maritime, en prenant pour étalon de comparaison le transport aérien, pionnier de ces formations.

La deuxième partie décrit trois études réalisées sur le thème des facteurs humains dans la conduite de navire. Une analyse de 27 collisions à l'aide d'un outil dérivé du modèle Swiss Cheese de Reason, le HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) met en évidence la prépondérance des erreurs de décision et l'existence d'une classe d'accidents dans laquelle les défaillances du travail d'équipe sont centrales. Une expérimentation, menée sur simulateur, montre les différences entre experts et novices dans les processus de prise de décision, et donne des méthodes destinées à améliorer la formation à la prise de décision. La troisième étude, menée également sur simulateur, porte sur le travail d'équipe et sur les communications qui permettent d'élaborer et de maintenir une représentation partagée de la situation. Elle met en évidence des défaillances dans le processus de communication, qui sont significativement liées à de faibles performances.

Ce mémoire présente un ensemble cohérent de démarches destinées à comprendre et améliorer la cognition individuelle et la cognition de l'équipe de conduite d'un navire de commerce dans une optique pédagogique. Il montre aussi, à l'occasion, l'influence des facteurs organisationnels sur la sécurité de cette activité.

Mots-clé : BRM, CRM, HFACS, compréhension de la situation, prise de décision, coordination, formation, erreur, travail d'équipe.

# ABSTRACT

Shipping is a hazardous activity. In recent years, spectacular maritime accidents have highlighted shortcomings in the management of normal operations, both at the local and at the organizational level, with potentially catastrophic consequences (cf. Costa Concordia). Following its aviation counterpart, the International Maritime Organization (IMO) is now implementing a policy of human factors training to try and reduce the number and cost of accidents.

This PhD focuses on the management of all the available resources (Resource Management), human, software, harware and environment, on the bridge of a merchant ship. After a brief history of maritime transport, the first section reviews the literature on the main models to understand the theory of human factors on the level of individual cognition (situation awareness, decision making) and team cognition (coordination). It focuses on CRM training (Crew Resource Management) in several industries, including shipping, and compares them to the air transport standard.

The second part describes three studies on the theme of human factors in handling the ship. An analysis of 27 collisions using a tool derived from Reason's Swiss Cheese model : the HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) highlights the dominance of decision errors and the existence of a specific class of accidents in which teamwork failures are central An experiment conducted on a simulator shows the differences between experts and novices in the process of decision making, and provides methods to improve training in decision making. The third study, also conducted on a simulator, covers teamwork and communications aiming to build and maintain a shared situation awareness.. It highlights shortcomings in the process of communication, which are significantly associated with poor performance.

This work is a learning oriented coherent set of actions aimed at understanding and improving individual and team cognition during the handling of a merchant ship. It also occasionally points out the influence of the organization on the safety of this trade.

Key-words : BRM, CRM, HFACS, situation awareness, decision-making, coordination, training, error, teamwork

# REMERCIEMENTS

Un mémoire de doctorat, c'est un travail d'équipe. Ici, un travail d'équipe sur le travail d'équipe, en quelque sorte ! Quand je revois tous les jalons sur le chemin débouchant finalement sur l'achèvement de ce travail, je suis un peu ému par la coordination de tant de bonnes volontés qui, l'une après l'autre, m'ont permis d'envisager, de tenter et finalement de sortir par le haut d'une épreuve que j'ai parfois vécue comme une course de fond (la nature du travail), d'obstacles (principalement l'inconstance de mon institution, intéressée un jour, moins le lendemain…), avec un gros sac à dos (l'âge !).

J'adresse mes sincères remerciements aux personnes mentionnées ci-dessous, et aux personnes qui ne sont pas citées, toutes celles qui m'ont aidé à un moment ou à un autre dans la réalisation de ce projet.

Tout d'abord, ma gratitude va à Christine Chauvin, directrice de thèse rigoureuse et coach hors pair, qui ne m'a jamais lâché, m'a encouragé dans ce travail tout en montrant avec beaucoup de douceur une exigence sans concession, les yeux rivés sur l'objectif.

Bien sûr, René Amalberti a été l'inspirateur de ce travail, depuis le tout début. René m'a orienté vers le DU de l'université R Descartes, dont j'ai appris récemment avec tristesse la suppression. Aujourd'hui, en dépit d'une bibliographie qui commence à remplir les étagères de mon bureau, « La conduite des systèmes à risques » reste un livre-référence auquel je reviens systématiquement, comme le montre l'abondance des citations au fil de ce mémoire.

Jean-Michel Hoc, intervenant au DU, a répondu favorablement à ma demande alors que j'envisageais pour la première fois un doctorat, et a par la suite été cosignataire de plusieurs articles. Je garde aussi un beau souvenir d'une passionnante école d'été au Croisic qu'il avait organisée dans le cadre du GDR Psycho Ergo.

Jean-François Antin, alors directeur de l'Ecole nationale de la marine marchande du Havre, a autorisé et financé mon inscription en première année de doctorat, montrant la volonté de l'école d'élever le niveau de compétence dans ce domaine.

Gilles Coppin, de Telecom-Bretagne, s'est intéressé à nos expérimentations et organisé l'appareillage du simulateur de conduite du navire pour le recueil des données.

Héléna Chéné a effectué le traitement des données d'une première campagne d'expérimentation en 2010.

Agnès Van Daele, Estelle Michinov et Gilles Coppin ont accepté d'évaluer ce travail et de se déplacer à Lorient pour être rapporteur ou membre du jury.

Plusieurs informaticiens m'ont aidé à mettre en place et faire fonctionner le matériel de recueil de données, je pense en particulier à notre regretté Jean-Yves Deschamps, informaticien de l'école, décédé depuis, mais aussi à Jean-Marc Diverrez, de Telecom Bretagne, qui a passé des heures sur la route entre Brest et Le Havre, et à Miguel Anquetil, qui a participé à la campagne 2013 de recueil de données.

Je pense aussi à tous les chercheurs en ergonomie, en psychologie, Les membres d'ARPEGE, celle de l'IRBA, tous ces passionnés avec qui j'ai eu, et j'aurai encore je l'espère, des échanges extrêmement enrichissants.

Enfin, je pense à mes proches, particulièrement à mon épouse Monique qui m'a prodigué des encouragements sans réserve tout au long du chemin.

# AVANT-PROPOS

En dépit de ma motivation, de mon enthousiasme pour le métier et des bons résultats obtenus à l'école nationale supérieure maritime, certains épisodes de navigation m'avaient laissé un souvenir douloureux, mauvaise gestion des priorités, erreur de décision. Ces épisodes peu glorieux restaient associés pour moi à une forme d'échec car bien qu'y ayant réfléchi longuement a posteriori, je n'arrivais pas à m'expliquer clairement certaines décisions prises ou certaines erreurs commises. Les études entreprises, le DU à l'université René Descartes, Paris V, et la lecture de différents ouvrages, m'ont ouvert l'univers des facteurs humains, que j'appellerai souvent par leurs initiales FH dans ce mémoire. Ce doctorat est l'aboutissement logique d'une démarche entreprise à la fois pour améliorer ma compétence professionnelle comme chargé d'enseignement des FH, pour augmenter la crédibilité de l'école nationale supérieure maritime dans ce domaine et j'espère contribuer modestement à sa renommée, et aussi pour finir d'exorciser la culpabilité qui accompagnait encore le souvenir d'avoir été confronté à « l'échec de faire », comme le dit très bien René Amalberti.

Cette thèse rassemble différentes publications : plusieurs passages du livre « La conduite du navire marchand » (Clostermann, 2010) et un chapitre sur le CRM maritime inclus dans un livre traitant du CRM dans plusieurs secteurs d'activité (Clostermann, à paraître) ainsi que trois articles et un chapitre d'ouvrage qui sont les produits d'une coopération fructueuse entre le Lab-STICC de l'Université de Bretagne Sud et le site du Havre de l'Ecole nationale supérieure maritime (ENSM). Ces publications sont représentatives des questionnements qui ont accompagné l'arrivée d'une nouvelle discipline, les facteurs humains, ou la gestion de l'erreur humaine, dans l'enseignement maritime.

a) Les chapitres 1 et 2 qui présentent le domaine d'application ainsi que les facteurs humains dans le domaine maritime reprennent et étoffent plusieurs chapitres de l'ouvrage « la conduite d'un navire marchand ».

b) Le chapitre 3 de ce mémoire est intitulé « Les facteurs cognitifs et la sécurité maritime ». Il reprend une section du Traité de médecine maritime (Chauvin & Clostermann, à paraître) et présente l'incidence des processus macro-cognitifs sur la sécurité maritime. Il s'appuie sur les modèles développés par le courant de recherche sur la Naturalistic Decision Making (NDM), particulièrement sur le modèle de conscience de la situation de Endsley (1995) et sur le modèle RPD de Klein (1998) pour expliquer comment l'opérateur au travail prend des décisions dans des situations complexes, c'est-à-dire, entre autres, des situations dynamiques, en environnement incertain, avec des buts parfois contradictoires, sous pression temporelle (Zsambok, 1997).

c) Le chapitre 4 : « la formation aux facteurs humains dans le secteur maritime » reprend le chapitre « Panorama des formations CRM dans la marine marchande » (Clostermann & Bouillon, A paraître), une section de l'ouvrage « Les formations de type Crew Resource Management dans les activités de conduite de systèmes à risques » (Fornette & Jollans, A paraître) qui traite de ces formations dans différents secteurs d'activité en France – aéronautique civile et militaire, maritime, transport ferroviaire, santé et réseaux de distribution d'énergie (GrDF).

d) Le chapitre 6 de ce mémoire, « Impact de la formation de jeunes officiers-élèves à la prise de décision et à la conscience de la situation » reprend un article publié dans la Revue Safety Science (Chauvin, Clostermann & Hoc, 2009). Il s'intéresse au lien entre les niveaux de la compréhension de la situation tels que décrits par Endsley (1995) et la prise de décision d'un jeune chef de quart seul sur la passerelle. Il s'agit ici de la performance individuelle, représentative de la première étape dans la sécurisation progressive du transport maritime grâce aux facteurs humains (FH). Cet article met en évidence des carences dans les compétences de prise de décision des jeunes officiers et teste une piste d'amélioration consistant en la mise en œuvre au cours de la 5e année d'études d'exercices de prise de décision. Par ailleurs, un des résultats attendus lors de cette dernière expérimentation a été largement confirmé : les officiers ayant déjà été confrontés à des situations similaires en cours de navigation prennent de meilleures décisions, plus efficaces même si elles ne sont pas forcément plus orthodoxes.

e) Le chapitre 7 est intitulé : « Champ commun de représentation et performance ». Les expérimentations qui ont été résumées dans cet article ont été réalisées entre 2010 et 2013 et ont pour champ d'investigation la cognition d'équipe, 2e étape de la sécurisation de l'activité après l'individu. Ce chapitre explore le lien entre la performance du navire et la qualité du champ commun de compréhension de la situation construit et maintenu par une équipe de deux officiers-élèves tout au long de leur activité sur la passerelle du navire au cours d'un exercice sur simulateur. Les expérimentations effectuées montrent une relation fortement significative entre des carences dans le champ commun maintenu par l'équipe et une performance faible, alors que des valeurs normales pour la qualité du champ commun permettent une performance satisfaisante ou même élevée. Cet article, actuellement en préparation, sera soumis à la revue « Small Group Research ».

f) Le chapitre 5 reprend un article paru dans le n° 59 de la revue *Accident Analysis and Prevention* et s'intitule : « Facteurs humains et organisationnels dans les accidents maritimes : Analyse des abordages en mer à l'aide du *Human Factors*

*Analysis and Classification System* » (HFACS) (Chauvin, Lardjane, Morel, Clostermann, & Langard, 2013).

Fin 2011, J'ai été contacté par le directeur des enquêtes maritimes du Bureau de la Sécurité des Transports du Canada, qui, ayant lu le livre « La conduite du navire marchand… » m'invitait à faire une intervention devant les enquêteurs lors de leur congrès annuel. J'ai proposé une matinée complète combinant à la fois des propos pratiques intéressant les enquêteurs de terrain et des propos ressortissant à la recherche en associant Christine Chauvin à ce voyage. De cette rencontre avec les enquêteurs canadiens est né cet article qui analyse les facteurs contributifs relevés par les enquêteurs du Maritime Accident Investigation Branch (MAIB) du Royaume-Uni et du Bureau de la sécurité des transports (BST - TSB) du Canada lors de 27 abordages impliquant 39 navires de commerce. Il utilise la méthode HFACS basée sur le modèle « Swiss Cheese » de James Reason. Cette méthode est représentative de la 3e étape de la sécurisation progressive du transport maritime, qui s'intéresse non seulement aux opérateurs de première ligne, mais aussi à tout le système situé en amont, ce dernier ayant, c'est aujourd'hui démontré, un impact fort sur l'activité des premiers.

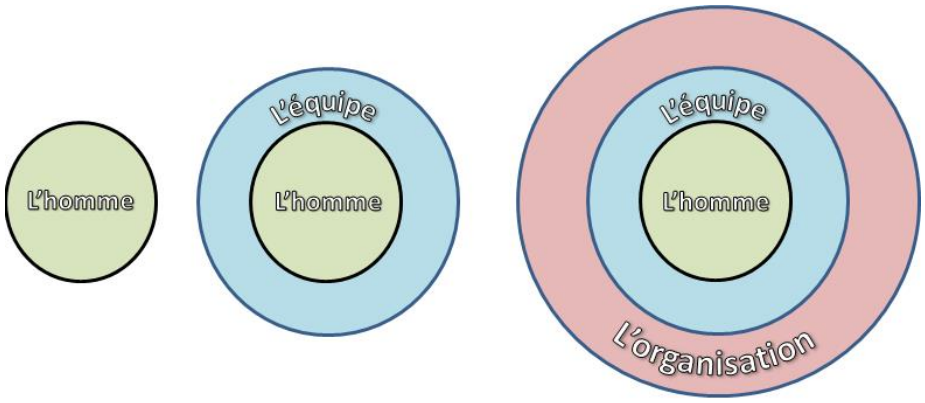



**Figure 1 : Différents niveaux de facteurs humains abordés dans cette étude**

Ce mémoire traite de facteurs humains à différents niveaux : l'individu, l'équipe opérationnelle, le système complexe. Ce dernier niveau, l'organisation, n'est toutefois abordé que comme l'objet périphérique d'une étude sur les accidents maritimes, et n'est pas traité en tant qu'objet d'étude à part entière.

La première partie de la thèse – l'introduction et la problématique décrite dans les trois premiers chapitres – campe le décor, peint en quelque sorte l'arrière-plan sur lequel s'effectue la partie expérimentale et lui donne son sens.

# TABLE DES MATIERES


RESUME ..... 3
ABSTRACT ..... 5
REMERCIEMENTS ..... 7
AVANT-PROPOS ..... 9
TABLE DES FIGURES ..... 16
TABLE DES TABLEAUX ..... 17
TABLE DES ABREVIATIONS ..... 18

**INTRODUCTION ET ORGANISATION DU MEMOIRE ..... 21**

# 1 Partie théorique

**1 UN PEU D'HISTOIRE MARITIME ..... 27**

1.1 LES ORIGINES ..... 28
*1.1.1 Le XIXe siècle et l'apparition du terme « facteur humain » ..... 28*
*1.1.2 La mondialisation ..... 29*
*1.1.3 Les métiers à bord du navire marchand ..... 30*
1.2 UN SYSTEME A RISQUES ..... 31
*1.2.1 Le rôle de l'opérateur de première ligne ..... 32*
*1.2.2 Les conséquences de l'accident ..... 33*
*1.2.3 Le facteur temps : ..... 35*

**2 LES FACTEURS HUMAINS DANS LE DOMAINE MARITIME ..... 37**

2.1 HISTORIQUE ..... 39
*2.1.1 Evolution de la prise en compte des FH dans l'aéronautique ..... 39*
*2.1.2 Prise en compte des facteurs humains dans le maritime ..... 41*
2.2 MODELES ET CONCEPTION PSYCHOLOGIQUES DE L'ERREUR HUMAINE ..... 45
*2.2.1 Les modèles GEMS (Reason, 1990) et SRK (Rasmussen, 1986) ..... 46*
*2.2.2 De la gestion des erreurs à la gestion des risques ..... 49*
*2.2.3 Le modèle « Swiss Cheese » (Reason, 1990) ..... 53*
*2.2.4 Le modèle SHELL ..... 55*
2.3 SECURISER LES SYSTEMES COMPLEXES ..... 57
*2.3.1 Agir en prévention et en atténuation : les barrières ..... 57*
*2.3.2 Récupérer les erreurs ..... 66*
2.4 CONCLUSIONS ..... 68

**3 LES FACTEURS COGNITIFS ET LA SECURITE MARITIME ..... 73**

3.1 LA COMPREHENSION DE LA SITUATION EN COURS ..... 77
*3.1.1 Le modèle de la « situation awareness » ..... 77*
*3.1.2 Le « sensemaking » ..... 81*
3.2 LA PRISE DE DECISION ..... 83
*3.2.1 La décision rationnelle ..... 84*
*3.2.2 La prise de décision en situation naturelle, le modèle RPD ..... 85*
*3.2.3 Prise de décision, temporalité et expertise ..... 89*

3.3 LA COORDINATION ..... 92
*3.3.1 La coordination intra-équipe ..... 93*
*3.3.2 La coordination inter-équipes ..... 99*
3.4 CONCLUSION ..... 100

**4 LA FORMATION AUX FACTEURS HUMAINS DANS LE SECTEUR MARITIME ..... 103**

4.1 FORMATION FH OU CRM ? ..... 105
4.2 EVOLUTION DES CRM DANS DIVERSES ACTIVITES ..... 107
4.3 SRM : LES EXIGENCES REGLEMENTAIRES INTERNATIONALES DANS LE MARITIME ..... 110
4.4 LES FORMATIONS FH DANS LE MARITIME EN FRANCE ..... 115
*4.4.1 La polyvalence, un concept FH ignoré ..... 115*
*4.4.2 Les formations FH : objectifs et contenus ..... 116*
*4.4.3 La formation « SRM initial » (phase transitoire) ..... 119*
*4.4.4 Les stages BRM et ERM de rafraîchissement ..... 121*
*4.4.5 Les Principes généraux de formation ..... 121*
*4.4.6 Quelques précautions à l'introduction du SRM ..... 124*
4.5 QUELS RESULTATS POUR CES FORMATIONS ? ..... 124
4.6 CONCLUSION ..... 128
**RESUME DE LA PREMIERE PARTIE ..... 130**

**PROBLEMATIQUE ..... 131**

# 2 partie empirique

**5 FACTEURS HUMAINS ET ORGANISATIONNELS DANS LES ACCIDENTS MARITIMES : ANALYSE DES ABORDAGES EN MER A L'AIDE DU *HUMAN FACTORS ANALYSIS AND CLASSIFICATION SYSTEM* » (HFACS) ..... 141**

5.1 INTRODUCTION ..... 143
5.2 LE CADRE THEORIQUE ..... 146
*5.2.1 La nécessité de choisir un modèle pertinent d'accident ..... 146*
*5.2.2 Le cadre HFACS : un outil construit à partir du modèle « Swiss Cheese » ..... 148*
5.3 METHODE ..... 149
*5.3.1 Le « HFACS-Coll » ..... 150*
*5.3.2 Rapports d'enquête sur les abordages ..... 153*
*5.3.3 Le processus de codage ..... 153*
*5.3.4 L'analyse statistique ..... 153*
5.4 RESULTATS ..... 154
*5.4.1 Actes dangereux ..... 156*
*5.4.2 Facteurs prédisposant aux actes dangereux ..... 156*
5.4.2.1 Les facteurs environnementaux ..... 156
5.4.2.2 La condition physique et mentale des opérateurs ..... 157
5.4.2.3 Les mauvaises pratiques des opérateurs ..... 157
*5.4.3 Défaut de supervision ..... 159*
*5.4.4 Influences organisationnelles ..... 160*

*5.4.5 Facteurs extérieurs ... 160*
*5.4.6 Mise en évidence de patterns de facteurs contributifs ... 161*
5.5 DISCUSSION ET CONCLUSION ... 166
*5.5.1 Les principaux facteurs contributifs des collisions ... 166*
*5.5.2 Trois patterns de causes ... 169*
*5.5.3 Limites de l'étude ... 170*
*5.5.4 Implications et recherches futures ... 170*

**6 IMPACT DE LA FORMATION DE JEUNES OFFICIERS-ELEVES A LA CONSCIENCE DE LA SITUATION ET A LA PRISE DE DECISION 173**

6.1 INTRODUCTION ... 175
6.2 UN PROGRAMME DE FORMATION A LA PRISE DE DECISION ... 178
*6.2.1 Principes et outils pour faciliter l'apprentissage de la prise de décision. ... 179*
*6.2.2 Exercices de prise de décision en situation d'anticollision. ... 181*
6.3 EVALUATION DU PROGRAMME D'ACQUISITION D'EXPERTISE EN PRISE DE DECISION. ... 186
*6.3.1 Méthode ... 186*
6.3.1.1 Participants ... 186
6.3.1.2 Outil d'expérimentation ... 187
6.3.1.3 Protocole d'expérimentation ... 187
*6.3.2 Résultats ... 189*
6.3.2.1 Résultats du groupe test ... 189
6.3.2.2 Spécificités des étudiants ayant une expérience de navigation à bord de ferries ... 191
6.3.2.3 Différences entre le groupe test et le groupe témoin ... 192
6.4 DISCUSSION ET CONCLUSIONS ... 194

**7 MESURER LA COGNITION D'EQUIPE ... 197**

7.1 LES METHODES D'ANALYSE DE LA COGNITION D'EQUIPE ... 200
*7.1.1 Mesures des performances/ résultats ... 202*
*7.1.2 Analyse des processus mentaux et des structures mentales ... 202*
*7.1.3 Analyse centrée sur les processus coopératifs ... 206*
7.2 METHODOLOGIE ... 207
*7.2.1 Participants ... 207*
*7.2.2 Le protocole de recueil des données ... 208*
7.2.2.1 : La situation expérimentale ... 209
*7.2.3 Le codage des données verbales ... 213*
*7.2.4 Analyse des données ... 214*
7.3 RESULTATS ... 216
*7.3.1 Performances des groupes ... 216*
*7.3.2 Analyse des communications ... 217*
7.4 DISCUSSION ... 220
*7.4.1 Intérêts et limites des indicateurs proposés ... 220*
*7.4.2 Limites de l'étude et perspectives ... 221*

**CONCLUSION DU MEMOIRE ET PERSPECTIVES ... 225**

INDEX ... 231
BIBLIOGRAPHIE ... 233

# TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : DIFFERENTS NIVEAUX DE FACTEURS HUMAINS ABORDES DANS CETTE ETUDE ..... 11
FIGURE 2 : TRANSPORTER TOUJOURS PLUS… ..... 29
FIGURE 3 : CONTRIBUTION DE L'OPERATEUR HUMAIN AUX ACCIDENTS AERIENS, SOURCE BOEING ..... 32
FIGURE 4 : CONTRIBUTION DE L'OPERATEUR HUMAIN AUX ACCIDENTS MARITIMES, BST CANADA ..... 32
FIGURE 5 : LE HERALD OF FREE ENTERPRISE CHAVIRE, PORTE AVANT OUVERTE ..... 34
FIGURE 6 : STATISTIQUES DANS L'AVIATION CIVILE (AMALBERTI, 2001, P. 30) ..... 40
FIGURE 7 : LES TROIS NIVEAUX DE CONTROLE DE L'ACTIVITE, UNE VISION DU MODELE SRK DE RASMUSSEN ..... 46
FIGURE 8 : LES GRANDES LIGNES DE LA DYNAMIQUE DU SYSTEME GEMS (D'APRES REASON, 1990, P.64) ..... 48
FIGURE 9 : TYPES D'ERREURS EN FONCTION DES RESSOURCES DISPONIBLES ..... 50
FIGURE 10 : ERREURS ET RECUPERATIONS, D'APRES AMALBERTI (2005) ..... 51
FIGURE 11 : LA GRILLE DE REASON, OU « SWISS CHEESE » ..... 53
FIGURE 12 : L'OPERATEUR AU CENTRE DU SYSTEME : LE MODELE SHELL, D'APRES EDWARDS (1972) ET HAWKINS (1987) 56
FIGURE 13 : COMPROMIS COGNITIF ; TECHNIQUES DE PREVENTION DES ERREURS ..... 64
FIGURE 14 - LES RELATIONS ENTRE ENVIRONNEMENT, SCHEMAS, REPRESENTATION, DECISION (D'APRES LIPSHITZ & BEN SHAUL, IBID.) ..... 76
FIGURE 15 : MODELE DE LA « SITUATION AWARENESS » DANS LA PRISE DE DECISION DYNAMIQUE (ENDSLEY, 1995). ..... 78
FIGURE 16 : LE CUYAHOGA ..... 79
FIGURE 17 : COMPARAISON DES REPRESENTATIONS MENTALES DES 3 HOMMES A LA PASSERELLE DU CUYAHOGA ..... 80
FIGURE 18 : POSITIONS SUPPOSEES ET POSITIONS REELLES DU ROYAL MAJESTY LE 10 JUIN 1995 ..... 83
FIGURE 19 : LE MODELE RPD (KLEIN, 1998, P.25) ..... 86
FIGURE 20 : INFORMATIONS COLLECTEES VS TEMPS ECOULE, LOI DE PARETO ..... 89
FIGURE 21 : UTILISATION DE L'ALARME DE TCPA POUR LA PRISE DE DECISION ..... 92
FIGURE 22 : LA COMPREHENSION GLOBALE DE L'EQUIPE, D'APRES ENDSLEY (1995) ..... 97
FIGURE 23 : ORGANIGRAMME DES FORMATIONS FH A L'ENSM ..... 118
FIGURE 24 – LE HFACS-COLL ..... 150
FIGURE 25 - ACM SUR LES PRINCIPALES VARIABLES DE LA BASE DE DONNEES, ..... 162
FIGURE 26 : REGROUPEMENT HIERARCHIQUE. ..... 164
FIGURE 27 : REGROUPEMENTS PROJETES SUR LE PLAN FACTORIEL. ..... 165
FIGURE 28 : ARBRE DE CLASSIFICATION ..... 166
FIGURE 29 : MODELE D'AJUSTEMENT ENTRE CONTROLE DE LA SITUATION, REGLES ET PERFORMANCE ..... 176
FIGURE 30 : LES QUATRE PHASES DE LA R17 A BORD DU NAVIRE PRIVILEGIE ..... 183
FIGURE 31 : EXERCICE DE PRISE DE DECISION, SITUATION N° 1 ..... 184
FIGURE 32 : EXERCICE DE PRISE DE DECISION, SITUATION N°2 ..... 185
FIGURE 33 : SITUATION EXPERIMENTALE ..... 187
FIGURE 34 : ACM STRATEGIE ADOPTEE / DECISION PRISE ..... 193
FIGURE 35 : LA COGNITION D'EQUIPE REPRESENTEE SOUS LA FORME D'UN MODELE IPO, INPUT-PROCESSUS-OUTPUT, D'APRES MATHIEU & AL. (2000) ..... 201
FIGURE 36 : VUE PARTIELLE DE LA CONSOLE CENTRALE ..... 209
FIGURE 37 : LA PASSERELLE DE L'ALTAÏR, PHOTOMONTAGE JM DIVERREZ ..... 210
FIGURE 38 : CONFIGURATION DU DISPOSITIF DE RECUEIL DES DONNEES AU SIMULATEUR ..... 210

# TABLE DES TABLEAUX


TABLEAU 1 : COUT D'UN ACCIDENT ..... 33
TABLEAU 2 - BARRIERES EN TANT QUE SYSTEME ET BARRIERES EN TANT QUE FONCTIONS ..... 59
TABLEAU 3 : LES « FORMATIONS CRM », EXTRAIT DE LA REGLEMENTATION EUROPEENNE ( (DI COCCIO, A PARAITRE) ..... 106
TABLEAU 4 : PROGRAMME DE FORMATION AUX FACTEURS HUMAINS POUR LES PILOTES DE LIGNE, CONFORME A LA REGLEMENTATION EUROPEENNE JAR-FCL SUR LES LICENCES DU PERSONNEL NAVIGANT (AMALBERTI & AL., 2001). ..... 107
TABLEAU 5 : METIERS, ACTIVITES ET NIVEAUX SELON LA NORME STCW (IMO, 2010) ..... 111
TABLEAU 6 : LES SIX COMPETENCES FACTEURS HUMAINS DEFINIES DANS LA NORME STCW (IMO, IBID) ..... 112
TABLEAU 7 : PROJET DE FORMATION AUX FACTEURS HUMAINS A L'ENSM ..... 118
TABLEAU 8 : CORRESPONDANCES ENTRE EXIGENCES DE COMPETENCE STCW ET CONTENU DU STAGE SRM (PROJET D'ARRETE) ..... 120
TABLEAU 9 - DESCRIPTION DES CATEGORIES CAUSALES HFACS-COLL ..... 152
TABLEAU 10 : NOMBRE ET POURCENTAGE DE NAVIRES PAR FACTEUR ..... 155
TABLEAU 11 : VARIABLES UTILISEES DANS L'ACM FIGURE 25 ..... 161
TABLEAU 12 : STRUCTURE D'UN EXERCICE DE PRISE DE DECISION (D'APRES PLISKE ET AL., 2001) ..... 180
TABLEAU 13 : STRUCTURE D'UN EXERCICE DE CRITIQUE DE DECISION (D'APRES PLISKE ET AL., 2001) ..... 181
TABLEAU 14 – LES QUESTIONS POSEES SUR LA SA ET SUR L'ACTION PREVUE ..... 189
TABLEAU 15 : REPONSES DES MEMBRES DU GROUPE TEST AUX QUESTIONS RELATIVES AUX NIVEAUX 2 ET 3 DE LA SA ..... 190
TABLEAU 16 : COMPARAISON DE LA PERCEPTION DES ETUDIANTS DU GROUPE TEMOIN ET DE CELLE DES ETUDIANTS DU GROUPE TEST ..... 192
TABLEAU 17 : VARIABLES UTILISEES DANS L'ACM FIGURE 34 ..... 193
TABLEAU 18 : DEFINITION DE METRIQUES PORTANT SUR LE FLUX DE COMMUNICATION (D'APRES ENTIN & ENTIN, 2001). 206
TABLEAU 19 : ROLE ET PASSERELLE ATTRIBUEE AUX ETUDIANTS POUR CHAQUE MODULE DU STAGE SUR UN DES DEUX SIMULATEURS ..... 208
TABLEAU 20 : CODAGE DES ACTIVITES COOPERATIVES SELON LE SCHEME ETABLI PAR HOC (2001) ..... 213
TABLEAU 21 : INDICATEURS DE COMMUNICATION ..... 215
TABLEAU 22 : PERFORMANCES DES GROUPES SUR LES CRITERES SECURITE (S) ET REUSSITE DE LA MISSION (M) EVALUEES EN TROIS NIVEAUX : FAIBLE OU TRES FAIBLE (F), ADEQUATE (A) ET ELEVEE (E). ..... 216
TABLEAU 23 : VALEURS PRISES, POUR CHACUN DES GROUPES, PAR LES DIFFERENTS INDICATEURS DE COMMUNICATION. NOTA : LES CASES VIDES CORRESPONDENT A DES DIVISIONS PAR ZERO ..... 218
TABLEAU 24 : SYNTHESE DES RESULTATS ..... 226

# TABLE DES ABREVIATIONS

| Abréviation | Signification |
|---|---|
| ACM | Analyse des correspondances multiples |
| AFP | Agence France Presse |
| APRA | Aide au pointage radar automatique |
| ARPA | Automatic Radar Plotting Aid |
| BEA | Bureau d'enquêtes et d'analyses (France) |
| BRM | Bridge Resource Management |
| BST | Bureau de la sécurité des transports (Canada) |
| BTM | Bridge Team Management |
| CBT | Computer Based Training |
| CFH | Consultant facteurs humains |
| CMAQ | Cockpit Management Attitudes Questionnaire |
| COFOR | COmon Frame Of Reference (champ commun de la représentation) |
| COLREGs | Collision Avoidance Rules (règlement international pour prévenir les abordages en mer) |
| CPA | Closest Point of Approach (point de rapprochement maximum) |
| CRM | Cockpit, puis Crew Resource Management |
| CTI | Commission des titres d'ingénieur |
| DMAIB | Danish Maritime Accident Investigation Board |
| DR | Dead Reckoning |
| DST | Dispositif de séparation du trafic |
| ECDIS | Electronic Chart Display and Information System |
| EIG | Evénement indésirable grave |
| EMSA | European Maritime Safety Agency |
| ENEIS | Enquête nationale sur les évènements indésirables liés aux soins |
| ENSM | Ecole nationale supérieure maritime |
| ERM | Engine-room Resource Management |
| ESS | Evénement significatif de sureté (nucléaire) |
| ETA | Estimated Time of Arrival |
| EVP | Equivalent vingt pieds (unité de mesure des conteneurs) |
| FH | Facteurs humains |
| FHO | Facteurs humains et organisationnels |
| FRAM | Hollnagel 2004 |
| GEMS | Generic Error Modeling System, modèle de Reason |
| GPS | Global Positioning System |
| GRH | Gestion des ressources humaines |
| HAS | Haute autorité de santé |
| HFACS | Human Factors Analysis and Classification System |
| HRO | High Reliability Organization |
| HRT | High Reliability Teams |
| ICAO | International Civil Aviation Organization |
| IHO | International Hydrographic Organisation |
| IMO | International Maritime Organization |
| ISM | International Safety Management Code |

## Table des abréviations (suite)

| Abréviation | Signification |
|---|---|
| ISO | International Organization for Standardization |
| KB | Knowledge Based, se réfère au niveau Knowledge du modèle SRK |
| LOSA | Line Operations Safety Audit |
| MAIB | Maritime Accident Investigation Branch (UK) |
| MCRM | Maritime Crew Resource Management |
| MGS | Manuel de gestion de la sécurité |
| MRM | Maritime Resource Management |
| MTT | Medical Team training |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| Nd, Nds | Nœud, unité de mesure de vitesse = 1,853 km/h |
| NDM | Naturalistic Decision Making |
| NGV | Navire à grande vitesse |
| NOTECHS | Non-Technical Skills, acronyme pour « Compétences non techniques » |
| NTSB | National Transportation Safety Board (USA) |
| OACI | Organisation de l'aviation civile internationale |
| OCIMF | Oil Companies International Maritime Forum |
| OHI | Organisation hydrographique internationale |
| OMBO | One Man Bridge Operation |
| OMI | Organisation maritime internationale |
| PF | *Pilot Flying* (dans un avion, celui qui pilote) |
| PNC | Personnel navigant commercial (hôtesses et stewards) |
| PNF | *Pilot Not Flying* (dans un avion, celui qui fait la navigation et les communications) |
| PNT | Personnel navigant technique (les pilotes dans un avion de ligne) |
| RB | Rule Based, se réfère au niveau Rule du modèle SRK |
| REX | Retour d'expérience |
| RIPAM | Règlement international pour prévenir les abordages en mer |
| RPD | Recognition Primed Decision |
| SA | Situation Awareness |
| SHELL | Software, Harware, Environment, Liveware, Liveware, modèle de Hawkins |
| SMS | Safety Management System (système de gestion de la sécurité) |
| SOLAS | Safety Of Life At Sea, convention internationale |
| SRK | Skill Rule Knowledge, modèle de Rasmussen |
| SRM | Ship Resource Management = BRM + ERM |
| STCW | Standards of Training, Certification and Watchkeeping, convention international |
| TARGETS | Targeted Acceptable Responses to Generated Events or Tasks |
| TCPA | Time to Closest Point of Approach (délai avant point de rapprochement maximum) |
| TMM | Team Mutual Model |
| UBS | Université de Bretagne Sud |
| ULCC | Ultra Large Crude Carrier (super pétrolier) |
| UMS | Universal Measurement System |
| VTS | Vessel Traffic Service (Service de trafic maritime) |

# INTRODUCTION ET ORGANISATION DU MEMOIRE

L'activité de transport appartient, du fait de sa dynamique, à la catégorie des activités à risques, quel que soit le milieu dans lequel cette activité s'exerce : air, terre ou mer. Les progrès technologiques des dernières décennies ont suivi une courbe exponentielle.

Le bras de levier technologique, c'est-à-dire l'effet multiplicateur de la force humaine, physique ou mentale, obtenu grâce aux progrès des techniques, donne aujourd'hui à l'homme-individu un pouvoir d'action bien supérieur à ce qu'imaginaient les auteurs de science-fiction du XIXe siècle. Ce pouvoir d'action s'accompagne de sa contrepartie sombre, un potentiel de destruction digne du Léviathan biblique. C'est bien sûr dans les activités guerrières que ce potentiel s'exprime de la façon la plus « éclatante » – cinq siècles et demi après la bataille d'Azincourt qui consacre la suprématie de l'arc à longue portée sur l'épée, un homme étant capable d'en tuer un autre à bonne distance, un équipage de sept hommes largue une bombe à fission nucléaire au-dessus d'Hiroshima tuant en quelques heures quelques 70000 personnes. Dans les activités civiles aussi, le bras de levier technologique a grandi : un avion civil à la fin des années 40, c'était un équipage de 3 personnes pour 20 passagers.

Aujourd'hui, 2 pilotes font voler un airbus A380 avec jusqu'à 800 personnes à bord.

La même erreur commise dans le cockpit a donc des conséquences 60 fois plus importantes.

Dans ce contexte de progrès technique, jusque dans les années soixante-dix, peu d'importance avait été accordée à la maîtrise de ce progrès par l'homme. Je ne veux pas parler ici d'éthique, mais simplement de la capacité à gérer des systèmes de plus en plus complexes, seul ou en équipe. L'aviation civile s'est rendue compte de l'impact émotionnel considérable que pouvait générer l'accident d'un gros porteur, et tente depuis les années quatre-vingt de sécuriser le fonctionnement des équipages d'avions de ligne par le biais de formations aux facteurs humains.

L'OMI (organisation maritime internationale) a entrepris d'adapter ces concepts au transport maritime et des formations BRM (*Bridge Resource Management*) deviennent aujourd'hui obligatoires pour améliorer le fonctionnement de l'officier sur sa passerelle. En effet, sur la passerelle d'un navire marchand, l'officier doit être capable de :

> *bien percevoir, bien comprendre, bien décider, bien faire du premier coup, en situation dynamique, seul ou en équipe,*

selon l'expression utilisée à l'ENSM pour résumer l'objectif des stages de facteurs humains.

Ce travail s'inscrit dans une démarche d'amélioration de la compréhension des processus cognitifs individuels et collectifs à l'œuvre sur la passerelle d'un navire avec pour objectif de proposer des pistes d'amélioration de l'enseignement des facteurs humains dans les écoles maritimes.

Ce manuscrit comporte, de façon classique, deux parties.

La première partie situe l'état de l'art dans le domaine maritime des facteurs humains, expression qui désigne à la fois les défaillances de la partie humaine de l'ensemble couplé homme-système technologique et les formations destinées à accroitre la robustesse de cette même composante humaine.

Le chapitre 1 qui constitue l'introduction retrace brièvement l'évolution du transport maritime, le phénomène de mondialisation auquel il est étroitement associé, et le présente comme faisant partie des systèmes à risques, en faisant un parallèle avec le transport aérien.

Le chapitre 2 est consacré à la genèse des facteurs humains dans le monde maritime, suivi de la description succincte de quelques modèles connus, GEMS, SRK, Swiss Cheese, SHELL, qui ont aidé à appréhender le fonctionnement de l'opérateur en situation dynamique de travail ainsi que son inclusion au sein d'un ensemble plus vaste, le système complexe, pour finir par l'évocation de stratégies que l'opérateur met en place pour prévenir ou récupérer les erreurs.

Le chapitre 3 traite des facteurs cognitifs identifiés dès la fin des années 70 comme centraux dans la protection contre les accidents : d'une part une bonne compréhension de la situation, avec son corollaire une bonne prise de décision, et d'autre part la coordination nécessaire à un bon travail d'équipe.

Le chapitre 4 passe en revue les formations de type CRM dans différents secteurs d'activités, avant d'exposer les exigences réglementaires récentes mises en place par l'Organisation Maritime Internationale pour améliorer les compétences non techniques du navigant. Nous verrons que la réponse française à ces exigences est actuellement en phase de transition.

La deuxième partie du manuscrit est constituée par la description des études menées au long de l'élaboration de ce travail :
Le chapitre 5 fait l'analyse de 27 collisions impliquant 39 navires de commerce en utilisant le *Human Factors Analysis and Classification System* et montre la prépondérance des erreurs de décision et du défaut de travail d'équipe. Les chapitres 6 et 7 qui suivent, bien que concernant des expérimentations antérieures à l'analyse du chapitre 5, peuvent être vus comme des réponses à celui-ci.
Le chapitre 6 effectue le lien entre la prise d'information à la passerelle d'un navire dans le Pas de Calais et la prise de décision dans la gestion de l'anticollision, en mettant en évidence les différences entre les experts et les novices et en testant, sur trois expérimentations, des pistes possibles pour améliorer à l'école la qualité de la prise d'information et la qualité de la décision.
Le chapitre 7 compare, dans une situation dynamique complexe simulée, la qualité du travail de plusieurs équipes au travers de l'étude des interactions visant à élaborer et à maintenir une représentation partagée de la situation. Il établit une relation entre la qualité du processus de communication et les résultats obtenus par l'équipe en termes de performance et de sécurité.

Enfin, la conclusion de ce travail évoque, à la suite des constats successifs faits au fil des expérimentations, certaines lacunes de la formation maritime académique et propose des pistes d'amélioration tirant parti des outils performants disponibles ou envisageables à l'ENSM.

# 1

# Partie théorique

# 1 UN PEU D'HISTOIRE MARITIME



**Le « Batavia », cargo de la Compagnie Hollandaise des Indes Orientales (1628) longueur hors-tout : 56,60 mètres**

**100 mètres**




**Le « CMA-CGM JULES VERNES », porte-conteneurs de la compagnie CMA-CGM (2013), Longueur hors-tout : 396 mètres, capacité : 16020 containers de 20 pieds.**

*Ce chapitre retrace brièvement l'évolution du transport maritime, le rôle clé de ce dernier dans le phénomène de mondialisation, et introduit les facteurs humains en situant ce mode de transport dans la catégorie des « systèmes à risques ».*

## 1.1 LES ORIGINES

Bien avant que le physicien et mathématicien grec Archimède n'énonce le principe qui porte son nom, les marins de l'Antiquité avaient découvert, de façon empirique, que « *Tout corps plongé dans un liquide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale vers le haut égale au poids du volume de liquide déplacé* », et que de plus, la faible viscosité de l'eau permet un déplacement particulièrement efficient des marchandises par voie fluviale ou maritime. Depuis cette époque, le transport maritime n'a cessé d'être LE vecteur de l'intensification des échanges, qui a abouti à la toute fin du XXe siècle au phénomène nommé aujourd'hui la « mondialisation de l'économie ».

L'expédition maritime était, jusqu'à l'apparition du navire à moteur et à hélice une entreprise extrêmement risquée, et pourtant gouvernements et marchands n'hésitaient pas à se lancer dans l'aventure, les uns y voyant la conquête de territoires sources de richesses, les autres la possibilité d'une fortune rapide. Le navire marchand, et son homologue militaire chargé de sa protection, stimulèrent l'innovation dans les domaines techniques et sociaux, et c'est à eux que nous devons aussi bien le chronomètre que la sécurité sociale, entre autres exemples.

Dans le sillage de la découverte des nouveaux continents, dès le XVIIe siècle, la puissance maritime et commerciale hollandaise proclame le principe de liberté des mers qui va permettre l'essor rapide du commerce maritime grâce à un navire marchand très peu contraint par les textes ou la réglementation.

### *1.1.1 Le XIXe siècle et l'apparition du terme « facteur humain »*

Ce mouvement s'amplifiera encore au XIXe siècle, et, comme l'indiquent Lille et Baumler (2005, p. 105),

> *Mettant en avant la nécessité de protéger le capital investi dans l'expédition maritime, les acteurs du transport souhaitent éviter les réglementations administratives supposées nuire au bon développement du libre-échange (Lille & Baumler, 2005).*

Si les siècles précédents étaient marqués par le vent comme source d'énergie, le XIXe siècle est celui du feu. La machine à combustion fait son apparition et son essor sera dès lors ininterrompu. Les progrès technologiques en découlant sont

tels dans le maritime qu'on ne s'arrête pas pour réfléchir sur la façon dont ils impactent le travail humain. Pourtant, dès 1878, un ingénieur mécanicien et armateur anglais, Alfred Holt, qui a introduit très tôt la machine à vapeur sur les navires de sa compagnie, écrit :

> *« The human factor cannot be safely neglected in planning machinery. If attention is to be obtained, the engine must be such that the engineer will be disposed to attend to it*[1]*. » (Holt, 1878, p. 8).*

### 1.1.2 La mondialisation

Le navire marchand est toujours au XXIe siècle le cheval de trait du commerce international. Il permet aux uns d'exporter leurs matières premières, le minerai brésilien, le pétrole saoudien ou le charbon australien, aux autres d'exporter leurs produits manufacturés d'un continent à l'autre dans un maelstrom géant. La distance exprimée en coût étant le frein principal à la mondialisation des échanges, la tâche assignée au navire marchand est simple : diminuer, encore et encore, le coût du transport pour rapprocher le pays qui fabrique du pays qui consomme. Le navire marchand subit lui-même les conséquences qu'il a induites dans le système :

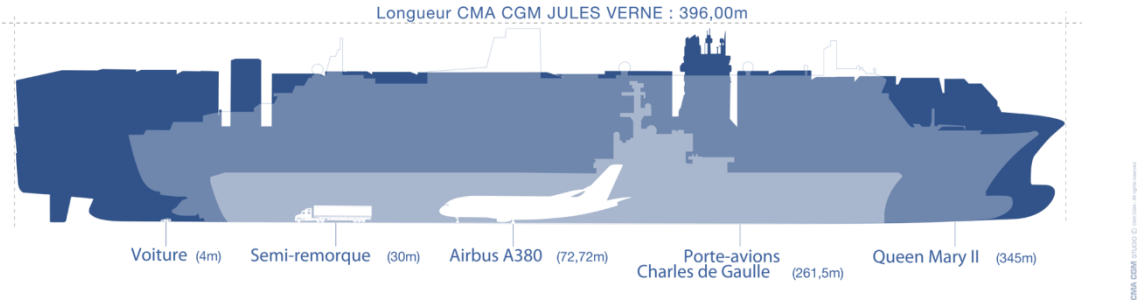



**Figure 2 : Transporter toujours plus…**

la concurrence mondiale exacerbée lui impose de transporter toujours plus, à la recherche d'« économies d'échelle » en vue d'un coût toujours moindre. Dans ce combat permanent, les armateurs, par tradition (liberté des mers) mais aussi par pragmatisme, sont réticents à toute forme de contrainte réglementaire qui viendrait rogner des marges désormais très réduites. Sur le plan juridique, le navire marchand représente pour une entreprise un actif très mobile. Il n'est pas contraint par le siège social de l'armateur, et son immatriculation peut être aisément transférée d'un pavillon à un autre, sans limitation de durée et au gré de

[1] On ne peut se permettre sans risque de négliger le facteur humain dans la conception de machine. Si l'on veut qu'il en prenne soin, il faut concevoir un moteur tel que le mécanicien ait envie de s'en occuper.

l'évolution des coûts de ces derniers. L'armateur, sauf incitation fiscale forte dans son pays, choisit de préférence un pavillon dont les contraintes réglementaires et les coûts sont minima. Ceci explique pourquoi les plus grands armateurs européens sont la Grèce, Malte et Chypre, et au niveau mondial le Panama, le Libéria et les Bahamas.

C'est dans ce panorama libéral que se développe l'action de l'Organisation maritime internationale (OMI), dont l'idée a germé au lendemain de la seconde guerre mondiale mais qui n'a tenu sa première convention qu'en 1959. Son premier travail est de remettre à jour la convention SOLAS[2], crée au lendemain du naufrage du Titanic en 1912.

La feuille de route de l'OMI pour les années 2012 – 2017 dit :

> *« The mission of the International Maritime Organization (IMO) as a United Nations specialized agency is to promote safe, secure, environmentally sound, efficient and sustainable shipping through cooperation. This will be accomplished by adopting the highest practicable standards of maritime safety and security, efficiency of navigation and prevention and control of pollution from ships, as well as through consideration of the related legal matters and effective implementation of IMO's instruments with a view to their universal and uniform application. »* (IMO, 2011)

Contrairement au transport aérien, dont la survie est conditionnée par un très haut niveau de sécurité, les armateurs, dans leur majorité, se sentent davantage menacés par des coûts de fonctionnement élevés que par un naufrage. Cette différence majeure de perception du risque est due au fait que le navire en avarie, échoué ou même après un abordage, reste le plus souvent à flot et n'entraine qu'assez rarement une catastrophe spectaculaire, contrairement à l'avion dont l'avenir est binaire : il vole encore, et généralement tout va bien, ou il ne vole plus, et c'est la plupart du temps la perte totale. Les progrès en matière de sécurité maritime sont donc plus rarement le fait d'une démarche volontaire que l'effet de la législation.

Voilà brossé à grands traits le tableau de l'industrie du transport maritime, arrière-plan de notre étude.

### *1.1.3 Les métiers à bord du navire marchand*

Le navire marchand concentre en un espace extrêmement réduit les fonctionnalités d'une ville de moyenne importance : production d'énergie, d'eau

[2] SOLAS : International convention on Safety Of Life At Sea.

distillée, d'eau douce et d'eau potable, de chaleur, d'eau chaude et de vapeur, de froid, gestion des eaux usées et des déchets ménagers, épuration des combustibles, assistance médicale, lutte contre l'incendie, maintien en état des réseaux de communications internes et externes, ateliers d'entretien-réparation, et bien sûr la partie hôtellerie-restauration-divertissements pour les navires transportant des passagers...

> *Pour fonctionner, le navire n'a pratiquement besoin que de combustible pour la machine et de nourriture pour les hommes. Car dans tous les autres domaines il est autosuffisant (Lille & Baumler, 2005, p. 24)*

À ces fonctionnalités, il faut ajouter bien sûr celles d'un outil de transport, c'est-à-dire la propulsion et la conduite, la gestion de la cargaison, la mise en œuvre d'un centre de contrôle, des moyens de manutention et de production de gaz inerte (pour les produits inflammables ou explosifs)…

Toutes ces fonctionnalités sont mises en œuvre et entretenues par un nombre très réduit d'opérateurs : 3 à 5 officiers pont, dont le capitaine, 2 à 4 officiers mécaniciens-électroniciens, auxquels s'ajoute un équipage de 8 à 12 personnes affectées soit au service pont, soit au service machine, sans compter le service restauration (1 à 2 personnes). Au total, le nombre de membres d'équipage varie de 14 à 23 personnes environ pour un navire de charge immatriculé au registre français. A bord d'un navire à passagers, il faut compter, en plus, tout le personnel commercial. Quant à la taille maximale de ces navires, les plus grands porte-conteneurs atteignent 400 mètres de long, les plus gros pétroliers ont atteint 59 mètres de large sur 25 mètres de tirant d'eau.

## 1.2 UN SYSTEME A RISQUES

Comme l'avion de transport, le navire marchand présente les caractéristiques classiques des systèmes à risques :

- le rôle crucial de l'opérateur de première ligne, dont une seule décision erronée peut mener à l'accident,
- les conséquences des accidents (des accidents « graves » pour le maritime) qui peuvent menacer la survie de l'entreprise,
- la dynamique du système qui induit parfois des prises de décision sous pression temporelle.

Les paragraphes suivants montrent que pour ces trois caractéristiques des systèmes à risques, le transport aérien et le transport maritime, au-delà de toutes leurs différences, sont finalement assez proches.

### 1.2.1 Le rôle de l'opérateur de première ligne

Deux statistiques, l'une émanant du constructeur américain BOEING (Amalberti, 2001) pour les années 90 à 99 et l'autre du Bureau de la Sécurité des Transports du Canada, branche maritime (BST Canada, 1995), pour les années 1981 à 1992, mettent en exergue la contribution de l'opérateur humain aux accidents. On comprend pourquoi dans ces deux industries, la diminution de la contribution humaine aux accidents est une préoccupation majeure (voir Figure 3 et *Figure 4*).

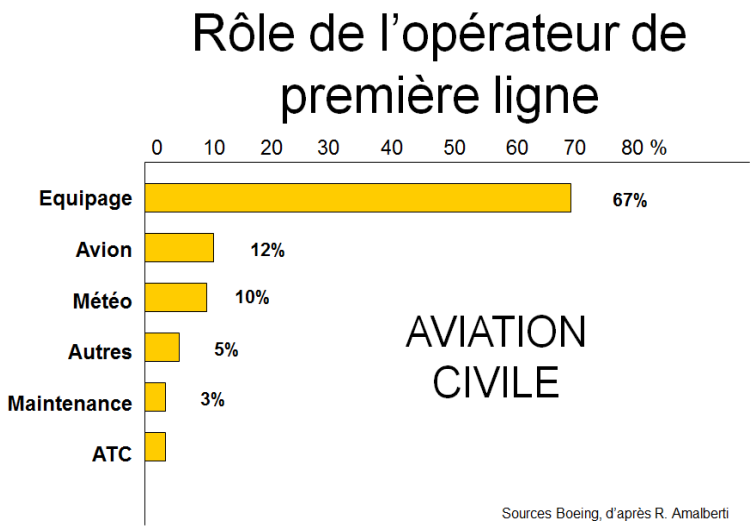



**Figure 3 : Contribution de l'opérateur humain aux accidents aériens, source Boeing**

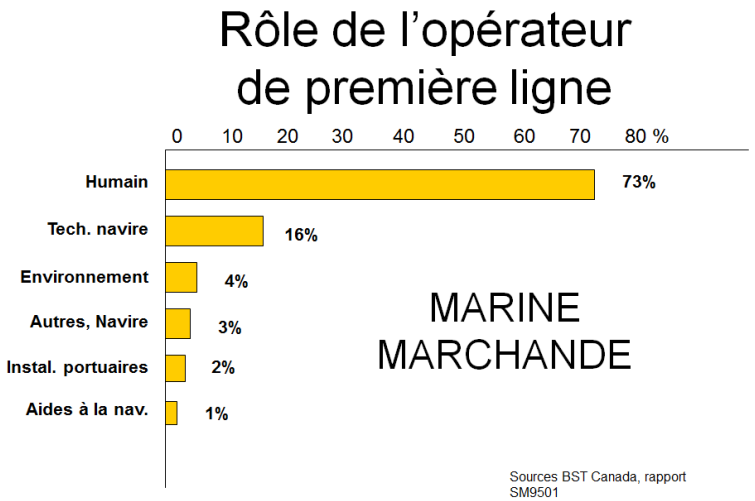



**Figure 4 : Contribution de l'opérateur humain aux accidents maritimes, BST Canada**

La contribution importante de l'homme aux accidents saute immédiatement aux yeux, et en s'arrêtant là, on pourrait conclure que l'homme est la source de tous les maux et que la sécurité ne viendra que de la technologie. Or, ce qui émerge de façon saillante « du bruit de fond » de l'activité opérationnelle, c'est l'accident qui s'est produit, pas celui qui a été évité. Si l'homme est le principal contributeur aux accidents, c'est qu'il est omniprésent, agent de fiabilité irremplaçable dans le système homme-machine. En effet, quand les automatismes atteignent leurs limites, quand les procédures ne sont plus adaptées, tous se tournent vers l'opérateur de première ligne, seul capable de trouver ici et maintenant une solution inconnue du système car jamais imaginée par les ingénieurs.

L'opérateur humain est donc un agent de fiabilité indispensable à la vie du système, mais cet agent est faillible, car le travail humain produit naturellement de l'erreur. Encore plus iconoclaste peut-être, il faut admettre que l'erreur participe à la construction de l'expertise et qu'elle est un outil d'apprentissage incontournable. Le dilemme des situations de travail est donc le suivant : éviter l'accident tout en acceptant l'erreur.

On voit là se dessiner l'univers de la formation aux facteurs humains : prévenir l'erreur quand on peut, admettre que des erreurs seront néanmoins commises et apprendre à les récupérer par des stratégies le plus souvent collectives, et finalement en atténuer les conséquences dans les cas où celles-ci sont allées très loin dans la production de l'évènement indésirable.

### *1.2.2 Les conséquences de l'accident*

| Transport aérien | | Transport maritime | |
|---|---|---|---|
| Airbus A380 | 250 M€ | Valeur assurée d'un grand porte-conteneurs (10 000 EVP[3]), navire et cargaison | 1 000 M€ |
| Indemnité par passager (compagnie occidentale) | 1 M€ | Valeur assurée d'un grand paquebot[4] | 3 000 M€ |
| Total avion + 800 personnes | 1050 M€ | Coût pollution Exxon Valdez | > 4 000 M€ |

**Tableau 1 : coût d'un accident**

[3] EVP : « Equivalent vingt pieds » : La capacité d'un porte-conteneurs est mesurée en nombre de conteneurs standards, d'une longueur de 20 pieds. Un conteneur de 40 pieds = 2 EVP.

[4] Valeur corps et indemnités passagers, rapport de l'Institut Français de la Mer « Les très grands navires », avril 2009

On voit sur la Tableau 1 qu'en maritime comme en aérien, les enjeux pour l'homme (près d'un millier de morts) et pour l'environnement (des centaines de kilomètres de littoral souillés) sont énormes, et un seul gros accident peut, par le jeu des appels en responsabilité, mettre en péril la survie économique d'une compagnie, et pourrait aller jusqu'à mettre en péril le système d'assurances maritimes mondial.




L'image de marque de la compagnie maritime Townsend Thoresen n'a pas survécu à une photo du naufrage du *Herald of Free Entreprise* en mars 1987. Cette photo, qui a fait la « une » de Paris Match et probablement aussi le tour du monde, montre le navire couché sur Tribord, à demi-submergé, avec le nom « Townsend Thoresen » écrit en grand et clairement lisible sur tout le bordé de coque bâbord.

**Figure 5 : Le Herald of Free Enterprise chaviré, porte avant ouverte**

Le groupe américain Carnival Corporation & Plc aurait mis à l'ordre du jour d'un conseil d'administration en mars 2012 la question de la suppression de la marque « Costa-Croisières » à la suite de l'échouement du Costa Concordia et d'incidents successifs à bord d'autres paquebots de la compagnie italienne (AFP, 2012).

Après l'échouement de *l'Exxon Valdez* en 1989 (dont le jugement en dernière instance par la Cour suprême des Etats-Unis a été rendu en juin 2008), les compagnies pétrolières ont rapidement revendu leur flotte pour s'afficher comme simples clients des compagnies de navigation. Dans le règlement de la pollution consécutive à l'explosion de la plate-forme Deep Water Horizon, le Financial Times (Financial Times, 2013) fait état de poursuites civiles fédérales (sans compter 4 Md $ versés pour mettre fin aux poursuites pénales fédérales) pour un montant qui pourrait atteindre, suivant la qualification de la négligence et la quantité de pétrole répandu, 20 Md $ pour la firme BP (sans compter les indemnisations diverses). BP aurait actuellement provisionné 40 Md $ (40 milliards !) pour faire face aux conséquences de l'accident.

### 1.2.3 Le facteur temps :

Troisième caractéristique des systèmes à risques, l'évolution dynamique du système laisse parfois peu de temps aux opérateurs pour une prise de décision raisonnée et informée ou pour la récupération d'une trajectoire mal gérée. C'est particulièrement visible en aéronautique, où tout va très vite : Entre un navire en manœuvre en eaux resserrées et un avion près du sol, en phase de décollage ou d'atterrissage, l'ordre de grandeur des vitesses est de 10 nds[5] pour le navire et 200 nds pour l'avion, soit un rapport de 1 sur 20.
Mais si l'on s'intéresse à la vitesse de réaction du système, on voit qu'en maritime les temps de réponse, l'inertie du système et la lenteur de la boucle de réponse, rendent toute action correctrice extrêmement lente. En effet, si pour un Boeing 777 moyennement chargé, la poussée totale développée par les deux réacteurs est de 100 tonnes pour un poids de 200 tonnes, soit un rapport d'1 tonne de poussée pour 2 tonnes de poids, pour un gros porte-conteneurs, ce rapport est de l'ordre de 1 tonne de poussée pour 200 tonnes de poids. Nous n'évoquerons pas ici le rapport poussée / poids d'un ULCC[6], encore significativement plus faible…
L'anticipation est donc un élément clé du pilotage de ces deux systèmes.

On voit que le transport maritime présente des caractéristiques analogues à celles du transport aérien. Les problèmes rencontrés par les officiers de la marine marchande seraient-ils analogues à ceux rencontrés par les pilotes de ligne, et les solutions trouvées dans l'aérien seraient-elles envisageables dans le maritime, faisant ainsi gagner un temps précieux pour l'amélioration de la sécurité en évitant à l'industrie maritime de découvrir par elle-même tout le chemin déjà défriché par l'aéronautique ?
Nous verrons dans le chapitre 2 que les principaux modèles utilisés aujourd'hui pour travailler sur la fiabilité humaine ont été à l'origine mis au point par les chercheurs pour une application à l'aviation civile. Le chapitre 3 traite deux thèmes centraux, la prise de décision et le travail d'équipe, et à la fin de cette première partie, le chapitre 4 donnera un panorama de l'enseignement des

[5] Nd : abréviation de « nœud », l'unité de mesure de vitesse en mer. 1 nœud vaut 1,853 km/heure.

[6] ULCC : Ultra Large Crude Carrier

facteurs humains dans les industries en général et aux navigants de la marine marchande française en particulier.

RESUME

Depuis l'origine, le transport maritime accompagne le développement du commerce entre les continents ; C'est une industrie à risques, peu encline se laisser réglementer, qui évolue rapidement sur un arrière-plan de mondialisation. Les trois caractéristiques d'un système à risques, – rôle de l'opérateur de première ligne, conséquences de l'accident et dynamique du système – sont présentes dans cette activité et la rendent de ce point de vue comparable au transport aérien.

Les solutions préconisées pour sécuriser le système avion de ligne seraient-elles transposables au navire marchand ?

# 2 LES FACTEURS HUMAINS DANS LE DOMAINE MARITIME



Le cockpit de l'Airbus A380

*Ce chapitre comprend trois parties. La première présente l'historique de la prise en compte des facteurs humains dans les domaines aériens et maritimes ; Si le transport maritime a beaucoup inspiré le transport aérien à ses débuts, aujourd'hui, il tente d'adapter – avec un décalage d'une ou deux décennies – les concepts mis en place et éprouvés dans l'aéronautique.*



Le cockpit de l'A380 vu de face



La passerelle du « Ville de Bordeaux », poste de conduite, partie Bâbord

*La seconde expose les modèles psychologiques de l'erreur humaine.*

*La troisième examine différentes pistes permettant d'améliorer la fiabilité humaine et, par là même, la sécurité des systèmes complexes.*




La passerelle du « Ville de Bordeaux », vu de face

Confortée par l'expérience et les résultats acquis dans l'aéronautique[7], la communauté maritime internationale entreprend depuis quelques années de sécuriser le transport par mer en cherchant elle aussi, à maîtriser les « facteurs humains », c'est-à-dire les relations des personnes, dans leurs situations naturelles de travail, avec les machines, les procédures et leur environnement, ainsi que les relations avec les autres personnes (Cooper, White, & Lauber, 1980). Les actions se sont développées selon trois axes : l'ergonomie des passerelles de navire, la formation des équipages et le développement de systèmes de management de la sécurité.

## 2.1 HISTORIQUE

Dans le monde maritime, l'erreur humaine au sens de la défaillance d'un bon opérateur n'existait pas il y a encore vingt-cinq ans. L'erreur appelait soit un supplément de formation technique, soit une sanction. C'est l'expérience de l'aéronautique qui en essaimant dans les autres industries a apporté une nouvelle vision de l'opérateur humain, de ses défaillances, et qui a progressivement exporté des solutions testées et validées depuis les années quatre-vingt.

### *2.1.1 Evolution de la prise en compte des FH[8] dans l'aéronautique*

Dans l'aéronautique, depuis l'essor du transport aérien de passagers vers 1960, la recherche de l'amélioration de la sécurité est constante et fait l'objet d'un suivi statistique (cf. Figure 6). Exprimé en unité par million de mouvements aéroports, le nombre d'accidents est passé de 60 en 1960 à environ 5 dès la fin des années soixante-dix.

Les progrès très rapides enregistrés dans les années soixante sont dus principalement aux efforts consentis par cette industrie dans plusieurs directions :

- l'amélioration de la fiabilité des matériaux et des composants aéronautiques,
- les progrès dans la radio-navigation,

[7] Le taux d'accident moyen est aujourd'hui environ de un par million de mouvements, ce qui montre une division par cinq depuis les années 80, époque des premiers stages de facteurs humains dans l'aéronautique.

[8] FH : Facteurs humains

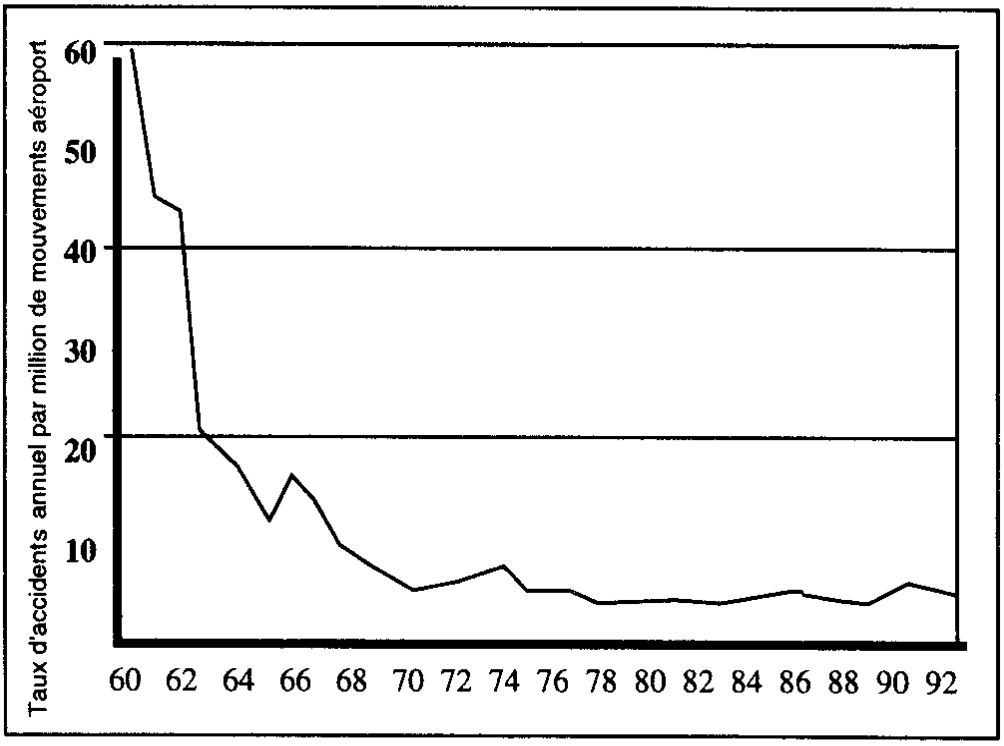



Figure 6 : Statistiques dans l'aviation civile (Amalberti, 2001, p. 30)

- le passage de la maintenance curative à la maintenance prédictive,
- et la mise en place de procédures.

A partir des années soixante-dix, la courbe ne baisse plus significativement, le taux moyen stagnant autour de 5 cas par million de vols. Une amélioration de la sécurité d'un facteur 12 en une décennie pourrait cependant satisfaire l'industrie du transport aérien, qui devient dès lors le mode de transport de passagers le plus sûr. Or il n'en est rien. Le bras de levier technologique a considérablement augmenté : avec le même équipage à trois, de 100 passagers au début des années soixante, les avions gros porteurs comme le Boeing 747 emportent au début des années soixante-dix près de 500 personnes. De plus, les médias, grâce à la généralisation du « direct », ont rapproché le public de l'événement : chaque passager potentiel d'une compagnie aérienne se sent personnellement concerné : « j'aurais pu être dans cet avion ! ». Dès lors, comme l'écrit Amalberti (2001, p.28),

> *« chaque accident possède le pouvoir à lui seul, en dehors de toute logique statistique, de remettre en cause les choix opérés au niveau d'une société ».*

L'accident n'est plus tolérable !

Dans cette ambiance générale survient le « Titanic » de l'industrie du transport aérien de passagers. L'accident de Ténérife[9] en 1977, qui causa la mort de 587 personnes, fait l'effet d'une bombe non seulement dans l'opinion publique mais aussi dans l'industrie car l'axiome qui avait justifié les efforts considérables des vingt dernières années : « bons avions + bons techniciens du pilotage = sécurité » est sérieusement remis en question. Il faut aller plus loin. Hélas, les progrès techniques ne semblent plus faire progresser significativement la sécurité. Aurait-on atteint les limites ?

Les boites noires récemment installées dans les avions de ligne et qui ont enregistré les faits et dires de l'équipage dans les minutes précédant le crash révèlent des défaillances auxquelles personne ne s'était intéressé auparavant : communications imprécises entre la tour et les avions, autocratie dans le cockpit, manque d'affirmation de soi du copilote le rendant incapable de récupérer l'erreur du commandant de bord, représentation mentale erronée, impact de la pression temporelle, décision incorrecte.

Une nouvelle piste d'exploration est désignée, l'erreur humaine, désormais perçue comme l'ultime frontière à franchir dans la quête néo-mythique de la sécurité absolue.

Au cours de la conférence de San Francisco en 1979, la NASA anime une réflexion sur les catastrophes récentes (Ténérife en particulier) et deux écoles s'affrontent (Pariès, 2007) :

1) l'accident est dû à la faillite de l'équipage (c'est à dire à un défaut de travail en équipe) ;
2) l'accident est dû à une perte complète de compréhension de la situation.

C'est la première hypothèse qui est retenue et qui est à l'origine de la mise en place de formations CRM, Cockpit ou Crew Resource Management, dans l'aéronautique mondiale, destinées à mieux travailler en synergie avec les équipiers humains et technologiques.

### 2.1.2 Prise en compte des facteurs humains dans le maritime

La prise en compte des facteurs humains dans le domaine maritime s'est développée à partir des années quatre-vingt. Elle a tout d'abord concerné

[9] Un B747 de KLM décolle dans le brouillard et percute un B747 de Panam qui roule à cet instant sur la piste.

l'ergonomie des passerelles, puis la formation des marins. Elle s'est étendue, plus récemment, aux facteurs organisationnels (avec l'avènement de l'International Safety Management – ISM) et à la prise en compte de l'équipe de travail,

L'ergonomie apparaît dans le secteur de l'aéronautique pendant la seconde guerre mondiale. Dans le secteur maritime, il faut attendre la fin des années soixante-dix pour qu'apparaissent les premières passerelles panoramiques et ce n'est que dans les années quatre-vingt-dix que l'ergonomie des passerelles se développe réellement. Ce développement accompagne les projets de conception du « navire du futur » ; ce navire doit contribuer à l'amélioration de la fiabilité du transport maritime et permettre aux compagnies occidentales d'accroître leur compétitivité et de rester concurrentielles face aux compagnies asiatiques. Il doit donc impérativement être armé par un équipage réduit. Tâches, organisations du travail et degré d'automatisation sont définis dans les projets OMBO (One Man Bridge Operation) qui visent à établir les conditions dans lesquelles un homme seul pourrait conduire un navire (Schuffel, 1984); (Kristiansen, Rensvik, & Mathisen, 1989) ; (Sablowski, 1989). Dans le même temps, différents auteurs analysent, sur simulateur, les aspects cognitifs et perceptivo-moteurs de l'activité de conduite de navire (Peruch, Cavallo, & Deutsch, 1985) ; (Schuffel, 1986) ; (Stassen, 1987). La première version de la norme ISO 8468 sur l'ergonomie des passerelles est éditée en 1990 ; elle donne des recommandations générales qui portent sur les champs de vision de l'opérateur, l'emplacement des postes de travail, des instruments et des équipements, la configuration et les dimensions des pupitres et l'environnement de travail à la passerelle (ISO, 1990). A la fin des années quatre-vingt-dix, un texte de l'OMI impose des obligations en matière d'ergonomie cognitive avec la publication S52 pour les cartes marines électroniques (IHO, 2010).

Le milieu des années soixante-dix voit l'arrivée massive des pavillons de pays émergents, avec pour conséquence une disparité importante dans les cursus de formation et les compétences des équipages : comment les officiers de deux navires en interaction peuvent-ils entreprendre, chacun de son côté, une manœuvre d'évitement sûre s'ils ne savent pas comment réagira l'autre ? En 1978,

la première mouture de STCW[10] (IMO, 1978) tente de répondre en normalisant les formations maritimes dispensées dans le monde entier. Le comportement de l'opérateur, quelle que soit sa nationalité, devient (relativement) prévisible.

Avec l'apparition de l'informatique, le simulateur vient dès les années 80 enrichir considérablement l'apprentissage du métier. Si le simulateur n'est pas capable de remplacer l'acquisition graduelle de l'expérience à bord, il permet, entre autres, de confronter l'opérateur à des situations limites sans risque pour lui ou pour le système et d'enrichir ainsi sa panoplie de réponses ainsi que d'augmenter la vitesse d'accès à ces schémas mémorisés.

Sur le plan organisationnel, le code ISM[11] (IMO, 1993) fait suite au naufrage du Herald of Free Enterprise.

> Le 6 mars 1987, ce ferry escale exceptionnellement à Zeebrugge. Habituellement affecté à la ligne Calais-Douvres, il remplace ce jour-là un autre ferry immobilisé pour un problème technique. N'étant pas conçu pour ce terminal, il doit enfoncer sa partie avant pour que les véhicules aient accès aux ponts-garages. L'équipage est sous pression car le navire doit appareiller pour laisser la place libre au suivant. Personne ne se rend compte que la porte avant est restée ouverte. Dès que le navire prend de la vitesse, la vague d'étrave remplit les garages, et sous l'effet des masses d'eau, le navire chavire rapidement, entrainant la mort de 193 personnes.

L'enquête montrera qu'outre les erreurs commises par l'équipage,

> *from top to bottom, the body corporate was infected with the disease of sloppiness (UK Department of Transport, 1987).*

La cour de Justice britannique est claire dans son verdict. A la question : Le chavirement du Herald of Free Enterprise a-t-il été causé par une ou des personnes, et si oui, par qui ?, elle répond : Le maître d'équipage, le Second capitaine, le capitaine et

> *Townsend Car Ferries Limited at all levels from the Board of directors through the managers of the marine Department down to the Junior superintendents. (UK Department of Transport, ibid).*

Cet accident provoque une prise de conscience concernant la défaillance des systèmes de management du secteur maritime (Grech, Horberry, & Koester, 2008). Cette prise de conscience est étayée par les analyses qu'en propose Reason (1993) ou encore Rasmussen (1997). Rasmussen montre que cet accident n'a pas été causé par la conjonction fortuite de défaillances et d'erreurs humaines

[10] STCW : International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for seafarers

[11] ISM : International Safety Management Code

indépendantes mais par le comportement déviant de l'organisation, recherchant plus de profit dans un environnement agressif et compétitif (Rasmussen, Ibid, p. 189). Par ailleurs, le « paradoxe d'Icare[12] » (Miller, 1992) peut amener les entreprises ayant de bons résultats en matière de sécurité à vouloir transposer leur succès en procédures – on pourrait presque dire : en recettes – les conduisant à une inertie organisationnelle limitant leurs possibilités d'amélioration (Manuel, 2009), exprimé autrement : à s'endormir sur leurs lauriers.

Mis en œuvre à partir de 1998, L'ISM impose des normes de gestion de la sécurité en « procéduralisant » considérablement les pratiques : inspiré des systèmes qualité de l'industrie terrestre, ce standard fait passer le travail à bord d'une ère artisanale, dans laquelle chaque navire a un code des bonnes pratiques qui lui est propre, transmis plus ou moins oralement au personnel embarquant, à une ère industrielle dans laquelle les bonnes pratiques sont écrites et accessibles à tous à tout moment. De cette façon, la courbe de Gauss des comportements possibles se resserre autour d'un comportement standard dicté par la procédure : le comportement devient prévisible avec un bon degré de certitude.

Enfin, le secteur maritime va s'approprier le Crew Resource Management. Comme on l'a vu précédemment, l'importance du travail d'équipe et du rôle de l'équipe dans la fiabilité des systèmes complexes est apparue lors de la conférence de San Francisco en 1979. C'est cette vision des choses qui est reprise, depuis une dizaine d'années, par la communauté maritime. Pour combattre les défaillances de l'équipe, l'OMI - Organisation maritime internationale (en anglais : IMO) - équivalent maritime de l'OACI, Organisation de l'aviation civile internationale (en anglais : ICAO), met en place la formation aux « NOTECHS », aux compétences non techniques. La formation « Resource Management » est déclinée en BRM « Bridge Resource Management », ERM « Engine-room Resource Management », SRM « Ship Resource Management[13] » ou MRM « Maritime Resource Management[14] » (Hayward & Lowe, 2010).

A la suite du secteur aéronautique, le domaine maritime a donc vu se mettre en place – tout au long des trente dernières années – différentes mesures visant à

[12] Le succès de son procédé, des plumes collées à la cire, permit à Icare de quitter le labyrinthe en s'envolant. Le succès fut tel qu'il pu monter très haut et s'approcher du soleil, qui fit fondre la cire, précipitant Icare vers sa perte.

[13] Cette appellation met l'accent sur l'ensemble des ressources du navire qui comprend, au minimum, BRM et ERM.

[14] Cette appellation met l'accent sur le caractère global des ressources qui doivent travailler en synergie, et qui débordent largement la passerelle : navire entier, pilotage, remorquage, autorités portuaires, administration, etc.

améliorer le niveau de fiabilité et de sécurité du système homme-navire-armement. Un certain nombre d'entre elles ont été prises à la suite d'accidents majeurs. Elles reposent donc, implicitement ou explicitement, sur l'idée que l'humain est le principal élément d'infiabilité du système. Pourtant, dès les années soixante-dix, les études psychologiques ergonomiques montrent que l'humain est également un élément de fiabilité. Il est, en effet, le seul élément du système à pouvoir adapter son comportement aux éventuelles variations de la situation. Le courant qui s'est développé depuis insiste sur le fait que « si l'homme commet des erreurs, c'est surtout parce qu'il se trouve dans la nécessité de faire face à une situation non optimale » (Keyser (de), 1982). L'erreur y est considérée comme un « symptôme » (Leplat, 1985).

## 2.2 MODELES ET CONCEPTION PSYCHOLOGIQUES DE L'ERREUR HUMAINE

La fiabilité humaine a longtemps été considérée au prisme d'une approche analytique analogue à celle employée pour fiabiliser la composante technique d'un système. Cette approche cherche à réduire, et si possible, à supprimer l'occurrence des erreurs humaines. Comme l'expliquent Van Daele et Aït Ameur (Van Daele & Ait Ameur, 2010), cette approche a clairement montré ses limites. Une première limite est liée au constat que toutes les erreurs ne peuvent pas être supprimées et donc au fait qu'il est illusoire de vouloir supprimer l'erreur humaine.

La deuxième limite est liée au fait que cette approche met l'accent sur les erreurs des opérateurs de première ligne. Elle ignore que des défaillances peuvent se produire également à d'autres niveaux du système (au niveau de la conception, de la maintenance, de l'organisation, du management). Elle ignore parfois aussi que les erreurs peuvent provenir d'un défaut de couplage entre le composant humain et d'autres composants du système plutôt que de la défaillance propre à chacun de ces composants.

Différents modèles de la psychologie permettent de dépasser ces limites. Le modèle de la sécurité écologique proposé par Amalberti (2001) montre qu'il n'est pas pertinent de chercher à supprimer toutes les erreurs et qu'il convient, plutôt, de donner les moyens à l'opérateur de récupérer les erreurs qui peuvent

provoquer des dommages. L'approche systémique développée par Reason (1990) permet de prendre en compte les erreurs actives des opérateurs de première ligne mais également les erreurs latentes commises par d'autres personnes, situées à d'autres endroits et ayant agi à d'autres moments. Enfin, le modèle SHELL interroge le couplage homme-machine.

Cette section présente successivement ces trois modèles, après avoir exposé deux modèles qui constituent des références pour la compréhension et la classification de l'erreur humaine : le modèle SRK de Rasmussen (1986) et le modèle GEMS de Reason (1990).

### 2.2.1 Les modèles GEMS (Reason, 1990) et SRK (Rasmussen, 1986)

Le modèle GEMS (Generic Error Modeling System/ Système Générique de Modélisation de l'Erreur) de Reason (1990) propose une classification de l'erreur humaine en trois catégories principales. Il repose, en grande partie, sur la taxonomie Skill Rule Knowledge (SRK) établie par Rasmussen (1986) pour distinguer trois niveaux de contrôle de l'activité.

Une des composantes majeures de l'expertise est la façon dont l'opérateur gère ses ressources. Contrairement au novice qui ne peut travailler qu'au niveau des connaissances, car n'ayant pas transformé celles-ci en schémas d'action simples et automatisés, un opérateur expert, officier de quart expérimenté sur la passerelle, par exemple, utilise dans le cadre de son activité, les trois niveaux de contrôle identifiés par Rasmussen et schématisés par la figure 7.

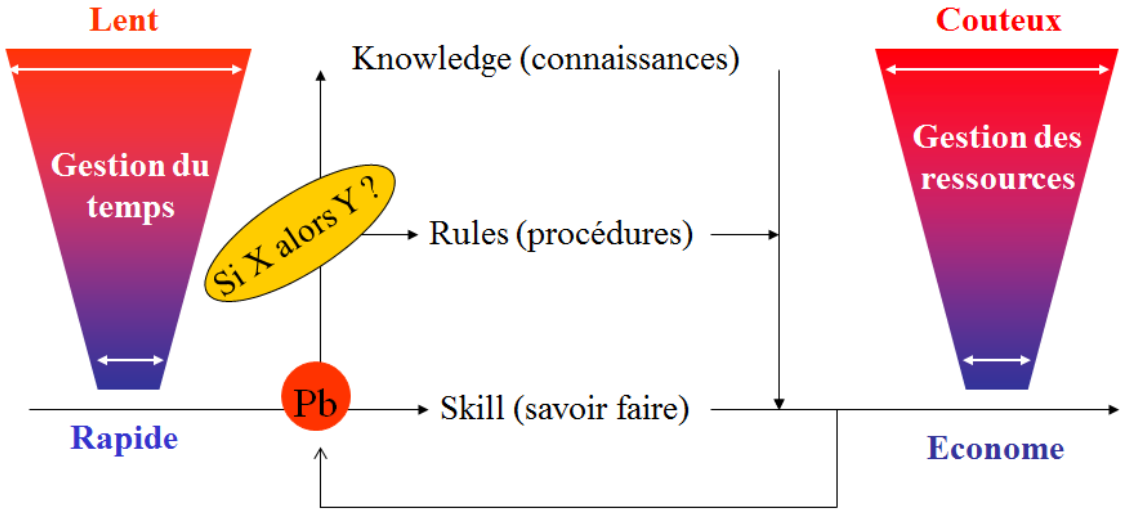



Figure 7 : Les trois niveaux de contrôle de l'activité, une vision du modèle SRK de Rasmussen

Le niveau S, « *Skill* » (savoir-faire ou habiletés) est le mode de base, utilisé chaque fois que possible. Dans ce mode, l'activité est gérée de façon très automatisée par les savoir-faire, c'est à dire au niveau de conscience le plus bas. C'est le mode le plus économique en ressources et le mode de traitement le plus rapide, puisqu'à ce niveau le traitement de l'information est proche d'un acte réflexe. A ce niveau se produisent les erreurs dites de routine, qui concernent le niveau d'attention.
S'il survient un problème, c'est à dire un écart entre le résultat attendu et le résultat obtenu, le navigant monte son activité au niveau R, « *Rule* » (règles et procédures), moyennant une augmentation de sa charge de travail, et consacre une partie de ses ressources à chercher la solution du problème dans des règles connues (si je fais ceci, alors il se passe cela). Dès le problème résolu, le navigant redescend au niveau S. Au niveau « *Rule* » se produisent des erreurs de choix ou d'application de règles.
En cas de situation inconnue, non répertoriée dans les procédures ou les manuels, le navigant doit mobiliser toutes ses connaissances en montant au niveau K, « *Knowledge* ». C'est le niveau le plus créatif, mais le plus coûteux en ressources. De plus, à ce niveau, le traitement est lent et le résultat aléatoire. Ce niveau de contrôle est totalement conscient, et focalise toutes les capacités cognitives de l'opérateur. Le traitement au niveau K se fait pour ainsi dire « toutes affaires cessantes », l'opérateur abandonnant la surveillance des autres éléments de la tâche. Pour cette raison, ce niveau ne peut être maintenu longtemps. A ce niveau se produisent les erreurs de connaissance.

Le modèle GEMS s'appuie sur cette taxonomie pour distinguer trois grandes catégories d'erreurs :
- les « ratés », basés sur les automatismes ; ces erreurs sont liées à des défauts attentionnels.
- les défaillances (en anglais « faults »[15]) basées sur les règles (rule-based ou RB) ; ce sont des erreurs liées à de mauvaises classifications de situations d'où l'application de règles erronées ou le rappel incorrect de procédures.

[15] Reason utilise le terme « fault » qui véhicule la notion de « panne, défaut ». Ce terme anglais est couramment utilisé pour une machine. Pour éviter toute connotation morale liée à l'utilisation du mot français « faute », « fault » été traduit par « défaillance ».

- les défaillances (faults) basées sur les connaissances déclaratives (knowledge based ou KB) ; ces erreurs sont dues à des limitations de ressources et à des connaissances incomplètes ou incorrectes.

L'hypothèse centrale de GEMS est que, lorsqu'ils sont confrontés à un problème, les êtres humains présentent un biais : ils recherchent et trouvent une solution préprogrammée au niveau RB, avant d'accepter de « remonter » au niveau KB. On peut donc dire que les êtres humains « s'acharnent » à reconnaître des configurations.

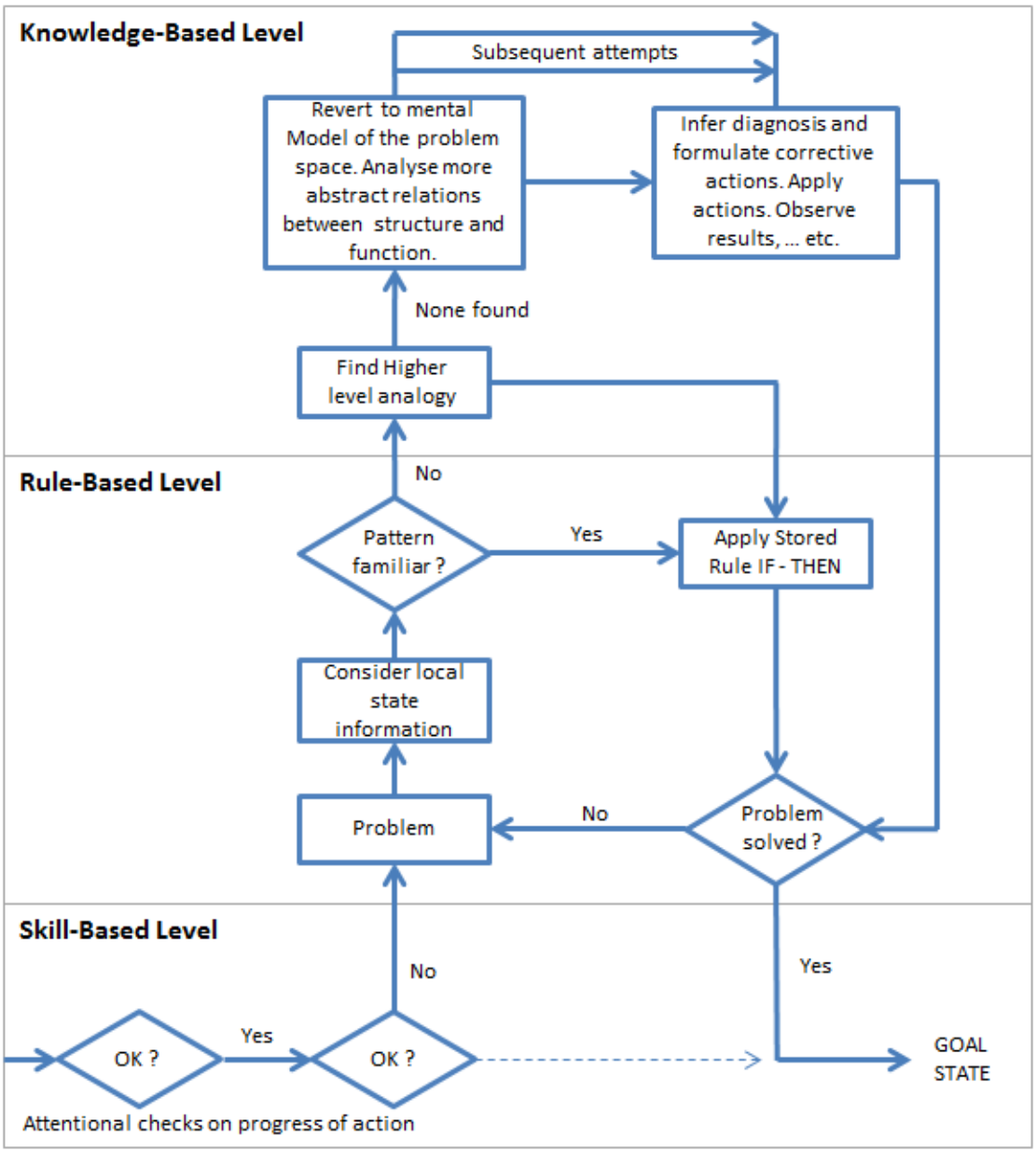



**Figure 8 : Les grandes lignes de la dynamique du système GEMS[16] (d'après Reason, 1990, p.64)**

[16] Le texte a été laissé en anglais pour conserver intacte la pensée de l'auteur. Le schéma a été renversé par rapport à l'original qui montre le Skill-Based Level en haut et le Knowledge-Based Level en bas, pour accentuer la proximité avec le « Step Ladder Model » de Rasmussen (1986) .

Reason distingue, par ailleurs, les erreurs et les violations. Il explique que les erreurs impliquent deux sortes de « dévoiement » : la déviation non intentionnelle de l'action par rapport à l'intention de départ (ce sont les ratés) et l'écart des actions planifiées par rapport à un chemin satisfaisant qui devait mener au but souhaité (défaillance). Les violations sont des déviations délibérées par rapport aux procédures, aux codes de bonnes conduites ou aux règles. Parmi les violations, il différencie les violations routinières (habituelles) et les violations exceptionnelles.

La violation pourrait donc être définie comme une « erreur volontaire ».

### 2.2.2 De la gestion des erreurs à la gestion des risques

Le modèle de la sécurité écologique développé par Amalberti (2001) permet de replacer la gestion des erreurs dans le cadre plus large de la gestion des risques. La gestion des risques est une fonction générale dont le but est de maintenir une installation particulière à l'intérieur des frontières (enveloppe) définissant un fonctionnement nominal (objectif ou subjectif). Elle consiste à gérer des risques externes mais aussi internes.

Classiquement, le risque externe renvoie à la probabilité d'occurrence d'un événement non désiré ainsi qu'à la gravité des dommages potentiels provoqués par cet événement. Il est objectivable. Le risque interne est propre à chaque opérateur. Il renvoie à l'expertise et à la limitation des ressources cognitives. Il s'agit du risque de perdre la maîtrise de la situation.

L'opérateur réalise un compromis cognitif qui est satisfaisant s'il a le sentiment de maîtriser la situation. Cette gestion permanente des risques et cette recherche d'un compromis acceptable explique que l'opérateur « laisse passer des erreurs ».

Sur la Figure 9, on voit deux zones contiguës, la zone de « gestion de la complexité » et la zone de « gestion de la difficulté ».

Gestion de la complexité (risque externe) : dans cette zone, l'opérateur augmente son niveau de représentation au fur et à mesure qu'augmente la complexité de la situation, ce qui lui permet de continuer à « comprendre » de façon optimale.

Gestion de la difficulté (risque interne) : Approchant de son pic de performance, l'opérateur sent qu'il ne va plus pouvoir enrichir sa représentation sauf à se retrouver « derrière le navire » et à perdre le contrôle : abandonnant l'idée de tout

comprendre, il privilégie alors la gestion de sa propre difficulté, la priorité étant de ne pas arriver à la saturation. Dans cette situation, le navigant trouve un « compromis cognitif » qui est un niveau de compréhension qu'il espère suffisant mais qu'il sait compatible avec sa charge de travail.

> *Comprendre la situation, (…), c'est aussi choisir son niveau de représentation et son niveau de compréhension (Amalberti, 2001, p.138)*

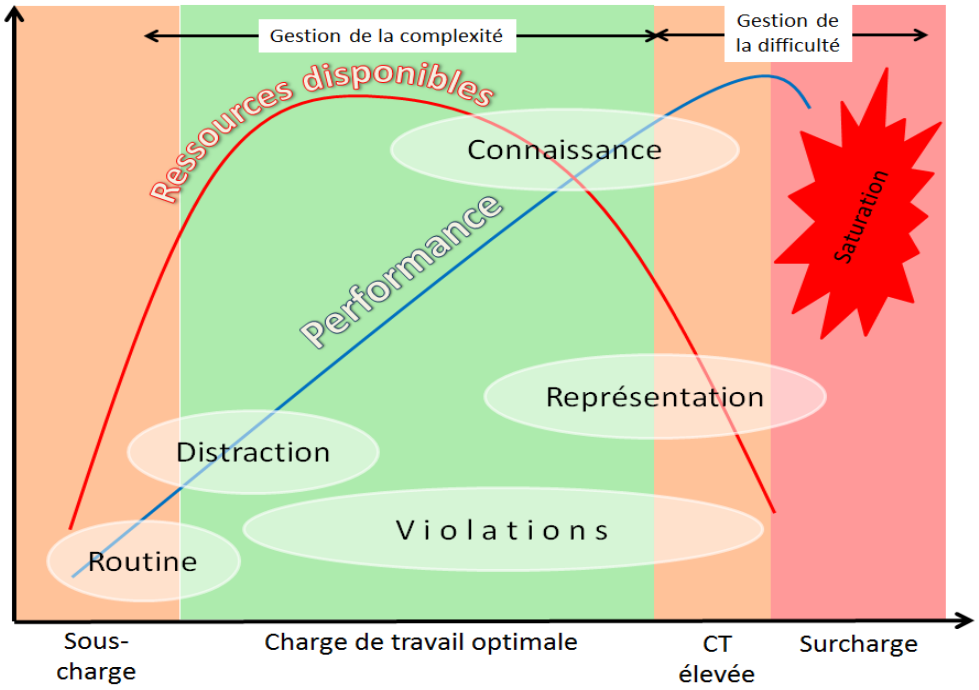



**Figure 9 : Types d'erreurs en fonction des ressources disponibles**

Alwood (Alwood, 1984) a constaté que la récupération des erreurs était un meilleur prédicteur de la performance finale que la (faible) quantité d'erreurs commises. Comme l'écrit Amalberti (Amalberti, 2001, p195),

> *les meilleurs sujets ne sont pas ceux qui ne font pas d'erreurs, mais ceux qui rattrapent les erreurs commises.*

Les opérateurs expérimentés qui font des erreurs les détectent fréquemment, à un taux de 60 à 80% (Doireau, Wioland, & Amalberti, 1997) ; (Marc & Amalberti, 2002). Toutefois, toutes les erreurs détectées ne sont pas récupérées. En effet, et comme l'expliquent Van Daele et Ait Ameur (2010), il est difficile d'annuler les effets de l'erreur dans des contextes dynamiques et complexes. Cependant, ces situations, qui ont leur évolution propre, sont également relativement tolérantes à l'erreur : certaines erreurs peuvent être récupérées spontanément sans intervention des opérateurs. Par ailleurs, toutes les erreurs n'ont pas de

conséquences graves et certaines d'entre elles sont donc tolérées. Reason (Reason, 2008) constate que les opérateurs ne jugent pas toujours indispensable de rectifier certaines erreurs mineures, tolérant leur présence dans le système et acceptant de ce fait de consacrer quelques ressources à leur surveillance.

Une campagne d'observation dans les avions de ligne au début des années quatre-vingt-dix a montré une fréquence de 3 à 5 erreurs par heure de vol. Or, le transport aérien est reconnu comme un mode de transport de passagers très sûr. Ceci peut signifier : que les équipages pilotent dans une configuration tolérante à l'erreur avec des marges de sécurité importantes, que 100% des erreurs commises sont détectées avant de produire leurs conséquences, ou encore que les erreurs n'ont pas d'incidence sur la configuration du moment. **Ce qui est significatif pour la sécurité du système, c'est donc le nombre des erreurs qui sont *a*) non récupérées et *b*) associées à des conséquences graves.**

La faculté de récupérer ses propres erreurs dépend des ressources disponibles. Dans une zone de performance suffisante pour un objectif habituel, l'opérateur est assez performant pour commettre peu d'erreurs, tout en disposant encore des ressources disponibles lui permettant de détecter et de récupérer la quasi-totalité des erreurs commises. Dans cette zone, le fonctionnement est sûr (cf. Figure 10).

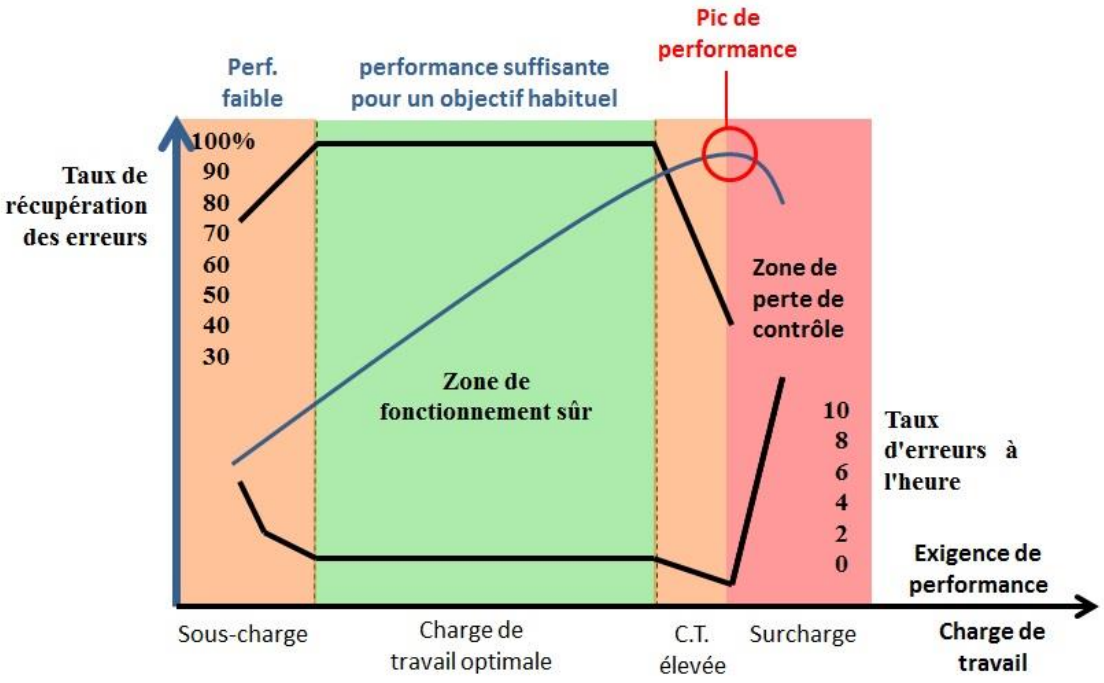



Figure 10 : Erreurs et récupérations, d'après Amalberti (2005)

Ce qui fait apparaître l'erreur au grand jour, c'est la conséquence produite par l'erreur non récupérée. Ceci explique que pour les médias, il y a une

correspondance directe entre l'accident et l'erreur, ce lien apparent de cause à effet entraînant une « phobie de l'erreur » et la volonté de l'éradiquer. Pourtant, dans les évènements de mer, l'accident est plus souvent la conséquence de la non-récupération de l'erreur que de l'erreur elle-même.

> Dans la nuit du 21 au 22 mars 2006, le transbordeur canadien QUEEN OF THE NORTH fait route entre les îles de Colombie Britannique, dans le canal naturel longeant Pitt Island[17]. A la sortie du canal, le navire doit changer de route et venir de 12° à gauche. L'officier de quart effectue la procédure normale de rapport au VTS et s'apprête à changer de route, quand le passage d'un grain de pluie réduisant la visibilité accompagné d'un vent violent l'oblige à se concentrer sur le radar où la trace d'un écho assez proche vient d'être perdue. Quelques minutes plus tard, la visibilité s'améliore, le niveau de stress retombe. L'officier de quart ne réalise pas qu'il n'a pas changé de route. Connaissant la zone, et sachant qu'il dispose maintenant d'une demi-heure de navigation en eaux libres, il s'assied et reprend une conversation avec le veilleur. 15 minutes plus tard, il distingue soudain la terre et des arbres très proches sur Td, il essaie de corriger la trajectoire, mais le navire s'éventre sur Gil Island et coule un peu plus loin.

A quoi peut-on attribuer le naufrage ? L'oubli du changement de route, ou bien la non-récupération de cette erreur par une stratégie appropriée de surveillance ? Sur quoi peut-on agir efficacement : l'erreur ou sa récupération ?

L'erreur est donc courante dans les situations professionnelles. Elle est « normale » et, qui plus est, Amalberti explique qu'elle est également souhaitable. Pour acquérir une « méta-connaissance », une connaissance sur l'état de mes propres connaissances, que l'on peut traduire par : « *je connais mes limites* », j'ai besoin d'aller me confronter à ces limites. C'est le nombre d'erreurs commises qui me signale que j'entre dans ma zone d'incompétence, et qui me permet de réajuster ma stratégie pour être certain de rester dans l'enveloppe des situations maîtrisées.
La connaissance de ses limites est la signature de l'opérateur expert.
Dans ce processus qui consiste à explorer, tout en restant du bon côté de la barrière, le périmètre de son champ de compétence, l'erreur est un outil essentiel d'ajustement du « compromis cognitif », qui fait osciller en temps réel l'opérateur entre une solution sophistiquée et performante, et une solution bien maîtrisée.
De façon plus générale, il convient également de noter que l'erreur est un élément central dans tout processus d'apprentissage.

[17] BST Canada, rapport d'enquête marine 2006 sur le naufrage du Queen of the North.

### 2.2.3 Le modèle « Swiss Cheese » (Reason, 1990)

James Reason a modélisé le fonctionnement d'une activité de production générique. Ce modèle s'applique à toute entreprise, qu'elle produise du transport maritime, du raffinage pétrolier ou de l'extraction minière. Il est composé de cinq plaques, chacune représentant un niveau d'activité dans le système de production (cf. Figure 11).

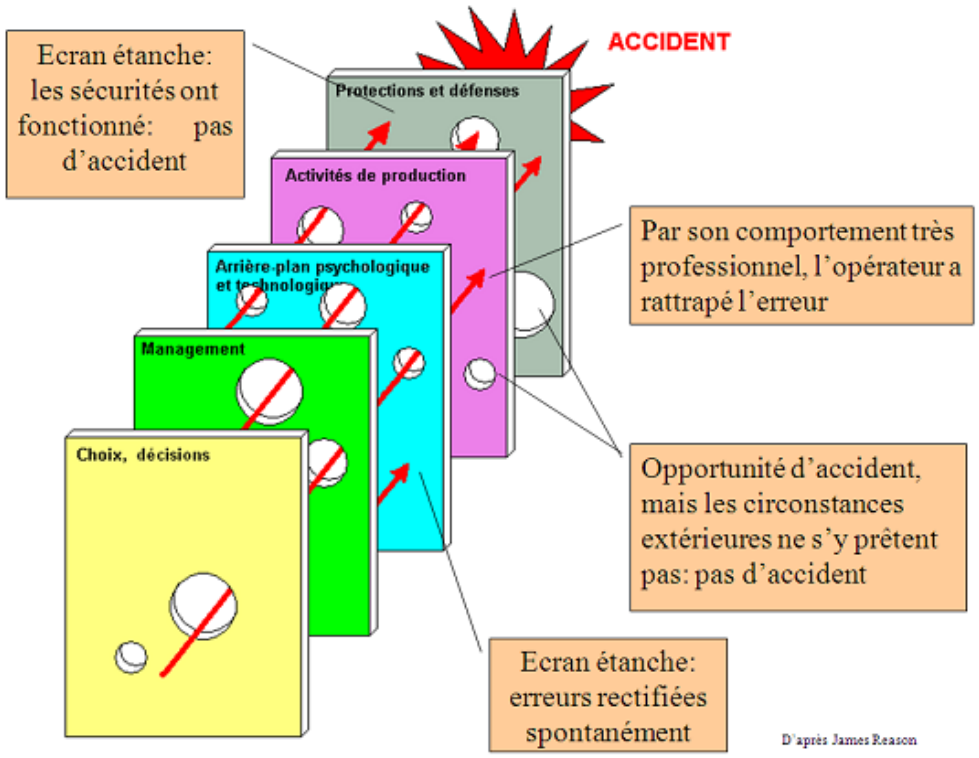



Figure 11 : la grille de Reason, ou « Swiss Cheese »

En allant de l'amont vers l'aval du système, on trouve :

- la plaque de la direction : elle concerne les grands choix, les décisions stratégiques, et la mise en place de moyens pour les mettre en œuvre.

  *They set the goals for the system as a whole in response to inputs from the outside world. They also direct, at a strategic level, the means by which these goals should be met (Reason, 1990, p.200).*

- la plaque du management opérationnel : elle concerne la mise en œuvre des décisions de la direction et la supervision, à niveau élevé, de l'activité de production.
- La plaque de l'arrière-plan psychologique et technologique : elle concerne l'environnement global dans lequel se déroule l'activité de production, par

exemple la qualité des équipements, la compétence et la motivation des opérateurs. Cette plaque produit les conditions qui vont favoriser l'émergence et le développement des actes dangereux.

- La plaque des activités de production : les erreurs actives des opérateurs de première ligne, l'équipage.
- La plaque des défenses en profondeur : les dispositifs de sécurité mis en place pour éviter ou récupérer les erreurs qui auraient franchi tous les barrages.

Chacune des plaques possède :

- un défaut : elle peut générer elle-même une erreur ou en laisser passer une provenant de l'amont, qui va ensuite se propager vers l'aval,
- une qualité : elle est capable, si elle est étanche, de stopper les erreurs venant de l'amont. Etanche signifie ne pas présenter de défaillance en rapport avec l'erreur produite en amont – ne pas présenter un trou aligné avec la trajectoire de l'erreur.

Cette grille illustre de façon très pédagogique un constat effectué par les commissions d'enquête sur les accidents : l'accident n'est pas le fait d'UNE erreur, mais d'une succession d'erreurs[18]. Les erreurs et défaillances alignées forment un couloir de propagation à l'intérieur duquel une erreur provenant de l'amont peut se propager éventuellement jusqu'à l'accident si aucune plaque ne la stoppe – nous reconnaissons ici la « chaîne » d'erreurs qui nous est familière –.

La grille est appelée communément *Swiss Cheese model*. Le gruyère en question donne l'idée d'un système figé, or il faut plutôt y voir un système vivant : les trous s'ouvrent et se ferment au gré des décisions prises, à tous niveaux. La grille générique s'applique à une entreprise de production, mais les interactions inter-entreprises font intervenir d'autres grilles, dans un maillage que l'on peut étendre à l'envi. Ceci explique qu'une erreur peut s'infiltrer dans le système en provenance de l'extérieur.

Le modèle *Swiss Cheese* distingue les « erreurs actives » et les « erreurs latentes ».

[18] Les statistiques en aéronautique donnent une moyenne de 4,5 erreurs pour un accident d'avion, et de 1,9 erreur pour un accident d'hélicoptère. On comprend aisément que l'activité hélicoptère est beaucoup plus risquée que l'activité avion. Quand l'activité navire de commerce fera l'objet de statistiques de ce type, nous verrons probablement un nombre moyen d'erreurs encore plus grand que pour l'avion.

Les erreurs actives sont visibles. Elles sont générées le plus souvent au niveau des opérateurs de première ligne. Elles produisent des conséquences à très court terme.

Les erreurs latentes ne produisent pas de conséquence immédiate. Elles peuvent rester tapies, invisibles, pendant des années, jusqu'à ce qu'en conjonction avec une erreur active, elles révèlent soudain leur existence. Une action peut être considérée comme normale à l'époque où elle est effectuée, et être qualifiée, plusieurs années plus tard, d'erreur latente, selon l'évolution des normes de sécurité. Avant l'ISM, il n'y avait pas d'obligation d'avoir une procédure de familiarisation en arrivant à bord. Ne pas en avoir à bord n'avait rien d'anormal. Aujourd'hui, ne pas en avoir serait considéré comme une erreur latente.

Reason utilise cette distinction pour analyser l'accident du Herald of Free Entreprise (Reason, 1990). La principale erreur active commise par l'équipage a consisté à quitter le port de Zeebrugge avec les portes avant intérieures et extérieures grandes ouvertes. C'est de cette erreur dont se souvient l'opinion publique. Pourtant, Reason pointe de nombreuses latentes tout aussi décisives, et notamment : des erreurs de conception du navire et différentes erreurs de la direction ; la direction avait refusé d'équiper les navires de la compagnie d'indicateur de portes avant en passerelle, elle exerçait une forte pression sur les équipages pour qu'ils gagnent du temps à l'appareillage, elle n'avait pas défini clairement les responsabilités des différents membres de l'équipage, etc.

### *2.2.4 Le modèle SHELL*

Le modèle SHELL – Software – Hardware – Environment – Liveware – Liveware (Edwards, 1972) ; (Edwards, 1988) ; (Hawkins, 1987) ; (Hawkins & Orlady, 1993) met en évidence les interactions existant entre chaque opérateur de système homme-machine qui constitue la composante « L » (*Liveware*) au centre du système et les composantes qui l'entourent dans quatre directions. Le L apparaît deux fois, car les opérateurs interagissent entre eux (voir Figure 12).

La composante « S » (*Software*) regroupe tout ce qui encadre le travail et qui est nécessaire au pilotage du système comme, par exemple, les logiciels, les procédures, les règles, les ordres, les consignes et la documentation.

La composante « H » (*Hardware*) recouvre toute l'ingénierie permettant de recueillir l'information (radars, instrumentation) et tous les actionneurs permettant d'agir sur l'état du système, par exemple la barre et la commande machine.

La composante « E » (*Environment*) fait référence à l'environnement (au sens large dans lequel évolue le système piloté : conditions climatiques, environnement physique (chenal, pleine mer…), bruit, température, environnement social, économique…

La composante « L » (*Liveware*) recouvre toutes les personnes qui interagissent avec l'opérateur comme, par exemple, les autres membres de l'équipage, les équipages des autres navires, les services de l'armement, les centres de surveillance côtiers.

L'opérateur interagit dans ces quatre directions et rencontre des problèmes d'interface avec ces composantes, qui peuvent être, par exemple, des problèmes de procédures avec la composante « Software », des problèmes d'ergonomie avec la composante « Hardware », des problèmes de perception avec la composante environnement, et des problèmes de communication avec la composante « Liveware ».

De plus, l'état du moment, fatigue, stress, et le caractère propre de l'opérateur, viennent ajouter d'éventuelles difficultés.

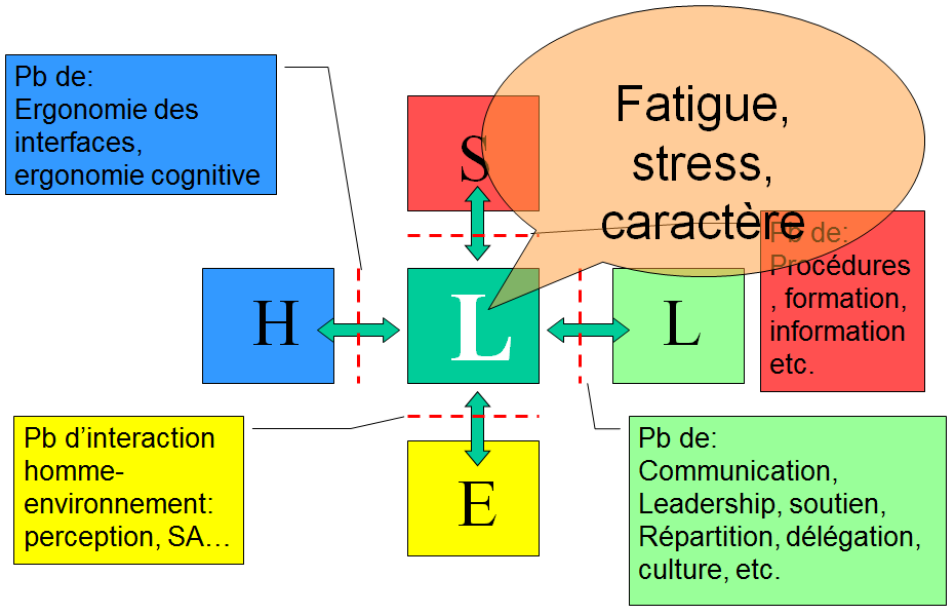



**Figure 12 : L'opérateur au centre du système : Le modèle SHELL, d'après Edwards (1972) et Hawkins (1987)**

Dans ces quatre directions, l'opérateur a un volume énorme d'informations à traiter et à transformer en décision, en situation dynamique, c'est à dire en tenant compte de la vitesse d'évolution du processus, avec des ressources mentales limitées. Ces ressources limitées l'obligent à une gestion très pointue de celles-ci :

- n'en utiliser que le minimum compatible avec une performance acceptable,
- n'utiliser que la partie rapidement accessible de sa mémoire,
- faire des choix et fixer des priorités dans la gestion de l'attention,
- régler son niveau de représentation mentale (ai-je besoin de cette information ?),
- élaborer des schémas opérationnels simples,
- conserver à tout moment une réserve disponible pour l'imprévu.

Outre l'aéronautique qui l'a produit, le modèle SHELL a été utilisé dans de nombreux secteurs, comme par exemple la médecine (Antunes, Carrico, & Bandeira, 2011) et a été adapté au domaine maritime par Itoh et al. (Itoh, Mitomo, Matsuoka, & Murohara, 2004). Ces auteurs se sont servis de ce cadre pour analyser les causes des collisions et des échouements, à travers les représentations que les marins ont de ces accidents. Cette enquête met en évidence l'importance du composant L et de l'interface L-S dans les situations d'évitement de collision.

## 2.3 SECURISER LES SYSTEMES COMPLEXES

Il existe deux stratégies pour gérer les erreurs. Le modèle Swiss Cheese incite à la mise en place de « barrières » permettant d'agir en prévention (réduire leur fréquence) et en atténuation (diminuer la gravité de leurs conséquences). Le cadre de la sécurité écologique met l'accent sur leur récupération.

### *2.3.1 Agir en prévention et en atténuation : les barrières*

Hollnagel (2004) propose la notion de « barrières » pour désigner les moyens qui, dans un système donné, vont intervenir pour prévenir un événement, infléchir les conséquences d'une l'action ou pour minimiser ses conséquences. Ces barrières sont extérieures aux opérateurs.

Il différencie la barrière considérée en tant que " système " et la barrière considérée en tant que " fonction ".

Une classification des systèmes de barrières conduit à identifier 4 catégories (Tableau 2 - Barrières en tant que système et barrières en tant que fonctions) :

Barrière matérielle : elle prévient physiquement la réalisation d'une action ou l'extension de conséquences (murs, clôtures, barreaux, porte). Elle représente un obstacle pour l'action ou l'événement et bien qu'elle ne puisse pas pallier à tous les aspects de l'événement, elle le ralentit ou le diffère.

Barrière fonctionnelle : elle opère en entravant la réalisation d'une action, par exemple en établissant des liens logiques ou temporels entre action et réaction. Une barrière fonctionnelle met en place une ou plusieurs pré-condition(s) qui doivent être remplies pour qu'un événement survienne. Ces pré-conditions ne sont pas interprétées par l'opérateur humain mais évaluées par le système lui-même. Ces barrières ne sont donc pas visibles ou discernables, bien que leur présence soit souvent indiquée à l'utilisateur d'une façon ou d'une autre et puisse nécessiter des actions de sa part pour être dépassées (exemple : verrou logique nécessitant l'emploi d'un mot de passe).

Barrières symboliques : elles nécessitent une interprétation pour atteindre leur but ; un agent " intelligent " doit réagir ou répondre à la barrière. Elles indiquent une limitation sous forme visuelle ou sonore (panneaux de signalisation).

Barrières immatérielles : elles ne sont pas présentes ou représentées dans la situation mais dépendent de la connaissance de l'utilisateur pour pouvoir atteindre leur but. Elles se présentent sous la forme d'ouvrages, de règlements, de lois, de guides. Dans les contextes industriels, elles sont synonymes de barrières organisationnelles (règles imposées par l'organisation plutôt que barrières physiques, fonctionnelles ou symboliques présentes dans le système).

Plusieurs types de barrière peuvent être combinés (physique, symbolique, fonctionnelle). Etudiant le domaine de la pêche maritime et les collisions impliquant des navires de pêche, Morel et Chauvin (Morel & Chauvin, 2008) ont montré que les barrières, dans ce système, sont essentiellement symboliques et immatérielles. Il s'agit de règlements (le règlement international pour prévenir les abordages en mer, notamment), de signaux ou d'alarmes.

| Type de barrières | Fonction | Exemple |
|---|---|---|
| Matériel, physique | Contenir ou protéger. Ce sont des obstacles physiques qui empêchent la libération de quelque chose ou la pénétration de quelque chose. | Murs, portes, filtres, valves… |
| | Restreindre ou empêcher le mouvement. | Ceinture de sécurité, harnais, cages… |
| | Maintenir ensemble (cohésion, résistance, indestructibilité). | Composants qui ne se cassent pas facilement |
| | Dissiper l'énergie, atténuer l'effet, étouffer, éteindre. | Air-bags, sprinklers, … |
| Fonctionnel | Prévenir le mouvement ou l'action (mécanique). | Verrous, freins |
| | Prévenir le mouvement ou l'action (logique). | Mots de passe, codes d'entrée… |
| | Entrave ou fait obstacle aux actions. | Distance (trop loin pour être atteint), délais |
| Symbolique | Bloquer, prévenir ou déjouer les actions. | Code des fonctions (couleurs, forme, disposition spatiale) |
| | Réguler les actions. | Instructions, procédures |
| | Indiquer le statut du système ou les conditions. | Signes (panneaux), signaux, alarmes |
| | Permettre ou autoriser. | |
| Immatériel | Surveiller, superviser. | Check-list |
| | Proscrire. | Règles, restrictions, lois |

**Tableau 2 - Barrières en tant que système et barrières en tant que fonctions**

On peut ajouter, pour le domaine de la marine marchande, les barrières physiques que sont les doubles coques des pétroliers et les barrières symboliques que sont les procédures et les check-lists. Les check-lists ont pris en grande importante dans le domaine maritime.

L'utilisation d'une check-list par un opérateur seul se fait en deux temps :

Il effectue de mémoire les vérifications de routine.

Il vérifie ensuite à l'aide de la liste qu'il n'a rien oublié.

La check-list lui sert à contrôler sa connaissance des procédures, puis à vérifier qu'il n'a rien oublié ; c'est un outil d'entretien des compétences. Par ailleurs, en utilisant une check-list, il remonte son niveau de vigilance, donc d'attention, et diminue conjointement le risque de commettre des erreurs de routine.
Cette utilisation est à distinguer de celle qui est faite de la « do-list », dans laquelle l'opérateur s'abstient de tout effort mental et se laisse guider par la liste.
Pour que les check-lists soient utilisées comme telles et deviennent des outils d'amélioration de la sécurité, leur nombre doit être limité, et le nombre d'item par liste limité également.
La vraie check-list est un concentré des bonnes pratiques. Elle nécessite que l'organisation à un niveau élevé se penche sur elle à intervalles réguliers, en faisant participer les opérateurs de première ligne pour qu'ils se l'approprient. Rien à voir avec ce qu'elle est parfois à bord, un papier rempli à la hâte à destination des vettings[19].
Le cross-check est une check-list effectuée à deux. Réservée aux vérifications critiques pour la sécurité car elle consomme les ressources de deux équipiers, elle fiabilise le résultat : l'un des opérateurs effectue chaque opération, l'autre vérifie que l'action est effectuée correctement (effectuer et vérifier sont deux tâches différentes). Il met en jeu un dialogue très formalisé sous forme de questions-réponses exigeant d'effectuer l'opération de façon consciente et surtout pas de façon réflexe, évitant ainsi les erreurs de routine. La mise au poste de mer des rampes de chargement, la fermeture du casque d'un roulier, par exemple, pourraient (devraient ?) donner lieu à un cross check.

A côté de ces barrières, il existe des principes de prévention des erreurs qui concernent l'interface des composants L-S sur le modèle SHELL. Il s'agit essentiellement des normes et recommandations portant sur l'ergonomie des logiciels. Dans le domaine maritime, ces recommandations concernent classiquement la présentation des informations des radars ARPA et de l'ECDIS (cf. par exemple les travaux de (Sauer, Wastell, Hockey, Crawshaw, Ishak, & al., 2002) ; (Dondery & McFadden, 2003) ; (Goukld, Roed, Saus, Koefoed, Bridger, & al., 2009). Des travaux plus récents proposent l'utilisation de la réalité augmentée

[19] Vetting : enquête de sécurité menée par des inspecteurs souvent appointés par les propriétaires de la cargaison

comme aide à la navigation dans des conditions délicates (mauvaise visibilité et / ou eaux resserrées).

Enfin, un certain nombre de principes de prévention concerne le composant humain (un des deux L du modèle SHELL) considéré isolement. La Figure 13 les présente, en lien avec des problématiques de charge de travail et de performance. On peut également les distinguer selon le type d'erreurs qu'ils permettent d'éviter et / ou selon le niveau de contrôle qu'ils visent à faciliter.

La gestion des interruptions concerne les erreurs de type « raté » qui sont liées, comme on l'a vu, à des défaillances attentionnelles.

Gérer les interruptions, c'est - tout d'abord - avoir conscience que les tâches effectuées en conditions détendues sont facilement interrompues. Le savoir permet de se focaliser sur la tâche en refusant de sortir de son contexte, remontant par la même occasion le niveau d'attention. Cette conscience de la fragilité de la concentration devrait faire réfléchir tout opérateur avant d'interrompre un équipier : est-ce le bon moment ? Cela peut-il attendre ? Sur quoi travaille l'équipier que je veux interrompre ? Comment le ramener au bon endroit de la tâche en cours après l'interruption ? Il faut savoir aussi que plus la différence de statut est importante, plus le subordonné se laissera interrompre facilement.

L'opérateur, quelle que soit la perception de son statut, a le droit d'achever une tâche qui a trait à la sécurité avant de se laisser interrompre.

> Histoire d'une interruption : En 1998, un petit transporteur de colis lourds de 7 000 tonnes de déplacement est en train de décharger un moteur diesel de 120 tonnes par les grues du bord. Le Sd capitaine, dans la cale, dirige les opérations de levage, tandis que le commandant à la passerelle contrôle le transfert d'eau de ballast entre Bâbord et Tribord pour maintenir le navire droit. Une fois le colis décollé du fond de la cale, le poids est reporté en tête de flèche, à 30 mètres au-dessus du centre de gravité du navire, générant une perte importante de stabilité : c'est une manœuvre délicate et dangereuse. Une fois le colis hissé au-dessus de l'hiloire[20], le Sd commence à le faire déplacer vers le quai. Soudain, il interrompt le mouvement, le navire commençant à giter et le colis pendulant dangereusement vers le quai. Le commandant ne répond pas à l'UHF. Le colis se balance au-dessus de l'hiloire ; plus moyen de le ramener au-dessus de la cale, car le navire giterait aussitôt de l'autre bord. La vague d'étrave d'un navire passant un peu vite dans le bassin pourrait occasionner un coup de roulis amplifié par le pendule de 120 tonnes, pouvant aller éventuellement jusqu'à coucher le navire sur le quai. Tout le monde attend. Pas de contact UHF avec la passerelle. Après un bon quart d'heure, le commandant appelle et signale qu'il a interrompu la manœuvre, étant appelé par l'armement pour organiser la relève de deux hommes d'équipage à l'escale.

[20] Hiloire : sur le pont, paroi verticale de 2m de hauteur en acier, qui ceinture l'ouverture de la cale et sur laquelle vient se poser le panneau de cale quand la cale est fermée.

Ici, l'interruption n'a pas eu de conséquences, mais suggère un problème de gestion des priorités et d'affirmation de soi.

Parmi les principes de prévention concernant la composante L du modèle SHELL, certains concernent plus particulièrement les situations de charge de travail élevée.

L'entraînement permet grâce à la répétition des mêmes gestes d'automatiser la réalisation des tâches et facilite donc l'acquisition des routines (niveau skill). Grâce à l'entraînement, pour une même tâche, la quantité de ressources consommées diminue. De plus, l'entraînement automatisant la tâche, l'opérateur est capable d'en mener plusieurs de front, ce qui accroît sa rapidité. Rapidité, économie de ressources, l'entraînement est la meilleure technique d'évitement de la saturation, et c'est la voie d'acquisition de l'expertise. Enfin, l'entrainement permet une meilleure gestion des situations stressantes (Driskell & Johnston, 2000).

Anticiper et planifier conduit à créer des attentes. Si l'opérateur se rend compte que ses attentes ne sont pas satisfaites, il pourra rectifier son erreur. Anticipation et planification permettent donc de limiter les conséquences des défaillances liées à l'activation d'un schéma d'action qui n'est pas adapté à la situation (défaillances de type RB).

Anticiper, c'est travailler sur des éléments non-encore perçus afin de décider avant que la situation l'exige ; anticiper permet d'éviter d'avoir une trop grande quantité d'information à traiter en temps réel. L'opérateur expert, contrairement au novice, navigue en permanence « devant le navire », et profite d'un moment de calme pour émettre des hypothèses sur la situation future plutôt que d'attendre de constater l'événement et de réagir ensuite. Grâce à ce lissage de la charge de travail, l'opérateur expert se tient éloigné de la zone de surcharge.

La planification aide à réduire la complexité de la tâche en la décomposant en « *systèmes hiérarchisés de sous-tâches* » (Hoc, 1987, p. 96). En choisissant à l'avance les éléments qu'il utilisera, en présélectionnant les amers[21] qui serviront à faire le point, l'opérateur construit une représentation mentale pertinente qui lui permettra de comprendre la situation à moindre coût cognitif. Le passage plan

[21] Amer : phare, tourelle, ilot rocheux, arbre, tout objet fixe artificiel ou naturel, bien visible et indiqué sur la carte marine, permettant au navigateur de se repérer en mer.

n'est autre que le projet d'action formalisé. Pour être complet, ce plan doit prévoir les incidents raisonnablement prévisibles dans le contexte : « *que se passera-t-il si… ?* ». De cette façon, des réponses sont déjà prêtes en cas de problème, ce qui évitera une montée subite en surcharge.

Le débriefing (ou retour d'expérience) permet non seulement d'apprendre des dysfonctionnements, mais aussi de détecter et renforcer les bonnes pratiques (Gauthey, 2008). Il constitue un outil majeur d'acquisition de l'expérience, cette stratégie en temps différé permettant de se construire une banque de données d'expérience qui viendra enrichir les schémas dont dispose l'opérateur pour agir de façon satisfaisante dans une situation donnée. Il limite ainsi le risque de sélectionner un schéma inapproprié (défaillance de niveau RB). Ayant une palette de réponses plus large à sa disposition, l'opérateur peut construire un projet d'action plus robuste car plus complet, son niveau de stress en est diminué d'autant, le risque de saturation s'éloigne.
Le retour d'expérience peut être vu comme le débriefing d'un évènement auquel l'opérateur n'a pas personnellement participé.

Dans la zone qui est proche de la performance maximale (Figure 13, zone de charge de travail élevée), il s'agit principalement d'éviter les erreurs de connaissance et les erreurs de représentation.
Briefing et synergie contribuent également à la limitation des défaillances de type RB. Le briefing permet d'activer, en mémoire de travail, les schémas d'action pertinents. Il permet donc à l'équipe de partager un modèle mental de la situation nécessaire à la surveillance de l'activité par ses membres. La synergie sous ses aspects échange d'information et communication, est indispensable pour éviter les erreurs dans la zone de performance maximale, qui est aussi une zone de stress important.

Enfin, délestage et délégation sont deux techniques de prévention qui permettent à l'opérateur de limiter le risque interne en adoptant un compromis cognitif satisfaisant (Amalberti, 2001). Le délestage est une tactique en temps réel qui consiste à éviter la surcharge en acceptant de simplifier la boucle de balayage de l'attention en supprimant certains éléments jugés secondaires pour le contexte : je

sais qu'il y a de l'eau où je me trouve, je veux me concentrer sur un point tournant difficile à négocier, je ne me préoccupe plus, temporairement, du sondeur ; de même, après un tour d'horizon, constatant qu'aucun navire n'est gênant, je ne me préoccupe plus, temporairement, de l'anticollision. Les éléments délestés devraient être choisis judicieusement, ce qui suppose d'avoir la disponibilité pour le faire, donc l'anticipation. Le délestage peut aussi être réactif (il est alors souvent inconscient), quand la saturation est proche : dans ce cas, il peut être anarchique, et conduire à supprimer des éléments essentiels à la surveillance du processus !

La délégation est préférable au délestage, puisque les éléments ne sont pas sortis de la boucle mais que leur surveillance est transférée à un autre opérateur. Elle nécessite de pouvoir disposer des ressources d'un autre opérateur et d'avoir assez confiance pour déléguer. Néanmoins, cette tactique a un coût cognitif car les éléments de la conscience de la situation se trouvent distribués entre les opérateurs, obligeant ces derniers à construire une cognition d'équipe en se coordonnant (Macmillan, Entin, & Serfaty, 2004).

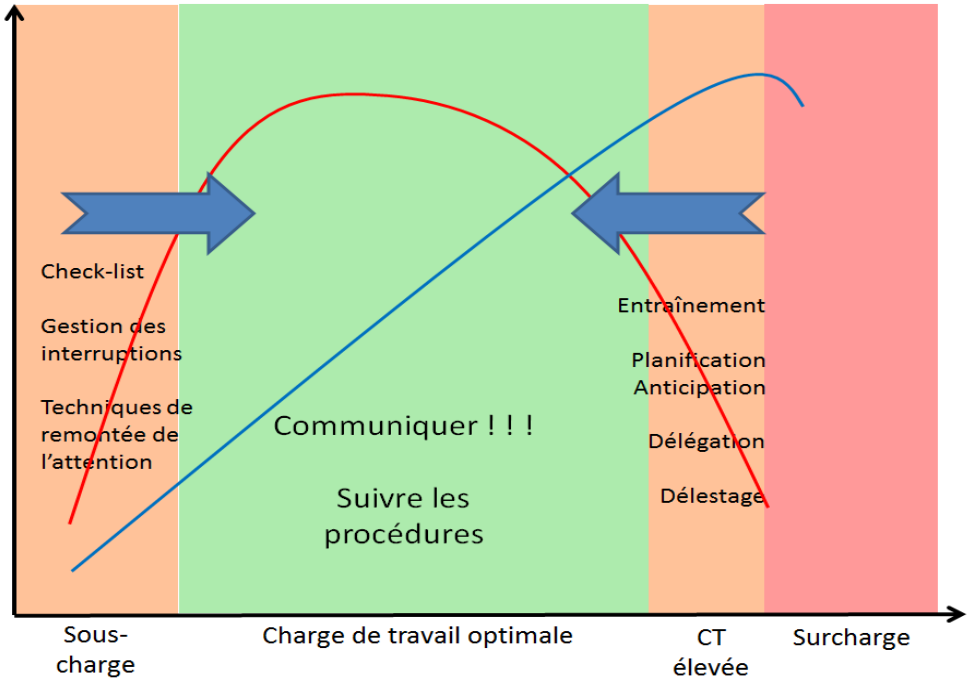



**Figure 13 : Compromis cognitif ; Techniques de prévention des erreurs**

Y a-t-il une stratégie pour éviter les violations ?

Sur le plan individuel, il n'y a guère que l'éthique, c'est à dire l'adhésion individuelle à des principes moraux, à des valeurs professionnelles, qui permet d'éviter les violations. Cependant, dans un système à risques, il y a des situations où l'opérateur transgresse la procédure dans le but de pouvoir accomplir sa tâche. Les statistiques sur la fréquence et les conséquences des erreurs en aéronautique montrent que les violations sont les « erreurs » les plus fréquentes (ICAO, 2001), avec un taux de conséquence faible. Ceci montre :

- que ce système est fortement réglementé : le nombre des transgressions augmente avec celui des règles ;
- que les violations sont faites à bon escient, puisqu'elles ne produisent que rarement des conséquences néfastes.

Ce constat n'est en aucune façon une apologie de la transgression.

Il s'agit juste de montrer qu'outre l'éthique du navigant, il existe des stratégies pour la diminution des violations :

- Moins de procédures, mais de plus haut niveau – s'éloigner du particulier pour aller vers le général –, afin d'englober plus de situations, et un appel à l'éthique chez des opérateurs formés à la responsabilité semble une voie plus prometteuse pour réduire le nombre des violations, que l'augmentation du nombre des procédures et la menace du bâton.
- Restaurer une marge temporelle dans le système : en aéronautique, un avion de ligne se heurtant à un jet stream[22] de face arrive en retard. C'est admis. Dans le mauvais temps, un navire peut perdre 80% de sa vitesse pendant plusieurs heures, et ne pouvoir tenir les délais. Le mauvais temps est prévu dans les contrats d'affrètement. Pourtant la concurrence féroce que se livrent les armateurs de ferries ou sur les lignes de porte-conteneurs est telle que toutes les énergies, consciemment ou non, sont tendues vers cette priorité : tenir l'horaire. Les équipages sont alors soumis à une pression très difficile à gérer, et qui les amène parfois à transgresser les règles dans le but de respecter l'horaire. Les bureaux d'enquête et d'analyse, tous pays confondus, en aéronautique comme en maritime, connaissent le problème et le soulignent régulièrement, mais comment

[22] Le jet stream ( ou courant jet) est un courant aérien à très grande vitesse – jusqu'à 300 nœuds – dont la position exacte et la trajectoire sont parfois erratiques, donc peu prévisibles. Il se rencontre à haute altitude et est orienté globalement est-ouest.

améliorer un système qui, en apparence, donne toutes les garanties de sécurité ? Déclaration écrite d'engagement de la direction, directives émises par le management opérationnel et transcrites à bord dans les manuels de procédure, tout le système qualité clame que la sécurité est LA Priorité. Or, dans les accidents de porte-conteneurs ou de ferries, le respect de l'horaire est un facteur d'accident récurrent. Qu'est-ce donc qui pousse les équipages à transgresser leurs propres règles de sécurité, violant du même coup toute la hiérarchie des procédures citée plus haut ? Selon Woods,

> *The decision to value production over safety is implicit and unrecognized. The result is that individuals and organizations act much riskier than they would ever desire (Woods, 2006, p. 29)*

Une enquête auprès des managers des armements de porte-conteneurs et de ferries ainsi qu'auprès des états-majors de leurs navires montrerait peut-être un hiatus profond entre la priorité affichée officiellement par les premiers : la sécurité, et la priorité perçue par les seconds : le respect de l'horaire. Cette contradiction permanente entre deux priorités met les capitaines perpétuellement en porte-à-faux et les assure qu'en cas de problème ils auront tort :

- Arriver à bon port confirme qu'il n'y avait pas de danger : tout retard est inexcusable.
- Ne pas arriver à bon port confirme qu'il fallait privilégier la sécurité.

Il faut avoir à l'esprit que le danger de la violation réside plus dans la banalisation de la transgression, comme l'a montré Vaughan (Vaughan, 2005) dans son analyse de la perte de la navette Challenger, que dans le risque opérationnel pris au moment de la violation.

Lors d'un reportage télévisé retraçant les péripéties de la catastrophe de la navette Challenger, un des « senior engineers » de la NASA ayant pris part à la décision de lancer la navette tout en connaissant les défaillances répétées des joints des propulseurs à poudre disait, dans une autocritique poignante :

> *« Quand on a accepté de dépasser la limite une fois, on a perdu sa virginité.*
> *La fois suivante, où se situera la limite ? »*

Tout est dit…

### *2.3.2 Récupérer les erreurs*

La deuxième stratégie est la détection et la récupération des erreurs qui seront immanquablement commises par l'opérateur, aussi brillant et motivé soit-il.

Il existe deux possibilités : *a*) les récupérer soi-même, ou *b*) les faire récupérer par les membres de l'équipe.

L'opérateur peut récupérer les erreurs lui-même par des autocontrôles comme le recoupement de l'information, les sondages aléatoires.

Le recoupement de l'information. Il est un message particulièrement difficile à faire passer aux élèves-officiers de la génération informatique : un appareil extrêmement précis comme le GPS[23] peut tomber en panne, et le recoupement de l'information par un autre instrument ou système, même moins précis, est indispensable pour vérifier la cohérence d'une information précédemment acquise.

> Le 10 juin 1995, le paquebot « Royal Majesty » s'échoue à proximité de l'île de Nantucket, à 17 milles de sa position supposée. Pendant plus de trente heures, soit l'équivalent de huit changements de quart, personne ne s'est aperçu que le GPS fonctionnait en mode « conservation de l'estime », l'antenne s'étant probablement déconnectée lors des vibrations de la manœuvre d'appareillage. Aux enquêteurs qui demandent à l'officier de quart sur la passerelle au moment de l'échouement s'il contrôlait le GPS[24] à l'aide du Loran C, celui-ci répond qu'il n'avait « *pas pour habitude de contrôler la précision[25] du GPS avec le Loran C* ». Cet officier n'avait semble-t-il pas compris que le recoupement de l'information ne sert plus aujourd'hui à améliorer la précision mais à contrôler la cohérence du point et le bon fonctionnement d'un appareil (NTSB, 1997).

Les sondages aléatoires. La principale difficulté de repérage d'une erreur existe quand aucun signal, aucune information de l'environnement ne vient apporter la contradiction à la représentation mentale : quand tout va bien, que le navire est sur sa route, comment se motiver – comme sur le Royal Majesty – pour effectuer spontanément des recoupements ? Chez les pilotes de chasse chevronnés, il est observé une stratégie de sondages aléatoires qui semble très efficace pour détecter une erreur.

> *Ces contrôles au hasard, polymorphes mais quasi continus, permettent de déceler des dissonances entre les résultats attendus et les résultats obtenus (Amalberti, 2001).*

Les erreurs peuvent également être récupérées par les membres de l'équipe. Pour Marc et Amalberti (Marc & Amalberti, 2002), le collectif est le premier facteur de fiabilité surajoutée aux individus. Ces auteurs considèrent que ce type de régulation repose sur deux stratégies. Le collectif gère et récupère des erreurs

[23] GPS : Global Positioning system

[24] A l'époque, le GPS offrait une précision de l'ordre de 100 mètres. Le Loran C, système hyperbolique à différence de temps, n'offrait pas une précision supérieure au quart de mille, soit 400 mètres.

[25] C'est moi qui souligne.

mais il est également très investi dans leur prévention. Il s'agit alors d'éviter les erreurs en renforçant la représentation partagée de la situation. D'autres stratégies permettent à un opérateur de maintenir les autres dans la boucle : partage du projet d'action, surveillance mutuelle, cross-check pour les phases critiques.

Les stratégies d'auto-récupération fonctionnent bien dans la zone de performance optimale et en sous-charge modérée. Elles sont inexploitables dans la zone de surcharge, faute de ressources à y consacrer.

En conséquence, un certain nombre d'erreurs est difficilement auto-détectable : les erreurs de connaissance dues à un problème de formation, les erreurs de représentation. Quant aux erreurs par saturation, elles sont dues à une performance tellement dégradée que l'individu ne peut plus rien faire pour les récupérer, en admettant qu'il les détecte.

En revanche, et c'est la leçon principale de ce chapitre, l'équipage – à condition de fonctionner de façon optimale –, peut détecter et récupérer toute la gamme des erreurs, et pour René Amalberti, l'équipage est la seule réponse fiable à l'erreur humaine.

## 2.4 CONCLUSIONS

Selon le modèle de Reason, le navire n'est qu'une première étape : il faut entreprendre la sécurisation de tous les niveaux, y compris les plus élevés de l'organisation, pour aboutir à un fonctionnement fiable. S'attaquer aux erreurs de l'équipe de première ligne est une bonne démarche, indispensable, mais à elle seule insuffisante. Certaines erreurs actives sont l'aboutissement d'un processus qui a débuté loin en amont, elles ne sont alors que le symptôme d'une cause située ailleurs dans l'organisation. Le transport maritime est aujourd'hui engagé dans cette démarche, mais avec des outils empruntés principalement à la gestion de la qualité, dans sa quête d'amélioration de la sécurité.

Pour remédier aux défaillances, il faut en avoir connaissance. Nous vivons dans une culture qui n'accepte pas l'erreur, dans l'illusion d'un monde dans lequel les équipes communiquent parfaitement et travaillent en synchronie totale. L'erreur ne peut donc provenir que d'un manquement grave. Elle est vue comme un péché

qu'il faudrait expier, et la défaillance d'un opérateur est aujourd'hui systématiquement jugée au pénal si elle a eu des conséquences dommageables. Dans une telle ambiance, celui qui commet une erreur qui passe inaperçue n'est pas incité à la faire connaître.

Comment éviter la dissimulation qui empêche l'analyse et la correction de l'erreur ? L'aéronautique se penche depuis longtemps sur le sujet, qui concerne moins la synergie dans le cockpit – chacun est au courant de ce que fait l'autre – que le retour d'expérience de l'équipage vers le bureau de la sécurité des vols de la compagnie. Pour que l'information remonte, du subalterne vers le supérieur, du navire vers la terre, il faut créer les conditions – l'arrière-plan psychologique de la grille de Reason –, pour que chacun se sente :

- investi de la responsabilité d'alimenter en permanence la représentation mentale de l'équipe de passerelle, ou le système de retour d'expérience de l'armement,
- rassuré de ne pas être inquiété en raison de cette information.

Si on crée les conditions pour que les erreurs soient signalées, même si elles n'ont pas eu de conséquences et pourraient passer inaperçues, elles constitueront un retour d'expérience enrichissant toute l'équipe, et même toute la compagnie si le retour se fait à ce niveau et est suivi d'une dissémination vers les autres navires. Les chercheurs en sécurité industrielle utilisent souvent le modèle de la pyramide de Bird (Bird, 1974) qui énonce que statistiquement, pour un accident, il se produit en moyenne :

- Dix presque-accidents,
- Trente incidents,
- Six cents actes non-sûrs.

Si on travaille sur les actes non-sûrs, la base de données est six cents fois plus importante que si on ne fait que de l'analyse d'accident. On mesure ici l'importance de la remontée de l'information et du traitement adéquat des actes non-sûrs qui finiront, statistiquement, par produire un accident.

Au niveau des opérateurs de première ligne, pour créer ces conditions, il n'y a pas de meilleure méthode que l'exemple : si le leader est prompt à admettre ses erreurs, il encourage le même comportement chez ses équipiers, et il obtient deux résultats :

- un résultat à court terme : la remontée de l'information et une représentation mentale conforme, donc les meilleures conditions pour prendre une bonne décision ;
- un résultat à long terme : les équipiers auront tendance à reproduire le même comportement plus tard quand ils seront en position de leader : c'est ainsi tout le système qui est entraîné dans une spirale positive pour la sécurité.

En revanche, si les membres de l'équipe pensent qu'ils seront sanctionnés s'ils rapportent une erreur commise, ils se borneront au minimum syndical en ne signalant que ce qui à l'évidence ne pourrait être caché.

Au niveau de l'organisation, il faut que le retour d'expérience soit encouragé et même inscrit officiellement dans le contrat moral qui lie l'entreprise et ses salariés. Le Manuel de gestion de la sécurité (MGS) édité par l'Organisation de l'aviation civile internationale énonce, pages 16-1 et 16-2 :

> *Pour une organisation, la mise en œuvre d'un système non punitif de comptes rendus d'incidents constitue un des meilleurs moyens – si (ce n'est) pas le meilleur – d'exprimer son engagement à garantir la sécurité et d'encourager une culture positive de la sécurité. (…) Toutefois si la compagnie utilise les comptes rendus d'incident à des fins disciplinaires, son système de comptes rendus d'incidents ne recevra que les renseignements minimums requis pour respecter les règles qu'elle a édictées. On ne pourra en attendre que peu d'information utile pour la sécurité (OACI, 2006).*

Après ce tour d'horizon des principes FH qui décrivent le fonctionnement cognitif de l'opérateur en situation de conduite de navire, ce manuscrit s'intéresse aux préoccupations centrales des chercheurs de l'industrie et des administrations depuis la conférence de la NASA à San Francisco en 1979 destinée à trouver des réponses aux accidents aériens. Lors de cette conférence, deux écoles s'affrontent :

- l'accident est dû à la perte de la compréhension de la situation (position plutôt européenne) et
- l'accident est dû à un défaut de travail d'équipe (position plutôt américaine).

Ces constats sont toujours d'actualité dans toutes les industries à risques. Le chapitre suivant s'intéresse à ces deux thèmes centraux dans les facteurs humains.

RESUME

La problématique « facteurs humains », questionnements, réponses, vient de l'aéronautique. La recherche nous a donné plusieurs modèles – GEMS, SRK, Swiss Cheese, SHELL – permettant de conceptualiser les processus cognitifs à l'œuvre chez l'homme en situation de travail et dans le système de production. De plus, il faut admettre que la sécurité n'est pas seulement une affaire de prévention des erreurs, mais aussi de récupération des erreurs commises. Des solutions ont été préconisées pour tenter de fiabiliser l'activité de l'opérateur par le biais d'une régulation de sa charge de travail, le maintien dans une zone optimale de charge de travail permettant un taux élevé de récupération des erreurs commises.

# 3 LES FACTEURS COGNITIFS ET LA SECURITE MARITIME



**Un navire en manœuvre : un capitaine, un officier, un matelot timonier, un pilote maritime**
**Comment comprendre et décider en équipe**

*Après avoir vu dans le chapitre précédent les modèles principaux permettant d'expliquer le fonctionnement humain et la gestion de l'erreur humaine, au niveau local et au niveau systémique, le chapitre 3 traite de la cognition individuelle et de la cognition d'équipe et est divisé en trois parties :*

*Les deux premières concernent les processus individuels du traitement de l'information acquise dans l'environnement : La première traite de la conscience, ou compréhension, de la situation, en s'inspirant des travaux d'Endsley, et du sensemaking décrit par Weick ; la deuxième s'intéresse à la transformation de la SA en décision, et fait référence, entre autres, au courant de la Naturalistic Decision Making.*

*La troisième partie élargit le champ à la cognition d'équipe et à la coordination intra et inter-équipes pour assurer un déroulement sûr de la tâche, en évoquant les notions d'équipe synergique et de surveillance croisée.*


Le Petit Journal
SUPPLÉMENT ILLUSTRÉ
SAMEDI 8 JUILLET 1893
LA CATASTROPHE DU « VICTORIA »

**Le Petit Journal relate l'abordage du Victoria par le Camperdown devant Beyrouth le 22 juin 1893. Cet évènement est resté dans la mémoire de la marine britannique comme exemplaire du risque associé à une décision solitaire.**

Pour Hetherington, Flin et Mearns (2006), le facteur humain apparaît comme la principale cause des événements de mer. Hetherington et al. (Ibid.) décrivent les facteurs qui contribuent aux incidents et aux accidents : facteurs entraînant une diminution de la performance (fatigue, stress et problèmes de santé), capacités techniques et cognitives insuffisantes, compétences interpersonnelles insuffisantes (difficultés de communication, de maîtrise d'une langue commune), aspects organisationnels (formation à la sécurité, management des équipes, culture de sécurité).

Ce chapitre porte plus précisément sur l'incidence des facteurs cognitifs dans les accidents maritimes. Les facteurs cognitifs sont relatifs aux processus cognitifs ou activités mentales des opérateurs - activités de diagnostic et de prise de décision essentiellement – et aux structures mentales qu'ils élaborent et mobilisent dans le cadre de ces activités. Ce sont, plus précisément, des fonctions cognitives complexes qui seront abordées ici, car ce sont elles qui émergent en situation réelle de travail. Regroupées sous le terme de macrocognition (Klein, Ross, Moon, Klein et al., 2003), ces fonctions sont essentiellement étudiées dans le cadre de la Naturalistic Decision Making (NDM). Ce courant de recherche, qui se développe depuis les années 1990, porte en effet sur les décisions prises en situation naturelle, dans des situations qui peuvent être qualifiées de « complexes » puisqu'elles présentent les caractéristiques suivantes (Zsambok, 1997) :

- les problèmes sont peu structurés ;
- les environnements sont incertains et dynamiques ;
- les buts sont changeants, mal définis et en compétition ;
- les actions réalisées ont des effets en retour (elles modifient la situation) ;
- la pression temporelle et les enjeux sont forts ;
- les acteurs sont multiples ;
- il existe des buts et des normes fixés par une organisation.

Zsambok (1997, p.5) donne la définition suivante de ce courant de recherche :

> *« les études de NDM se demandent comment des experts, travaillant seuls ou en groupes - dans des environnements dynamiques, incertains et à l'évolution souvent rapide - identifient et évaluent la situation, prennent des décisions et réalisent des actions dont les conséquences ont du sens pour eux et pour l'organisation au sein de laquelle ils travaillent ».*

Les fonctions étudiées et modélisées par la NDM sont donc la prise de décision mais aussi les processus qui permettent de comprendre la situation en cours : processus d'élaboration d'une représentation de la situation ou processus de « sense making » (Klein et al., 2003) ; il s'agit encore de processus collectifs tel que la coordination. Ces processus ou fonctions mobilisent des structures stockées en mémoire à long terme nommées « schémas » ou « modèles mentaux ».

Les schémas décrivent des situations prototypiques et/ou des séquences d'action permettant de comprendre et d'agir. Lipshitz et Ben Shaul (1997) proposent de représenter, sous la forme d'une figure (cf. Figure 14) les liens existant entre « environnement », schémas et représentation mais aussi décision.

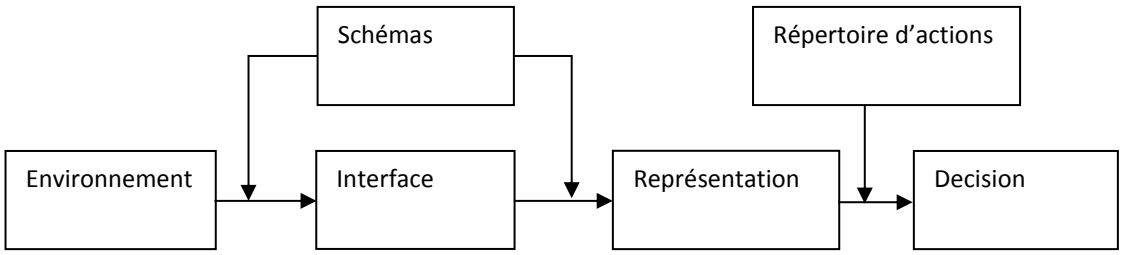



**Figure 14 - Les relations entre Environnement, Schémas, représentation, décision (d'après Lipshitz & Ben Shaul, Ibid.)**

La relation entre l'opérateur et son environnement est médiée par différentes interfaces. Il s'agit principalement, pour la conduite de navire, de l'interface radar et de la carte électronique (ECDIS). Cette médiation implique que l'opérateur ne dispose que d'informations partielles sur son environnement. Cependant, les informations ne s'imposent pas à l'opérateur. Celui-ci dispose de « schémas » qui le guident dans la recherche des informations manquantes. Les schémas participent également à la transformation d'informations sensorielles équivoques en informations significatives pour l'opérateur. La représentation apparaît, enfin, comme le déterminant principal de la prise de décision. Les actions pertinentes sont reconnues d'après les caractéristiques de la situation telles qu'elles apparaissent dans la représentation.

Le terme de « modèle mental » est également utilisé pour désigner les représentations cognitives de la réalité extérieure. Pour Johnson-Laird, la fonction

du modèle mental est « de rendre explicites, au sein d'une situation donnée, les objets, les propriétés et les relations qui sont pertinentes pour les actions potentielles, c'est-à-dire les rendre disponibles pour faire des inférences et prendre des décisions sans qu'un traitement supplémentaire ne soit nécessaire » (Johnson-Laird, 1993, p.19). Une revue de la littérature réalisée par Jones et al. (2011) montre qu'il existe un désaccord concernant l'endroit où ces structures sont localisées : en mémoire de travail ou en mémoire à long terme ... mais on peut également considérer qu'il s'agit de structures de connaissance en mémoire à long terme qui supporte la formation de modèles mentaux en mémoire de travail. Si l'on considère les modèles mentaux comme des structures stockées en mémoire à long terme, ils apparaissent alors comme similaires aux schémas.

Les modèles mentaux peuvent être individuels ou partagés. Les modèles mentaux partagés sont définis comme :

> *« des structures de connaissances détenues par les membres d'une équipe et leur permettant de former des explications et des attentes pertinentes pour la tâche, de coordonner leurs actions et d'adapter leur comportement aux exigences de la tâche et aux autres membres de l'équipe » (McComb, 2008, p.35).*

## 3.1 LA COMPREHENSION DE LA SITUATION EN COURS

Deux processus sont décrits comme étant à l'origine de la compréhension de la situation en cours : le processus d'évaluation de la situation (situation assessment) qui permet de construire une représentation de la situation en cours (situation awareness) et le processus de « sensemaking » qui consiste à donner du sens à une situation particulièrement ambiguë.

### *3.1.1 Le modèle de la « situation awareness »*

Dans le courant de l'ingénierie cognitive et de la NDM, le modèle d'Endsley est le plus cité pour rendre compte du processus de « situation assessment » et de l'élaboration de la « situation awareness ».

Endsley (1995, p. 36) parle de conscience de la situation (« Situation Awareness », SA) pour dénommer l'image ou le modèle mental de l'environnement. Elle propose un modèle de la Situation Awareness (cf. Figure 15) à trois niveaux : « la perception des éléments de l'environnement à l'intérieur d'un volume spatio-

temporel, la compréhension de leur signification et leur évolution dans un futur proche ».

Les éléments de l'environnement perçus par les individus constituent la base de la SA (Niveau 1 - Perception). Au niveau 2 – compréhension de la situation courante – les éléments perçus sont rassemblés en une image organisée ; les objets et événements sont compris. Les traitements réalisés à ce niveau consistent essentiellement à mettre en correspondance les caractéristiques de la situation en cours avec des « schémas » contenus en mémoire et représentant des situations prototypiques. Le niveau 3 - la projection des états de l'environnement – repose sur la connaissance du statut et de la dynamique des éléments et sur la compréhension de la situation. Il permet d'établir des prédictions sur les états de l'environnement dans un futur proche.

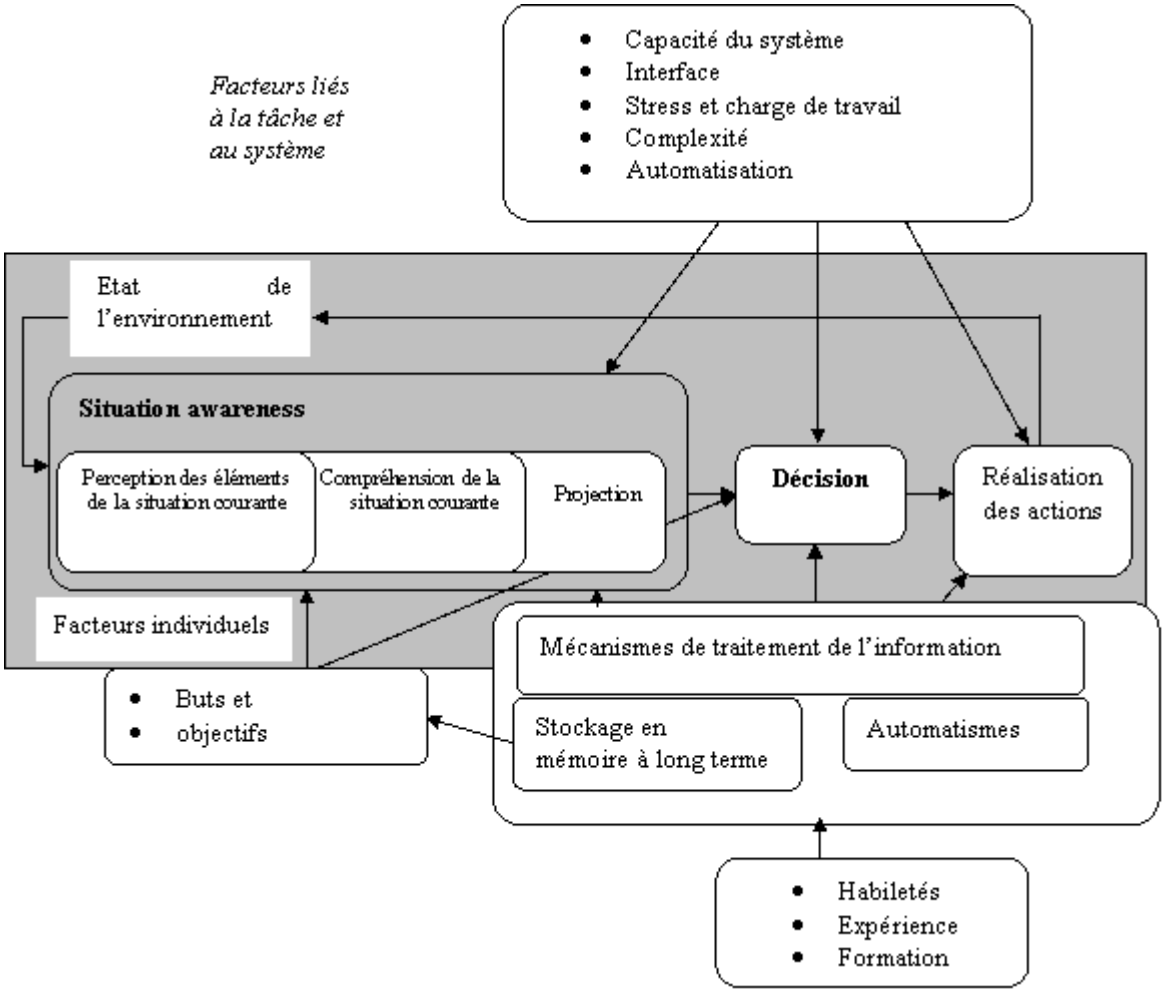



**Figure 15 : Modèle de la « situation awareness » dans la prise de décision dynamique (Endsley, 1995).**

La collision du Cuyahoga et du Santa Cruz illustre l'incidence d'une représentation erronée dans la survenue d'un accident majeur. Elle a été analysée par différents auteurs et, tout d'abord, par Perrow qui relate ainsi cet accident (Perrow, 1999, pp. 215-217).

> Par une belle nuit du mois d'octobre 1978, dans la baie de Chesapeake, deux navires sont en vue l'un de l'autre. Sur l'un d'eux – un cotre école des garde-côtes américains, le Cuyahoga - le commandant perçoit l'autre navire sur l'avant Bâbord comme un petit objet sur le radar et visuellement il perçoit des feux[26] qu'il interprète (à tort) comme étant ceux d'un navire qui fait route dans la même direction que son propre navire.
> Il pense qu'il s'agit certainement d'un bateau de pêche qu'il est en train de rattraper. Le premier lieutenant voit des feux. Il construit une représentation mentale autour de cette perception et estime (à juste titre) que c'est un navire qui se dirige dans la direction opposée à la leur. Il n'a pas la responsabilité d'informer le commandant et ne pense pas nécessaire de le faire, car c'est une situation routinière.
>
> 
> 
>
> **Figure 16 : Le Cuyahoga**
>
> Parce que les deux navires se rapprochent rapidement, le commandant pense qu'il doit s'agir d'un navire de pêche très lent et qu'ils sont sur le point de le dépasser sur son côté Tribord. Ceci renforce son interprétation erronée. Le matelot de quart sait que le commandant est conscient de la présence de l'autre navire et ne commente donc pas (en admettant qu'il se sente autorisé à le faire dans un environnement militaire assez fortement hiérarchisé). Parce que les navires évoluent à pleine vitesse, ils se rapprochent très vite.
> L'autre navire – un gros cargo – n'établit pas de contact radio, parce que ce cas de figure de croisement est routinier et que tout semble se dérouler normalement.
> Mais au dernier moment, le commandant du Cuyahoga réalise qu'en dépassant par Tribord le supposé bateau de pêche – qui est supposé suivre une route presque parallèle – ce dernier va le gêner en l'empêchant de venir à gauche pour entrer dans la rivière Potomac. Il ordonne donc de venir à gauche pour passer « derrière » lui et le dépasser sur son Bâbord, ce qui, en réalité, le place directement sur la trajectoire du cargo qui entre en collision avec le cotre. Onze garde-côtes périrent dans cet accident.

Burns (2005) analyse la représentation mentale du commandant du Cuyahoga et montre que cet accident n'est pas causé par une décision erronée ; la décision du commandant était rationnelle au regard de sa représentation mentale. Mais sa représentation mentale n'était absolument pas le reflet de la réalité ; elle en offrait presque une image inversée (cf. Figure 17, le Commandant est à gauche).

[26] La nuit, chaque navire montre des "feux", c'est à dire des lumières visibles dans des secteurs angulaires précis, qui permettent à un observateur extérieur de comprendre quel est le type de navire et dans quelle direction il se dirige.

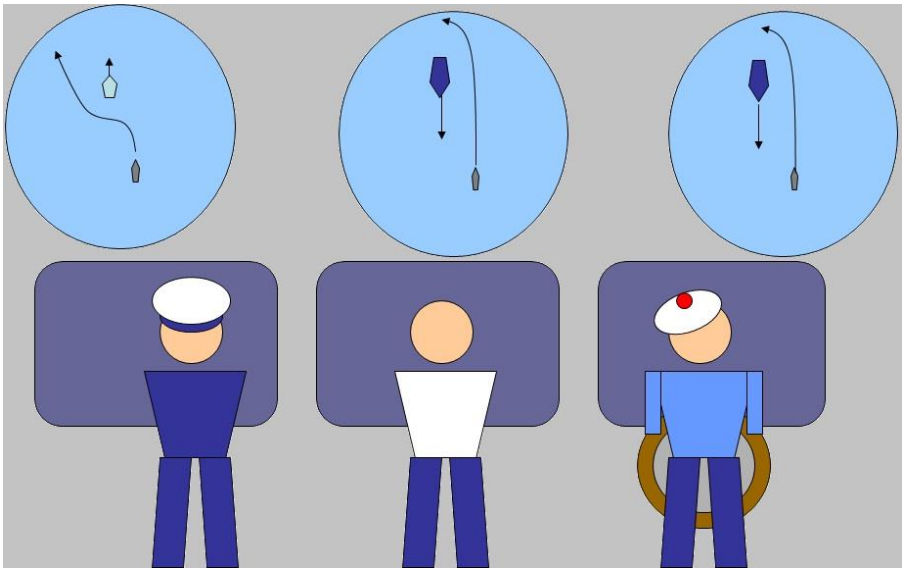


**Figure 17 : Comparaison des représentations mentales des 3 hommes à la passerelle du Cuyahoga**

On remarque que deux opérateurs sur trois avaient une représentation mentale correcte, mais que faute d'avoir communiqué, l'erreur n'a pu être détectée. Cet accident illustre donc parfaitement les deux causes majeures d'accident relevées par la NASA lors du séminaire en juin 1979 : perte de la conscience de la situation conduisant à une mauvaise décision et un défaut de travail d'équipe se traduisant par un manque de communication et des problèmes de leadership (Jollans & Fornette, A paraître).

Le modèle de la Situation Awareness est incontournable mais fait néanmoins l'objet de critiques. On remarquera avec Rousseau, Tremblay et Breton (2004) qu'il mélange les différents états de la représentation mentale et les processus qui permettent de les atteindre. Ces auteurs soulignent également son caractère linéaire ; chaque niveau étant un précurseur nécessaire du niveau suivant. Ce modèle est critiquable aussi parce qu'il suppose qu'il est nécessaire que la SA soit complète pour qu'une décision puisse être prise ; on sait pourtant que les opérateurs préfèrent agir à comprendre car l'action aide à la compréhension (Amalberti, 2001). Ce modèle sous-estime donc le fait que la compréhension d'une situation nécessite des actions exploratoires (Bedny, Karwowsky & Jeng, 2004).

### 3.1.2 Le « sensemaking »

Le concept de « sensemaking » a été défini initialement par Weick (Weick, 1995). Il s'agit de la fonction qui permet de donner du sens, une cohérence à un ensemble d'événements ; elle utilise l'expérience et les attentes qu'elle permet de former.
Klein et al (2006) développent une théorie du processus de sensemaking qui repose sur la notion de cadre (« Data-Frame »). Elle postule que les éléments sont expliqués quand ils sont assemblés dans une structure qui les relie à d'autres éléments. Le cadre, « *frame* », est une structure exploratoire qui définit des entités en décrivant leur relation à d'autres entités. Un cadre peut prendre la forme d'une histoire (expliquant la chronologie d'événements et les liens causaux entre eux), d'une carte (décrivant des liens spatiaux entre les éléments), d'un script (expliquant notre rôle comme complémentaire aux rôles des autres), d'un plan (décrivant une séquence d'actions). Le cadre est utilisé pour rendre compte de données et pour guider la recherche d'autres données. Il reflète les expériences accumulées par une personne. Par exemple, le commandant du Cuyahoga interprète les feux perçus comme étant ceux d'un bateau de pêche rattrapé car il sait par expérience qu'à cette heure de la nuit il dépasse souvent des bateaux de pêche qui rentrent au port ( (NTSB, 1979). Les gens explorent leur environnement en ne prenant en compte qu'une petite partie des informations disponibles. Les données permettent d'identifier le cadre pertinent et le cadre définit, filtre et connecte entre elles les données. Le cadre peut être erroné mais tant qu'un feedback ou qu'une information n'a pas rendu l'erreur évidente, le cadre est la base de la compréhension de la situation et de la décision.

A la question « Percevons-nous des éléments ? », la théorie du sensemaking permet de répondre que nous ne percevons pas des éléments mais du sens. Les activités des individus ne sont que partiellement déclenchées par les stimuli parce que le stimulus lui-même est produit par l'activité de l'individu.
Dans la perspective de la théorie du sensemaking, on ne cherche pas à comparer la représentation mentale construite par les opérateurs à la bonne représentation mentale. On se demande pourquoi une situation a fait sens pour eux, à ce moment et à cet endroit particuliers.

Un accident maritime – l'échouement du Royal Majesty en juin 1995 – a fait l'objet d'une analyse de ce type (Dekker & Lützhöft, 2006).

Le paquebot Royal Majesty (NTSB, 1997) quitta St Georges (Bermudes) pour Boston et s'échoua sur un banc de sable à proximité des côtes du Massachusetts. Ce bateau avait dérivé de 17 milles durant une journée et demi de navigation, parce que le système de navigation était en mode DR (Dead Reckoning) et non plus en mode NAV, le mode DR ne compensant pas les effets du vent à la différence du mode NAV.

Dans la tradition dualiste, le manque de correspondance entre l'endroit où l'on est et l'endroit où on croit être s'explique par un manque de SA ou par une perte de SA. Dekker et Lützhöft (Ibid.) adoptent une autre perspective ; ils constatent que l'équipage ne s'est pas aperçu de la dérive et pensait se trouver sur la bonne route. Ils essayent donc de comprendre pourquoi l'équipage a fait cette expérience de la situation. Pourquoi ce qu'ils voyaient faisait-il sens sur le moment ?

> Le navire appareille pour Boston à 12:00 le 9 juin 1995. La visibilité est bonne, le vent est faible et la mer est calme. Avant le départ, l'officier de navigation vérifie les appareils de navigation et de communication et conclut qu'ils sont en parfait état de fonctionnement.
> A peu près une demi-heure après le départ, le pilote débarque et l'officier met le cap sur Boston.
> Juste avant 13:00, peut-être à cause des vibrations, le câble de l'antenne du GPS se déconnecte et tombe sur le pont. Le GPS, ne recevant plus aucun signal des satellites, se met en défaut et passe automatiquement en mode DR, c'est-à-dire en conservation de l'estime[27]. Une brève alarme sonore retentit et deux codes apparaissent, écrits en très petits caractères sur l'écran : DR et SOL. L'équipage ne les remarque pas.
> En mode conservation de l'estime, le GPS conserve les derniers paramètres enregistrés juste avant l'apparition du défaut : il se trouve qu'à l'instant du défaut, le navire est au bon cap et à la bonne vitesse. Dans les heures qui suivent, le GPS, se basant sur ces données, affichera des positions montrant (de façon erronée) un navire suivant parfaitement la route prévue.
> La couverture satellite est bonne et le GPS fonctionne correctement depuis des années. L'équipage ne s'attend donc à rien de particulier. L'équipage connait le mode DR et sa signification mais n'a jamais été entrainé ou même sensibilisé à la possibilité de la perte de données satellites causée par la rupture d'un câble.
> L'équipage n'entend pas l'alarme sonore car elle ne retentit qu'un bref instant au moment du débarquement du pilote. Le GPS est placé à l'arrière de la passerelle, sur la table à carte. Il faudrait rechercher activement le défaut (le mode DR) pour le percevoir. Pendant la trentaine d'heures qui va suivre, quand les officiers qui se succèdent à la passerelle viennent à la table à cartes pour faire le point et regardent le GPS, ils ne voient que la position, affichée en très gros caractères. Parce que celle-ci coïncide parfaitement avec leurs attentes, aucun d'entre eux n'estime utile de comparer la position GPS avec la position donnée par un autre instrument (le Loran C par exemple).

[27] En mode conservation de l'estime, le GPS conserve en mémoire les derniers paramètres cap et vitesse enregistrés juste avant le passage dans ce mode ; il se contente ensuite d'afficher les positions successives correspondant à la distance parcourue au cap et à la vitesse conservés en mémoire.

Jusqu'à l'échouement, le navire se comporta normalement. Cette traversée ne présentait pas de difficulté particulière, il faisait beau. Pourtant, plusieurs indices indiquaient que la situation n'était pas complètement sous contrôle. Mais, les officiers, de façon systématique, ignorèrent tous les signaux. L'exemple le plus flagrant de ce déni concerne la bouée d'entrée du dispositif de séparation du trafic de Boston que le navire devait passer (cf. Figure 18). L'officier qui s'attend à la voir vers 18 heures croît la reconnaître quand il aperçoit un écho radar sur bâbord avant. Sans faire plus de vérification, il déduit qu'il s'agit de la bouée BA, parce que cela coïncide avec ses attentes et avec la position donnée par le GPS. Quelques trois heures plus tard, le nouvel officier de quart (une relève de quart a eu lieu à 20 :00) cherche en vain la bouée BB qui devrait être maintenant en vue et même dépassée. Mais l'officier rationalise ce non-événement et ne prévient pas le commandant.

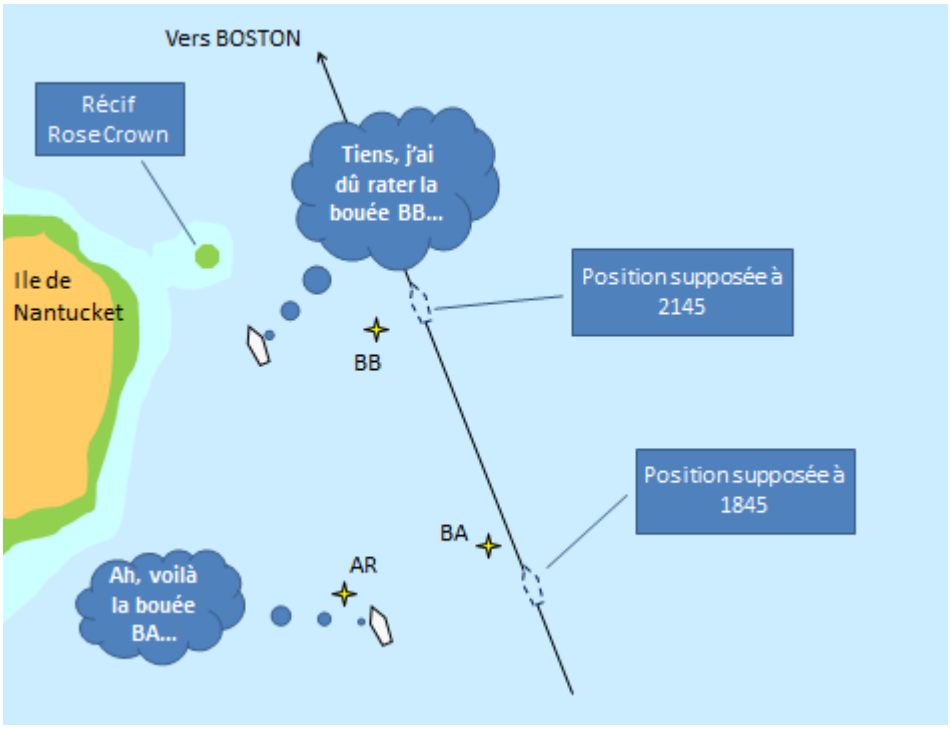



Figure 18 : Positions supposées et positions réelles du Royal Majesty le 10 juin 1995

Dans ce cas, les actions de l'équipage ne reflètent qu'un processus normal de sensemaking qui consiste en des « transactions entre buts, observations et actions ».

## 3.2 La prise de decision

Naviguer, du fait de l'environnement incertain et changeant, pourrait se définir comme l'art d'optimiser l'application d'une solution suffisante pour atteindre le but. Les principales caractéristiques de la prise de décision dans ce système à risques sont :

- La contrainte temporelle qui parfois ne laisse pas assez de temps pour la prise suffisante d'information. Le navire avance, la météo évolue, la mer monte ou descend.
- La non-réversibilité éventuelle ; la décision est alors dite « à engagement fort ».
- La pertinence limitée dans le temps, puisque les fenêtres de prise de décision ne sont pas extensibles dans un système dynamique ; judicieuse un temps, une décision peut ne plus l'être quelques minutes plus tard.
- l'importance des enjeux ; dans un système à risques, une mauvaise décision a souvent des conséquences graves.
- La présence d'un stress, dû aux caractéristiques ci-dessus, et qu'il faut maîtriser.

Il existe deux catégories de théories sur la prise de décision (Kobus, Proctor, & Holste, 2001). Il y a, d'une part, des modèles, dits rationnels qui décrivent les stratégies dont disposent les décideurs lorsque leur tâche leur impose de choisir une option parmi plusieurs options disponibles. La prise de décision analytique consiste à choisir une option au regard de ces attributs. Le modèle le plus simple part du principe qu'un décideur cherche à maximiser les résultats associés à la décision prise. Il y a, d'autre part, des modèles de la prise de décision naturelle.

### *3.2.1 La décision rationnelle*

Les modèles de la décision rationnelle font le postulat que le processus de prise de décision comprend plusieurs phases :
- toutes les alternatives et tous les attributs de chaque alternative sont identifiés ;
- la valeur de tous les attributs est considérée, ainsi que leur importance relative (en termes de poids ou de probabilités),
- une alternative est évaluée après que le poids ou la probabilité a été multipliée par la valeur pour chaque attribut et que la somme des résultats obtenus a été calculée.

Certaines de ces phases peuvent éventuellement mettre en œuvre des ressources collectives : analyse de la situation et prise en compte d'un maximum de données, recensement des solutions possibles, évaluation des risques et des engagements propres à chaque solution et enfin mise en œuvre de la décision. Dans ce cas, le choix de l'option finalement retenue revient au leader.

Ces phases sont facilement mémorisables à l'aide du modèle DECIDE (Grau, 2008) :

- **D**étecter la nécessité d'une décision → bonne compréhension de la situation indispensable.
- **E**valuer les solutions possibles.
- **C**hoisir la solution optimale → 3 critères : risque externe, risque interne, engagement (voir plus bas).
- **I**dentifier les actions à mener en aval.
- **D**o : exécuter ces actions.
- **E**valuer la qualité du résultat par rapport à la qualité attendue → feed-back.

Cependant, la décision rationnelle n'est pas toujours adaptée à « la vraie vie », surtout en situation dynamique, quand le temps est compté.
Selon Orasanu & Connolly (Orasanu & Connolly, 1993),

> *« It was not feasible to apply classical decision-making research analysis to many real-life situations » (p.19),*

car ce type d'analyse ne prend pas en compte l'expertise du décideur. En outre, on ne peut sortir et étudier le processus de décision hors de la tâche dans laquelle il est inclus (Cannon-Bowers & Salas, 1998).
Il est, en effet, désormais admis que les experts, en situation naturelle, ne disposent pas d'un temps suffisant pour générer plusieurs options et que les modèles analytiques de la prise de décision ne rendent pas compte de la complexité des situations naturelles (Kobus, Proctor et Holste, 2001).

### *3.2.2 La prise de décision en situation naturelle, le modèle RPD*

Klein propose un modèle alternatif – le modèle RPD (« Recognition-Primed Decision ») – pour comprendre « *ce que les individus font vraiment dans des situations où la contrainte temporelle est forte, où les informations sont ambiguës, les buts mal définis et les conditions changeantes* » (Klein, 1998, p. 1). Il montre que les experts ne réalisent pas des comparaisons formelles entre options mais utilisent leur expérience pour générer une seule option simple, plausible et satisfaisante. Dans une expérimentation menée en 1991, Amalberti constate que

> *les pilotes émettent peu d'hypothèses (1,78 en moyenne et dans 41% des cas, une seule). Le nombre des hypothèses est d'autant plus limité que les pilotes sont experts (Amalberti R. , 2001, p. 146)*

En situation naturelle, les experts sont capables de prendre des décisions rapidement et de façon satisfaisante, parce qu'ils mettent en correspondance les caractéristiques de la situation avec une situation générique. Le modèle RPD contient trois fonctions (cf. Figure 19) : la « mise en correspondance », le « diagnostic de la situation » et l' « évaluation du cours d'action ».

La mise en correspondance, « *pattern matching* » ou « *simple match* » s'applique lorsque que l'opérateur reconnaît une situation. Dans ce cas, les buts sont évidents, certains indices critiques sont attendus, des attentes concernant les états futurs sont formées et un cours d'action typique est identifié.

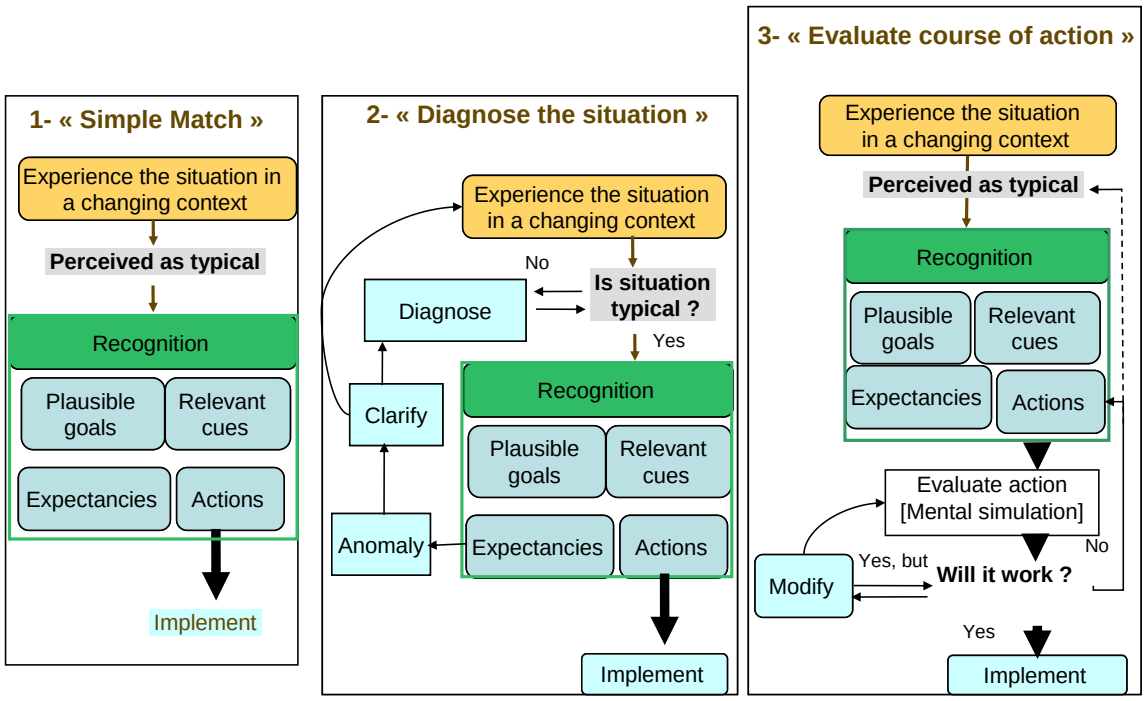



**Figure 19 : Le modèle RPD (Klein, 1998, p.25)**

Le modèle RPD met l'accent sur l'association faite, par des décideurs expérimentés, entre des situations typiques et des actions également typiques. Deux études (Belcher, 2003 ; Chauvin & Lardjane 2009), portant sur les manœuvres

anticollision réalisées par les car-ferries dans le détroit du Pas-de-Calais[28] mettent en évidence ce phénomène.

Ces deux études utilisent deux méthodes complémentaires : des observations extérieures du comportement (les manœuvres ont été enregistrées à partir d'un radar de terre) d'une part et des observations du comportement des officiers lors d'embarquements à bord de car-ferries. Elles montrent que ces officiers, qui peuvent être considérés comme des experts parce qu'ils traversent le détroit plusieurs fois par jour, reconnaissent une situation particulière comme potentiellement dangereuse et agissent de façon à ne pas s'y trouver confrontés. Cette situation est celle dans laquelle ils se trouvent quand ils sont à bord du navire qui est privilégié au regard du Règlement international pour prévenir les abordages en mer : le navire privilégié devrait maintenir son cap et sa vitesse, c'est-à-dire ne pas manœuvrer. Elle est reconnue comme étant coûteuse sur le plan cognitif, car l'officier doit anticiper les actions du navire antagoniste (va-t-il manœuvrer ?), surveiller l'évolution de la situation et prendre une décision alors que la distance qui sépare les deux navires est réduite. Hockey, Healey, Crawshaw et al. (2003) montrent ainsi qu'une telle situation entraîne une augmentation de la charge mentale. Elle est jugée particulièrement dangereuse par les navigants lorsque l'autre navire est un petit cargo, car l'expérience montre que ce type de navires manœuvre rarement. Cette situation est à l'origine de la collision entre le Kariba et le Tricolor :

> Durant la nuit du 14/12/02, par faible visibilité, le Kariba allant d'Anvers au Havre est rattrapé par le Tricolor allant de Zeebrugge à Southampton aux approches du Westhinder, un grand carrefour de voies maritimes en Mer du Nord. Le Kariba détecte sur bâbord dans la voie montante du dispositif du Pas de Calais le Clary qui lui semble en route de collision. Le Clary ne semblant pas vouloir manœuvrer, le Kariba vient sur sa droite et entre en collision avec le Tricolor qui coule en moins de trente minutes. Le commandant qui se trouvait à la passerelle du Kariba n'a pas reconnu la situation comme dangereuse et a attendu que le Clary manœuvre conformément au Règlement International Pour Prévenir les Abordages en Mer. Ce n'est que tardivement (à une distance de 2.5 milles nautiques) qu'il a décidé d'entreprendre une manœuvre mais sa charge de travail et la pression temporelle à ce moment-là ont été tels qu'il en a oublié la présence du Tricolor.

[28] Le risque de collision est particulièrement important dans les zones où le trafic est dense, comme le détroit du Pas de Calais en Europe. La majeure partie du trafic maritime qui s'établit entre l'Océan Atlantique et le nord de l'Europe passe par ce détroit, ce qui en fait une des zones maritimes les plus fréquentées du monde. Plus de 400 navires marchands l'empruntent quotidiennement. Ce trafic est-ouest est coupé par le trafic nord-sud de 240 cargos et de 70 car-ferries effectuant les liaisons entre le continent (France et Belgique) et l'Angleterre et transportant 36000 passagers par jour.

Belcher (Ibid.), tout comme Chauvin & Lardjane (Ibid.) montrent que, dans ce type de situation, de nombreux officiers à bord des car-ferries préfèrent anticiper en manœuvrant très tôt (avant d'entrer dans le champ d'application de la règle), de façon à garder le contrôle de la situation. Amalberti (2001) confirme en notant que

> *l'objectif de base de ces anticipations reste d'éviter un contrôle réactif par rapport à l'environnement qui augmenterait très rapidement la charge de travail des opérateurs au risque de perdre justement le contrôle de la situation par saturation cognitive (Amalberti, 2001, p. 119)*

Le pattern matching, qu'on pourrait traduire par "mise en correspondance de schémas", fait appel à la reconnaissance d'indices propres aux situations.
Pour qu'il fonctionne, il faut que l'opérateur puisse confronter les caractéristiques de la situation présente aux caractéristiques de situations vécues. Si la base de données est pauvre, le pattern matching ne fonctionnera pas et la décision ne pourra être que du type rationnel, longue à prendre et, éventuellement, inappropriée.
L'apprentissage d'une règle générique, s'il n'est pas concrétisé par des mises en situations, ne peut générer de pattern matching, et ne peut servir à la RPD, décision déclenchée par la reconnaissance d'indices. La connaissance d'une règle théorique reste stérile tant qu'elle n'est pas fécondée par des mises en situation qui vont la rendre reconnaissable par l'association d'indices.

Le modèle RPD considère qu'il peut exister deux variantes au « simple match ». Dans certains cas (cf. Figure 19-2 « *diagnose the situation* »), la reconnaissance de la situation n'est pas immédiate et nécessite la réalisation d'une activité de type « diagnostic ». Dans d'autres cas (cf. Figure 19-3 « *Evaluate course of action* »), le décideur simule mentalement l'action qu'il envisage de réaliser avant sa mise en œuvre véritable.
Klein a beaucoup travaillé avec les pompiers pour essayer de comprendre comment ces professionnels prennent leurs décisions. La conclusion de ses travaux semble être que les opérateurs en situation dynamique et incertaine ne procèdent pas par comparaisons de solutions possibles. Ceci rejoint ce que constate Mosier (Mosier, 1991) à propos de pilotes de ligne au simulateur : « *Virtually no time was spent in any comparisons of options* » (p. 269). Par le processus de pattern

matching, l'opérateur identifie une solution : il la teste par simulation mentale en faisant évoluer dans le futur proche la situation à laquelle il applique la solution. Si la solution lui semble suffisante pour mener à bien la tâche en cours, elle est mise en œuvre sans comparaison avec une autre solution. Au fil de l'exécution, si les attentes sont déçues au-delà d'un certain seuil, alors une solution alternative apparaît. Au cours de ses expériences, Klein a eu beau forcer les participants à imaginer plusieurs solutions pour en choisir une ensuite, ceux-ci ont eu beaucoup de mal à le faire. De plus, il constate que dans la grande majorité des cas, c'est la première solution trouvée qui est la meilleure (Klein, 1998).
Cette stratégie d'application de la première solution suffisante trouvée a l'avantage de la rapidité et est très efficace pour l'opérateur expérimenté.

### 3.2.3 Prise de décision, temporalité et expertise

Vilfredo Pareto est un économiste italien du XIXe siècle qui a énoncé la loi des 80-20. Cette loi empirique énonce que 20% de facteurs influencent 80% de l'objectif, et s'applique dans de nombreux domaines comme l'économie : 20% de la population possède 80% des richesses, la géographie : 20% des zones concentrent 80% de la population, etc.

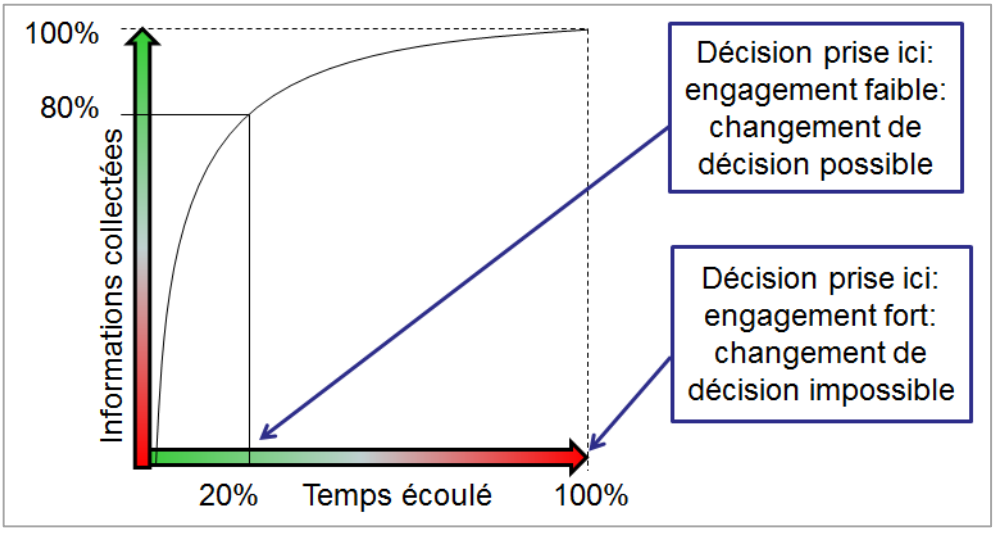



Figure 20 : Informations collectées vs temps écoulé, loi de Pareto

Si on l'applique à la décision opérationnelle, la distribution de Pareto énonce que 80% de l'information est acquise en 20% du temps, ce qui implique que les 80% du temps restant ne permettront qu'un gain de 20% supplémentaire d'information. Bien sûr, l'application de cette loi empirique à la prise d'information en situation

dynamique n'a pas été étudiée scientifiquement. On peut la résumer en une phrase lapidaire : Mieux vaut une information partielle au bon moment, qu'une information complète… trop tard.

Dans un système dynamique, l'opérateur est contraint par le temps : à l'instant t, une décision doit être prise. Dans le schéma (cf. Figure 20) la décision doit être prise au plus tard quand 100% du temps est écoulé.

Si 80% de l'information est acquise en 20% de temps, les 80% du temps restant peuvent servir :

a) Soit à mettre en œuvre la solution choisie.
b) Soit à continuer d'accumuler les 20% d'information restant.

Une décision prise selon a) n'est peut-être pas idéale, car prise sur une base de données d'informations incomplète ; mais une fois la décision prise, il reste du temps pour évaluer par simulation mentale l'adéquation de la solution retenue avec la situation, en mesurer l'efficacité et éventuellement, corriger. C'est une décision à engagement[29] faible (Amalberti, Masson, Merritt, Pariès, & al., 2001). L'expérience accumulée par l'expert fait que dans la grande majorité des cas, la solution qui vient en premier à l'esprit se trouve confirmée ensuite par la simulation mentale. La décision rapide donne chez l'expert de très bons résultats du premier coup.

Le novice, lui, en décidant vite, risque de ne pas percevoir ou comprendre une information cruciale et peut choisir une solution insuffisante en qualité ou en quantité, mais le temps restant disponible lui permet de modifier éventuellement la solution, voire de changer de décision.

Avec une décision prise selon b), le risque qu'une donnée cruciale ait été oubliée diminue, mais l'opérateur n'a plus de temps pour évaluer la validité de la solution par simulation mentale, et plus de temps pour éventuellement changer de décision.

Contrairement à l'expert, le novice, faute d'expérience, ne peut fonctionner par reconnaissance d'indices et doit accumuler les informations pour être certain de la validité de sa solution. N'ayant pas d'inclination pour une solution ou une autre, il doit procéder par comparaison de solutions. Cette stratégie prend du temps et ne laisse plus de marge pour valider la solution : la décision est alors à engagement fort (Amalberti, Masson, Merritt, Pariès, & al., 2001), car faute de temps elle est

[29] Engagement : la décision est dite à engagement fort si elle est irréversible, et faible dans le cas contraire

rendue irréversible. Elle génère du stress et comme toute décision à engagement fort, elle devrait être évitée à l'individu ou à l'équipe novice. Le novice a donc aussi intérêt à garder du temps pour évaluer l'efficacité de sa solution, donc à décider sans trop attendre.

Le BEA mer note dans son rapport sur l'abordage du Thèbe par le CMA CGM La Pérouse (BEA mer, 2011):

> *« Le lieutenant compare les 2 options qui s'offrent à lui pour dépasser le THEBE :*
>
> *- dépassement par la droite : le THEBE étant légèrement sur bâbord avant, cette option limiterait l'ampleur du changement de cap, mais présente l'inconvénient d'une situation rapprochée avec le traversier sur tribord (indicatif PJKY).*
>
> *- dépassement par la gauche : l'important fardage du navire est soumis à l'effet du vent sur ce bord et le changement de cap est plus important ».*

En faisant cela, le jeune chef de quart a montré exactement les compétences de prise de décision requises par les normes STCW 2010 qui stipulent dans les tableaux A-II/1 et A-III/1 :

> *« Connaissance des techniques de prise de décisions et aptitude à les appliquer : 1) évaluation de la situation et des risques ; b) identification et examen des options définies ; c) choix d'une ligne d'action ; d) évaluation de l'efficacité des résultats »* (IMO, 2010).

On note que dans cette description de la prise de décision, il n'est pas fait mention de la dynamique du système. Ce mode de prise de décision est le mode classique, celui qui était enseigné par exemple au MIT Sloan School of Management (Soelberg, 1967) à la fin des années soixante. Le Thèbe est semble-t-il pointé sur le radar à 18h06, et dès 18h08, on connaît son CPA (*closest Point of Approach*) : 0,15 mille marin[30] (soit 280 m) environ sur Bâbord, son TCPA (*Time to Closest Point of Approach*) : 13,5 minutes, et on voit à l'œil nu son feu de poupe. On peut dire que dès 18h09, les informations essentielles sont là : un navire rattrapé rapidement à 4,5 milles devant, qu'un autre navire est en train de dépasser par Tribord. Pourtant, l'officier, soucieux de bien évaluer la situation et de ne pas agir à la légère, attend pour décider, soupèse les avantages et les inconvénients des deux options identifiées. Comme le note le BEA mer dans son rapport, « *lorsqu'il se décide, il est déjà trop tard* » (p. 16).

A trop vouloir bien faire, on risque de prendre du retard.

[30] 1 mille marin (*nautical mile*) = 1853 mètres

Le chef de quart dispose sur son radar de l'indication du temps restant avant le point de rapprochement maximum (TCPA). De plus, le radar est muni d'une alarme qui prévient l'officier qu'un navire devient dangereux, selon des critères de CPA et de TCPA qu'il définit lui-même. L'alarme de TCPA est donc réglée à une valeur qui lui laisse tout le temps d'être prévenu de l'apparition du danger, d'apprécier la situation et de manœuvrer, par exemple 20 minutes (cf.
Figure 21-❶). Quand le trafic est dense, l'officier est devant son radar, concentré sur l'anticollision, et l'alarme n'a plus d'utilité pour attirer son attention. En revanche, réglée à un seuil plus bas, par exemple 10 minutes (cf.
Figure 21-❷), seuil considéré comme le dernier délai pour manœuvrer en sécurité, elle pourrait être très utile pour forcer l'officier à manœuvrer maintenant. Si le seuil est réglé correctement, l'officier est assuré d'avoir assez de temps non seulement pour manœuvrer, mais aussi pour mesurer l'efficacité de la manœuvre, et au besoin corriger, ce qui évite les décisions à engagement fort.

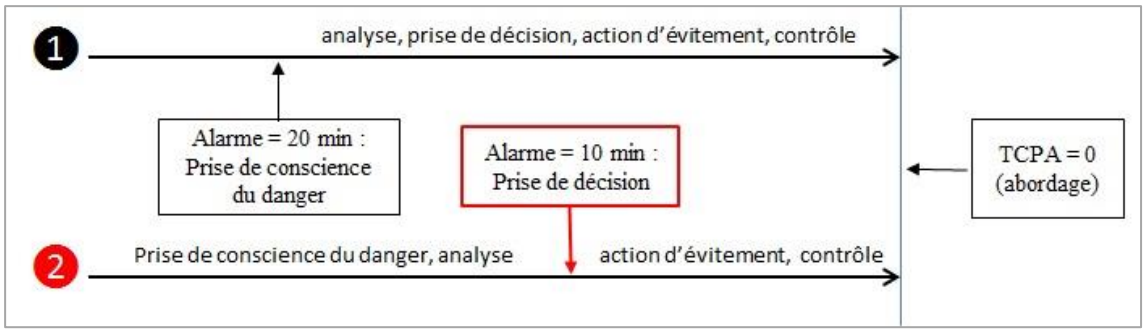



**Figure 21 : utilisation de l'alarme de TCPA pour la prise de décision**

On peut retenir du modèle RPD que l'expert choisit, dans une situation donnée, une action qu'il sait être satisfaisante parce qu'il l'a déjà expérimentée. En cela, il maintient un compromis cognitif également satisfaisant.

## 3.3 LA COORDINATION

Les fonctions cognitives de haut niveau qui sont essentielles pour la sécurité des systèmes complexes relèvent de processus individuels mais également de processus collectifs. La coordination est un processus collectif qui peut être abordé

sous deux angles : coordination à l'intérieur d'une équipe et coordination entre équipes.

### 3.3.1 La coordination intra-équipe

Une équipe peut être définie comme « un groupe distinct de personnes interdépendantes interagissant de façon dynamique et adaptative en vue d'un objectif / mission / but commun, dont chacune s'est vue assigner un rôle ou une fonction à exercer, pour une durée limitée » (Salas, Dickinson, Converse, & Tannenbaum, 1992). Plus leurs compétences sont complémentaires, plus ces personnes sont interdépendantes pour atteindre ce but. Sauer et al. (2010) notent que la compétence d'une équipe comme une fonction de la compétence de ses membres ne suit pas forcément des principes simples et dépend de la nature de la tâche :

> *For disjunctive[31] tasks, overall team performance is determined by the best team member, whereas for conjunctive[32] tasks, the worst team member determines overall team performance (Sauer, Darioly, Schmid Mast, Schmid, & Bischof, 2010, p. 1311).*

Les activités des membres d'une équipe doivent être coordonnées pour que l'équipe puisse atteindre ses buts. Cette coordination doit être dynamique, de façon à ce que l'équipe puisse s'adapter aux variations du contexte. Une coordination optimale permet d'accomplir une tâche sans gaspiller de ressources ; elle suppose (Wilson, Salas, Priest et Andrews, 2007) que les membres de l'équipe aient des connaissances communes (sur la tâche, sur les rôles et responsabilités de chacun), une représentation partagée de la situation, qu'ils opèrent une surveillance mutuelle pour détecter d'éventuelles erreurs commises par leurs collègues et qu'ils puissent s'entraider.

La collision du Cuyahoga et du Santa Cruz précédemment citée en exemple révèle une défaillance individuelle mais également une défaillance collective, celle de l'équipage du Cuyahoga. On peut se demander, en effet, pourquoi ni le matelot, ni le lieutenant n'a fait part de son interprétation de la situation. Un dialogue entre les trois membres de l'équipe aurait certainement permis d'éviter l'accident. Mais

[31] *Disjunctive* : Pourrait être traduit par « dissocié ». Exemple de tâches dissociées : une résolution de problème. La résolution progresse au rythme de l'opérateur le plus rapide.

[32] *Conjunctive :* Pourrait être traduit par « associé ». Exemple de tâches associées : une chaîne de montage : l'ensemble progresse à la vitesse de l'opérateur le plus lent.

chacun a pensé, à tort, que tous partageaient la même représentation de la situation.

Une coordination optimale est synonyme de « synergie », celle-ci étant définie comme

> *« le phénomène par lequel plusieurs individus agissant ensemble créent un effet plus grand que la somme des effets attendus s'ils avaient opéré indépendamment ou créent un effet que chacun d'entre eux n'aurait pas créé isolément » (Grau, 2008, 2e partie, p 91).*

Les auteurs de manuels de facteurs humains pour les pilotes de ligne (Amalberti, Masson, Merritt, Pariès, & al., 2001), (Grau, 2008) donnent plusieurs ingrédients nécessaires à la construction de la synergie. On peut les regrouper autour de quatre pôles :

- Un bon exercice du leadership par le commandant,
- l'existence d'un objectif commun,
- la définition et le respect d'un mode de fonctionnement,
- une attitude de soutien de l'équipage (ce pilier dépend assez étroitement du premier).

La passerelle « synergique » est celle dans laquelle le commandant :

- fixe les objectifs et les priorités, dit ce qu'il fait,
- prend les décisions,
- partage les informations, écoute les suggestions,
- maintient une ambiance professionnelle mais cordiale, montre de l'estime pour ses subordonnés,
- conserve une bonne réserve de ressources grâce à une délégation valorisante pour les subordonnés,
- pratique le renforcement positif en montrant sa satisfaction chaque fois qu'il en a l'occasion,
- sait critiquer les faits sans blâmer les personnes,
- reste centré sur son rôle.

Un bon leader inspire respect et confiance à ses subordonnés, particulièrement si l'équipe est congruente[33], c'est-à-dire si le leader hiérarchique est aussi celui qui

[33] Congruent : dont les différents éléments présentent une cohérence, une concordance, une logique.

possède la plus haute compétence. Si la position et la compétence ne correspondent pas, il peut y avoir un risque de fonctionnement sous-optimal (Sauer, Darioly, Schmid Mast, Schmid, & Bischof, 2010).

Dans un système à risques, il attend en retour de son subordonné un comportement comprenant les éléments suivants :

La transmission de l'information, avant même d'avoir été sollicité. Au-delà de la transmission d'informations isolés, il s'agit de tenir le leader informé par un point complet sur la tâche qui lui a été déléguée, à intervalles réguliers (ex : si le subordonné doit s'occuper de l'anticollision, il fait de temps à autres un récapitulatif de l'évolution des cibles à proximité). Ceci permet au leader de maintenir une bonne compréhension globale de la situation tout en restant centré sur la tâche de conduite du navire.

Le respect du plan. L'équipier doit s'assurer que la marche du navire est conforme au plan, faire part de ses doutes, répéter ses doutes si ceux-ci n'ont pas été pris en compte la première fois, identifier une faiblesse éventuelle du plan et proposer une alternative.

Quand le leader est absent de la passerelle, il attend du subordonné qu'il le tienne informé de toute évolution susceptible de modifier sa compréhension de la situation : évolution de la complexité de la situation (la visibilité diminue, le trafic augmente) et évolution de la difficulté ressentie par le subordonné, décision prise s'écartant du plan.

Soutien et initiative. Le leader attend de l'équipier qu'il corrige éventuellement une erreur, du leader ou d'un autre opérateur, qu'il propose son aide pour diminuer sa charge de travail, qu'il suggère une solution s'il n'y a pas de décision prise, qu'il se substitue temporairement au leader en cas de défaillance de celui-ci (et qu'il lui restitue le pouvoir dès la défaillance passée). En cas d'urgence, et en l'absence du leader, il doit prendre toute initiative nécessaire pour la sauvegarde du navire, qu'elle soit conforme aux procédures…ou pas. L'officier de quart reçoit du capitaine délégation de conduire le navire en sécurité. Il doit savoir faire preuve d'autonomie de jugement et ne peut se contenter d'une attitude attentiste. Pour que ce subordonné puisse exercer cette faculté, il faut évidemment que le leader ait encouragé et guidé son développement par une délégation formatrice. La recherche sur l' « *empowerment* » montre que conférer à l'équipe l'autorité et le

pouvoir de prendre des décisions, de participer aux tâches de direction, ce que Perry et al. appellent le « *Shared Leadership* » donne de très bons résultats en situation critique et sous pression temporelle (Perry, Pearce, & Sims, 1999).
Si l'équipe n'est pas congruente, c'est-à-dire position hiérarchique et compétence ne sont pas en concordance, Sauer et al. constatent que le subordonné accentue sa participation et s'implique davantage dans les processus de décision d'équipe (Sauer, Darioly, Schmid Mast, Schmid, & Bischof, 2010)

Une passerelle « synergique » est l'optimum en termes de récupération des erreurs, donc de sécurité à court terme. Du fait de l'aptitude du leader à déléguer en fonction de la compétence qu'il perçoit chez ses équipiers, il participe à la formation de leur jugement et accélère l'acquisition de leur expertise. La sécurité à long terme s'en trouve renforcée.

Les principes qui fondent une équipe « synergique » recouvrent, en partie, ceux qui caractérisent les équipes hautement fiables - *High Reliability Teams* – (Wilson, Burke, Priest, Salas, 2005) :
- l'utilisation d'une communication en boucle fermée et d'échanges d'informations pour favoriser la construction et le maintien d'une représentation mentale partagée sur les facteurs internes et externes à l'équipe.
- le développement de modèles mentaux partagés permettant aux membres de l'équipe de surveiller l'activité des autres et d'offrir un soutien si cela s'avère nécessaire.
- une orientation collective permettant aux membres de l'équipe, quel que soit leur statut ou leur âge, de faire preuve d'autorité, de tirer parti de leur expertise fonctionnelle, de rechercher et de valoriser les informations venant d'autres membres de l'équipe.
- Ces équipes doivent être préparées à reconnaître la complexité et à réagir à la fois à des situations routinières et à des événements inattendus. Cette préparation passe par une planification précise avant la réalisation d'une tâche et par la création d'attentes concernant ce qui peut se passer. Cette planification peut se poursuivre pendant la réalisation de la tâche lorsque la charge de travail est faible.
- Les équipes HRT doivent utiliser des mécanismes de feedback semi-structurés pour faire face à l'erreur, la récupérer mais aussi pour apprendre des erreurs. Les

membres de l'équipe doivent être encouragés à faire remonter les incidents. Ces rapports doivent être analysés et utilisés pour former les équipes à la gestion proactive d'événements inattendus.

Les équipes « synergiques » ou équipes hautement fiables présentent des propriétés essentielles pour la récupération des erreurs.
Les membres de ces équipes exercent entre eux une surveillance croisée. Un membre de l'équipe réalise une tâche opératoire et un autre exerce une surveillance consistant à s'assurer que la tâche partielle s'inscrit bien dans la logique de la tâche globale. Voici un exemple : le timonier a une tâche opératoire, barrer le navire. Il maîtrise son objectif, tenir le navire au cap demandé, tout en portant un regard critique sur la trajectoire, qu'il ne maîtrise pas car elle n'est pas de son ressort. Si le cap suivi tend à écarter le navire du chenal, il s'interroge sur la logique de la trajectoire. Il porte donc un jugement sur une autre tâche, dévolue à un autre opérateur.

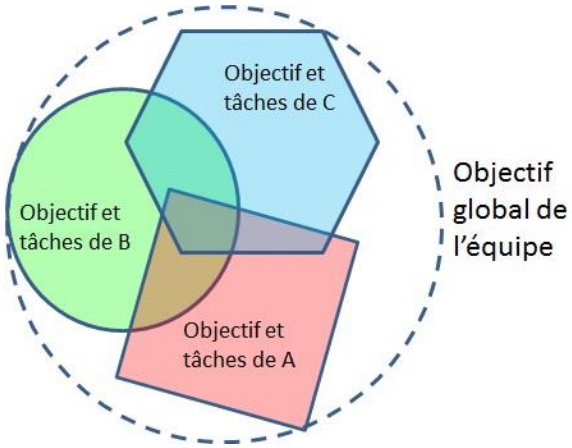



**Figure 22 : La compréhension globale de l'équipe, d'après Endsley (1995)**

Ceci implique que chaque opérateur dans l'équipe possède une compréhension de la situation compatible avec ses objectifs et qui recouvre partiellement une partie de la compréhension des autres opérateurs, le tout constituant la compréhension globale de l'équipe (cf. Figure 22), « *the overall team SA* » (Endsley, 1995).

> Le 30 octobre 1984, le petit navire roulier[34] BALDUIN, sous la conduite d'un pilote maritime, en navigation côtière de nuit, est largement hors de la route prévue, probablement à la suite d'une hypovigilance du pilote. Ni l'officier de quart, ni le capitaine, qui vient d'arriver à la passerelle n'ont construit leur

[34] Roulier, ou Roll On – Roll Off : navire qui possède de grands garages et qui charge et décharge des véhicules par roulage, transporteurs de voitures, etc. Les car-ferries sont aussi appelés « rouliers à passagers ».

> propre compréhension de la situation, se contentant d'adopter celle du pilote. Or celle-ci est totalement erronée. Le pilote donne l'ordre de venir à gauche et pense ainsi engainer un chenal sûr entre des zones de récifs. Le timonier exécute l'ordre, et une fois le navire au nouveau cap, a une impression bizarre et demande : « *est-ce que ce ne sont pas les feux de Stromstad que l'on voit devant* ? ». Personne ne lui répond. Très peu de temps après, le navire s'échoue sur les hauts-fonds Svartskaren (S.A.S. 2000).

Quand le pilote sur la passerelle du Balduin donne l'ordre de venir au 090, le barreur exécute la tâche opératoire, tout en s'interrogeant sur la position du navire quand il demande : « *Est-ce que ce ne sont pas les feux de Stromstadt…* », cette phrase signifiant clairement qu'il met en doute la trajectoire du navire à cet instant. Le barreur a joué son rôle et accompli les deux tâches qui lui sont dévolues. De son côté, l'officier de quart maîtrise la trajectoire du navire, tout en s'interrogeant sur le cap suivi par le barreur. C'est cette surveillance croisée des différentes tâches exécutées à la passerelle qui permet la récupération des erreurs. Cette surveillance a lieu dans une logique fonctionnelle, hors toute considération hiérarchique.

Imposer une préséance hiérarchique dans la conduite d'un système à risque signifierait que les yeux des uns voient mieux que les yeux des autres et que la surveillance croisée ne peut avoir lieu, puisque le chef ne peut logiquement justifier sa position que par l'affirmation qu'il est meilleur, donc moins faillible, que ses subordonnés. Malheureusement, de nombreux accidents - aériens et maritimes - ont eu pour cause de non récupération de l'erreur une hiérarchie trop prégnante.

> Le 22 juin 1893, la flotte anglaise de la méditerranée, soit 10 cuirassés ou croiseurs lourds d'environ 10 000 tonnes défile sur deux colonnes devant Beyrouth, aux ordres du Vice-Amiral George Tryon. La première colonne, sur la droite du dispositif, est menée par le bâtiment amiral, le Victoria, et la seconde, sur la gauche, est menée par le Camperdown, aux ordre du Contre-amiral Markham. George Tryon « *était un expert de manœuvres en formation, et avait habitué ses commandants à être prêts à entreprendre à tout instant une variété de manœuvres complexes. C'était un homme très autoritaire, un grand gaillard taciturne qui ne recherchait l'avis de quiconque et informait rarement son état-major de ses intentions (Marriot, 2007)* ». Ce jour-là, l'amiral veut effectuer une manœuvre de mouillage simultané des dix bâtiments après un demi-tour des deux colonnes effectué vers l'intérieur du dispositif : Chaque colonne, espacée à l'origine de 1 200 yards (distance relevée comme insuffisante par le chef d'état-major, mais ne donnant pourtant pas lieu à modification) effectuera un 180° en virant vers l'autre colonne, à une vitesse de neuf nœuds. Après ce demi-tour, les deux colonnes se retrouveront formées au cap opposé, à une distance de 400 yards l'une de l'autre. Le signal est donné pour exécuter la manœuvre. Seul le Camperdown, commandé par le contre-amiral Markham, signale par pavillon qu'il ne comprend pas l'ordre, mais, hiérarchie oblige, il l'exécute quand même. Les deux navires en tête de colonne s'abordent. 358 morts.

Etant données les tâches opératoires assumées par chaque rôle, il est dans l'ordre des choses que celui qui accomplit les « petites » tâches soit celui qui surveille les « grandes », puisque celui qui accomplit les grandes ne peut en même temps avoir assez de recul pour s'auto-surveiller. Un préalable s'impose cependant : que toute l'équipe soit d'accord pour fonctionner de cette façon, leader en tête, et que les remarques éventuelles concernant les « grandes » tâches soient prises en considération.

La conscience que chacun peut rattraper l'erreur d'un autre tout en restant dans son rôle, donc sans menace de remise en question du mode de fonctionnement de l'équipe, donne à celle-ci une cohésion et une confiance qui augmentent sa performance et sa fiabilité.

Pour le leader conscient des enjeux, arriver à former une équipe à un tel fonctionnement, constater que tout acteur sur la passerelle se sent habilité à donner son avis sur la marche du navire est à la fois un gage de sécurité et une source de satisfaction car il a réussi une des tâches qui lui incombe : former ses équipiers.

### *3.3.2 La coordination inter-équipes*

L'existence d'une représentation mentale partagée et de modèles mentaux partagés est essentielle au bon fonctionnement d'une équipe. L'existence d'une représentation mentale partagée est également nécessaire à la réussite d'une activité coopérative, dans laquelle différentes équipes doivent coordonner leurs actions. Cette représentation – dans la mesure où elle est exacte - rend, en effet, les actions de l'autre prévisibles. Ces deux prérequis de la coordination que sont la représentation partagée et l'inter-prédictibilité sont essentiels dans les situations d'anticollision. La connaissance commune du Règlement International pour Prévenir les Abordages en Mer devrait en constituer normalement le support.

Cependant, comme le remarque Morel (2002), beaucoup de collisions proviennent d'un échec à identifier les intentions de l'autre. Cet auteur souligne le rôle néfaste de l'heuristique de « l'accord implicite », pouvant conduire à des situations absurdes. En effet, dans bien des cas, les bateaux qui ne seraient pas entrés en collision s'ils avaient conservé leur trajectoire, avaient viré dans le même sens pour s'éviter ou l'un d'eux avait coupé la route de l'autre pour le laisser passer… (Morel, Ibid., p.122). L'analyse détaillée de plusieurs cas de collisions avait

également amené Perrow (1999) à mettre en évidence les difficultés de coordination comme causes principales de ces accidents. Perrow qualifia ces accidents de « déconcertants », parce que les officiers à bord des deux navires avaient perçu le risque de collision, qu'ils avaient même – dans certains cas – communiqué et s'étaient mis d'accord sur la manœuvre à effectuer. Analysant 59 collisions entre navires marchands, Pourzanjani (2001) remarquait une déficience fréquente dans la communication des intentions de manœuvre. Examinant les 59 cas de collision à sa disposition, Pourzanjani notait que 46% des officiers n'avaient pas clairement indiqué leur intention de manœuvre et que 23% des officiers n'avaient pas détecté ou interprété correctement le signal alors que celui-ci avait été correctement émis.

Nous avons montré (Chauvin & Lardjane, 2008) que l'existence de différents systèmes de règles – des règles formelles (le COLREG) d'une part et des règles informelles partagées par certains types de navires et propres à certaines zones de navigation d'autre part peuvent être à l'origine de ces échecs. Dans les situations d'interaction entre des acteurs qui ne se connaissent pas, la coexistence de règles formelles et de règles informelles est, plus souvent qu'ailleurs, source de difficultés, d'incertitude ou d'incompréhension ; la coexistence de deux systèmes de règles différents peut, en effet, être à l'origine d'accidents quand deux acteurs ou deux groupes d'acteurs interagissent en ne se référant pas au même système.

## 3.4 Conclusion

Les sciences humaines et sociales apportent des concepts et des modèles qui aident à comprendre les mécanismes de la fiabilité mais aussi de l'erreur humaine. Le courant de la Naturalistic Decision Making, développé en psychologie appliquée fournit ainsi des concepts, des modèles et des méthodes qui permettent d'appréhender les fonctions cognitives qui jouent un rôle essentiel pour la sécurité des systèmes complexes. Ces fonctions sont la prise de décision, la compréhension de la situation et la coordination intra et inter-équipes.

Ces travaux constituent le socle de programmes d'actions concrètes. Ils fournissent notamment des éléments pour la conception et l'évaluation de programmes de formation.

La psychologie cognitive met l'accent sur l'importance de la qualité de la représentation mentale dans la prise de décision. Différents auteurs ont cherché à développer des exercices dits « de prise de décision » (notamment Pliske, McCloskey et Klein, 2001), visant à entraîner de jeunes professionnels à analyser une situation complexe de façon à pouvoir prendre une décision satisfaisante. Dans le cas d'un travail d'équipe, ces travaux contribuent à l'amélioration des formations de type CRM ou BRM (Crew Resource Management dans le domaine aéronautique et Bridge Resource Management dans le domaine maritime). Elles sont définies par Salas et al. (1999) comme « un ensemble de stratégies de formation conçues pour améliorer le travail d'équipe au moyen d'outils validés et de méthodes de formation appropriées (simulateurs, cours, vidéos) portant sur un contenu spécifique ». Elles bénéficient de l'apport des recherches en psychologie qui portent sur la compréhension et la mesure de la cognition d'équipe. Les méthodes développées en psychologie cognitive pour analyser la représentation mentale partagée ont été ainsi utilisées pour évaluer l'impact du Bridge Resource Management (BRM) sur le travail d'un équipage (Brun et al., 2005). Cependant - et comme le notent Salas et al. (2006) - ces études restent marginales et récentes dans le secteur maritime, alors qu'elles sont très nombreuses et développées depuis de nombreuses années dans le domaine aérien.

Le chapitre suivant sera consacré aux actions concrètes de formation de type CRM qui visent à améliorer le fonctionnement des opérateurs dans tous les secteurs d'activités à risques. Un focus particulier sera réalisé sur les formations maritimes, formation initiale aux facteurs humain et stages BRM, ERM, SRM.

RESUME

Parmi les facteurs cognitifs essentiels pour la sécurité des systèmes complexes, certains sont individuels, et d'autres relèvent de processus collectifs.

La *Situation Awareness* selon le modèle d'Endsley (1995), décrit le processus dynamique de maintien de la représention mentale en phase avec la réalité extérieure, et qui permet la prise de décision. La théorie du *Sensemaking* (Weick, 1995) permet d'expliquer l'interprétation des informations perçues, en fonction de l'expérience et aussi des attentes du moment. Parmi les processus de prise de décision, le modèle RPD, décision déclenchée sur reconnaissance d'indices (Klein, 1998) semble pertinent pour rendre compte du processus à l'œuvre dans l'environnement incertain et changeant du navire marchand. Ce type de décision n'est pourtant accessible qu'à l'expert, car le novice, par manque d'expérience, ne peut décider qu'après la comparaison rationnelle de solutions. Ce dernier mode de décision ne doit pas empêcher l'opérateur d'agir, car il vaut mieux une manœuvre imparfaite décidée tôt, qu'une manœuvre sophistiquée tardive.

Une coordination optimale, synonyme de synergie, est indispensable pour que l'équipe puisse atteindre ses buts dans une tâche complexe. Elle obéit à un certain nombre de principes, communication en boucle fermée, partage de modèles mentaux, orientation collective. De plus, les équipes synergiques acceptent l'erreur comme une éventualité et comme une source de progrès, et mettent en place des stratégies de récupération des erreurs. La coordination peut aussi s'étendre à des équipes en interaction les unes avec les autres, et le partage par ces équipes des mêmes modèles mentaux reposant sur les mêmes règles ou usages peut s'avérer décisif dans certaines interactions comme par exemple, la gestion de l'anticollision.

Les modèles cités ci-dessus peuvent servir de base à la conception de formations destinées à améliorer le fonctionnement collectif et la cognition d'équipe.

# 4 LA FORMATION AUX FACTEURS HUMAINS DANS LE SECTEUR MARITIME




**Mise en pratique des concepts FH appris : gestion d'une tâche complexe en équipe sur simulateur**

*Ce chapitre, après avoir expliqué la nuance entre formation FH et CRM (Crew Resource Management), donne à titre d'exemple les programmes de formation FH et CRM de l'aéronautique civile. Il dresse ensuite un état des formations dans plusieurs secteurs d'activités, avant de présenter le cadre réglementaire des formations dans le maritime en France, puis les objectifs et les contenus des formations.*

## 4.1 FORMATION FH OU CRM[35] ?

Le secteur maritime peut, comme l'aéronautique, faire une distinction entre

> *les formations FH, qui relèvent d'enseignements inclus dans les programmes pédagogiques visant à délivrer une qualification professionnelle, et les formations CRM qui s'inscrivent dans le cadre de plans de formation professionnelle continue (Fornette & Jollans, à paraître).*

En effet, depuis trois décennies, la formation aux concepts FH, encore parfois confondue avec la GRH enseignée dans les écoles de management, connaît une diffusion spectaculaire dans la plupart des activités dites à haute fiabilité (Flin, O'Connor, & Mearns, 2002). Celle-ci se traduit habituellement par une démarche en trois temps :

- d'abord sécuriser le système existant par une formation courte de type CRM pour les opérateurs déjà en activité. Cette formation courte, sous forme d'un stage bloqué de plusieurs jours, donne à la fois les bases théoriques et les compétences à obtenir en situation professionnelle. C'est le « CRM initial ».
- Lors d'une deuxième étape est ajouté aux programmes des écoles qui forment les futurs professionnels un module dédié à l'enseignement des facteurs humains.
- Dans un troisième temps, les élèves formés aux FH à l'école deviennent des professionnels en activité. Pour eux, le CRM initial est inutile puisqu'ils possèdent déjà les bases théoriques. A partir de ce moment, les formations CRM deviennent un « rafraîchissement » des connaissances acquises pendant la formation initiale, et peuvent, en s'appuyant sur celles-ci, travailler directement sur les compétences pratiques.

De plus, tant qu'il reste en activité des professionnels qui n'ont jamais été formés aux FH, il subsiste une phase transitoire pendant laquelle coexistent le « CRM initial » et le « CRM refresh ».

En France en 2013, seules les écoles des secteurs aéronautique (depuis 1989) et maritime (depuis 2010) semblent dispenser officiellement une formation initiale aux facteurs humains. Ceci n'a rien d'étonnant puisque ces écoles délivrent un contenu orienté spécifiquement vers l'obtention, au-delà du diplôme, d'un titre

[35] CRM : d'abord « Cockpit » puis « Crew » Resource Management

international auquel sont attachées réglementairement des prérogatives permettant d'exercer le métier.

En aéronautique civile, le programme des formations CRM est le suivant :

| Éléments de la formation (a) | Cours d'initiation CRM (b) | Formation CRM dispensée par l'exploitant (c) | Formation CRM spécifique au type d'avion (d) | Entraînement CRM annuel (e) | Cours de responsable de cabine (f) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Principes généraux** | | | | | |
| Facteurs humains en aviation.<br>Instructions générales relatives aux principes et objectifs de la CRM | Approfondi | Non requis | Non requis | Non requis | Aperçu |
| Performances et limites humaines | | | | | |
| **Du point de vue de l'ensemble de l'équipage d'un avion** | | | | | |
| Prévention et détection des erreurs | Non requis | Approfondi | En fonction du/des type(s) d'avion | Aperçu (cycle de 3 ans) | Consolidation (compte tenu des responsabilités du responsable de cabine) |
| Évaluation conjointe de la situation, acquisition et traitement des informations | | | | | |
| Gestion de la charge de travail | | | | | |
| Communication et coordination efficaces entre tous les membres de l'équipage, y compris l'équipage de conduite et les membres d'équipage de cabine inexpérimentés, différences culturelles | | | | | |
| Commandement, coopération, synergie, prise de décisions, délégation | | | | | |
| Responsabilités, prise de décisions et actions individuelles ou collectives | | | | | |
| Identification et gestion des facteurs humains des passagers: gestion des foules, stress des passagers, gestion des conflits et facteurs médicaux | | | | | |
| Éléments spécifiques liés au type d'avion (couloir unique, gros-porteur, un pont ou plusieurs ponts), composition de l'équipage de conduite et de l'équipage de cabine, nombre de passagers | | Non requis | Approfondi | | |

**Tableau 3 : Les « formations CRM », extrait de la réglementation européenne ( (Di Coccio, A paraître)**

Nota : le cours d'initiation CRM, mentionné dans la colonne (b) du tableau 3 correspond à la formation initiale aux FH (cf. Tableau 4).

En aéronautique civile, le programme de formation initiale aux FH est le suivant :

| | |
|---|---|
| 1) | Physiologie aéronautique et prévention médicale |
| 2) | Limites et capacités intellectuelles du pilote |
| 3) | Erreur et fiabilité humaine |
| 4) | Prise de décision dans le poste de pilotage |
| 5) | Communication dans le cockpit |
| 6) | Gestion des ressources de l'équipage (CRM) : l'individu et l'équipe |
| 7) | Vigilance : du sommeil au stress |
| 8) | Automatisation du cockpit |
| 9) | Le pilote, acteur d'un système complexe |

**Tableau 4 : Programme de formation aux facteurs humains pour les pilotes de ligne, conforme à la réglementation européenne JAR-FCL sur les licences du personnel navigant (Amalberti & al., 2001).**

Nous verrons plus loin que le programme de formation aux FH dans le secteur maritime suit de très près son homologue aéronautique. Avant d'aborder spécifiquement le maritime, le paragraphe suivant décrit comment les différents secteurs d'activités ont mis en place ces formations.

## 4.2 EVOLUTION DES CRM DANS DIVERSES ACTIVITES

**En aéronautique**, dès 1987, la NASA propose un programme de formation des pilotes aux facteurs humains. En 1989, l'OACI impose ce type de formation à tous les états membres (Amalberti & Mosneron-Dupin, 1997), donc à la France. Depuis cette époque, six générations de CRM se sont succédées (Helmreich, Merritt & Wilhelm, 1999). Les premières étaient souvent, selon Taggart, très (trop ?) tournées vers la psychologie – « *pop psychology and psychobabble* » , « *therapy session* », (Taggart, 1993) –, la troisième intègre les autres acteurs à l'équipe, la quatrième met davantage l'accent sur les procédures, la cinquième revient aux fondamentaux de la gestion de l'erreur humaine et la version actuelle, la sixième, cherche à identifier les menaces de façon plus systémique (Di Coccio, A paraître).

**Dans l'armée de l'air** en 1994, le chef d'état-major accorde la priorité à la prise en compte des facteurs humains dans le cadre d'un plan d'action global de prévention des accidents aériens et dès 1995 la première formation CRM est délivrée aux

équipages de tranport militaire (Jollans & Fornette, A paraître). Puis, à partir de 1997, la formation s'étend aux autres personnels navigants et aux autres acteurs (contrôleurs aériens, maintenance). Dans les autres armées, l'évolution suit peu ou prou le même schéma.

**Dans l'industrie nucléaire**, l'accident de Tchernobyl en 1986 incite EDF à embaucher des spécialistes FH, et dès 1990 est créé le poste de CFH, consultant facteurs humains (Fauquet-Alekhine, 2010) et on met l'accent sur les aspects positifs, les bonnes pratiques. A partir de 2005 se met en place le « projet performance humaine » à EDF, destiné à former le personnel aux pratiques de fiabilisation de l'activité. Mesuré entre 2006 et 2010 sur l'ensemble du parc nucléaire français, le nombre des évènements significatifs de sureté (ESS) passe de plus de 120 à moins de 50 (Stoschek, 2011).

**Dans le domaine médical**, le rapport « *To Err is Human* » (Institute Of Medicine, 1999) aux Etats-Unis et les enquêtes sur les évènements indésirables graves (EIG) menées entre 1980 et 1990 montrent un risque très élevé de décès à la suite d'erreurs à l'hôpital, bien supérieur aux accidents de la route ou au SIDA (Brami & Amalberti, 2010). En France, les deux enquêtes nationales sur les évènements indésirables liés aux soins, ENEIS 1 en 2004 et ENEIS 2 en 2009, montrent la survenue de 275000 à 395000 EIG par an (Limpar & Jollans, A paraître). Amalberti et al. mettent l'accent sur les « compétences non techniques » qui doivent être acquises alors qu'elles sont peu enseignées à l'université (Amalberti, Bons-Letouzey & Sicot, 2009). La Haute autorité de santé (HAS) publie un guide sur les fondamentaux de la gestion des risques liés aux facteurs humains et organisationnels (FHO) qui encourage la transposition des formations CRM aéronautique dans la santé (Limpar & Jollans, A paraître), comme l'a fait aux Etats-Unis la Veteran Health Administration (Dunn & al., 2007) sous l'appellation Medical Team Training (MTT).

**A la SNCF**, un rapport d'audit publié en avril 1989 à la suite d'une série d'accidents graves (Salome-Martin & Duvenci-Langa, A paraître) pointe l'insuffisance de la prise en compte des facteurs humains et de formalisation du retour d'expérience. Les premières actions sont typiquement du registre de la démarche qualité avec un objectif de réduction entre prescrit et réel (Rabardel, Chesnais, Lang, Le Joliff & Pascal, 2001) par l'application de règles plus contraignantes. Puis, vers la fin des années 2000 sont identifiés des points de fragilité relatifs aux compétences dites

non techniques (Salome-Martin & Duvenci-Langa, A paraître) auxquels la Direction de la Sécurité répond en 2009 par l'adoption de la démarche CRM, d'abord pour les agents opérationnels, puis pour l'encadrement en 2012. En 2013, apparaît la nécessité d'impliquer davantage la direction des unités, condition indispensable à la réussite du déploiement général des formations CRM dans l'entreprise. Comme l'écrit James Reason,

> *Operational management must stay involved with the programme as active supervisors and participants (Reason & Hobbs, 2003, p. 116)*

**Dans le maritime**, la formation aux facteurs humains a, depuis le début des années quatre-vingt-dix, suivi deux courants.

Un des courants s'est focalisé sur l'apprentissage de la technique de navigation, considérant qu'un bon opérateur est un bon technicien, en y ajoutant des considérations de psychologie parfois insuffisamment orientées métier et sujettes aux mêmes critiques que celles formulées à l'encontre des deux premiers types de CRM (Di Coccio, A paraître). La formation BTM (*Bridge Team Management*) est représentative de cette approche, utile car elle comble certaines lacunes techniques, intéressante par ses mises en situation sur simulateur, mais un peu limitée en termes de contenu FH.

L'autre courant applique les concepts du CRM aéronautique au monde maritime. En 1993, le « *Swedish Club*[36] », groupement d'assureurs maritimes scandinave, décide de travailler très en amont sur la prévention afin de réduire la fréquence des accidents (et donc le montant des indemnités versées), et met au point pour ses clients, une formation FH par ordinateur (*Computer Based Training*, CBT). Cette formation, dénommée BRM (*Bridge Resource Management*) puis rebaptisée MRM (*Maritime Resource Management*) en 2003 (The Swedish Club, 2013), reprend les principaux thèmes traités dans l'aéronautique et s'articule autour du modèle SHELL (cf. Figure 12). De la passerelle (*Bridge*), la formation étend naturellement ses ramifications vers le navire puis vers l'organisation maritime toute entière.

Récemment, un pays à tradition maritime comme l'Angleterre vient d'homologuer, en décembre 2012, l'*Oxford Aviation Academy* pour former les marins au

[36] Le « *Swedish Club* » est un club d'assureurs maritimes scandinaves. Les montants à assurer étant considérables dans le maritime, dépassant couramment le milliard de dollars, les assureurs ont adopté depuis très longtemps une forme de groupement appelée « club » qui permet de mutualiser le risque.

« MCRM[37] ». Ceci devrait enclencher une dynamique au profit des formations de type CRM, car l'Angleterre reste encore aujourd'hui un pays qui influence fortement la communauté maritime internationale. Néanmoins, la compréhension de ce qu'est une formation CRM est encore très inégale dans le monde maritime, au point que Hernqvist écrivait en juin 2013 :

> *The Swedish Club Academy is concerned that the revised STCW will fail to meet some of the most important training needs of today.*
> *This is because many flag States define resource management as training focusing on technical knowledge and skills. In order to be effective, resource management must focus on the* human factors *area: the non-technical issues and the attitudes of people (Hernqvist, 2013)*

Le paragraphe suivant présente les exigences maritimes en termes de FH et fait partiellement écho au constat de Hernqvist.

## 4.3 SRM[38] : LES EXIGENCES REGLEMENTAIRES INTERNATIONALES DANS LE MARITIME

Après quelques tentatives au milieu du XIXe siècle, ce n'est qu'au début du XXe siècle, à la suite du naufrage du Titanic, qu'une première réglementation internationale sur la sécurité du transport par mer a été adoptée (convention SOLAS). En 1959, l'Organisation Maritime Internationale s'est réunie pour la première fois. En 2010, la convention internationale STCW (OMI, 2010) créée en 1978 et amendée une première fois en 1995, a introduit les formations aux facteurs humains dans la partie obligatoire de l'enseignement maritime.

Pour les principaux métiers à bord, c'est-à-dire le service pont (conduite du navire et opérations de chargement-déchargement) et le service machine (conduite et entretien des installations), la norme STCW, dans sa dernière version 2010 (amendements de Manille), fixe des normes de formation aux facteurs humains en termes d'acquisition de « connaissances, compréhension et aptitudes ».

[37] MCRM : Maritime Crew Resource Management

[38] SRM : « *Ship Resource Management* », Gestion des ressources humaines et technologiques du navire. Ce vocable désigne une formation unique regroupant les formations BRM (*Bridge Resource Management*) et ERM (*Engine-room Resource Management*)

Les compétences FH (facteurs humains) requises sont transversales et s'appliquent indifféremment dans tous les services du navire. La norme STCW distingue toutefois, pour des raisons de clarté, deux métiers : « le pont », c'est-à-dire la conduite du navire et les opérations commerciales, et « la machine », c'est-à-dire le service d'exploitation et d'entretien de toutes les machines du navire, et trois niveaux : le niveau appui (l'équipage), le niveau opérationnel qui distingue les compétences à acquérir pour les différentes activités (navigation, mécanique navale, exploitation du navire et assistance aux personnes), et le niveau direction (capitaine, second capitaine et chef mécanicien). Ces distinctions sont résumées dans le tableau 5.

<table>
<tr><th></th><th>Pont</th><th>Machine</th></tr>
<tr><td>Appui</td><td colspan="2">Aucune compétence FH n'est mentionnée</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Opérationnel</td><td>Activité navigation :<br>BRM (Bridge Resource Management)</td><td>Activité Mécanique navale :<br>ERM (Engine-room Resource Management)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Activité Exploitation du navire et assistance aux personnes :<br>« Aptitudes à l'exercice de l'autorité et au travail en équipe »</td></tr>
<tr><td>Direction</td><td colspan="2">« Aptitudes à l'exercice de l'autorité et à la gestion »</td></tr>
</table>

**Tableau 5 : Métiers, activités et niveaux selon la norme STCW (IMO, 2010)**

Enfin, la norme STCW définit six volets de compétences facteurs humains à acquérir. Ces compétences sont exigées au niveau opérationnel comme au niveau direction. Il appartient aux formateurs d'adapter leur discours au niveau des stagiaires. Curieusement, pour deux activités particulières au niveau opérationnel, l'activité « navigation » et l'activité « mécanique navale », l'exigence de STCW ne porte que sur le volet d). Ces compétences sont présentées dans le tableau 6.

L'analyse des préconisations de la norme STCW met en évidence que :

- pour le niveau appui : aucune compétence n'est requise (cf. Tableau 5). Les autorités de tutelle de la profession semblaient donc considérer, en 2010, que les matelots ne sont pas partie prenante dans le travail d'équipe et que leur fonction est limitée à recevoir et appliquer des consignes. Pourtant, en équipage aussi réduit, quand les problèmes de charge de travail et de surveillance simultanée de plusieurs tâches sont cruciaux (Grech, Horberry

& Koester, 2008), un cerveau et deux yeux supplémentaires bien formés aux facteurs humains constituent une boucle de rattrapage de l'erreur qui a fait ses preuves ;

| | | |
|---|---|---|
| a) Connaissance de la gestion et de la formation du personnel de bord. | b) Connaissance des conventions et des recommandations maritimes internationales connexes ainsi que de la législation nationale. | c) Gestion des tâches et de la charge de travail<br>Planification et coordination.<br>Affectation du personnel.<br>Contraintes de temps et de ressources.<br>Établissement d'un ordre de priorité. |
| d) Gestion des ressources<br>Répartition et affectation des ressources en fonction des priorités.<br>Communication efficace (à bord et à terre).<br>Prise en compte (pour les décisions) des expériences des membres de l'équipe.<br>Aptitude à s'affirmer.<br>Aptitude à diriger une équipe, (y compris par la motivation).<br>Obtention et maintien de la conscience de la situation. | e) Connaissance des techniques de prise de décision et aptitude à les appliquer.<br>Évaluation de la situation et des risques.<br>Identification et élaboration des options.<br>Choix d'une ligne d'action<br>Évaluation de l'efficacité du résultat. | f) Établissement, mise en œuvre et surveillance des procédures d'exploitation normale. |

**Tableau 6 : Les six compétences facteurs humains définies dans la norme STCW (IMO, ibid)**

- pour le niveau opérationnel et pour les activités les plus dynamiques, c'est-à-dire la conduite du navire et la conduite des installations machine : le volet « d » est le seul mentionné et, de surcroît, il est amputé des mentions qui y figurent entre parenthèses. Par exemple, aucune référence n'est faite aux processus de prise de décision (cf. Tableau 6). Ainsi, si l'on prend cette norme au pied de la lettre, un lieutenant qui, durant 8 heures par jour a la responsabilité de la conduite du navire, n'aurait pas besoin de compétences particulières pour gérer les tâches et la charge de travail (volet c) ou pour prendre des décisions (volet e), celles-ci étant réservées au niveau direction.

Le niveau opérationnel dans l'activité « exploitation du navire et assistance aux personnes » et le niveau direction bénéficient, eux, de la formation sur les six volets de compétences définies par la norme STCW.

Les constats ci-dessus montreraient-ils une certaine réticence à atténuer la distance hiérarchique traditionnellement forte à bord des navires marchands ? Il peut y avoir deux raisons à cette situation qui peut paraître un peu anachronique en ce début de XXIe siècle :

- Jusqu'à l'avènement du satellite de communication autour des années quatre-vingt, le navire de commerce en navigation océanique était coupé de la terre pendant plusieurs jours, parfois plusieurs semaines. Le commandant ne pouvait recevoir aucun appui extérieur (les ondes courtes étant un moyen radio très aléatoire), et sa position devait être affirmée comme une « forteresse » incontestée et inexpugnable ;
- Les décideurs à l'OMI sont soit des capitaines du commerce en retraite, soit des fonctionnaires ayant parfois un passé maritime militaire ou parfois pas d'expérience maritime du tout. Les uns comme les autres n'ont pas forcément une vision correcte du fonctionnement actuel d'un navire marchand, le métier ayant évolué particulièrement vite ces dernières années.

L'exigence de formation pour les navigants en activité est, pour l'instant, limitée à un « *one shot* », une seule formation, obligatoire depuis janvier 2012. Cependant, l'OMI laisse aux armateurs un délai de 5 ans, soit jusqu'en 2017, pour se mettre en conformité avec cette nouvelle exigence. Ce niveau d'exigence de formation est à comparer à ceux des autres secteurs : l'aéronautique civile (Di Coccio, A paraître, p. 28) où le personnel navigant technique (PNT), les pilotes, et le personnel navigant commercial (PNC), hôtesses et stewards, ont une exigence annuelle de formation, à l'armée de l'air (Fornette & Jollans, A paraître) dont les pilotes reçoivent, après la formation initiale, une formation de rafraîchissement tous les deux ans, au transport ferroviaire dans lequel la formation en était en 2012 au stade du déploiement, avec un objectif de formation de 100% des agents opérationnels des métiers de la conduite et de la manœuvre (Salome-Martin & Duvenci-Langa, A paraître), et au milieu médical pour lequel il n'existe pour l'instant aucune directive sur les compétences non techniques devant être acquises (Limpar & Jollans, A paraître).

Dans l'industrie du transport maritime, d'une façon générale, outre le cadre réglementaire fixé par l'OMI, d'autres sources d'exigence sont à prendre en

compte : la réglementation de l'état du pavillon[39], la réglementation de l'état du port[40], la réglementation de l'état côtier[41], et aussi des réglementations émanant des groupements d'industriels clients des compagnies de navigation qui peuvent exiger des formations et donc des compétences complémentaires. Ces derniers peuvent ainsi imposer de façon unilatérale, dans le cadre de contrats de transport, que les sous-traitants, pour la partie transport maritime de leur activité, aient un niveau de formation en conformité avec un standard plus élevé. C'est le cas par exemple des industriels pétroliers[42].

Ainsi, la formation SRM, au regard de la réglementation, est encore, pour l'instant, une formation unique sans date de péremption. Toutefois, des groupements industriels imposent une validité de cinq ans. La formation en France, qui est traitée dans le paragraphe suivant, suit la réglementation internationale tout en proposant, par l'intermédiaire de l'ENSM, une réponse à cette exigence supplémentaire au travers de formations récurrentes, les stages « *refresh* », comportant, entre autres, des mises en situation sur simulateur.

[39] Etat du pavillon : Etat dans lequel le navire marchand est immatriculé

[40] Etat du port : Etat dans lequel se trouve le port fréquenté par le navire

[41] Etat côtier : Etat longé par le navire au cours de sa navigation. Les USA par exemple, ont des exigences particulières pour les navires transitant dans leurs eaux, la double coque pour les navires pétroliers, entre autres.

[42] Depuis l'échouement de l'EXXON VALDEZ en Alaska et les conséquences graves pour l'entreprise en termes d'image de marque et d'impact financier (4,3 Milliards de dollars d'indemnités versées aux parties civiles), les compagnies pétrolières ont choisi de ne plus transporter elles-mêmes mais de sous-traiter le transport de leurs cargaisons. Regroupées au sein d'associations comme l'OCIMF (*Oil Companies International Marine Forum*), elles édictent leurs propres règles en matière de formation et de bonnes pratiques. L'OCIMF a, ces dernières années, mis en place un système d'évaluation permanente du niveau de compétence des compagnies de navigation qui transportent des produits pétroliers. Les exigences requises sont alors parfois bien supérieures aux règles édictées par l'OMI. L'inconvénient de cette démarche, louable par ailleurs, est qu'elle semble calquée sur un système qualité, générateur d'un travail administratif conséquent et qui laisse peu de marge aux opérateurs pour gérer le système. Elle est typiquement représentative d'un système reposant principalement sur une sécurité réglée (Daniellou, Simard, & Boissières, 2010), pas toujours adaptée à l'environnement très variable de l'activité. Du fait de la rigidité des règles imposées, les opérateurs de première ligne, capitaines en particulier, sont obligés d'enfreindre très régulièrement des procédures qui les empêcheraient d'accomplir leur tâche. Par exemple, les règles imposées pour les pétroliers en matière de puissance des remorqueurs, de diamètre des zones d'évitage (zones permettant de faire faire demi-tour au navire) ou de hauteur d'eau sous la quille font que bien peu d'entre eux pourraient théoriquement remonter la Seine jusqu'aux raffineries installées entre Le Havre et Rouen. Les navires en infraction avec ces règles remontent, au vu et au su de tous les acteurs de la filière, sinon, l'activité s'arrêterait.

## 4.4 LES FORMATIONS FH DANS LE MARITIME EN FRANCE

### 4.4.1 La polyvalence, un concept FH ignoré

En France, cas pratiquement unique dans le paysage mondial, la formation maritime est polyvalente, c'est-à-dire que les étudiants sortant de l'ENSM (École Nationale Supérieure Maritime) sont qualifiés « pont » et « machine ». Plus de 40 ans après l'adoption de la polyvalence, cette mesure fait encore débat. Il est vrai que l'expérience acquise dans chaque spécialité est moindre puisque répartie entre deux métiers assez différents. Ceci amène les armateurs à spécialiser leur personnel au niveau direction, soit capitaine, soit chef mécanicien. Le grand avantage d'un début de carrière polyvalent prend aujourd'hui toute sa dimension grâce à l'éclairage apporté par les facteurs humains. Cette expérience vécue dans les deux métiers facilite, au niveau direction, une compréhension globale du système complexe qu'est le navire de commerce. Lorsque dans une équipe les opérateurs ont des fonctions très différentes, une coordination très explicite et coûteuse en ressources (Macmillan, Entin & Serfaty, 2004) est nécessaire pour que tous travaillent de façon synergique. Le fait d'avoir été à la place de l'autre, d'avoir l'expérience de l'autre domaine, permet une communication plus implicite, bien plus efficace et plus économe en ressources. L'amerrissage de l'A320 sur l'Hudson en janvier 2009 est représentatif de ce fonctionnement[43]. Le Commandant de bord Sullenburger a dit qu'ils n'avaient pas assez de temps pour discuter les décisions, qu'ils ne pouvaient que s'observer et travailler de façon intuitive et synergique. Dans cette action totalement improvisée, les deux experts, l'un pilote, l'autre co-pilote, grâce à leur connaissance partagée du domaine, semblent être entrés dans un « état de co-leadership[44] » tel que le mentionnent Noy et al. (Noy, Dekel & Alon, 2011 ) :

> *"Rather than lagging behind the leader, the follower overshoots and undershoots the leader's motion… » (p. 20948)*

[43] Dans un cockpit à deux pilotes, le commandant de bord et le co-pilote sont à tour de rôle « pilot flying » et « pilot not flying » ; on peut donc considérer qu'ils ont la même expertise technique. Bien sûr, l'âge et l'expérience ne sont pas forcément identiques.

[44] *A state of co-leadership*

Dans le résultat très efficace obtenu dans cette situation d'urgence, la polyvalence des membres de l'équipe semble bien avoir joué un rôle.

La formation aux facteurs humains est elle aussi polyvalente. Ainsi, des formations communes SRM ont été mises en place pour les opérateurs « pont » et « machine ». Cette démarche est intéressante aussi parce qu'elle étend le concept d'équipe au navire tout entier. On peut alors s'intéresser à une compréhension d'équipe non plus « partagée » mais « distribuée[45] » (Macmillan, Entin, & Serfaty, 2004).

### *4.4.2 Les formations FH : objectifs et contenus*

Pour le secteur maritime, L'ENSM est responsable des formations des niveaux « opérationnel » et « direction », aucune exigence n'existant actuellement pour la formation au niveau appui.

L'objectif des formations CRM est « d'améliorer les relations d'un individu avec son environnement, son matériel, ses procédures et les autres individus » (Jollans & Fornette, A paraître), dans un but précis : l'amélioration de la sécurité. La formation vise donc à diminuer la contribution de l'opérateur humain aux accidents maritimes, en lui faisant prendre conscience :

- de ses limites physiologiques et mentales ;
- de la possibilité permanente de production d'erreurs qui ne sont pas le reflet d'un défaut de compétence technique ;
- qu'un bon travail d'équipe permet de détecter et de récupérer la quasi-totalité des erreurs commises ;
- que dans une activité de type industriel, comme la marine marchande, le but recherché ne doit pas être la performance exceptionnelle mais un résultat fiable ;
- de son rôle dans l'arbitrage quotidien entre production et sécurité et, en particulier, de l'importance de la remontée d'information.

En ce qui concerne la formation initiale aux facteurs humains, qui est actuellement dispensée en un seul bloc en 5e année, celle-ci pourrait être dispensée tout au long des études de la façon suivante :

[45] Compréhension partagée : les mêmes éléments sont partagés par tous ;

Compréhension distribuée : toutes les informations sont distribuées entre chacun des membres de l'équipe. Chacun ne détient donc qu'une part des informations. Par exemple, l'officier mécanicien au PC machine n'a pas les mêmes éléments que l'officier à la passerelle. Ce mode de partage inégal de l'information est plus économique car moins redondant, mais la réussite de cette forme de compréhension d'équipe nécessite une très bonne coordination.

- Au niveau opérationnel : La formation prévue traite les thèmes FH théoriques concernant la performance individuelle et la performance d'équipe et les compétences non techniques à acquérir pour diriger le quart sur la passerelle ou à la machine (cf. Tableau 5 et Tableau 6).
- Au niveau direction : Les étudiants qui reviennent en formation au niveau direction ont déjà une expérience opérationnelle de chef de quart (cet avantage devrait bientôt disparaître, la CTI[46], commission des titres d'ingénieur, refusant que la césure entre la 3e et la 5e année soit supérieure à une année scolaire). La formation a pour objectif de développer les compétences de direction d'équipe, de gestion de l'imprévu, de gestion du stress, et le sens des responsabilités.

Le contenu de ces formations est en discussion actuellement et pourrait ressembler au tableau 7. Ce contenu concerne le cours FH lui-même, mais les concepts FH doivent essaimer dans les travaux pratiques et les mises en situation sur simulateur tout au long des études.

La formation aux facteurs humains est actuellement en phase transitoire dans le maritime. De nombreux navigants en activité n'ont pas eu l'occasion d'en bénéficier lors de leurs études à l'ENSM, ces formations n'existant pas à cette époque.

Pour ces professionnels, l'ENSM assure deux types de formations SRM :

- l'une dite « SRM initial » pour ceux qui n'ont jamais eu de formation FH sur les bancs de l'école,
- l'autre dite « *refresh* », rafraîchissement, lorsqu'ils ont déjà suivi la formation initiale et qu'ils reviennent à l'ENSM pour des stages complémentaires.

[46] Tout le cursus académique est en refonte actuellement pour le mettre en conformité avec les exigences de la CTI (Commission des titres d'ingénieur). Le format « CTI » a été choisi pour réformer les études supérieures de la marine marchande française au motif d'accroitre la lisibilité de la formation maritime en la mettant en ligne avec les autres formations d'ingénieurs. Ce format d'études semble méconnaître l'intérêt de l'expérience de terrain au point d'obliger l'ENSM a renoncer à ce qui a fait sa force jusqu'à présent : valider le niveau opérationnel (chef de quart) par **huit mois au minimum d'activité comme officier** à bord avant d'autoriser l'accès aux études de niveau direction (chef de service et capitaine). Entre la 3e et la 5e année, les étudiants ne deviendront plus des officiers confrontés aux responsabilités de haut niveau que constitue la conduite d'un navire huit heures par jour. En 5e année, les professeurs en charge de mettre en place des savoir-faire concernant la gestion d'un équipage ou la responsabilité juridique et morale du capitaine n'auront plus en face d'eux des professionnels mais des étudiants. Pour finir, on notera que l'ENAC, Ecole nationale de l'aviation civile, forme des ingénieurs aéronautiques d'une part, et des pilotes de ligne d'autre part, mais pas des ingénieurs pilotes de ligne (voir le site www.enac.fr).

| | |
|---|---|
| 1. Présentation du cours sur l'ensemble du cursus, le modèle SHELL…….. | L1 |
| 2. Fatigue, impact sur la performance et l'aptitude au service…… | L1 |
| 3. Hygiène de vie : glycémie, hydratation, sommeil, danger des drogues et de l'alcool…… | L2 |
| 4. Fiabiliser l'activité : minute d'arrêt, communication sécurisée……. | L1 |
| 5. Fiabiliser l'activité : auto-contrôle, préjob briefing……. ……. | L1 |
| 6. Acquisition de l'information et limites de la perception humaine……. | L3 |
| 7. Obtention et maintien de la conscience de la situation…….. | L3 |
| 8. Gestion des ressources et des priorités, charge de travail et gestion de l'erreur…… | L3 |
| 9. Décision normative, avec ou sans pression temporelle……. | L3 |
| 10. Communication opérationnelle……. | L3 |
| 11. Le travail d'équipe sur la passerelle, affirmation de soi, leadership……. | L3 |
| 12. Travailler avec les procédures…….. | L3 |
| 13. Travailler avec les automatismes…… | L3 |
| 14. Fiabiliser l'activité : compte-rendu, contrôle croisé, débriefing…… | L3 |
| 15. Communication inter-culturelle……. | M2 |
| 16. Le stress de situation et le stress de fond ……. | M2 |
| 17. Psychologie du risque, attitudes et biais……. | M2 |
| 18. Décision d'expert : la reconnaissance d'indices……. | M2 |
| 19. Le travail d'équipe à bord : gérer les tâches et les ressources,……. ……. | M2 |
| 20. Le tandem pilote-commandant…… | M2 |
| 21. Situation d'urgence et gestion de crise…… ……. | M2 |
| 22. Manager de proximité dans l'organisation : éthique et résilience…….. | M2 |

**Tableau 7 : Projet de formation aux facteurs humains à l'ENSM[47]**

La formation « Refresh » est pour l'instant facultative et peut être réalisée, par exemple, à l'aide de mises en situation sur simulateur. Du fait de mises en situations professionnelles lors des refresh, celles-ci ne peuvent, pour des raisons pratiques, être polyvalentes. Elles sont donc du type BRM refresh pour les officiers pont, et ERM refresh pour les officiers mécaniciens (cf.Figure 23).

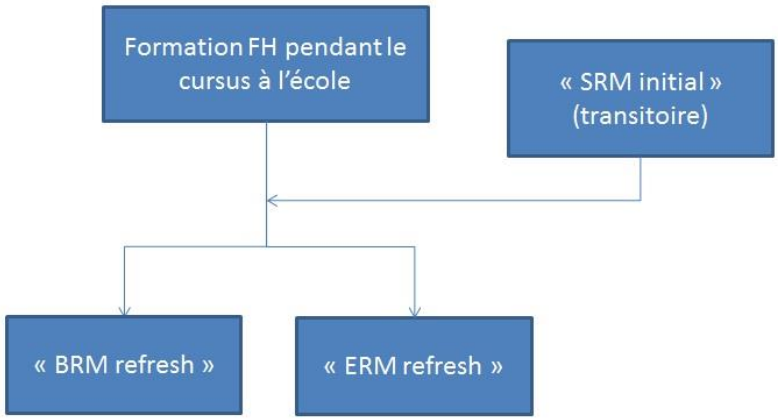



**Figure 23 : Organigramme des formations FH à l'ENSM**

[47] Dans le tableau : L = année de licence, M = année de Master

Les autorités, OMI ou pays membre, pourraient imposer dans un avenir proche les stages de rafraichissement en commençant par une périodicité de cinq ans.

### 4.4.3 La formation « SRM initial » (phase transitoire)

La formation « SRM initial » (cf. Figure 23) est destinée aux navigants en activité, par opposition à la formation FH qui est un cours destiné aux étudiants à l'ENSM. Les contenus sont très proches, un peu plus orientés sur les compétences à acquérir pour le SRM. La différence principale se situe dans la méthode, faisant une plus large place aux échanges entre pairs car faisant plus appel au vécu pour les professionnels, et plus directive pour les étudiants.

La formation « SRM initial » dure trente heures.
Le contenu du stage suit les exigences de STCW qui sont des exigences de compétence en situations de travail. Celles-ci s'acquièrent pendant la formation que l'aéronautique nomme CRM, une application pratique des FH (Di Coccio, A paraître) qui nécessite en amont l'acquisition des bases FH théoriques. Pour prendre un exemple du domaine scientifique, pour acquérir des compétences en navigation astronomique, il faut au préalable posséder des connaissances en trigonométrie sphérique. Ces connaissances ne sont citées nulle part dans STCW, et pourtant elles sont systématiquement enseignées dans les études maritimes. Jusqu'à présent les navigants de la marine marchande en activité n'ont pas appris les concepts FH sur les bancs de l'école. La formation « SRM initial » passe donc en revue les concepts de base, acquisition et traitement de l'information, limites physiologiques, mentales, phénomène de l'erreur, etc.

**Le contenu du projet (l'arrêté ministériel n'est pas encore paru) de stage « SRM initial » réglementaire est décrit initial » réglementaire est décrit plus bas (cf.**

Tableau 8). Il n'est pas actuellement prévu de stage de rafraîchissement. Il y a donc, pour l'instant, une appellation unique « Stage SRM ».

| | |
|---|---|
| Les thèmes ci-contre ne sont pas explicitement mentionnés dans STCW. Ce sont des prérequis pour comprendre et assimiler les thèmes auxquels se réfère STCW.<br>Si ces notions ne sont pas déjà acquises, il conviendra de les traiter en début de stage. | Exposer le modèle SHELL pour faire comprendre la complexité des interactions auxquelles est soumis l'opérateur dans un système homme-machine comme le navire de commerce |
| | Les limites physiologiques de l'individu :<br>La fatigue<br>Le stress de situation<br>Les organes sensoriels et l'acquisition de l'information |
| | Les limites mentales de l'individu :<br>Comment le cerveau humain traite-t-il l'information et la transforme-t-il en décision ? |
| **STCW, connaissances, compréhension et aptitude** | **Thèmes des modules à traiter dans le stage SRM (y compris thèmes ci-dessus)** |
| Connaissance de la gestion et de la formation du personnel de bord | Notions de différences culturelles |
| Connaissance des conventions et des recommandations maritimes internationales connexes, ainsi que de la législation nationale | L'utilité des textes sera traitée en relation avec les thèmes abordés |
| Aptitude à assurer la gestion des tâches et de la charge de travail, notamment :<br>Planification et coordination<br>Affectation du personnel<br>Contraintes de temps et de ressources<br>Etablissement d'un ordre de priorité | Charge de travail et performance individuelle<br>Planifier, anticiper, délester, déléguer<br>Gérer les priorités<br>Manque de ressource et pression temporelle<br>Situations d'urgence<br>Situations de crise et gestion de foule (notions de)<br>La gestion de l'erreur humaine |
| Connaissances et aptitudes nécessaires pour une gestion efficace des ressources :<br>Répartition et affectation des ressources, en fonction des priorités<br>Communication efficace à bord et à terre<br>Prise en compte, pour les décisions, des expériences des membres de l'équipe<br>Aptitude à s'affirmer ; aptitude à diriger une équipe, y compris par la motivation<br>Obtention et maintien de la conscience de la situation | La communication opérationnelle et ses obstacles<br>Les styles de leadership<br>Autorité et soutien dans l'équipe<br>L'affirmation de soi<br>Diriger en motivant<br>Briefings et partage de la compréhension<br>Faire équipe avec les automatismes<br>L'équipe de passerelle et le pilote |
| Connaissance des techniques de prise de décision et aptitude à les appliquer :<br>Evaluation de la situation et des risques<br>Identification et élaboration des options<br>Choix d'une ligne d'action<br>Evaluation de l'efficacité du résultat<br>Etablissement, mise en œuvre et surveillance des procédures d'exploitation normales | Evaluation des risques.<br>Prise de décision. Quelle décision pour quelle situation ?<br>La prise de décision d'équipe.<br>Attitudes à risques<br>Travailler avec les procédures<br>Fiabiliser l'activité normale |

**Tableau 8 : Correspondances entre exigences de compétence STCW et contenu du stage SRM (projet d'arrêté)**

### 4.4.4 Les stages BRM et ERM de rafraîchissement

O'Connor et al. (O'Connor, Campbell, Newon, Melton, Salas, & Al., 2008) constatent que l'effet de la formation aux FH sur les attitudes s'estompe au fil du temps. Des formations récurrentes sont donc indispensables, comme le recommande déjà fortement la résolution A960, article 5.5.4, pour les pilotes maritimes (IMO, 2004)[48].

Un stage SRM de rafraîchissement-perfectionnement dure deux jours. Il peut répondre à deux objectifs distincts selon qu'il s'adresse à des officiers cherchant une formation orientée conduite du navire ou à ceux intéressés par une formation orientée conduite et maintenance d'installations. Ces deux types de formations comprennent principalement des discussions axées sur le vécu des stagiaires et des mises en situations sur simulateur.

Il existe également des stages de rafraîchissement pour les pilotes maritimes. Ils sont basés sur les mêmes principes.

Un stage de rafraîchissement réunissant des officiers et des pilotes a également été conçu. Jugé très satisfaisant par les participants, il est assez difficile à organiser du fait des faibles disponibilités des différentes populations concernées qui doivent être présentes ensemble.

### 4.4.5 Les Principes généraux de formation

La formation FH, la formation « SRM initial » et les refresh BRM et ERM ont tous recours à cinq grandes familles de moyens pédagogiques, avec des dosages différents.

**Les études de cas** : ce sont des récits d'expériences vécues par des pairs. Les participants doivent alors identifier les causes des événements décrits en termes facteurs humains. Ce travail fait appel aux mécanismes de la simulation mentale. Les relations de causalité peuvent être très simples à établir (illustration d'un lien causal direct) ou être plus complexes à détecter (mise en jeu de multiples interactions). Dans ce dernier cas, le travail demandé est plus riche d'enseignements mais, en même temps, il est plus délicat à mener et d'une

[48] OMI resolution A960 art 5.4 : *"…refresher or renewal courses in bridge resource management for pilots to facilitate communications and information exchange…"*

compréhension moins spontanée. Le choix d'une étude simple ou plus complexe est opéré en fonction de la population visée. *In fine*, le travail réalisé sur ces études de cas sert de point d'ancrage et permet de connecter les principes théoriques FH enseignés à l'activité réelle. Selon Klein (1998), dans les récits que nous écoutons, les expériences se cristallisent en expertise, ce qui signifie que l'expérience des autres consolide et enrichit nos schémas stockés en mémoire ; du REX (retour d'expérience), en quelque sorte.

**Les principes théoriques** : ils sont indispensables pour relier les effets mis en avant dans les études de cas aux causes qui les ont produits. C'est cette démarche de compréhension qui permet, à partir d'un cas particulier, de généraliser les enseignements tirés d'un événement spécifique à l'activité et aux situations quotidiennes.

**Les exercices d'application** comme les « *decision making games* » (Pliske, McCloskey & Klein, 2001) : ils sont assimilables à des études de cas interactives. Les recherches menées sur ce sujet ont montré que les exercices de prise de décision peuvent faciliter le processus d'acquisition de schémas. Ainsi, les participants à de telles simulations semblent, par la suite, faire davantage attention que les autres aux caractéristiques d'une situation. Sous réserve d'une pratique suffisante de ce type d'exercices, on peut espérer, à faible coût car il ne s'agit que de simulations papier crayon, un enrichissement des modèles mentaux des participants ce que la simple étude de la théorie ne permet pas.

**Les mises en situation sur simulateur :** A condition de respecter certaines règles – progressivité, débriefing comme une étape essentielle (Granry & Moll, 2012) – elles permettent d'expérimenter les principes généraux et, le cas échéant, d'identifier des similitudes avec des cas étudiés précédemment en salle. Il n'est pas indispensable de réserver des séances à l'observation exclusive des aspects FH. Chaque tâche de conduite du navire ou de la machine, de maintenance ou d'exploitation, chaque exercice de sécurité donne immédiatement naissance à un travail cognitif d'équipe qui peut être efficacement « débriefé » tant sur les aspects techniques que FH. On ne peut isoler technique d'un côté et coopération de l'autre. Un exercice sur simulateur de laminoir (Bonavia, 2011) met l'opérateur devant un cas insoluble à moins de faire appel à une compétence externe, la solution venant de la coopération. En simulation de pilotage d'avions de ligne, Air-France a défini trois grandes classes pédagogiques permettant d'adapter les scénarios aux

objectifs (Labrucherie, 2011). Il est, de plus, très enrichissant pour le jeune futur professionnel d'expérimenter, *in situ*, les concepts FH. Il peut par exemple constater que :

a) les erreurs commises sont bien plus souvent du domaine de l'attention et de la charge de travail que des connaissances techniques. Ceci signifie que même les plus doués et les plus compétents commettent des erreurs ;

b) des tâches basiques, tel que changer de route pour engainer un chenal ou faire un appoint d'huile, peuvent se trouver fortement perturbées par des interruptions, par exemple un appel radio (Clostermann & Bouillon, A paraître).

Pour les professionnels en formation continue, le simulateur permet de valider le transfert des acquis théoriques dans l'activité professionnelle. Le simulateur est l'occasion, pour les participants, d'établir des points d'ancrage en mémoire sur des situations vécues. Par son côté ludique et hors des enjeux de l'activité réelle, Il aide à dédramatiser les enjeux d'ego et permet d'accepter un peu plus facilement la critique d'une pratique peu appropriée qui n'aurait pas été possible en se référant à des situations réelles. Ceci nécessite de la part du formateur d'avoir clairement posé au préalable qu'une critique au simulateur n'entraînait aucun jugement sur la valeur professionnelle du stagiaire et rappelé que l'axiome qui sous-tend toutes ces formations est : « même les bons professionnels commettent des erreurs ».

**Les échanges entre pairs :** les discussions qui naissent d'une simple question comme « *vous considérez-vous comme un bon professionnel ?* » ou « *commettez-vous des erreurs ?* », permettent de s'assurer de l'attention des stagiaires et de créer une dynamique de groupe, chacun souhaitant défendre son point de vue. Ces discussions permettent aux stagiaires d'échanger et de se convaincre qu'ils ne sont pas une exception et que les problèmes qu'ils rencontrent sont très largement partagés par toute la communauté. Comme dans un groupe de parole, une fois la discussion amorcée, chacun peut ajouter son anecdote et compléter ce qui a déjà été dit par des éléments tirés de sa propre expérience. Naissant souvent spontanément à l'occasion d'une étude de cas, l'échange entre pairs enrichit chacun des stagiaires de l'expérience de l'autre. De plus, pour une population qui vit son temps de travail dans le vase clos du navire, et qui n'a donc que peu d'occasions d'échanger avec des confrères, le stage de formation continue est le lieu idéal pour faire un peu de *benchmarking* et confronter ses propres pratiques à celles des collègues.

### 4.4.6 Quelques précautions à l'introduction du SRM

Introduire une formation de ce type auprès de professionnels expérimentés ne va pas de soi. Mal expliquée par les formateurs, mal relayée par la compagnie, la formation peut alors être perçue comme un jugement négatif porté par la hiérarchie sur la qualité du travail des opérateurs : « *On veut nous apprendre à faire notre travail* », « *ça fait des années qu'on fait ce métier, et maintenant on va nous expliquer comment faire* », etc… Il est donc indispensable de lever le plus tôt possible cette ambiguïté : il n'est nullement question d'apprendre aux professionnels leur métier. Pour qu'un stage de formation aux aspects non techniques du métier soit profitable, il faut d'abord que les opérateurs disposent des compétences techniques.

Un travail de communication en amont du déploiement d'une telle formation est donc nécessaire. Il est mené à la fois par l'organisme de formation et par l'organisme formé. Une approche qui a montré son efficacité consiste à organiser une conférence de présentation du stage, par l'organisme formateur, à laquelle sont conviés les cadres de l'entreprise.
Une fois les principes des formations arrêtés, il est utile que l'entreprise bénéficiaire sélectionne des cadres (capitaines et chefs de service) reconnus par leurs pairs et déjà naturellement ouverts à ces concepts. Ils auront alors pour mission de disséminer dans l'entreprise des messages expliquant tout l'intérêt de telles formations. Graduellement, on verra alors arriver des stagiaires de plus en plus motivés qui, à leur tour, motiveront leurs collègues à s'inscrire dans une telle démarche de formation.

## 4.5 QUELS RESULTATS POUR CES FORMATIONS ?

Dans l'aéronautique, les investissements considérables dans la formation CRM ont conduit les chercheurs à s'interroger sur les résultats obtenus (Salas, Shawn Burke, Bowers & Wilson, 2001). Salas et al. estiment que pour obtenir des résultats, trois composants doivent être réunis (Salas, Fowlkes, Stout, Milanovich & Prince, 1999) : la formation doit se référer à des principes théoriques, doit cibler les

compétences requises par l'équipe considérée dans son activité, et devrait être évaluée à plusieurs niveaux.

En France, ces formations sont relativement récentes, et l'ENSM ne s'est pas encore penchée sur la mesure des résultats obtenus. De plus, et ceci est particulièrement vrai pour l'environnement réglementaire maritime qui a fortement évolué ces dernières années (mise en place de l'ISM, notamment), Jollans et al. (Fornette & Jollans, A paraître) considèrent qu'

> *« il est quasiment impossible de distinguer ce qui relève de la formation de ce qui est le fait d'autres changements intervenus dans l'environnement professionnel ».*

L'évaluation de ces formations peut être menée à différents niveaux.

Le cadre proposé par Kirkpatrick (Kirkpatrick, 1976) ; (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006) permet de distinguer :

1. les réactions des participants,
2. l'apprentissage de connaissances et la modification de l'attitude vis-à-vis de la formation,
3. le comportement, et
4. l'organisation.

Ce cadre d'évaluation a été utilisé par O'Connor, Flin & Fletcher (O'Connor, Flin & Fletcher, 2002), O'Connor et al. (O'Connor P. , Flin, Fletcher & Hemsley, 2002) pour catégoriser des études qui visaient à évaluer les formations CRM. L'article le plus récent (O'Connor, Campbell, Newon, Melton, Salas & Al., 2008) recense, classe et analyse 74 études.

Les réactions des participants à la formation. Il s'agit d'une mesure de la satisfaction. L'évaluation, à ce niveau, est faite à l'aide de questionnaires utilisant des échelles de Likert. En général, les participants ont des réactions favorables face à ce type de formation et pensent qu'elles leur seront utiles. Ce constat est valable également dans le domaine maritime. Les participants sont-ils satisfaits de la formation dispensée, y ont-ils vu un intérêt ? Sur 80 capitaines et officiers formés pendant l'année scolaire 2012-2013, les scores obtenus, de 0 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait d'accord) ont été, pour les affirmations suivantes : Ce stage est pertinent pour le métier et je le recommanderai : 4,27 ; Il améliore la compréhension de l'homme en situation de travail : 4,24 ; J'ai l'intention de mettre

en œuvre les concepts appris : 4,37 ; La méthodologie utilisée (théorie + études de cas) est pertinente : 4,17.

Le niveau des apprentissages. Il fait référence aux connaissances et aux attitudes acquises par les participants grâce à la formation. L'évaluation utilise, là encore, des questionnaires. En ce qui concerne l'évaluation des attitudes, l'outil le plus utilisé dans le domaine de l'aviation est le CMAQ (Cockpit Management Attitudes Questionnaires). Il comprend 25 items et couvre les thèmes suivants : « communication et coordination », « responsabilité de commandement », « reconnaissance de l'effet des facteurs de stress ».

La plupart des études visant à évaluation la formation CRM concluent qu'elle induit un changement positif dans les attitudes et les connaissances. Cependant O'Connor et al. notent que l'effet observé sur les attitudes semble s'estomper avec le temps tandis que l'amélioration concernant les connaissances ne semble pas être significative.

Le comportement. Des systèmes d'évaluation du comportement, connus sous le terme de « behavioral markers » décrivent des comportements observables qui sont considérés comme révélateurs de certains aspects de la performance. Les principaux outils de mesure utilisés dans le domaine de l'aviation sont TARGETS (Targeted Acceptable Responses to Generated Events or Tasks), (Fowlkes, Lane, Salas, Franz & Oser, 1994) ou encore NOTECHS (O'Connor, Hörmann, Flin, Lodge, Goeters & al., 2002) qui semble avoir été très bien accepté par les évaluateurs. NOTECHS (Non-TECHnical Skills) est une taxonomie d'habiletés non-techniques développée et testée par un consortium d'organismes et de compagnies aériennes européens. Il est divisé en quatre catégories de comportements : deux relatifs à des compétences sociales (coopération, leadership et management), deux relatifs à des compétences cognitives (SA, prise de décision). Chaque catégorie est subdivisée en 3 ou 4 items ; il est fourni, pour les 15 items, des comportements exemplaires (positifs ou négatifs).

Les conclusions des études d'évaluation qui ont utilisé ces outils ne sont pas homogènes. O'Connor et al. (O'Connor, Flin & Fletcher, 2002) et Salas et al. (Salas, Shawn Burke, Bowers & Wilson, 2001) penchent en faveur d'une modification des comportements alors que Salas et al. (Salas, Wilson, Burke & Wightman, 2006) considèrent que ces études ne sont pas concluantes. Les analyses réalisées par O'Connor et al. (O'Connor, Campbell, Newon, Melton, Salas & Al., 2008) montrent

qu'il y a un effet de la formation mais qu'il est difficilement interprétable. Ces auteurs notent un éventuel biais et se demandent si les observateurs savaient qu'ils avaient affaire à un groupe contrôle, à un groupe pré-training ou post-training…

Dans le paysage maritime français, un exemple concret, mesuré empiriquement mais pas scientifiquement : Les pilotes des ports semblent avoir, à la suite de la formation, modifié l'usage du téléphone portable à des fins personnelles pendant les phases de pilotage : le téléphone est le plus souvent sur répondeur, ou bien la conversation dure le temps de convenir de se rappeler plus tard. Cette disposition semble plus l'effet d'une démarche personnelle, en tous cas informelle, que d'une démarche organisationnelle.

Le niveau de l'organisation. Le but ultime des formations CRM est d'améliorer la sécurité du système et la productivité des équipages. Il est cependant difficile - étant donné le faible nombre d'accidents et le nombre important de paramètres susceptibles d'intervenir – de tirer des conclusions sur l'effet de la formation CRM sur la sécurité du système global.

O'Connor et al. (Ibid.) soulignent qu'il est difficile de tirer des conclusions probantes sur l'efficacité des formations CRM, parce qu'ils n'ont pu analyser qu'un faible nombre d'études. Ils n'ont pu, en effet, inclure dans leur base de données, que des études répondant aux critères scientifiques suivants :

- Etudes utilisant une méthodologie valide de recueil des données et utilisant la comparaison (avant et après formation ou entre groupe contrôle et groupe témoin) pour mesurer des effets sur l'apprentissage et les comportements ;
- Etudes indiquant la taille de l'échantillon, la moyenne et l'écart-type (lorsqu'elles reposaient sur des échelles de Likert) ou contenant un nombre suffisant d'informations pour permettre le calcul du coefficient R de Pearson (dans le cas de comparaison inter-groupes).

Constatant le manque de rigueur d'un grand nombre d'auteurs, ils recommandent – pour que l'on puisse analyser scientifiquement l'impact des formations CRM – que les chercheurs suivent dorénavant les recommandations méthodologiques suivantes :

- décrire très précisément la formation qui fait l'objet de l'évaluation ;
- utiliser des méthodes d'évaluation comparables avec les différents groupes (avant et après la formation ou bien avec le groupe témoin et le groupe contrôle) et les décrire précisément ;
- démontrer l'équivalence des groupes et expliquer comment les participants ont été répartis dans les différents groupes ;
- rapporter en détail les résultats pour chaque groupe ;
- faire état du nombre de personnes ayant refusé de participer à l'expérience ;
- utiliser des méthodes statistiques appropriées.

Salas et al. (Salas, Rosen, Shawn Burke, Nicholson & Howse, 2007) ajoutent que bien que les formations sur simulateur soient conçues pour améliorer la cognition d'équipe, les formateurs qui les réalisent n'accordent en général pas assez d'importance à sa mesure.

## 4.6 Conclusion

Tout comme les autres industries, la formation aux FH dans le secteur maritime est en plein développement, sous l'égide de l'OMI. Elle a tâtonné pendant un temps, mais tend actuellement à se rapprocher du standard CRM. Les exigences de formation aux FH sont transversales et concernent les métiers du pont comme ceux de la machine. On peut remarquer dans le standard de formation actuel, STCW 2010, une certaine frilosité à étendre les compétences vers le bas de la hiérarchie. Plusieurs sources réglementaires contribuent à créer un référentiel qui peut différer légèrement d'un pays à l'autre et d'un métier maritime à l'autre. Les formateurs sont majoritairement des opérationnels, et ce quel que soit le métier considéré. La formation SRM initiale ou refresh, recourt d'une façon générale à cinq familles de moyens pédagogiques : les études de cas, les principes théoriques, les exercices d'application, les mises en situation sur simulateur et les échanges entre pairs.

La formation n'étant pas encore connue de tous, les idées préconçues subsistent, qu'il importe de rectifier par une communication appropriée en amont du stage.

L'évaluation des stages SRM selon le système de Kirkpatrick (2006) est quantifiée et positive pour le stade 1, la satisfaction des stagiaires, quantifiée et positive pour le stade 2 immédiatement à l'issue de la formation (les connaissances acquises). Pour le stade 3, les comportements, il y a des signaux encourageants mais il n'existe pas de méthodologie d'évaluation qui permette évaluer les comportements. Il n'existe pas non plus de méthodologie d'évaluation des processus d'équipe mis en œuvre. Enfin, il semble difficile de mesurer l'impact des stages SRM pour le stade 4 concernant l'organisation elle-même.

RESUME

Depuis plusieurs années, tous les secteurs d'activités à risque entreprennent de fiabiliser leur activité en mettant en place des formations CRM (Crew Resource Management). Ces formations concernent les compétences non techniques (notechs) que doivent acquérir les opérateurs pour travailler efficacement en équipe. L'aéronautique possède aujourd'hui une formation très structurée aux « notechs », qui comprend la formation initiale aux concepts FH, en école, et les formations CRM, stages périodiques d'entraînement auxquels sont soumis plusieurs fois par an tous les navigants en activité. Dans les autres secteurs d'activité, la mise en place des formations se fait selon des modalités propres à ces secteurs et aux populations concernées. La formation maritime est aujourd'hui en phase de mise en place des formations initiales et des formations CRM de rafraîchissement (la périodicité – 5 ans – ne permet pas de parler d'entraînement). Ces formations, pourtant reconnues comme un vecteur de fiabilisation de l'activité, ne concernent pas, pour l'instant, le niveau appui, c'est-à-dire le personnel d'exécution, matelots et ouvriers mécaniciens.

## RESUME DE LA PREMIERE PARTIE

Le chapitre 1 de cette première partie a décrit le transport maritime comme une activité millénaire, peu encline à la réglementation, en croissance dans une concurrence mondiale exacerbée, et le classe dans la catégorie des activités à risques. Du fait de l'allongement du bras de levier technologique, les mêmes erreurs commises conduisent à des accidents de plus en plus coûteux en vies humaines, en dégradations de l'environnement et en termes financiers pour les entreprises qui les subissent. Le caractère inexorable de l'accident n'est plus accepté par une opinion publique en quête de la sécurité totale. Ces systèmes à risques – transport aérien, ferroviaire, maritime, système de santé, production d'énergie nucléaire – sont des systèmes homme-machine largement perfectibles menés par des équipages encore peu formés aux concepts FH à l'exception de l'aviation civile qui a été pionnier dans ces types de formation.

C'est dans cet environnement que la recherche en psychologie cognitive se penche depuis maintenant trois décennies sur l'erreur humaine et a proposé plusieurs modèles permettant de comprendre les processus à l'œuvre chez l'opérateur en situation de travail. Quelques-uns des principaux modèles ont été décrits dans le chapitre 2 de cette première partie – GEMS, SHELL, SRK, Swiss Cheese.

Les processus de compréhension de la situation, de prise de décision et de coordination d'équipe – processus macro-cognitifs décrits dans le chapitre 3 de cette première partie – ont été identifiés comme centraux dans le travail humain et font aujourd'hui l'objet d'études nombreuses dans tous les secteurs d'activités à risques.

On assiste actuellement à la mise en place de formations CRM dans tous ces secteurs. Cette mise en place est décrite dans le chapitre 4. Si le concept général « Il faut former l'opérateur aux compétences non techniques » est unanimement validé, il ne semble pas que les méthodes utilisées par le précurseur aéronautique aient toujours inspiré les autres secteurs, chacun se frayant son propre chemin. Pour la navigation maritime, après une période – environ 15 ans – de tâtonnements, les amendements de Manille à la convention STCW qui mettent en place des obligations en termes de formations aux facteurs humains dénotent une vision se rapprochant graduellement de la vision aéronautique.

# Problématique

La première partie a montré l'évolution du milieu maritime au cours de ces vingt dernières années. Ce secteur s'est ouvert aux facteurs humains et organisationnels, en intégrant la formation aux compétences non techniques dans les amendements de Manille à la convention STCW et en rendant obligatoire les systèmes de management de sécurité (code ISM). Elle a également mis en exergue plusieurs modèles issus de la psychologie et de l'ergonomie cognitive qui aident à mieux comprendre l'erreur humaine et l'incidence des facteurs humains et organisationnels dans les accidents. Il s'agit des modèles GEMS et Swiss Cheese de Reason qui distinguent ratés, défaillances (« fault ») et violations d'une part, erreurs actives et erreurs latentes d'autre part, du modèle de la sécurité écologique d'Amalberti qui met l'accent sur la notion de compromis cognitif, des modèles issus du courant de la NDM qui rendent compte des processus de compréhension de la situation et de prise de décision mis en œuvre dans les situations naturelles.

Cette première partie a donc présenté un double panorama. Nous proposons d'utiliser, dans la partie empirique, les modèles qui ont été présentés dans la partie théorique pour analyser les accidents maritimes mais aussi pour analyser les activités réalisées sur simulateur par des élèves officiers confrontés, dans le cadre de leur formation, à des situations délicates.

La problématique générale est double ; il s'agit d'identifier des processus « critiques » susceptibles de contribuer à la survenue d'accident et de proposer des actions de formation permettant de les améliorer.

Une première question de recherche portera sur l'évolution des accidents maritimes depuis l'avènement de l'ISM et les amendements de Manille (depuis 1998) : les accidents maritimes récents présentent-ils les mêmes caractéristiques que les accidents que nous avons déjà relatés : défaillances organisationnelles, représentation mentale erronée, défaillances des processus de coordination et de communication ? Nous proposons d'utiliser le modèle Swiss Cheese de Reason pour identifier des patterns de facteurs représentatifs de différents types d'accidents.

Une seconde question de recherche portera sur la prise de décision dans des situations « conflictuelles » ; situations dans lesquelles les individus doivent procéder à des arbitrages entre des buts contradictoires (sécurité et respect de l'horaire par exemple). Ces situations appellent des compromis cognitifs. Nous avons vu que les experts savent réaliser ces compromis qui leur permettent de

préserver leurs ressources et de gérer les risques externes mais aussi les risques internes. Nous avons vu également qu'ils prennent des décisions basées sur la reconnaissance de situations prototypiques. Peut-on mettre en place des actions de formation qui aident les novices à prendre des décisions satisfaisantes dans des situations délicates ? Les exercices de prise de décision, mentionnés à la fin du chapitre 3, facilitent-ils la compréhension de ces situations et la prise de décision ? Ces questions seront abordées au cours d'une deuxième étude.

La première partie a mis en exergue l'importance du travail d'équipe. L'équipe peut récupérer l'erreur. L'équipe synergique est un gage de sécurité. Pour qu'elle soit performante, ses membres doivent construire et maintenir une représentation partagée de la situation. Ce processus suppose qu'ils interagissent en utilisant des patterns de communication structurés. Il nous semble nécessaire que l'évaluation des formations CRM ne porte pas uniquement sur la satisfaction, les attitudes ou les comportements mais qu'elle prenne également en compte ces processus d'équipe. Une troisième étude visera à établir et à valider une méthode d'analyse des communications qui ont pour fonction la construction et le maintien d'une représentation mentale partagée.

# 2

# Partie empirique

Trois chapitres empiriques répondent aux trois questions de recherche énoncées dans la partie 1.

Dans le premier chapitre de cette deuxième partie (chapitre 5), nous avons étudié un panel de rapports d'enquête effectués par le MAIB (Maritime Accident Investigation Branch) britannique et le BST (Bureau de la Sécurité des Transports) canadien entre l'année 1998, année d'application du code ISM, et l'année 2012. Ces deux bureaux d'enquête et d'analyse ont été sélectionnés car leurs rapports utilisent le modèle de Reason pour l'analyse des facteurs humains, ce qui a permis d'utiliser un outil d'analyse dérivé de ce modèle. Deux outils ont été testés : le HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) et le HFIT (Human Factors Investigation Tool), utilisé couramment dans l'industrie (Gordon, Flin, & Mearns, 2005). L'analyse d'un accident à l'aide du HFIT a montré :

- Que ce modèle est mieux adapté à l'étude d'un near-miss car son intérêt repose pour une part sur la mise en exergue de la récupération de l'erreur. Cette récupération n'a pas eu lieu dans les cas étudiés puisqu'il s'agit de rapports d'accident ;
- Que le séquençage de l'évènement en 3 phases – défaut, perte de compréhension de la situation, action erronée – et le classement des défaillances en de nombreuses subdivisions convient mieux pour une analyse en direct d'un évènement que pour une analyse a posteriori sur documents. En effet, les rapports d'enquête étudiés n'utilisant pas cette grille d'analyse, de nombreux détails manquent pour utiliser le HFIT de façon efficace.

De plus, le HFACS, véritablement calqué sur la grille de Reason, permet, plus clairement que ne le fait le HFIT, une répartition des défaillances entre les différents acteurs du système, autorités réglementaires, compagnie de navigation, état-major du navire, opérateurs de première ligne. Cet aspect nous intéressait.
C'est donc le HFACS qui a été retenu pour cette étude.
Dans un souci d'homogénéité, les 27 rapports d'enquête sélectionnés ne concernent que des collisions en mer, donc l'activité sur la passerelle du navire. Nous chercherons dans ce chapitre 5 à vérifier si le constat fait à San Francisco il y a trois décennies – l'accident est dû : a) à une perte totale de conscience de la situation ; b) à un défaut de travail d'équipe – est toujours d'actualité aujourd'hui,

en mettant en exergue les grandes classes de défaillances à l'origine des collisions en mer.

Le deuxième chapitre (chapitre 6) revient sur les processus cognitifs évoqués au chapitre 3, particulièrement ceux qui concernent la compréhension de la situation et la prise de décision. La prise de décision classique, évaluation de plusieurs solutions pour choisir et mettre en œuvre la meilleure n'est plus considérée comme représentative du fonctionnement cognitif des experts en situation dynamique et incertaine, et les chercheurs regroupés dans le courant de la NDM (Zsambok, 1997 ; Klein, 1998 ; Klein et al., 2003) tentent depuis les années quatre-vingt-dix de comprendre les fonctions cognitives complexes qui émergent en situation de travail pour faire le lien entre l'information collectée dans l'environnement, la compréhension de la situation et la prise de décision. Plusieurs exemples cités (Cuyahoga, Royal Majesty) ont montré l'impact immédiat sur la sécurité d'erreurs liées à ces processus macrocognitifs. Si la prise de décision rationnelle semble aisée à enseigner, il en va autrement de la prise de décision par reconnaissance de schéma (RPD), celle couramment mise en œuvre sur les passerelles des navires.
Ce deuxième chapitre s'intéresse à la prise de décision de jeunes officiers en s'interrogeant d'abord sur ce qui différencie la décision de l'expert de celle du novice. Il porte sur la prise de décision en situation d'anticollision. Une expérimentation au simulateur tente de mesurer l'impact d'exercices de prise de décision sur la manœuvre de jeunes officiers placés sur la passerelle du navire « privilégié » au sens de COLREGs (le règlement international pour prévenir les abordages en mer), et essaie d'établir une différence entre les officiers ayant déjà une expérience de ces situations et les autres.

Nous avons vu au chapitre 4 comment les formations CRM, qui tentent, dans le droit fil du courant synergiste américain, d'améliorer le travail d'équipe en situation de travail, se sont déployées dans toutes les activités à risques.
Quand la complexité de la tâche requiert la coordination de plusieurs opérateurs, il faut que la cognition d'équipe présente les mêmes qualités que la cognition individuelle pour que l'équipe soit performante. Qu'est-ce qui permet d'obtenir cette coordination, et quel est l'impact de celle-ci sur la performance de l'équipe ?

Le troisième chapitre de la partie empirique (chapitre 7) tente de répondre à ces questions en mettant en œuvre une expérimentation sur simulateur qui permettra de mesurer la cognition d'équipe reflétée par la construction active et le maintien tout au long de l'activité d'une compréhension partagée de la situation. La mesure s'effectue grâce à l'analyse des interactions entre officier et capitaine. L'étude essaie d'établir une correspondance entre la qualité de la communication (et, par là même de la compréhension partagée) et les résultats obtenus pour la tâche.

Les deux expérimentations qui seront présentées dans les chapitres 6 et 7 ont été menées sur le simulateur passerelle de l'Ecole Nationale Supérieure Maritime (site du Havre), qui reproduit la passerelle d'un navire moderne. L'instrumentation permet aux officiers d'acquérir les informations – VHF, système de communication interne au navire, radars, jumelles, compas de relèvement, écrans reproduisant l'environnement visuel, sondeur, etc. – et les actionneurs leur permettent de modifier l'état du système « navire » – barre, pilote automatique, commande du moteur principal et du pas de l'hélice, commande des propulseurs transversaux, etc… Le simulateur offre un champ de vision sur 180 degrés vers l'avant, et sur 90 degrés vers l'arrière.

Tous les travaux exposés dans cette thèse portent donc sur le travail effectué en passerelle. La passerelle constitue le centre névralgique du navire. A bord des navires fortement automatisés et dans des conditions optimales de navigation (par beau temps et en pleine mer), un officier assure seul les fonctions de navigation, de communication, d'anticollision, la gestion des systèmes auxiliaires et la surveillance de la cargaison. Il lui est adjoint un matelot la nuit, qui renforce la veille visuelle et peut en cas de besoin barrer manuellement le navire sur les ordres de l'officier. En manœuvre, quand la tâche est trop exigeante pour un homme seul, le capitaine vient renforcer l'équipe, au besoin prendre la direction de la manœuvre lui-même. Finalement, un pilote maritime monte à bord pour renforcer l'équipe de passerelle, guider le navire parmi les dangers aux abords des ports et aider le capitaine.

Pour ce qui concerne la conduite du navire, chaque officier travaille par quart (4 heures de travail, suivies par 8 heures de repos, suivies par 4 heures de travail, etc.). Cependant les officiers du service pont ont également d'autres charges qu'ils doivent assurer en dehors des quarts, principalement en mer des tâches de

sécurité, d'entrainement et des tâches administratives. Le capitaine, quant à lui, est responsable de l'expédition maritime, de la discipline de son équipage, du fonctionnement général du bord et des conditions de transport de la cargaison. La navigation comprend quatre tâches principales : la planification de la traversée, la conduite, la veille, l'anticollision. Les travaux menés dans le cadre de cette thèse portent principalement sur les tâches « à risque » : l'anticollision et la conduite du navire en eaux resserrées (chenal).

# 5 FACTEURS HUMAINS ET ORGANISATIONNELS DANS LES ACCIDENTS MARITIMES : ANALYSE DES ABORDAGES EN MER A L'AIDE DU *HUMAN FACTORS ANALYSIS AND CLASSIFICATION SYSTEM* » (HFACS)

*Pour tenter d'améliorer la compréhension des accidents maritimes, les bureaux d'enquête se penchent aujourd'hui sur la défaillance humaine. Ils s'appuient sur les modèles de Reason et en particulier sur le « Swiss Cheese » qui permet de mettre en évidence, en amont des erreurs actives produites par l'équipage, des erreurs latentes relevant du niveau systémique.*



**Le Skagern, après l'abordage avec le Samskip Courier dans la rivière Humber le 7 juin 2006 dans la brume (photo MAIB)**



**Le Sea Express après l'abordage avec l'Alaska Rainbow dans la Rivière Mersey le 3 février 2007 dans la brume (photo MAIB)**

*Ce chapitre décrit une étude réalisée dans le prolongement d'une demi-journée d'intervention sur les facteurs humains pendant le congrès annuel des enquêteurs du Bureau de la sécurité des transports du Canada à Montréal. Cette analyse utilise le HFACS.*

## 5.1 INTRODUCTION

Environ 90% du commerce mondial se fait par la voie maritime. Le transport maritime est considéré comme une forme sûre, économique et respectueuse de l'environnement du transport commercial. Bien que la médiatisation croissante attire l'attention du public sur les accidents (cf. l'accident du Costa Concordia), les statistiques montrent une baisse lente mais régulière des accidents maritimes au cours des 10 dernières années (Allianz Global Corporate & Specialty, 2013). Cette décennie s'inscrit dans la continuité de la tendance générale à l'amélioration de la sécurité du transport maritime au cours du 20e siècle. Les statistiques montrent qu'on est passé d'un taux de perte de 1% par an en 1910 à environ un navire sur 670 en 2010 (Allianz Global Corporate & Specialty, 2012).

Le transport maritime est aussi un domaine très réglementé, et les règlements ont été renforcés dans les deux dernières décennies. Les grands principes qui sous-tendent la réglementation du transport maritime sont des règles nationales harmonisées sur la base des conventions internationales et des résolutions adoptées par l'Organisation maritime internationale (OMI) (Kristiansen, 2008).

Parmi ces règlements, la convention SOLAS[49] est considérée comme le plus important de tous les traités internationaux concernant la sécurité des navires marchands. Son principal objectif est de définir des normes minimales pour la construction, l'équipement et l'exploitation des navires. Il est divisé en 12 chapitres. En réponse au chavirement du ferry Herald of Free Entreprise en mars 1987 l'OMI a adopté en 1993 dans sa résolution A.741 (18) le Code international de gestion de la sécurité, appelé « code ISM », International Safety Management Code. Le code ISM a été ajouté en 1994 à la convention SOLAS en tant que chapitre IX, « Gestion pour la sécurité de l'exploitation des navires ». Ce chapitre exige qu'un système de gestion de la sécurité (SMS) soit établi par l'armateur ou toute autre personne en charge d'un navire. Selon Kristiansen (ibid), cette exigence représente une évolution spectaculaire de la pensée réglementaire de la part de l'OMI, car elle reconnaît que les règles normatives détaillées pour la conception et l'armement des navires sont à elles seules insuffisantes et stimule la conscience de la sécurité, tant à terre qu'à bord. Avec le code ISM, l'industrie maritime évolue lentement

[49] SOLAS : International Convention for the Safety Of Life At Sea, 1974 telle qu'amendée

d'une sécurité reposant sur la formation des opérateurs de première ligne et l'utilisation de check-lists à une culture de sécurité industrielle impliquant tous les acteurs du système, du matelot qualifié au directeur général de l'entreprise. Le code ISM est devenu obligatoire pour les navires transportant des passagers ou des cargaisons dangereuses en 1998, puis pour le reste de la flotte en 2002. Dans le même temps, la Convention internationale de l'OMI sur les normes de formation, de certification et de veille (STCW[50]) pour les marins, dans la version révisée de 1995, ajoute à la section B-VIII/2 des recommandations pour une bonne "Gestion des ressources de la passerelle" (GRP, en anglais BRM, Bridge Resource Management) c'est-à-dire l'affectation et l'utilisation correctes de toutes les ressources, humaines et technologiques, disponibles sur la passerelle. Les amendements apportés au code STCW lors de la conférence de Manille[51], amendements entrés en vigueur le 1er Janvier 2012, font un pas de plus vers la maîtrise du facteur humain en plaçant la gestion des ressources de la passerelle (BRM) dans la partie obligatoire du code, et en créant une nouvelle obligation, la formation à la gestion des ressources à la machine (en anglais ERM, Engine-room Resource Management). De plus, ces obligations concernent désormais non seulement le niveau opérationnel, c'est-à-dire l'officier, mais aussi le niveau direction, c'est-à-dire les chefs de service et le capitaine.

Ce chapitre présente une analyse des accidents maritimes postérieurs à 1998, année d'entrée en vigueur du code ISM et de la version révisée en 1995 de STCW. Il traite des abordages en mer et utilise une approche systémique pour analyser le rôle des facteurs humains et organisationnels dans ces récents événements. Alors que les collisions sont la cause principale de seulement 12% des pertes totales (Allianz Global Corporate & Specialty, 2012), elles semblent être l'une des trois principales causes d'« évènements de mer » (Graham, 2012). En outre, elles représentent environ 50% du risque total dans les voies navigables à fort trafic (Min Mou, Van der Tak, & Ligteringen, 2010). Ainsi, abordages et échouements constituent 71% des accidents dans les eaux européennes ; il a été signalé en 2010

[50] STCW : International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers. La convention originale date de 1978.

[51] Final Act of the Conference of Parties to the International Convention on Standards of Training, Certification and watchkeeping for Seafarers, 1978, Manilla, The Philippines, 21-25 June, 2010.

que le plus grand nombre de navires impliqués dans des accidents (45%) l'a été dans des abordages et des heurts d'infrastructures terrestres (EMSA, 2010)[52].

Plusieurs études ont souligné le rôle des facteurs humains et organisationnels dans la sécurité maritime (Chauvin, 2011), (Hetherington, Flin & Mearns, 2006), (Schröder-Hinrichs, 2010). Le rôle de ces facteurs est une question centrale dans les collisions. En fait, «les abordages devraient théoriquement être évités si chaque navire respectait le règlement international pour prévenir les abordages en mer[53] de 1972, entré en vigueur en 1977" (MAIB, 2004). Les études portant sur les abordages ont souligné le rôle des facteurs suivants : « défaut de veille », « mauvaise utilisation du radar », « personnel insuffisant », « exploitation insuffisante des compétences du personnel d'exécution (matelots) sur la passerelle », « mauvaise utilisation du radar », « lacunes dans les communications ou le travail d'équipe sur la passerelle », « problèmes de communications entre navires ». Ces études ont donné des résultats intéressants, mais ont souvent mis l'accent sur certains de ces facteurs sans fournir une approche systémique de ces accidents. En outre, elles s'intéressaient à des événements antérieurs ou concomitants à l'entrée en vigueur du code ISM et de STCW95.

Un rapport du MAIB[54] (ibid), basé sur l'analyse de 33 accidents impliquant 41 navires au cours de la période 1994-2003, a montré ainsi que les facteurs contributifs les plus courants étaient le défaut de veille (pour 65% des navires) et une mauvaise utilisation du radar (73%). Dans 19% des cas d'abordage, les officiers de quart ont été complètement inconscients de la présence de l'autre navire jusqu'à la collision, ou dans certains cas même après la collision. Dans 24% supplémentaires de cas, les officiers ont pris conscience de la proximité de l'autre navire lorsqu'il était trop tard pour éviter l'abordage. Le défaut de veille lui-même a été mis en relation avec une insuffisance de personnel, une exploitation insuffisante des compétences du personnel d'exécution ou l'incompétence. L'étude n'incluait pas les navires avec pilote à bord.

[52] EMSA : European Maritime Safety Agency, en français AESM, Agence européenne de sécurité maritime

[53] RIPAM, en anglais COLREGS, Collision Avoidance Rules

[54] MAIB : Marine Accident Investigation Branch du Royaume-Uni.

Un rapport du BST[55] (BST Canada, 1995) a traité de 273 événements impliquant des navires sous la conduite pilote dans les eaux canadiennes entre février 1981 et mai 1992. Parmi ces événements, il y a eu 43 abordages. Le rapport souligne que le défaut de communication ou de travail d'équipe sur la passerelle semblait être à l'origine d'un grand nombre de ces accidents maritimes.

Ce chapitre présente une analyse systémique et multifactorielle de la collision en mer, visant à identifier les différents types d'accidents, à savoir les accidents caractérisés par différents patterns de facteurs humains et organisationnels. L'analyse repose sur un outil basé sur le modèle de Reason : le système d'analyse et de classification des facteurs humains (HFACS). Nous avons utilisé cet outil pour classer et analyser les facteurs qui sont mentionnés dans les rapports d'accidents pour 39 navires impliqués dans 27 abordages qui se sont produits entre 1998 et 2012. Un des objectifs de cette étude est de comparer les causes de ces accidents récents à des causes d'accidents identifiées dans les études précédentes.

## 5.2 LE CADRE THEORIQUE

### *5.2.1 La nécessité de choisir un modèle pertinent d'accident*

Depuis la fin des années 1990, il a été reconnu que l'analyse de l'accident doit s'appuyer sur des modèles systémiques et organisationnels (Rasmussen, 1997), (Reason, 1997) qui sont adaptés au contexte de l'étude, même s'ils ne représentent qu'une vue simplifiée de la réalité. Les modèles d'accidents linéaires simples (par exemple, les modèles de cause à effet) peuvent être utilisés dans des contextes spécifiques mais restent limités lorsque la structure des systèmes socio-techniques est complexe. Les modèles d'accidents linéaires complexes tel que le modèle « Swiss Cheese » (Reason, ibid) et les modèles non-linéaires systémiques tels que le FRAM (Hollnagel, Barriers and Accident Prevention, 2004) ont l'avantage de fournir une meilleure capture de la complexité des systèmes sociotechniques et permettent donc une meilleure compréhension des facteurs qui génèrent un accident ou une catastrophe.

[55] BST : Bureau de la Sécurité des Transports du Canada

Selon Hollnagel (ibid), le choix d'un modèle pour analyser un accident est crucial car il va déterminer le point de vue de l'analyste et donc orienter les conclusions des investigations et les mesures préventives découlant de ces conclusions. De même, les méthodes et les outils utilisés pour la collecte et l'analyse des données dépendront directement du modèle choisi. En d'autres termes, l'analyse des accidents est guidée par le principe bien connu "What-You-Look-For-Is-What-You-Find" (Hollnagel, 2008); (Lundberg, Rollenhagen & Hollnagel, 2009). Ainsi, le modèle fournit un cadre spécifique d'observation et d'analyse. Il est donc essentiel de choisir un modèle avant de commencer les investigations, en tenant compte des caractéristiques du système et de la nature de l'accident. L'enquête sur l'accident du vol Alaska Airlines 261 (Dekker, 2004) a montré que les analystes avaient été guidés par des modèles séquentiels (modèles simples d'accidents linéaires) ne permettant pas l'identification des facteurs systémiques responsables de l'érosion des marges de sécurité. En règle générale, lorsque l'objet de l'enquête porte sur des systèmes sociotechniques complexes, les modèles autres que les modèles linéaires simples apportent une réponse plus appropriée qu'une simple recherche de relations de cause à effet.

Le choix d'un modèle d'accident est également déterminant en ce qui concerne les procédures d'enquête, puisque le "What-We-Find" repose sur le "What-We-Look-For" qui dépend du modèle lui-même. Par conséquent, la structure et le contenu de ces procédures dépendent également du modèle sélectionné. En outre, lorsque les analyses d'accidents sont réalisées à partir d'un ou plusieurs rapports d'enquête qui ont été développés à partir d'une procédure reposant sur un modèle non-pertinent, un biais d'analyse apparaît (Lundberg, Rollenhagen & Hollnagel, 2010). En effet, même si les enquêtes sur les accidents se basent de plus en plus sur les modèles linéaires complexes (Lundberg, Rollenhagen, & Hollnagel, 2009), certains rapports peuvent ne pas contenir tous les éléments qui sont utiles pour une compréhension globale et approfondie de l'accident. L'idéal de "What-You-Look-For-Is-What-You-Find" peut parfois ne pas être atteint pour cette raison.

Dans cette étude, nous avons analysé les rapports d'enquête réalisés par le MAIB du Royaume-Uni et par le BST du Canada. Parce que ces rapports se réfèrent au modèle de Reason « Swiss Cheese » de causalité des accidents (Rothblum, Wheal, Withington, Shappell, & Wiegmann, 2002), nous avons utilisé l'outil HFACS, qui découle de ce modèle.

### 5.2.2 Le cadre HFACS : un outil construit à partir du modèle « Swiss Cheese »

Reason (1997) insiste sur la dimension organisationnelle des accidents majeurs en proposant le modèle « Swiss Cheese », en forme de gruyère, de la causalité des accidents. Grâce à ce modèle, les erreurs actives et les conditions latentes sont clairement distinguées. Les défaillances actives sont les actes dangereux (erreurs et violations) commis par les opérateurs de première ligne (les pilotes, les équipages des navires, etc.), ceux qui ont un impact direct et immédiat sur la sécurité du système. Elles sont considérées comme les conséquences de causes profondes ou conditions latentes. Les conditions latentes sont comparables à des agents pathogènes présents dans un organisme (Reason, 1988). Elles peuvent exister pendant longtemps dans le système sans provoquer de conséquences néfastes. En fait, elles doivent être combinées avec des circonstances particulières et des défaillances actives pour causer un accident. Elles résultent de décisions stratégiques et de haut niveau des gouvernements, des organismes de réglementation, des fabricants, des concepteurs et des gestionnaires de l'organisation. Comme Rasmussen (Rasmussen, 1997), Reason emploie le concept de propagation quand il explique que

> *« l'impact de ces décisions se répand dans toute l'organisation, élaborant une culture d'entreprise particulière et créant des conditions propices aux erreurs sur chaque lieu de travail individuel » (Reason, 1997).*

Tout comme les modèles, les méthodes et les outils d'analyse doivent également être adaptés au contexte étudié. S'appuyant sur le concept de Reason de défaillances latentes et actives, le système d'analyse et de classification des facteurs humains (HFACS) a été conçu pour faciliter les enquêtes sur l'aspect « facteurs humains » des accidents ainsi que l'analyse des causes sous-jacentes de l'erreur humaine (Shappell & Wiegmann, 2001); (Shappell & Wiegmann, 2000). Le HFACS décrit l'erreur humaine à chacun des quatre niveaux de l'échec : (a) les actes dangereux des opérateurs, (b) les facteurs prédisposant aux actes dangereux, (c) les défauts de supervision, et (d) les influences organisationnelles. Initialement conçu pour le domaine de l'aviation militaire, il a depuis été utilisé pour classer et analyser les données des accidents de l'aviation civile (Shappell & Detwiller, 2007), de l'industrie ferroviaire (Reinach & Viale, 2006) et de l'industrie minière

(Patterson & Shappell, 2010). Très tôt, Rothblum et al. (Rothblum, Wheal, Withington, Shappell & Wiegmann, 2002) ont proposé de l'utiliser pour réaliser des enquêtes sur les incidents maritimes. Récemment, il a également été utilisé dans l'industrie du transport maritime par plusieurs auteurs : (Celik & Cebi, 2009) ; (Xi et al., 2010), (Schröder-Hinrichs, Baldauf & Ghirxi, 2011).
Schröder-Hinrichs et al. (2011) ont adapté cet outil au domaine maritime et plus spécifiquement à la salle des machines à bord des navires (HFACS-MSS). L'outil proposé ici est très proche de du HFACS-MSS, même s'il comporte quelques aspects qui sont spécifiques à l'activité anticollision et aux passerelles des navires.

## 5.3 METHODE

Le cadre HFACS original (Shappell & Wiegmann, 2000) a été enrichi par Reinach et Viale (Reinach & Viale, 2006) qui ont présenté un cinquième niveau, tout à fait en amont du système, nommé « facteurs extérieurs » afin d'optimiser sa pertinence pour l'industrie ferroviaire. Les facteurs extérieurs comprennent l'environnement réglementaire ainsi que l'environnement économique / politique / social / juridique. Cette catégorie est justifiée, parce que – comme indiqué par Rasmussen (Rasmussen, 1997) et Reason (Reason, 1997) – les décisions prises à ce niveau supérieur représentent des contraintes pour les acteurs situés à d'autres niveaux : l'entreprise, la direction, l'encadrement, le personnel. Ce niveau a également été pris en compte dans le HFACS-MSS. D'autres modifications mineures ont été apportées par différents auteurs afin d'adapter l'outil HFACS aux caractéristiques d'un domaine particulier. Pour l'étude des accidents maritimes, ce chapitre propose un HFACS-Coll (cf. Figure 24 et Tableau 9).

### 5.3.1 Le « HFACS-Coll »

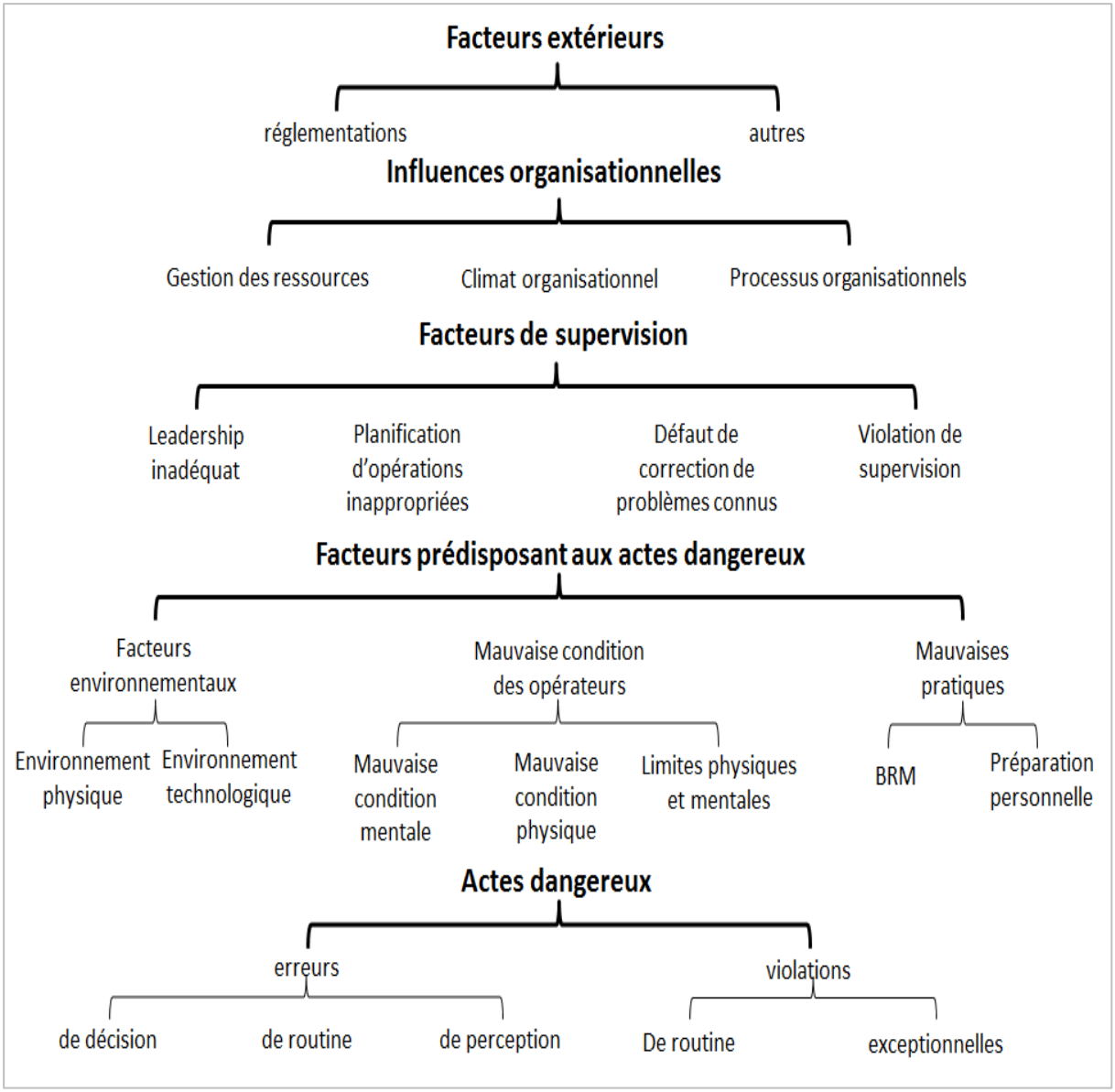



Figure 24 – Le HFACS-Coll

| CATEGORIE DE FACTEUR | DESCRIPTION |
|---|---|
| FACTEURS EXTERIEURS | Les facteurs réglementaires dans le secteur du transport maritime sont principalement : le règlement pour prévenir les abordages en mer (COLREGs) et le Code international de gestion de la sécurité (ISM).<br>Les autres facteurs : les décisions, actions et produits provenant d'autres acteurs (concepteurs, administration, autorités portuaires) et les règles informelles. |
| INFLUENCES ORGANISATIONNELLES | La gestion des ressources : La gestion, l'affectation et le maintien des ressources de l'organisation, y compris la gestion des ressources humaines (sélection, formation, recrutement), le budget sécurité et la conception des équipements.<br>Le climat organisationnel. La notion comprend : la structure de direction (chaîne décisionnelle, la délégation de l'autorité et de la responsabilité, les canaux de communication, la responsabilité formelle des actions), les politiques (directives officielles qui guident les décisions du management pour l'embauche, le licenciement, les promotions, les augmentations de salaire, les congés-maladie, les drogues et l'alcool, les heures supplémentaires, les enquêtes sur les accidents et l'utilisation des exigences de sécurité), et la culture (règles officieuses ou tacites, les valeurs, les attitudes, les croyances et les coutumes d'une organisation).<br>Les processus opérationnels sont les processus formels (rythme opérationnel, les contraintes de temps, les quotas de production, les systèmes d'incitation, les horaires, etc.), les procédures (normes de rendement, les objectifs, la documentation, etc.) et la surveillance au sein de l'organisation (capacité d'auto-évaluation de l'organisation, gestion des risques, mise en place et utilisation de programmes de sécurité). Dans le secteur du transport maritime, cette catégorie comprend le système de gestion de la sécurité (SGS ou SMS). Selon le code ISM, chaque entreprise doit en effet développer, mettre en œuvre et maintenir un système de gestion de la sécurité qui comporte les modalités pratiques suivantes :<br>a) une politique en matière de sécurité et de protection de l'environnement ;<br>b) des instructions et procédures propres à garantir la sécurité de l'exploitation des navires et la protection de l'environnement, conformément à la réglementation internationale et la législation de l'État du pavillon ;<br>c) une hiérarchie et des moyens de communication permettant aux membres du personnel de bord de communiquer entre eux ainsi qu'avec les membres du personnel à terre ;<br>d) des procédures de notification des accidents et des non-conformités avec les dispositions du présent code ;<br>e) des procédures de préparation et d'intervention pour faire face aux situations d'urgence ;<br>f) des procédures d'audit interne et des revues de direction. |
| DEFAUTS DE SUPERVISION | Les autorités de supervision doivent fournir directives, possibilités de formation, leadership et motivation. Dans le secteur du transport maritime, la supervision se réfère à deux niveaux hiérarchiques différents : (a) Les personnes à terre qui ont, selon le code ISM, la responsabilité et l'autorité pour surveiller les aspects de sécurité et de prévention de la pollution dans l'exploitation de chaque navire et pour assurer au navire des ressources adéquates et un soutien approprié à terre, le cas échéant ; (b) Le capitaine qui a la responsabilité à bord de mettre en œuvre la politique de sécurité et de protection de l'environnement de la compagnie et de motiver l'équipage dans la mise en œuvre de cette politique.<br>Le leadership inadéquat consiste à ne pas, ou ne pas suffisamment, donner des directives et/ou une doctrine opérationnelle ; il consiste aussi en l'incapacité à assurer la surveillance, la formation, le suivi des qualifications et de la performance.<br>La planification d'opérations inappropriées se rapporte à l'affectation incorrecte des membres d'équipage aux tâches ainsi qu'à une mauvaise planification opérationnelle (effectifs, temps de repos). Le superviseur a omis de fournir des données correctes ou un temps de briefing suffisant. La mission n'est pas définie en conformité avec les |

| | |
|---|---|
| FACTEURS PREDISPOSANT AUX ACTES DANGEREUX | règles ; la vitesse, par exemple, peut être excessive à l'égard des conditions environnementales ; l'effectif peut être insuffisant au regard de ces conditions.<br>Le défaut de correction de problèmes connus se produit lorsque les défaillances d'individus, d'équipements, de formation, ou d'autres domaines connexes sont connues du superviseur, mais sont laissées en l'état sans remédiation.<br>Les violations de supervision sont les cas où les règles existantes, règlements, instructions ou procédures d'exploitation normalisées sont délibérément ignorées par les leaders dans l'exercice de leurs fonctions.<br><br>Les facteurs environnementaux se réfèrent aux caractéristiques de l'environnement physique et technologique.<br>En ce qui concerne l'environnement physique, ce sont : la visibilité, l'éclairage, la présence de phénomènes hydrodynamiques (tels que l'effet de succion / renvoi de la berge d'une rivière). L'environnement technologique concerne des défauts de conception de la passerelle, de l'instrumentation (présence ou absence de radar ARPA), ou dans l'utilisation des instruments.<br>La mauvaise condition mentale des opérateurs regroupe les conditions mentales qui nuisent à la performance : perte de conscience de la situation, fatigue mentale, défaut d'attention, troubles du rythme circadien, surconfiance, motivation déplacée.<br>La mauvaise condition physique concerne des anomalies physiologiques, pharmacologiques et médicales connues pour affecter la performance.<br>Les limites physiques et / ou mentales. Cette catégorie comprend les cas où les individus n'ont pas les connaissances, les aptitudes, les compétences ou le temps de traiter en toute sécurité des informations.<br>Les mauvaises pratiques de l'opérateur. La mauvaise gestion des ressources du navire (SRM) inclut le défaut de communication à la fois intra et inter-passerelles, avec le pilote, avec d'autres navires ou avec la terre. Cette catégorie comprend également les cas où les membres d'équipage ne travaillent pas ensemble comme une équipe ou lorsque les personnes directement responsables de la conduite des opérations ne parviennent pas à coordonner les activités.<br>La mauvaise préparation personnelle concerne les cas où un individu ne s'est pas préparé physiquement et mentalement pour le service : respect des obligations de repos de l'équipage, excès d'exercice physique de loisir, automédication, consommation d'alcool ou de psychotropes. |
| ACTES DANGEREUX | Au niveau des opérateurs de première ligne (ceux qui produisent l'activité), les défaillances actives, qui comprennent les actions et les décisions opérateur, ont une influence directe sur la survenue des accidents.<br>Les violations de routine sont des comportements qui montrent un mépris habituel des règles et des règlements. Par exemple, un tracé de route passant trop près des dangers, une vitesse excessive dans la brume. Elles sont le symptôme d'une faible culture de sécurité.<br>La violation exceptionnelle est une dérogation « extra-ordinaire » à une pratique respectueuse des règles, assez souvent commise dans le but d'accomplir au mieux la tâche. Elle est dans ce cas la correction « en temps réel » apportée par l'opérateur de première ligne à une défaillance latente dans le système.<br>Les erreurs de décision se traduisent par des séquences d'actions conformes aux intentions des opérateurs, mais qui se révèlent insuffisantes ou inadaptées à la situation.<br>Les erreurs de routine se produisent avec peu ou pas de pensée consciente. Elles sont liées à un comportement (trop) automatique. À bord d'un navire, c'est par exemple un timonier qui se trompe en exécutant un ordre de barre.<br>Les erreurs de perception : lorsqu'une information ou un signal n'a pas été perçu, il ne peut être traité par le cerveau. Certains cas d'abordage montrent que l'équipe de passerelle n'a pas perçu l'autre navire, ou l'a perçu trop tard (TCPA ≤ 1 min). |

**Tableau 9 - Description des catégories causales HFACS-Coll**

### 5.3.2 Rapports d'enquête sur les abordages

Les rapports utilisés dans cette analyse ont été obtenus à partir de deux sources distinctes : 6 rapports d'enquête produits par le Bureau de la sécurité des transports (BST) du Canada et 21 rapports d'enquête rédigés par le Marine Accident Investigation Branch (MAIB) du Royaume-Uni. Comme expliqué précédemment, les enquêteurs du BST et du MAIB prennent en compte les facteurs humains et organisationnels mais ils ont leurs propres méthodes d'enquête et ne semblent pas utiliser pour l'instant le HFACS.
Un total de 27 abordages, de 1998 à 2012, a été considéré. Ces accidents ont impliqué deux navires marchands ou un navire marchand et un bateau de pêche.

### 5.3.3 Le processus de codage

Le processus de codage concerne 39 navires impliqués dans ces 27 abordages. Ces navires étaient des navires de commerce supérieurs à 500 UMS[56], pour lesquels la mise en application du code ISM est une obligation. Deux experts familiers avec les HFACS ont effectué un codage séparément. En cas de désaccord, une discussion a eu lieu afin de parvenir à un consensus. Seuls les facteurs qui ont été explicitement mentionnés dans les rapports ont été examinés et classés suivant le HFACS afin d'éviter des interprétations subjectives.

### 5.3.4 L'analyse statistique

Un test du chi-2 a été utilisé pour identifier un lien significatif entre les facteurs pris en compte deux par deux. Une analyse des correspondances multiples (ACM) a été effectuée pour détecter des patterns de facteurs contributifs expliquant les abordages. Elle a été complétée par une classification hiérarchique visant à constituer différentes catégories de navires, et par la construction d'un arbre de classification.
L'analyse des correspondances multiples est une technique géométrique d'analyse de données ; elle est aux variables qualitatives ce que l'analyse en composantes principales est aux variables quantitatives. Elle permet en effet d'aboutir à des cartes de représentation sur lesquelles on peut visuellement observer les

[56] UMS : unité de jaugeage des navires qui s'est substituée aux anciennes jauges brute et nette.

proximités entre les catégories des variables qualitatives et les observations. Elle est particulièrement adaptée à l'analyse des ensembles de données constitués par un nombre modéré d'individus et un nombre relativement important de variables (Burt, 1950) ; (Greenacre & Blasius, 2006); (Le Roux & Rouanet, 2004). La classification hiérarchique est une technique de regroupement qui vise à classer les unités statistiques dans une hiérarchie de groupes (Hastie, Tibshirani & Friedman, 2009).

L'apprentissage par arbre de classification est une méthode de data-mining. Elle cherche à prédire la classe à laquelle appartiennent les données, en fonction de plusieurs variables d'entrée (Hastie, ibid).

Les différentes analyses présentées dans ce chapitre ont été réalisées par un statisticien de l'UBS en utilisant les packs R FactoMineR (Agrocampus Rennes Applied Math Dept, 2008) et rpart (The R Development Core Team, 2012).

## 5.4 RESULTATS

Les navires impliqués dans les abordages étaient des cargos (9), des porte-conteneurs (9), des navires-citernes (8), des navires à passagers (6), des vraquiers (5) et des navires entrant dans une catégorie « autre » (2). La plupart d'entre eux (87%) étaient de taille moyenne (de 500 à 24999 UMS[57]). Sur les 39 navires impliqués, 21 navires (54%) naviguaient en eaux libres (eaux côtières, dispositif de séparation du trafic, ou haute mer). Tous les abordages en eaux libres ont été étudiés par le MAIB. Les 18 navires restants (46%) naviguaient en eaux resserrées (rivières ou chenaux), et 11 d'entre eux étaient sous la conduite d'un pilote. Pour 9 de ces navires, l'accident a été étudié par le BST et pour 9 par le MAIB. Le tableau 2 récapitule le nombre (et le pourcentage) de navires concernés par chaque facteur et chaque catégorie de facteur.

[57] UMS : Universal Measurement System : Système de jaugeage des navires, résultat d'un calcul prenant en compte de nombreux critères. 1 « UMS » est une unité « sans dimension », on ne peut la rapporter à une masse ou une longueur, par exemple.

| | Nombre de navires pour lesquels le facteur est mentionné et pourcentage N=39 (100%) | Eaux resserrées N=18 | DST et eaux libres N= 21 |
|---|---|---|---|
| **1- Actes dangereux** | **39** | **18** | **21** |
| Erreurs | | | |
| • De routine | 0 | | |
| • De décision | 32 (82.05%) | 17 | 15 |
| • De perception | 6 (15.38%) | 1 | 5 |
| Violations | | | |
| • De routine | 1 (2.56%) | 0 | 1 |
| • Exceptionnelles | 0 | | |
| **2- Facteurs prédisposant aux actes dangereux (*preconditions*)** | **36 (92.30%)** | **18** | **18** |
| 2-1 Facteurs environnementaux | **32 (82.05%)** | **15** | **17** |
| • Environnement physique | | | |
| ○ Phénomènes hydrodynamiques | 5 (12.82%) | 5 | 0 |
| ○ Visibilité ou éclairage | 22 (56.41%) | 12 | 10 |
| • Environnement technologique | | | |
| ○ Conception navire / passerelle | 4 (10.25%) | 2 | 2 |
| ○ Mauvaise utilisation des instruments | 19 (48.71%) | 5 | 14 |
| ○ Panne radar | 2 (5.12%) | 0 | 2 |
| 2-2 Conditions des opérateurs | **24 (61,54%)** | **12** | **12** |
| • Mauvaise condition mentale | | | |
| ○ Perte de conscience de la situation | 13 (33.33%) | 6 | 7 |
| ○ Défaut d'attention/ charge de travail excessive | 12 (30.77%) | 6 | 6 |
| ○ Surconfiance | 6 (15.38%) | 2 | 4 |
| • Mauvaise condition physique | | | |
| ○ Fatigue | 5 (12.82%) | 0 | 5 |
| • Limites physiques et mentales | | | |
| ○ Anomalies médicales | 1 (2.56%) | | |
| ○ Connaissances insuffisantes | 8 (20.51%) | 5 | 3 |
| 2-3 Mauvaises pratiques des opérateurs | **23 (58,97%)** | **17** | **6** |
| • SRM | | | |
| ○ Inter-ship communication | 19 (48.71%) | 14 | 5 |
| ○ BRM | 15 (38.46%) | 12 | 3 |
| • Préparation personnelle | | | |
| ○ Alcool | 1 (2.56%) | 1 | |
| **3- Défaut de supervision** | **23 (58.97%)** | **6** | **17** |
| • Leadership inadéquat | 2 (5.12%) | 0 | 2 |
| • Planification d'opérations inappropriées | 20 (51.28%) | 6 | 14 |
| • Défaut de correction de problème connu | | | |
| • Violations de supervision (non-respect du SMS) | 13 (33.33%) | 3 | 10 |
| **4- Influences organisationnelles** | **21 (53.85%)** | **8** | **13** |
| • Gestion des ressources | 6 | 3 | 3 |
| • Climat organisationnel | | | |
| • Processus organisationnel | | | |
| ○ SMS incomplet | 14 (36.84%) | 7 | 7 |
| ○ Audit défaillant | 4 (10.25%) | 0 | 4 |
| **5- Facteurs extérieurs** | **6 (15.38%)** | 3 | 3 |

**Tableau 10 : Nombre et pourcentage de navires par facteur**

### 5.4.1 Actes dangereux

Les actes dangereux sont divisés en deux catégories principales : les erreurs de décision (82%) et les erreurs de perception (15%). Les erreurs de décision peuvent apparaître dans les différentes étapes du processus de décision : lors du diagnostic ou pendant la phase de planification de l'action.

Comme indiqué précédemment (Cf. Tableau 9), « erreur de perception » signifie que les membres d'équipage à bord d'un navire n'ont pas perçu l'autre navire ou l'ont perçu très tard (TCPA[58] ≤ 1 minute). Les erreurs de routine sont absentes ; il s'agit des erreurs liées aux « *activités basées sur des habitudes (skill-based behaviour), qui permettent l'exécution de travaux routiniers avec un très faible contrôle attentionnel* » (Amalberti, 2001). Une seule violation a été relevée, quand l'officier de quart à bord d'un chimiquier a quitté temporairement la passerelle pour aller dans sa cabine.

### 5.4.2 Facteurs prédisposant aux actes dangereux

Les facteurs prédisposant aux actes dangereux comprennent trois catégories : les facteurs environnementaux, la condition des opérateurs et les facteurs comportementaux. Pour 36 navires (92,30%) les rapports ont mentionné au moins un de ces facteurs.

#### 5.4.2.1 Les facteurs environnementaux

Les facteurs environnementaux sont liés à l'environnement physique et à l'environnement technologique. Dans cette catégorie, deux facteurs sont prédominants : la visibilité (56,51%) - visibilité réduite par la brume ou insuffisance d'un éclairage extérieur - et l'utilisation (non-utilisation ou mauvaise utilisation) des principaux instruments (48,71%). Les phénomènes hydrodynamiques sont toujours liés aux collisions survenant en eaux resserrées, ainsi qu'à la présence d'un pilote à bord.

[58] TCPA : Time to Closest Point of Approach, délai avant le point de rapprochement maximum. Les navires s'étant abordés, il s'agit ici du délai avant la collision.

### 5.4.2.2 La condition physique et mentale des opérateurs

Les principaux facteurs sont un défaut de conscience de la situation (33,33%), un manque d'attention (30,77%), et un défaut de connaissance ou de savoir-faire (20,51%).

La conscience de la situation (*Situation Awareness*) a été définie comme « la perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace (niveau 1), la compréhension de leur signification (niveau 2) et la projection de leur statut dans l'avenir proche (niveau 3) » (Endsley 1995, p. 36). Appliquée aux activités anticollision, elle devrait couvrir – une fois l'autre navire perçu – la perception de sa trajectoire (cap et vitesse), la compréhension de la situation (est-ce une situation de rattrapage, de routes opposées ou de croisement), l'évaluation des risques, l'identification de la cible, et la prédiction de la manœuvre future de l'autre navire (Chauvin et al., 2008). Dans les rapports étudiés, il convient de noter que cette notion est souvent utilisée par les enquêteurs avec une acception plus restrictive ne couvrant que les niveaux 1 et 2 de la définition d'Endsley, c'est-à-dire la perception des éléments et compréhension de la situation présente, comme cela est explicitement mentionné dans les rapports : « *il n'a pas eu une bonne appréciation de la position ou des mouvements de l'autre navire* », « *il a perdu conscience de la position et la vitesse relative du navire* », « *il avait interprété la situation de navire en route opposée comme une situation de navire rattrapé* ».

### 5.4.2.3 Les mauvaises pratiques des opérateurs

Cette catégorie est divisée en deux sous-facteurs importants : les communications entre navires (48,71%) et la gestion des ressources de la passerelle (38,46%). Le défaut de préparation personnelle (lié, notamment, à l'influence de l'alcool) n'apparaît, quant à lui, que dans un seul cas.

La communication inter-navires peut impliquer deux équipes de passerelle, ou deux pilotes, ou une équipe de passerelle (avec ou sans pilote) et le service de trafic maritime (VTS[59]). Les problèmes sont principalement liés à des ambiguïtés ou des malentendus ou à une absence de communication pertinente entre deux

[59] VTS : Système de surveillance du trafic maritime, analogue au système de contrôle aérien. Le VTS informe le capitaine du navire, mais ce dernier reste libre de ses décisions, alors que dans le contrôle aérien, même si le commandant de bord reste en dernier ressort le maître de ses décisions, dans les faits, sauf situation exceptionnelle, le contrôle impose ses choix.

pilotes pendant qu'une situation dangereuse se développe. Ils peuvent être liés aussi à l'utilisation des téléphones mobiles entre deux pilotes, ces dispositifs ne permettant pas aux capitaines d'entendre l'intégralité de l'échange.

La mauvaise gestion des ressources passerelle (BRM, Bridge Resource Management) comprend les problèmes de coordination et des problèmes de communication entre les membres de l'équipage. Les défauts de BRM sont liés à la pauvreté des modèles mentaux partagés et de la conscience partagée de la situation au sein de l'équipe de passerelle. Selon Salas et al. (Salas, Rosen, Shawn Burke, Nicholson & Howse, 2007) les modèles mentaux partagés consistent en des connaissances qui permettent une communication en boucle fermée, un contrôle mutuel de l'activité et une attitude de soutien et d'adaptation. Les défauts de BRM portent sur quatre aspects :

- L'absence de communication en boucle fermée :

> Il y avait un matelot de veille philippin sur la passerelle, mais il n'était pas dans les habitudes des officiers de parler aux veilleurs. Lorsque le veilleur signala un feu rouge sur tribord, puis dit qu'il quittait la passerelle pour faire les rondes de sécurité, l'officier de quart ne fit aucun commentaire, ce qui n'était pas anormal. Ne recevant aucun accusé de réception, le veilleur ne put se rendre compte qu'en fait l'officier n'avait pas entendu.

- L'absence de contrôle mutuel de l'activité, spécialement entre capitaine et le pilote.
- La répartition inadéquate des tâches, compte tenu de la charge de travail de chaque membre de l'équipage.
- L'absence de soutien de la part des membres de l'équipe, surtout quand un pilote est à bord, par exemple, *« le pilote n'a pas été proactif dans la demande de soutien, et ni le capitaine ni l'officier de quart n'a pris les devants en fournissant un soutien au pilote, ce qui a entrainé une charge de travail inutilement élevée pour le pilote ».*

La conscience de la situation est partagée quand tous les membres de l'équipe ont conscience de la situation actuelle, connaissent les buts et les plans actuels, ainsi que le rôle et les responsabilités de chacun. Elle exige de communiquer sur tous ces aspects. Les défauts de BRM concernent les éléments suivants :

- Le manque de communication sur les principales caractéristiques de la situation actuelle (au cours du quart, mais aussi pendant la passation de quart), par exemple une diminution graduelle de la visibilité ou l'utilisation

d'un angle inhabituel de barre pour maintenir le cap désiré. Cette information doit être donnée par l'officier de quart au capitaine, ou par le timonier à l'équipe de passerelle. Le pilote doit également informer le capitaine afin que ce dernier ait une évaluation complète de la situation.

- Un briefing et un échange insuffisant entre le capitaine et le pilote sur le rôle de chacun et en particulier sur qui est formellement en charge de la manœuvre du navire.

Il existe un lien entre les carences de BRM et la localisation de l'accident, $\chi 2$ (1, 39 = 10,58, $p$ <.01) ainsi qu'entre les communications entre navires et la localisation de l'accident, $\chi 2$ (1, 39 = 10,55, $p$ <.01). Ces deux facteurs sont plus souvent impliqués dans des collisions se produisant en eaux resserrées qu'en eaux libres.

Il y a aussi une forte corrélation entre la présence d'un pilote à bord et le facteur BRM, $\chi 2$ (1, 39 = 11,06, $p$ <.001) ainsi qu'entre la présence d'un pilote à bord et le facteur communication inter-navires, $\chi 2$ (1, 39 = 9,8, $p$ <.001).

### 5.4.3 Défaut de supervision

Dans le domaine maritime, le niveau de leadership (ou de supervision) doit être divisé en différents sous-niveaux. Le chef direct de l'équipage est le capitaine, mais lui-même reçoit des ordres et des ressources des superviseurs situés à terre. Toutefois, dans les rapports d'accident, le défaut de leadership semble concerner les choix du capitaine. Il concerne principalement la planification d'opérations inappropriées (51,28%) : insuffisance de personnel sur la passerelle, vitesse trop élevée compte tenu des conditions environnementales (visibilité ou densité de trafic). Dans 33,33% des cas, ces choix sont faits sans tenir compte des règles existantes ou du système de gestion de la sécurité de l'entreprise (SMS). La supervision inadéquate apparaît dans deux cas : un capitaine qui n'a pas suffisamment incité le premier lieutenant à suivre les procédures de navigation en vigueur dans la compagnie et un capitaine qui n'a pas laissé de consignes écrites pour la nuit.

Il existe un lien entre la planification d'opérations inappropriées et la localisation de l'accident, $\chi 2$ (1, 39 = 5.11, $p$ <.03), ainsi qu'entre non-respect des SMS et la localisation de l'accident, $\chi 2$ (1, 39 = 4,68, $p$ <.05 . Ces deux facteurs sont plus souvent impliqués dans des abordages au large que dans des eaux resserrées. Il

existe également un lien entre les opérations inappropriées et le non-respect du SMS, $\chi 2$ (1, 39 = 4.67, $p$ <.05).

### 5.4.4 Influences organisationnelles

Plusieurs rapports d'enquête sur un abordage font mention d'influences organisationnelles. Ces facteurs sont liés :

- à la gestion des ressources (6 cas), quand l'armement (c'est-à-dire le nombre de personnes à bord) du navire n'est pas suffisant (1 cas), lorsque la compagnie de navigation a omis de fournir une formation initiale ou de rafraîchissement adéquate pour ses capitaines ou ses officiers pont (3 cas) ou lorsque la société n'avait pas de système formel d'évaluation des performances de ses capitaines (2 cas).
- aux processus opérationnel (18 cas), quand le SMS est incomplet ou que le processus d'audit d'évaluation du SMS a montré son inefficacité.

### 5.4.5 Facteurs extérieurs

Les facteurs extérieurs apparaissent très rarement et sont hétérogènes. Les rapports d'enquête ne font aucune référence à des failles dans la réglementation en vigueur. Les facteurs extérieurs concernent :

- L'administration. Un rapport mentionne que l'échec des administrations à freiner la tendance à diminuer les effectifs à bord a entraîné des niveaux d'effectifs non sûrs (unsafe).
- Les règles informelles qui prévalent au sein de l'environnement extérieur. Dans certains domaines, des « règles non écrites » existent concernant les actions des navires. Ces règles créent des attentes. Dans le dispositif de séparation du trafic (DST) du Pas de Calais, une « règle non écrite » existe concernant la manœuvre des ferries ou des navires à grande vitesse (NGV) (Chauvin & Lardjane, 2008) ; en particulier, il est convenu que le NGV manœuvre pour s'écarter dans tous les cas. Obéissant à cette règle, les officiers de quart peuvent entreprendre des actions en infraction avec les règles formelles (COLREGs). Un rapport mentionne ces règles informelles.
- Les pratiques convergentes. Les enquêteurs du MAIB ont montré que de situations dangereuses se créent sur la voie sud-ouest du DST du Pas de

Calais parce que des navires de vitesses très différentes suivent les mêmes trajectoires. Ces routes sont programmées dans le GPS qui est aujourd'hui un appareil précis à quelques mètres près. L'utilisation de ces trajectoires crée à certains endroits une concentration dangereuse du trafic. Des constats similaires ont été faits dans l'aviation civile depuis l'apparition du GPS aviation. Ce facteur semble être central dans l'un des 27 abordages étudiés.

- L'utilisation de documents non mis à jours pour la planification de traversée. Ces documents étaient des plans de port ou des cartes marines.
- Le règlement de sécurité du port quand il n'existe aucune norme nationale pour la formation des capitaines détenteurs de certificats d'exemption de pilotage.

### 5.4.6 Mise en évidence de patterns de facteurs contributifs

Afin de mettre en évidence des patterns de facteurs contributifs, une analyse des correspondances multiples (ACM) a été réalisée (cf. Figure 25). Cette analyse a été menée avec les principales variables (variables avec plus de 10 observations par modalité). Celles-ci sont mentionnées dans le tableau 11 :

| Variable | Signification | Type de facteur |
|---|---|---|
| Vis | Visibilité | Facteurs prédisposants |
| Ins | Mauvaise utilisation des instruments | |
| Com | Défaut de communication inter-navire | |
| Brm | Défaut de BRM | |
| Awa | Perte de conscience de la situation | |
| Att | Manque d'attention | |
| Op | Opérations inappropriées | Leadership |
| Sms | Non respect du SMS | |
| Inc | SMS incomplete | Organisationnel |
| Pil | Pilote à bord | Autre |
| Loc | Localisation | |

**Tableau 11 : Variables utilisées dans l'ACM figure 25**

Visibilité (mauvaise, correcte), mauvaise utilisation des instruments (oui, non), perte de conscience de la situation (oui, non), manque d'attention (oui, non), problèmes de communication entre navires (oui, non), BRM (oui, non), planification d'opérations inappropriées (oui, non), violations de supervision (oui, non), SMS incomplet (oui, non).

Deux variables situationnelles ont été ajoutées : la localisation et la présence / absence d'un pilote. Le cas impliquant une violation été exclu de cette analyse. L'ACM a donc été réalisée sur 38 cas.

Toutes les variables utilisées dans l'analyse sont résumées dans le tableau 11.

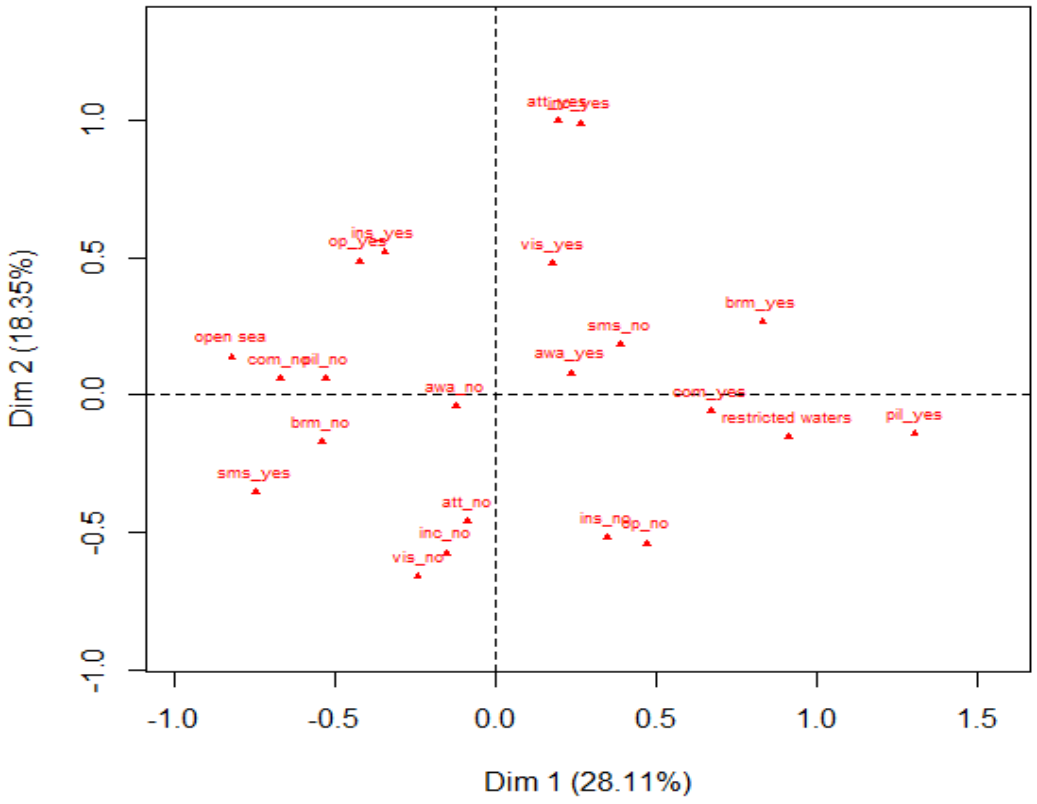



**Figure 25 - ACM sur les principales variables de la base de données,**

L'axe 1 explique 28,10% de l'inertie. Il est déterminé par loc, pil, BRM, com, sms, op, et ins. Il oppose les modalités suivantes : SMS (non), loc (eaux restreintes), pil (oui), BRM (oui), com (oui), op (non), ins (non), sur le côté positif, aux modalités opposées sur le côté négatif.

Pour les navires concernés, l'axe 1 oppose :

- les navires qui ont connu une collision en eaux resserrées, avec un pilote à bord, ayant des problèmes de communication inter-navires, un défaut de

BRM, avec une bonne utilisation des instruments, des opérations appropriées et en conformité avec le SMS,

- aux navires qui ont connu une collision au large, sans pilote à bord, avec des opérations inappropriées, un non-respect du SMS et aucune utilisation ou la mauvaise utilisation d'instruments.

Cet axe oppose des facteurs de communication et de coordination à des facteurs opérationnels (facteurs de personnel, facteurs de supervision).

L'axe 2 explique 18,35% de l'inertie. Il est déterminé par les variables suivantes: ins (pas d'utilisation ou mauvaise utilisation des instruments), op (opérations inappropriées), att (déficit de l'attention), vis (visibilité) et inc (SMS incomplet). Il oppose :

- les modalités inc (oui), att (oui), vis (oui), ins (oui), op (oui) sur le côté positif,
- aux modalités opposées sur le côté négatif.

Pour les navires concernés, l'axe 2 oppose :

- les navires subissant un abordage dans des conditions de mauvaise visibilité, où les instruments ne sont pas utilisés ou mal utilisés, où les choix liés à la vitesse et / ou les effectifs étaient inappropriés en fonction des conditions régnantes, où la veille était insuffisante et où le SMS était incomplet,
- aux navires qui ont connu une collision dans les conditions opposées.

Cet axe permet de quantifier les problèmes de veille, opérationnels et d'organisation.

Ensemble, ces deux axes expliquent plus de 46% de la variabilité des données (cf. Figure 25).

Un regroupement hiérarchique a été réalisé à partir des coordonnées des individus sur tous les axes. L'analyse met en évidence trois différentes catégories d'accidents (voir Figure 26 et Figure 27).

La catégorie 1 (accidents dus aux mauvaises pratiques) fait référence aux navires subissant un abordage en eaux resserrées, avec un pilote à bord et une visibilité plutôt mauvaise, où des problèmes de communication et de coordination ont été observés, sans problème de leadership. Elle est intimement liée à l'axe 1 et se compose de 16 individus. Elle distingue 16 navires où les facteurs liés à des

problèmes de leadership n'ont pas joué un rôle, mais où les problèmes de communication et de coordination ont été les principales causes de l'accident.

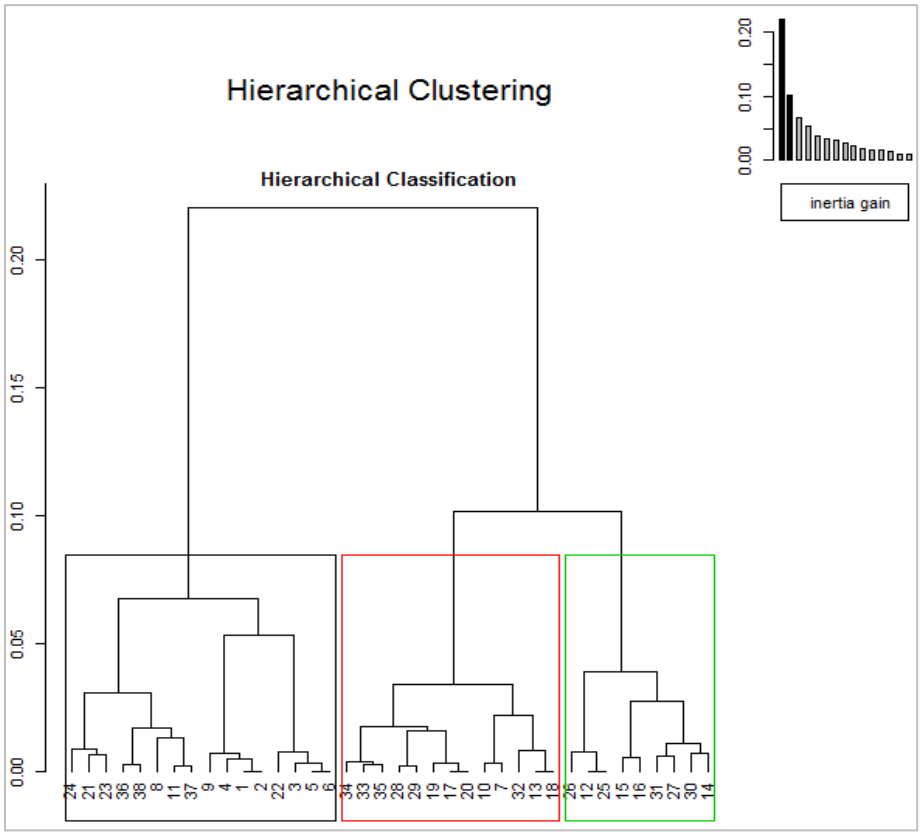



**Figure 26 : Regroupement hiérarchique.**

La catégorie 2 (accidents dus au leadership) est relative aux navires entrant en collision au large, sans pilote à bord, avec une bonne visibilité. Sur la passerelle de ces navires, il n'y avait pas de problèmes de communication ou de coordination et aucun problème d'attention. Le SMS était complet, mais n'a pas été respecté. Cette catégorie est fortement liée aux axes 1 et 2 et se compose de 13 individus. Elle distingue 13 navires en bonnes conditions opérationnelles mais pour lesquels le non-respect du SMS a été la cause principale de l'accident.

La catégorie 3 (accidents opérationnels) fait référence aux navires s'abordant au large, sans pilote à bord, dans des conditions de mauvaise visibilité. A bord de ces navires, le SMS était incomplet, les instruments ont été mal utilisés ou pas utilisés du tout, et des opérations inappropriées ont été observées. Cette catégorie est fortement liée à l'axe 2 et distingue 9 navires où la mauvaise utilisation des instruments et les problèmes opérationnels sont importants.

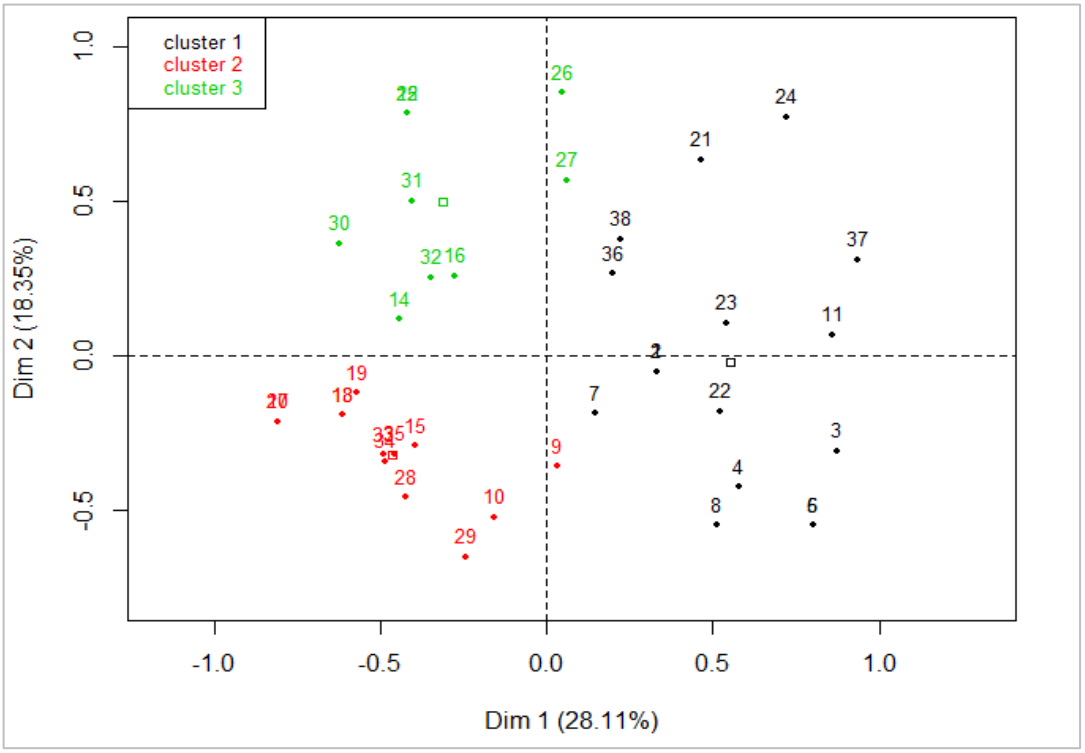



**Figure 27 : Regroupements projetés sur le plan factoriel.**

Un arbre de classification (voir Figure 28) montre les variables qui expliquent le mieux la répartition des navires dans les différentes catégories parmi awa, BRM, com, sms, inc, op, att, et ins. Ce sont : BRM et inc (SMS incomplet). Chaque feuille de l'arbre correspond à une catégorie. Le côté gauche de chaque branche correspond à un « oui » à la question à la racine, le côté droit correspond à un « non ». Sous chaque feuille, le nombre d'éléments de chaque catégorie apparaît ; 12/1/2 signifie qu'il y a 12 accidents appartenant à la première catégorie, un appartenant à la deuxième catégorie et 2 à la troisième catégorie. La présence de défauts liés au BRM semble être une caractéristique de la première catégorie. La 2e catégorie est bien caractérisée par l'absence de défauts liés au BRM et la présence d'un SMS complet mais non respecté. La 3e catégorie est raisonnablement caractérisée par l'absence de problèmes de BRM et par la présence d'un SMS incomplet.

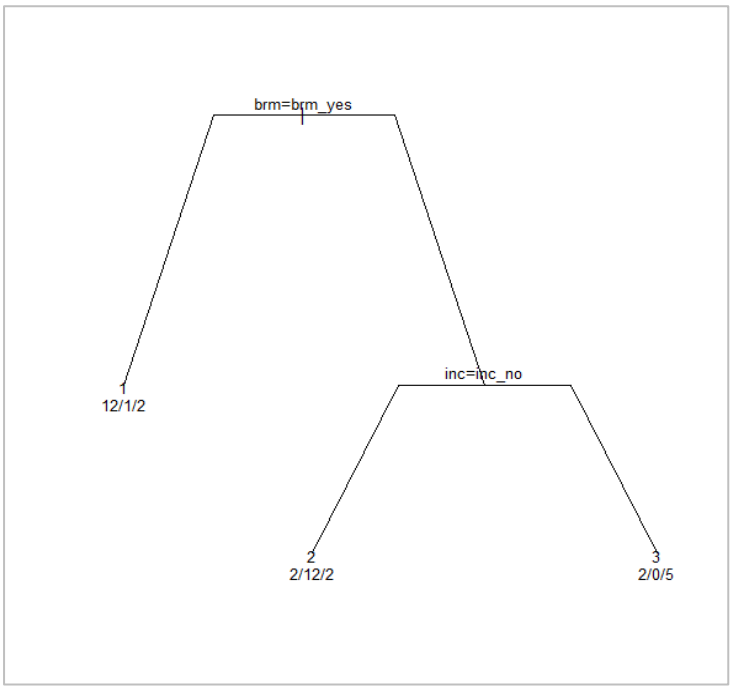



**Figure 28 : Arbre de classification**

## 5.5 DISCUSSION ET CONCLUSION

Ce document présente une analyse de 27 cas récents d'abordages impliquant 39 navires, utilisant l'outil HFACS. L'utilisation du HFACS-Coll pour analyser les abordages en mer a permis la mise en évidence de résultats importants concernant les principaux facteurs contributifs de ces accidents et a révélé l'existence de patterns de facteurs contributifs. Ces résultats confirment les résultats obtenus dans d'autres études portant sur le même sujet. Cette étude a ses limites. Elle a également des implications pratiques.

### *5.5.1 Les principaux facteurs contributifs des collisions*

Considérant le premier niveau, on peut remarquer que les erreurs de routine sont absentes et que les violations sont exceptionnelles. Les actes dangereux sont essentiellement liés à la prise de décision (85%) tandis que la non-perception de l'autre navire concerne 15% des navires en cause dans les 27 collisions. Au niveau des facteurs prédisposant, l'analyse met en évidence la mauvaise visibilité et la mauvaise utilisation des instruments comme principaux facteurs environnementaux. Les conditions visuelles (mauvaise visibilité et l'éclairage insuffisant) semblent être aussi les principaux facteurs contribuant aux accidents

de train (Reinach & Viale, 2006) ainsi qu'aux accidents de l'aviation commerciale (Shappell et al., 2007). Le rapport MAIB soulignait, quant à lui, également le rôle de la mauvaise utilisation ou de l'insuffisante utilisation du radar en cas de collision (MAIB, 2004).

En ce qui concerne la condition physique et mentale des opérateurs, la perte de conscience de la situation et le manque d'attention semblent être des éléments majeurs. Une conscience inappropriée de la situation est souvent à l'origine d'une mauvaise décision. Le manque d'attention est synonyme d'une veille inefficace. De son côté, le défaut de veille se produit parce que plusieurs tâches sont souvent effectuées sur la passerelle : la navigation et l'anticollision, mais aussi des tâches administratives. Des études antérieures ont montré que le défaut de veille est une cause majeure dans les abordages (MAIB, Ibid).

Deux « mauvaises pratiques » des opérateurs sont des éléments cruciaux : les communications entre navires et le BRM. Ils traitent tous deux de communication, de coordination et de conscience partagée de la situation. Des défaillances de BRM sont impliquées dans plus d'un tiers des abordages étudiés. Le BRM est un facteur contributif de l'accident quand il ne joue pas son rôle de « barrière » pour éviter les accidents.

Au niveau du leadership, l'analyse révèle la planification fréquente d'opérations inappropriées. En d'autres termes, les instructions données à l'équipe de passerelle étaient inappropriées, compte tenu des exigences de la situation (mauvaise visibilité ou trafic dense). Elles ont parfois été en contradiction directe avec le SMS. Dans ce cas, ces instructions constituent également des violations. Elles peuvent révéler une certaine difficulté pour les capitaines de navire à adapter leurs instructions à une situation changeante. Elles peuvent aussi révéler une culture de sécurité pauvre.

Au niveau organisationnel, un problème de SMS ou une défaillance du processus d'audit effectué à bord concernaient 47% des navires en cause dans les abordages. Le SMS et les audits sont relativement nouveaux dans le domaine maritime, à la différence de l'aviation civile où les audits dans le cockpit font partie du paysage depuis les années 1990. Le programme LOSA, Line Operations Safety Audit, c'est-à-dire l'observation dans le cockpit d'un vol commercial complet est un prolongement des formations CRM, Cockpit Resource Management, puis Crew (tout l'équipage de l'avion) Resource Management, mises en place dans les années

1980. Ces audits visent à améliorer la sécurité et fournir un aperçu du *pourquoi* l'équipage a fait ce qu'il a fait (Helmreich, 2002). Un expert (commandant de bord) accompagne l'équipage pendant tout le vol et collecte des données issues de l'observation dans le cockpit. Cette observation de l'activité opérationnelle est beaucoup plus précieuse que l'audit des processus (vérification des documents attestant ce que l'activité est censée être), car les enquêtes montrent parfois un écart considérable entre les vœux pieux du système qualité de la compagnie et la vie réelle.

Tout à fait en amont, peu de facteurs extérieurs ont été cités. Ils sont néanmoins très importants car ils influencent des décisions importantes prises en aval : les décisions prises par la compagnie en ce qui concerne l'effectif mis à bord sont conformes aux décisions d'effectif prises par l'administration pour le navire concerné ; par ailleurs, les décisions prises par le capitaine concernant le choix d'une route osent rarement aller contre les directives des sociétés de routage auxquelles font appel les armateurs aujourd'hui.

Enfin, il faut souligner que tous les niveaux du HFACS ne sont pas également représentés. Les rapports d'enquête contiennent plus d'éléments appartenant au niveau le plus en aval, celui des opérateurs de première ligne (les facteurs prédisposant aux actes dangereux sont mentionnés dans 92,30% des cas) que d'éléments relatifs à la supervision ou à l'organisation ; le climat organisationnel et la culture de sécurité, en particulier, ne sont jamais mentionnés. Schröder-Hinrichs et al. (2011) ont fait le même constat à l'issue de leur examen de 41 rapports d'enquêtes sur les incendies et les explosions à la machine, en utilisant le HFACS.

Nous pourrions poser la même question que Shappell et al. (2007) :

> *« Les données sur les accidents actuels reflètent-elles l'ampleur des problèmes d'organisation / supervision ou est-il possible que les problèmes liés au management intermédiaire et à la direction de l'entreprise ne soient pas signalés ?» (p. 236).*

What-You-Look-For-Is-What-You-Find. Les enquêteurs sont en grande majorité d'anciens navigants, et recherchent les causes dans les domaines qu'ils connaissent. Sont-ils dans l'état actuel formés à chercher des causes très en amont dans l'organisation du système ?

### 5.5.2 Trois patterns de causes

Cette analyse révèle trois patterns différents de causes d'abordages. Le premier pattern (Axe 1 de l'ACM, catégorie 1 du regroupement hiérarchique) est typique des collisions survenant en eaux resserrées et impliquant des navires qui utilisaient les services d'un pilote breveté. Il est relatif à deux mauvaises pratiques des opérateurs : les problèmes de communication inter-navires et les carences de BRM. Il confirme les résultats obtenus dans l'étude du BST sur les relations de travail entre les capitaines / officiers de quart et les pilotes maritimes (BST Canada, 1995). Cette étude a montré, en effet, l'importance des communications interpersonnelles inadéquates au sein de l'équipe de passerelle, conduisant à des malentendus, à un partage insuffisant des informations importantes, à une compréhension incomplète des manœuvres entreprises, à la perte de conscience de la situation, à l'absence de surveillance de la progression du navire, etc. Elle a conclu que ces facteurs suggèrent des lacunes dans la gestion de l'équipe de passerelle dans les zones de pilotage obligatoire.

Le deuxième pattern (l'axe 2 de l'ACM, 3e catégorie du regroupement hiérarchique) inclut des facteurs appartenant à plusieurs niveaux : la visibilité et le défaut d'utilisation des instruments (niveau facteurs prédisposants), un déficit de l'attention (niveau condition des opérateurs), des opérations inappropriées (niveau supervision) et un SMS incomplet (niveau organisationnel). Ce pattern illustre le modèle « *Swiss Cheese* » de Reason ; chaque niveau du système socio-technique a des faiblesses (appelés vides ou carences) causées par des défaillances latentes et actives. Ces carences sont semblables à des trous dans des tranches de gruyère. Un trou peut permettre à un problème de passer à travers une couche, mais dans la couche suivante, le problème peut être arrêté s'il n'y a pas de trou au même endroit. En revanche, lorsque les trous sont alignés, ils créent pour une chaine d'erreur un couloir de propagation vers l'aval. Ce schéma confirme un résultat obtenu dans l'étude du MAIB sur le quart à la passerelle, qui avait montré un lien entre une mauvaise veille visuelle et une utilisation insuffisante du personnel d'exécution sur la passerelle.

Ces deux patterns de facteurs qui ont été identifiés dans les études du BST et du MAIB, sont responsables d'un nombre important d'abordages, malgré l'avènement (récent) et le développement du BRM d'une part et du code ISM de l'autre. Il faut

noter que nous manquons pour l'instant un peu de recul pour juger ces points, car au niveau d'une industrie mondialisée, l'évolution ne peut être que lente ; par ailleurs l'industrie maritime semble avoir un certain temps cherché sa propre voie avant d'adopter les solutions mises en œuvre dans l'aviation civile.
Outre les deux patterns cités ci-dessus, un troisième apparaît (axes 1 et 2 de l'ACM, 2e catégorie de regroupement hiérarchique) caractérisé par le non-respect du SMS, même si celui-ci est complet.

### 5.5.3 Limites de l'étude

La principale limite de cette étude est liée au faible nombre d'abordages étudiés. Comme la base statistique est faible, il est difficile d'identifier plus de trois patterns de facteurs contributifs. Le nombre relativement faible de collisions et le nombre élevé de variables ne permettent pas d'utiliser la modélisation stochastique ; c'est la raison pour laquelle une analyse géométrique des données a été utilisée dans cette étude.

### 5.5.4 Implications et recherches futures

Cette étude confirme l'importance de la gestion des ressources passerelle pour les situations de navigation avec un pilote à bord. Vu d'abord comme un cours de technique de navigation avec un verni psychologique, comme en témoigne le premier guide pratique de Swift (Swift, 1993), le BRM a évolué depuis en s'inspirant des avancées de l'aviation civile (cf. chapitre 4). Tout comme l'aviation avait fait sortir le CRM du cockpit pour étendre la formation à tous les acteurs, dans et hors de l'avion, les organisations impliquées dans la prestation globale de formation en BRM sont allées plus loin en 2003 en décidant de rebaptiser le BRM en Maritime Resource Management (MRM), élargissant ainsi la cible de la formation à tous les officiers du navire, en particulier les mécaniciens, aux pilotes maritimes et au personnel à terre (Hayward & Lowe, 2010).
Cette étude souligne également la nécessité d'enquêter sur les décisions des capitaines dans des conditions critiques. Ces décisions concernent le nombre de personnes sur la passerelle et la vitesse du navire. Combinées à une mauvaise utilisation des instruments et à un défaut de veille, elles peuvent conduire à des accidents. Le transport maritime n'est pas un système parfait. De même que, selon

Amalberti (2001), l'opérateur arbitre en permanence entre des ressources internes insuffisantes, le capitaine doit trouver le meilleur compromis efficience-résultat pour les ressources de son navire, *« efficiency-thoroughness-trade-off »*, d'après Hollnagel (2009), mais ces principes n'ont pas encore été examinés dans le contexte maritime (Schröder-Hinrichs, 2010). Ces décisions dépendent également du SMS, de l'ISM et, plus généralement, de la culture de sécurité de l'entreprise. En fait, certaines études récentes ont mis l'efficacité de l'ISM en question. Battacharya (2012) a expliqué que

> *« les marins expérimentés ont vécu la mise en œuvre du code ISM comme une imposition. Pour eux, c'était un outil de gestion exigeant simplement l'application de règles, mais pas une implication ou une participation au vrai sens du mot. Cet outil a été vu comme remettant en question leurs compétences professionnelles, ce qui a conduit à son rejet. (…) « les campagnes de recherche ont montré que les gens de mer ont pris d'autres mesures pour se protéger. Les pratiques de travail sûres, que les marins affirment avoir appris par l'expérience, ont été mises à profit pour la gestion au jour le jour de la sécurité à bord » (Battacharia, 2012, p.533).*

Au niveau organisationnel, la dimension culture de sécurité peut apparaître, par conséquent, aussi importante que la notion de SMS exhaustif. Les études portant sur la culture de sécurité et le climat de sécurité dans le domaine maritime sont nombreuses – voir, par exemple, (Ek & Akselsson, 2005); (Havold, 2005) ; (Havold, 2010); (Lu & Tsai, 2010); (Lu & Yang, 2011). Certaines d'entre elles ont montré que le climat de sécurité est, en effet, un facteur important influençant le comportement de sécurité (Lu &Tsai, 2010; Lu & Yang, 2011).

On peut noter qu'il existe souvent un lien causal entre les classes de défaillances. Les carences en BRM et en communications inter-navire (mauvaises pratiques des opérateurs) conduisent souvent à une perte de conscience de la situation (mauvaise condition mentale des opérateurs), celle-ci entraînant à son tour des erreurs de décision (actes dangereux).

Les deux prochains chapitres s'intéresseront justement à ce lien causal. Le chapitre 6 mettra en évidence le lien entre la compréhension de la situation et la prise de décision, et suggérera des pistes d'amélioration par des formations appropriées. Le chapitre 7 s'intéressera, lui, à l'impact de la compréhension d'équipe de passerelle sur les résultats obtenus en termes de sécurité et de performance commerciale.

RESUME

Cette analyse à l'aide du HFACS a permis de mettre en évidence de grandes classes de défaillances, au niveau systémique comme au niveau local. Dans les rapports étudiés ici, si on se focalise sur celles qui sont du ressort de l'équipe de passerelle, les classes les plus fréquemment citées par les enquêteurs sont :

- les erreurs de décision (actes dangereux),
- la perte de conscience de la situation (condition mentale des opérateurs),
- les carences en BRM et en communication inter-navires (mauvaises pratiques des opérateurs), et
- la mauvaise utilisation des instruments (facteurs environnementaux).

L'analyse des correspondances multiples a mis en évidence trois catégories d'accidents. a) Les problèmes de communication entre les navires et de gestion des ressources passerelle sont étroitement liés aux abordages qui se produisent dans les eaux resserrées et impliquant des navires avec pilote. b) Une autre catégorie de collisions est associée à des situations de visibilité réduite, en eaux libres, et révèle des insuffisances à tous les niveaux du système socio-technique (environnement technique, condition des opérateurs, leadership et organisation). c) La troisième classe est caractérisée par la non-conformité avec le SMS.

# 6 IMPACT DE LA FORMATION DE JEUNES OFFICIERS-ELEVES A LA CONSCIENCE DE LA SITUATION ET A LA PRISE DE DECISION



**Sur la passerelle du « Norman Arrow » : à bord d'un NGV[60], il faut parfois comprendre et décider vite**

*Ce chapitre traite de l'impact des programmes de formation sur la capacité d'un élève-officier à prendre une décision dans une situation « conflictuelle », c'est-à-dire dans une situation où plusieurs buts peuvent apparaître en contradiction (respecter l'heure prévue d'arrivée, respecter le règlement, effectuer une manœuvre en toute sécurité). La première partie montre les différences entre les novices et les experts pour ce qui concerne la prise de décision dans des situations de ce type. Elle met en évidence deux caractéristiques essentielles des experts : ils sont capables de faire des compromis satisfaisants entre des exigences apparemment contradictoires et ils cherchent toujours à garder le contrôle de la situation. La deuxième partie présente une expérimentation visant à évaluer l'impact d'exercices de prise de décision sur la capacité des élèves à analyser une situation complexe (ici conflictuelle) et sur leur capacité à réaliser une action satisfaisante. Elle compare la* situation awareness *et les performances d'élèves répartis au sein de deux groupes (un groupe contrôle et un groupe test qui a réalisé les jeux de prise de décision). Elle a été réalisée sur le simulateur passerelle de l'Ecole nationale supérieure maritime du Havre.*

[60] NGV : navire à grande vitesse. Ces navires à passagers peuvent dépasser 40 nds, soit 75 km/h.

## 6.1 INTRODUCTION

Naviguer, c'est conduire un navire d'un point à un autre selon une route sûre préétablie, tout en respectant un horaire et en évitant les abordages.

Dans les zones où le trafic est dense, telles que le Pas-de-Calais, les manœuvres anticollision sont fréquentes. Leur observation montre qu'elles ne peuvent pas toutes se déduire de la stricte application du règlement. Dans certaines situations d'interaction entre navires, les comportements observés – en l'occurrence, les actions effectuées dans le but d'éviter une collision - témoignent même de violations du règlement. Ces violations s'observent, notamment, dans les situations de croisement pour lesquelles le Règlement International pour Prévenir les Abordages en Mer recommande au navire non privilégié de venir à droite pour passer derrière le navire privilégié. Il est courant, en effet, d'observer des manœuvres à gauche quand ces manœuvres s'avèrent être les plus « économiques ». La fréquence de ces actions - dans les zones où le trafic est dense et où les contraintes commerciales sont fortes - oblige à réinterpréter ces manœuvres. Peut-être peut-on les voir comme l'adoption de règles informelles (un système non officiel, développé en marge du système officiel et adopté par la communauté des acteurs) autant que comme la « violation » des règles existantes (écart délibéré par rapport aux règles formelles).

L'existence de deux types de règles est caractéristique de tout système de travail. Leur coexistence produit, le plus souvent, un système de règles efficace au regard des principaux objectifs d'un système (objectif de sécurité mais aussi de production). Ce constat conduit de Terssac à écrire

> *qu'il faut définir un espace d'action dans lequel les règles formelles ne spécifient pas la solution qu'il faut appliquer, mais un ensemble de solutions admissibles à l'intérieur duquel les exécutants auront à choisir celle qui leur paraît la plus pertinente compte tenu du contexte (de Terssac, 1992, pp. 221 et 222).*

Des analyses similaires ont été proposées plus récemment par Rasmussen (1997) ou par Polet, Vanderhaegen et Amalberti (2003). Ces auteurs montrent tous qu'une succession de compromis – en particulier ceux dictés par la nécessité de performance – conduit les acteurs d'un système dans une migration les amenant à transgresser les règles de sécurité. Ils suggèrent également que la sécurité peut être améliorée, non par le renforcement des règles formelles, mais en définissant

un espace de fonctionnement sûr, dont les limites sont facilement visibles pour tous les acteurs du système.

Cependant, dans un système de transport, la coexistence de deux systèmes de règles peut être à l'origine d'accidents quand deux acteurs ou deux groupes d'acteurs interagissent en ne se référant pas au même système (Monseur & Malaterre, 1969). Dans le Pas de Calais, c'est une des causes des abordages et quasi-abordages (Andro et al., 2003).

Dans des études précédentes (Chauvin & Saad, 2004) ; (Chauvin & Lardjane, 2008), il a été montré l'aptitude des experts à reconnaître et à gérer de telles contradictions. Les experts observés sur des ferries sont capables de reconnaître les situations d'après des indices critiques et d'associer des réponses adaptées à des situations typiques, selon le processus d'association de schéma, ou « pattern matching » décrit par Klein pour expliquer la prise de décision en situation naturelle.

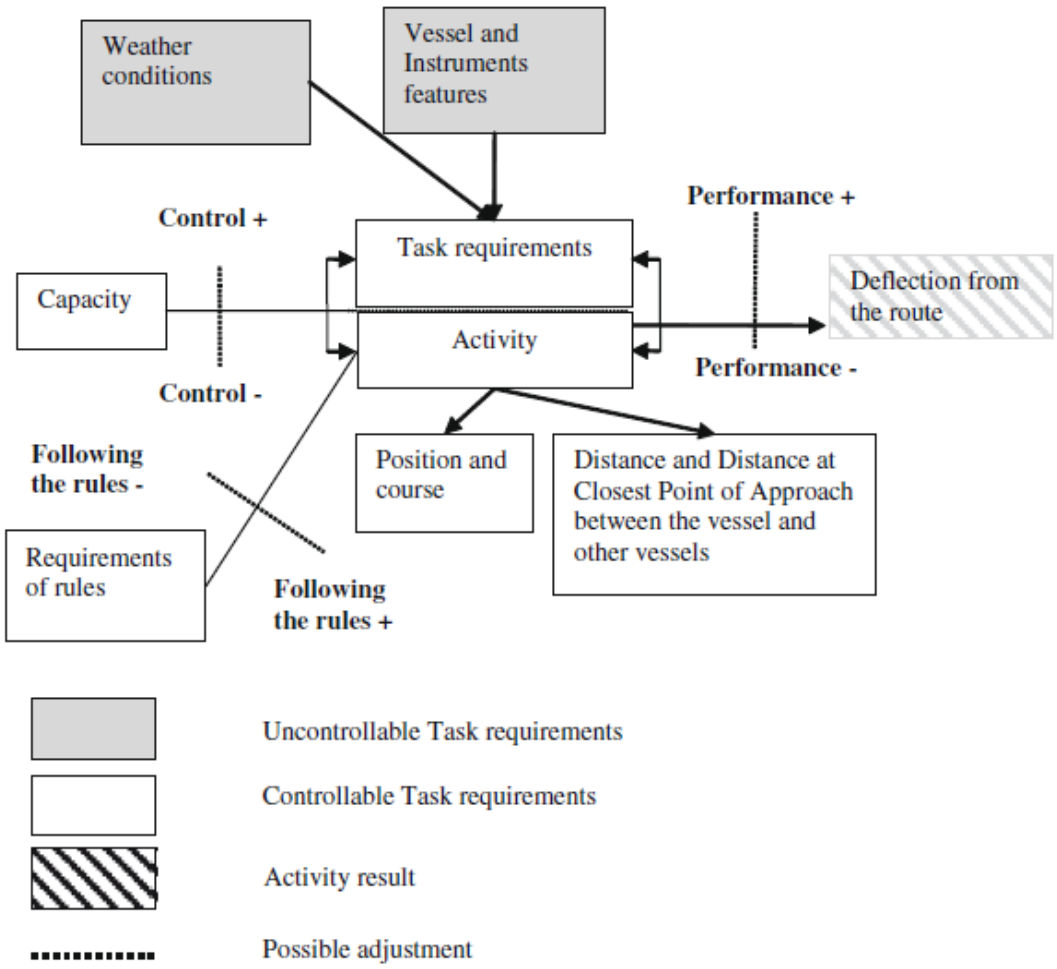



Figure 29 : Modèle d'ajustement entre contrôle de la situation, règles et performance

Dans les situations conflictuelles, celles où des règles ou des buts peuvent être en contradiction, les experts sont aussi capables de faire un compromis entre trois contraintes : les exigences de la tâche, les contraintes réglementaires et les contraintes de performance. Le concept de compromis contient plusieurs notions, incluant celle de compromis cognitif. Comme on l'a vu dans le chapitre 3, cette notion a été utilisée par Amalberti (2001) pour expliquer qu'un opérateur cherche à atteindre son but tout en limitant les risques, externes et internes, présents et futurs. Il comprend également la notion de résilience telle que définie par Flin (2006), c'est-à-dire la capacité à gérer les conflits entre les objectifs de production et de sécurité.

Dans le domaine maritime, le navigant tente de maintenir l'équilibre entre les exigences de la tâche et ses capacités de façon à conserver le contrôle. Il essaie, de plus, de gérer les contradictions entre la nécessité de garder le contrôle, les exigences des règles et de performance (Fuller 2000, 2005). Ces trois aspects sont représentés sur la Figure 29.

Finalement, on peut observer que les navigants experts peuvent agir sur les trois paramètres pour obtenir un compromis satisfaisant. Ils considèrent que le maintien du contrôle est le critère décisif.

Une autre étude (Chauvin et al., 2008) a montré que les navigants novices, au contraire, n'arrivent pas à trouver un tel compromis. Dans une situation de conflit entre plusieurs règles ou buts, une grande partie d'entre eux effectuaient des manœuvres contraires aux règles. Ces manœuvres étaient dangereuses car soumises à la possibilité d'une manœuvre contradictoire de l'autre navire. De plus, leur décision était fondée sur une analyse superficielle de la situation.

Cet article étudie une voie possible pour faciliter l'apprentissage de la prise de décision. Comme l'a expliqué Boucheix (2003), l'objectif est de concevoir des « situations de formation » consistant en des « médiations » entre le stagiaire et a) la situation de référence, ou b) une compétence à acquérir. Le développement de ces situations nécessite trois étapes successives. La première est une analyse cognitive de la situation de travail de référence qui, ici, a déjà été effectuée. La seconde consiste à la mise en scène de la situation de référence, en se concentrant

spécifiquement sur les aspects ou les tâches pour lesquels la formation ou le développement des compétences est nécessaire. L'objectif de la troisième phase est la création et la gestion de programmes de formation, y compris leur supervision et leur évaluation objective (Boucheix, 2003). Ce chapitre présente les deuxième et troisième étapes de cette approche. Il décrit d'abord les programmes qui sont conçus pour accélérer le processus de l'acquisition de compétences d'experts. Ensuite, il propose une évaluation de leur impact sur les processus cognitifs et la performance des stagiaires.

## 6.2 UN PROGRAMME DE FORMATION A LA PRISE DE DECISION

Différents travaux (Cannon-Bowers & Bell, 1997 ; Ross et al., 2006) mettent en évidence les caractéristiques des experts.

Ils sont souples. Ils s'adaptent à des environnements ambigus, changeants et complexes car ils font appel à une large palette de stratégies pour répondre à la situation et en particulier à son aspect incertain. Ils savent comment et quand utiliser et changer de stratégie. Ils savent également évaluer les risques des options offertes. Ils sont « résilients ». Ils sont capables de prendre des décisions dans des contextes difficiles, caractérisés par l'ambiguïté, l'incertitude, des enjeux importants, une forte charge de travail et par le stress qui les accompagne, sans pour autant que la qualité de leur performance en soit affectée.

Les experts connaissent mieux leurs forces et leurs faiblesses, et sont par conséquent mieux à même de gérer leurs ressources. Ils utilisent les mécanismes de prise de décision décrits par Klein (1997) dans son modèle Recognition Primed Decision (RPD), que l'on peut traduire par « décision déclenchée par la reconnaissance d'une situation type ». A partir d'un ensemble d'indicateurs, ils reconnaissent la situation à laquelle ils sont confrontés. La « reconnaissance » se compose de quatre éléments : la reconnaissance d'indices, la génération d'attentes, l'identification de buts puis la reconnaissance d'actions typiques. Ces éléments font partie de modèles mentaux accumulés au fil de l'expérience. Quand une situation est nouvelle, ils effectuent une simulation mentale pour évaluer les solutions possibles.

Lipshitz et Ben Shaul (1997), Fowlkes et al. (2000), et Ross et al. (2006) montrent tous que les experts recueillent plus d'informations que les novices sur des aspects plus variés de la situation. Ils sont moins sujets aux mauvaises décisions. Selon ces auteurs, les experts peuvent s'appuyer sur des schémas qui leur permettent de construire une représentation mentale de la situation en cours et de prendre une décision appropriée.

La comparaison, pour une même situation, de la représentation mentale – Situation Awareness (SA) - élaborée par des experts et de celle élaborée par des novices conforte ces résultats. La « Situation Awareness » est définie par Endsley comme « la perception des éléments de l'environnement à l'intérieur d'un volume d'espace et de temps, la compréhension de leur signification et la projection de leur état dans le futur proche » (Endsley, 1995). On s'attend en particulier à ce que les experts perçoivent plus d'éléments que les novices.

Tous ces résultats ont un impact évident sur la formation. Cannon-Bowers et Bell (1997) notent que pour faciliter l'acquisition de l'expertise, il est nécessaire de développer des exercices d'entraînement. Dans la section suivante, nous introduirons les principes généraux et les outils destinés à faciliter l'apprentissage de la prise de décision. Ensuite nous exposerons quelques exercices destinés à améliorer la prise en décision en situation d'anticollision.

### *6.2.1 Principes et outils pour faciliter l'apprentissage de la prise de décision.*

Cannon-Bowers et Bell (1997) plaident pour une réforme de la formation traditionnelle, à la fois en terme de contenu et de méthode.

Concernant le contenu, ils suggèrent d'essayer de renforcer différents types de savoir-faire et d'habiletés. Il s'agit d'habiletés dites « métacognitives », de capacités de raisonnement, d'habiletés à résoudre des problèmes mais aussi d'habiletés à effectuer des simulations ou encore à évaluer des situations. Ces dernières permettent de reconnaître une situation rapidement et précisément en améliorant la reconnaissance de pattern et l'aptitude à attribuer un sens aux différents indicateurs disponibles.

Ross et al (2005) soulignent que les programmes de formation devraient aider les novices à construire des modèles mentaux et à les améliorer. Vidal-Gomel et Rogalski (2007) évoquent un « concept pragmatique » central pour le développement d'une compétence professionnelle.

Un concept pragmatique est une représentation schématique et opérationnelle, construite pendant l'action et aux fins d'agir, associant des indices, des situations prototypiques et des actions.

Concernant les méthodes, Cannon-Bowers et Bell (1997) insistent sur l'importance de l'apprentissage sur le tas (on the job training) ainsi que sur le travail sur scénario. Ils soulignent également l'importance du débriefing axé sur le renforcement des associations entre les indices et les stratégies possibles.

La conception des scénarios d'exercice est un aspect majeur de la formation. Les scénarios permettent aux individus de construire puis de stocker des schémas qui reflètent un grand éventail des problèmes susceptibles d'être rencontrés dans leur activité. Ross et al (2005) les appellent des « vignettes ». Les « vignettes » sont des scénarios de bas niveau de fidélité physique mais de haut niveau cognitif, car les problèmes présentés sont ceux auxquels sont confrontés les experts du domaine.

Ils présentent un dilemme, ou une situation ambiguë avec un certain niveau d'incertitude, qui force l'officier-élève à prendre une décision. Il est possible d'ajuster le niveau de difficulté.

Pliske, McCloskey et Klein (2001) décrivent plusieurs outils pour faciliter l'apprentissage de la prise de décision. Ceux-ci incluent des jeux de prise de décision (cf. Tableau 12) et des jeux de critique des décisions prises (cf. Tableau 13).

| |
|---|
| Le contexte :<br>- Le processus d'apprentissage repose sur des simulations papier-crayon d'incidents qui pourraient se produire dans des situations de la vie réelle.<br>- Le but de ces exercices est d'améliorer la capacité des sujets à prendre des décisions fondées sur la reconnaissance de la situation.<br>Les exercices :<br>- Ils introduisent une situation ambiguë dans laquelle une décision doit être prise.<br>- Cette situation est présentée à travers un schéma et une brève description.<br>- Les sujets n'ont que quelques minutes pour prendre leur décision.<br>Le débriefing :<br>- Un sujet est invité à expliquer son plan pour le reste du groupe, qui joue alors le rôle des subordonnés. |

**Tableau 12 : Structure d'un exercice de prise de décision (d'après Pliske et al., 2001)**

Après de tels exercices, les sujets sont mieux à même de comprendre les décisions qu'ils doivent prendre, d'identifier ce qui les rend difficiles et où ils peuvent se tromper.

| |
|---|
| Le but de l'exercice est d'aider les participants à considérer ce qui a été bien fait et ce qui s'est mal passé au cours de l'exercice. Cet outil peut être utilisé en conjonction avec l'exercice de prise de décision.<br>Il se compose d'une série de questions qui sont conçues pour identifier les décisions difficiles. Ces questions portent sur les indicateurs qui auraient dû être perçus, ou sur divers types d'incertitudes et la façon dont elles ont été traitées.<br>Les questions typiques :<br>- Quelles ont été vos décisions ?<br>Pour chaque décision :<br>- Pourquoi est-ce difficile ?<br>- Pourquoi avez-vous choisi cette action?<br>- Quelles sont les informations qui n'étaient pas disponibles et qui vous auraient aidé le plus ?<br>- A quelle autre option avez-vous pensé ? Pourquoi ne l'avez-vous pas choisie ?<br>La discussion générale à la fin de l'exercice :<br>- Que feriez-vous différemment si vous vous trouviez dans cette situation à nouveau ?<br>- Quelle a été votre plus grande faiblesse? Votre plus grande force ?<br>- Quelle leçon importante avez-vous tirée de cet exercice ? |

**Tableau 13 : Structure d'un exercice de critique de décision (d'après Pliske et al., 2001)**

### *6.2.2 Exercices de prise de décision en situation d'anticollision.*

En partant de ces principes, nous avons conçu et expérimenté trois exercices pour les officiers de la marine marchande en formation, avec l'objectif d'accélérer l'acquisition de l'expertise.

Les élèves disposent de trois minutes pour prendre connaissance d'une situation décrite sous la forme d'un schéma et d'un texte court et pour indiquer, par écrit, la décision prise. Ensuite, trois exercices leur sont proposés.

Le premier exercice est une revue critique de décision. Il est demandé à un élève de venir exposer sa décision. Dès la fin de son exposé, avant de passer aux questions, on demande si d'autres élèves ont pris d'autres décisions, pour éventuellement les traiter ensuite.

Les questions suivantes sont posées à l'élève :

- Avez-vous appliqué une règle de COLREGs ? Si oui, laquelle ?
- Avez-vous rencontré une (des) difficulté(s) dans cette prise de décision ?
- Pourquoi avez-vous pris cette décision ?
- Quelle est l'information qui vous a le plus manqué au moment de prendre cette décision ?

- Avez-vous envisagé une (des) autre(s) solution(s) ?
- Pourquoi n'avez-vous pas choisi cette (ces) solution(s) ?

Le deuxième exercice est une collecte d'informations. Chaque élève doit noter individuellement et pour chaque décision prise les informations prises en compte, et les difficultés éventuellement rencontrées (informations manquantes).

Le troisième exercice est intitulé « Prédiction de Cassandre ». On dit au groupe que le projet d'action a échoué. Les élèves ont quelques minutes pour écrire individuellement les raisons possibles de l'échec.

Enfin, une discussion finale est menée. Les questions suivantes sont posées aux élèves :

- Prendriez-vous une décision différente si vous étiez confronté un jour à une telle situation ?
- Quel était le principal point faible de la décision prise ?
- Quel était son principal atout ?
- Quels enseignements avez-vous pu tirer de cet exercice ?

Ces exercices sont joués à partir de deux situations de collision dans lesquelles les étudiants doivent s'imaginer sur la passerelle du navire privilégié.
COLREGs définit plusieurs types de situations d'interaction (croisement, dépassement, route opposée) et des statuts différents, celui du navire qui doit céder le passage et celui du navire privilégié.
La règle 17 traite du navire privilégié, qui

> *« doit maintenir son cap et sa vitesse. Néanmoins, il peut manœuvrer afin d'éviter l'abordage par sa seule manœuvre aussitôt qu'il lui paraît évident que le navire qui est dans l'obligation de s'écarter de sa route n'effectue pas la manœuvre appropriée prescrite par les présentes règles. (*Dans ce cas*) il ne doit pas, si les circonstances le permettent, abattre sur bâbord lorsque l'autre navire est bâbord à lui. » (SHOM, 1991, p. 10)*

La règle 17 définit 4 stades (cf. Figure 30) pour la manœuvre possible ou requise par le navire privilégié (Crockroft et Lameijer, 1996).

1) Encore loin de l'autre, chaque navire est libre dans le choix de son action.

2) Quand l'interaction devient effective (quand l'un des opérateurs se sent contraint par l'autre navire), le navire qui est tenu de céder le passage doit manœuvrer afin de passer à une distance suffisante du navire privilégié, qui, de son côté, doit maintenir son cap et sa vitesse.
3) Quand il lui paraît évident que le navire qui est dans l'obligation de s'écarter n'effectue pas la manœuvre appropriée, le navire privilégié peut, en avertissant l'autre par un signal sonore, manœuvrer afin d'éviter l'abordage par sa seule manœuvre.
4) Quand l'abordage ne peut plus être évité par le navire qui est tenu de laisser le passage, le navire privilégié doit manœuvrer pour aider à éviter l'abordage.

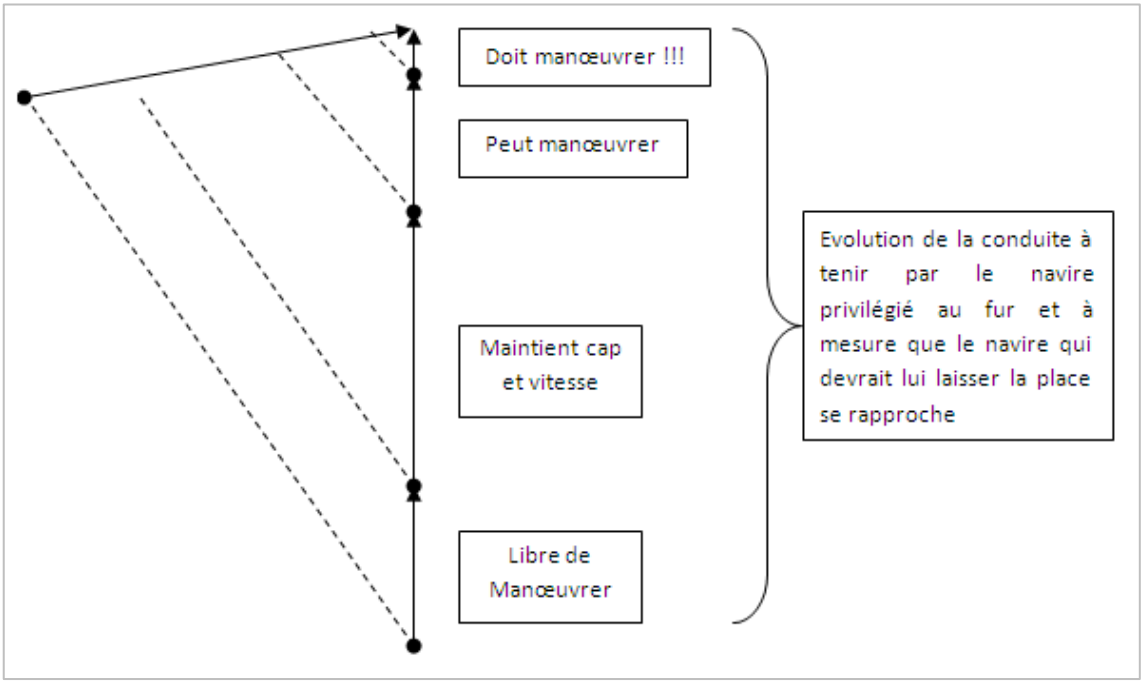



**Figure 30 : Les quatre phases de la R17 à bord du navire privilégié**

La règle 17 entraîne une charge de travail importante pour l'officier de quart du navire privilégié (Hockey et al., 2003). Il doit anticiper l'action de l'autre et surveiller étroitement l'évolution de la situation.

L'analyse de l'activité des officiers sur les ferries montre que dans ces situations, ils parviennent à suivre les règles tout en contrôlant la situation et en maintenant le coût cognitif à un niveau modéré. Quand ils pressentent que le navire qui doit laisser le passage ne va pas manœuvrer, ils manœuvrent très tôt, avant que la règle ne devienne contraignante. Ils viennent à gauche si cette manœuvre les rapproche

de leur route. Il leur arrive également de venir un peu à droite de façon à réduire la distance de passage, forçant ainsi l'autre navire à manœuvrer.

Dans tous les cas, leur stratégie leur permet de concilier des exigences paraissant parfois contradictoires.

En identifiant le type du navire antagoniste, les experts sont capables de former des attentes quant à sa manœuvre. Leur expérience leur permet d'anticiper que certains caboteurs ou navires de pêche ne vont pas manœuvrer alors qu'ils devraient le faire. Un des éléments d'identification de ces navires est l'information vitesse obtenue grâce au radar : ces navires sont souvent lents.

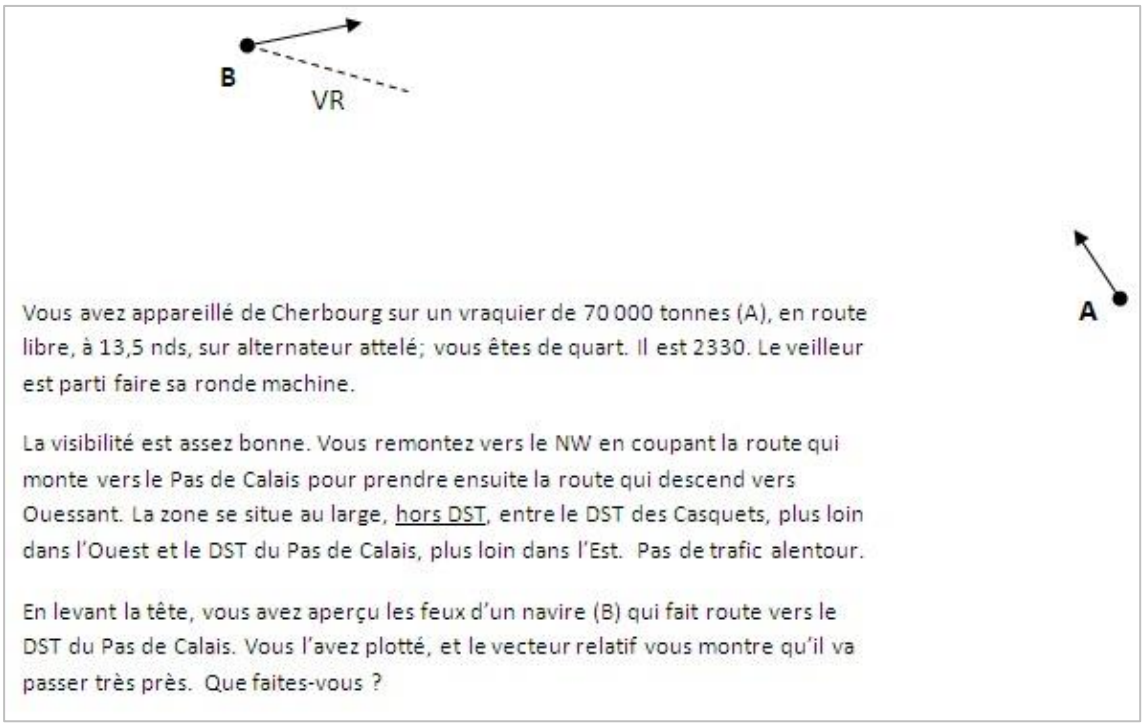



**Figure 31 : Exercice de prise de décision, situation n° 1**

La première situation présentée aux étudiants (cf. Figure 31) est simple.

La seconde situation, plus complexe (cf. Figure 32) se déroule dans le Sud de la Mer du Nord, à proximité immédiate de Westhinder, un grand carrefour de routes maritimes dans l'Ouest de Zeebrugge et reproduit la situation qui a conduit à l'abordage Tricolor-Kariba. La collision entre le M / V Kariba, un porte-conteneurs, et le M / V Tricolor, un transporteur de voitures, a entraîné le naufrage (sans perte de vie) du Tricolor en Mer du Nord en Décembre 2002. La cause de la collision a été la manœuvre soudaine à droite du Kariba dans un dispositif de séparation du

trafic pour éviter une collision possible avec le M / V Clary qui, venant de la gauche, allait croiser les routes du Tricolor et du Kariba.

Le Kariba était le navire privilégié. Focalisé sur le Clary qui devait manœuvrer pour lui laisser la place, l'officier du Kariba a oublié la présence du Tricolor qui le rattrapait sur Tribord arrière. Quand il a estimé que le Clary ne manœuvrerait probablement pas, il est venu à droite, heurtant le transporteur de voitures.

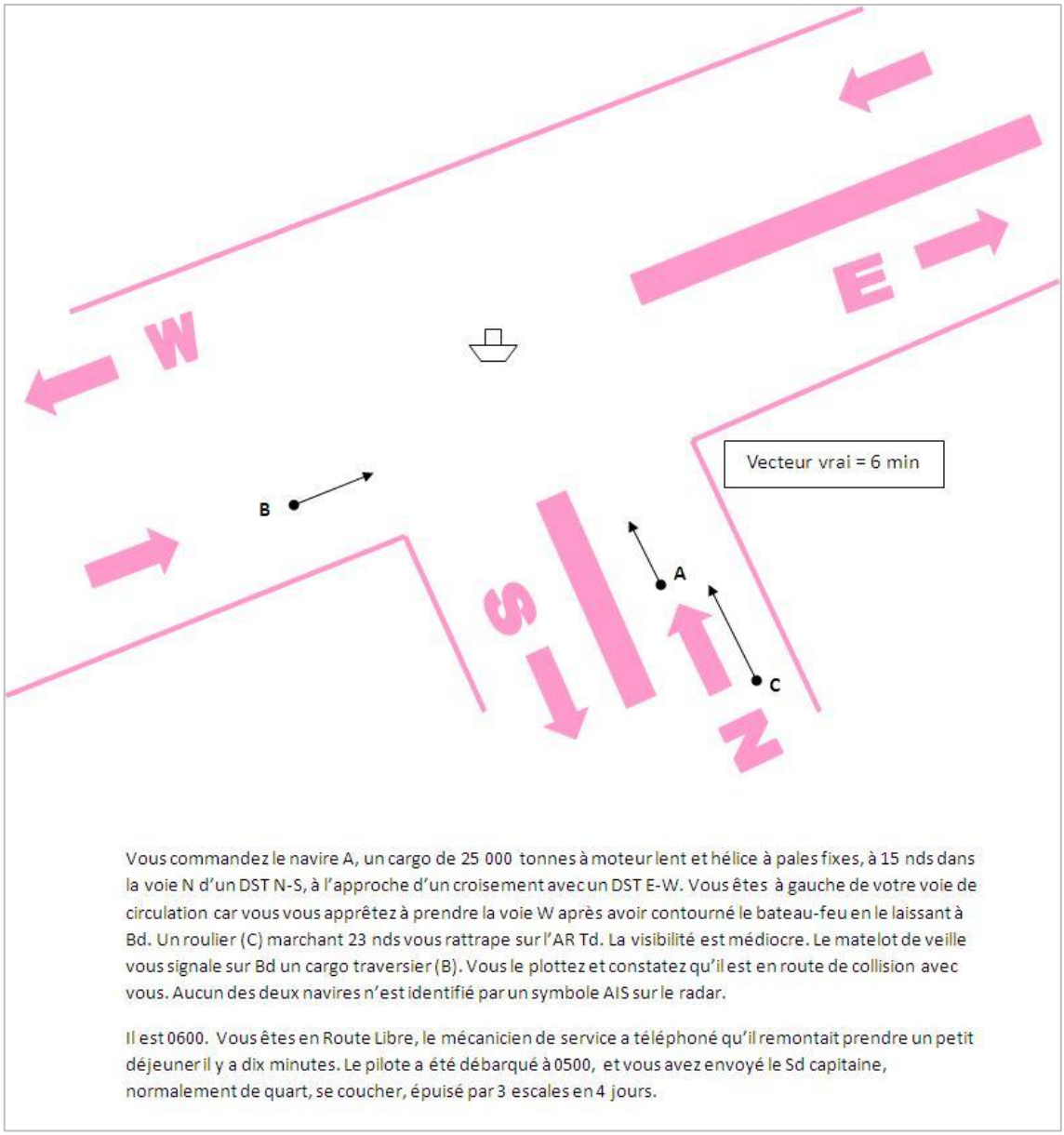



**Figure 32 : Exercice de prise de décision, situation n°2**

Ces exercices ont été joués en petits groupes de 12 à 16 étudiants, en une séance d'une heure et demi.

## 6.3 EVALUATION DU PROGRAMME D'ACQUISITION D'EXPERTISE EN PRISE DE DECISION.

L'évaluation de ce programme a été réalisée en utilisant une expérimentation déjà décrite par Chauvin et al. (2008). Cette expérimentation analysait la représentation de la situation élaborée par des officiers-élèves et mesurait leur performance lors d'une situation d'anticollision. Elle montrait leur difficulté à évaluer la situation et entreprendre une action appropriée en situation complexe.
La présente expérimentation poursuit deux objectifs :
Comparer les résultats obtenus par un groupe d'officiers-élèves ayant effectué la séance d'acquisition d'expertise et ceux d'un groupe ne l'ayant pas fait.
Evaluer l'impact du type de navigation effectué lors de la « 4e année » d'étude, période de navigation effectuée partiellement comme élève, et partiellement comme officier de quart.

### *6.3.1 Méthode*

L'expérimentation a été menée sur l'installation de simulation de navigation de l'Ecole nationale supérieure maritime site du Havre, avec des officiers-élèves (des étudiants en 5e année d'étude).

#### *6.3.1.1 Participants*

Deux groupes d'étudiants en 5e année ont pris part à l'expérimentation. Un groupe test ayant effectué les exercices de prise de décision, et un groupe témoin ne les ayant pas fait.
Les élèves de 5e année constituent une population intéressante. Ils reviennent à l'école pour la dernière année, dite « année de direction », après une période de navigation d'environ deux ans, dite « 4e année », divisée en environ un an comme élève-officier et environ un an comme officier chef de quart. Il a ainsi été possible de mesurer l'impact du type de navigation effectué au cours de cette période de navigation.
Les deux groupes étaient constitués de 81 étudiants avec un âge moyen de 28 ans. Le groupe test comprenait 78 hommes et 3 femmes, et le groupe témoin 71 hommes et 10 femmes. Dans chaque groupe, le tiers environ de la population avait

fait sa 4e année à bord de ferries et avait donc vécu souvent les situations d'interaction objet des exercices et de l'expérimentation.

### 6.3.1.2 Outil d'expérimentation

Le simulateur reproduit la passerelle d'un navire moderne, y compris un champ de vision simulée, les commandes de la machine et de la barre, ainsi qu'entre autres instruments un radar avec APRA (aide au pointage radar automatique), des indicateurs de vitesse sur le fond et sur la surface, un compas gyroscopique, un pilote automatique, un sondeur, un GPS indiquant la position, la route et la vitesse. Ces informations sont disponibles sur les appareils eux-mêmes ainsi que sur une console d'information (L'ECDIS, Electronic Chart Display and Information System n'a pas été utilisé ici).

### 6.3.1.3 Protocole d'expérimentation

Les participants étaient confrontés à une situation dans laquelle leur navire, un roulier quittant Calais et traversant le rail vers le Sud de l'Angleterre, était le navire privilégié.

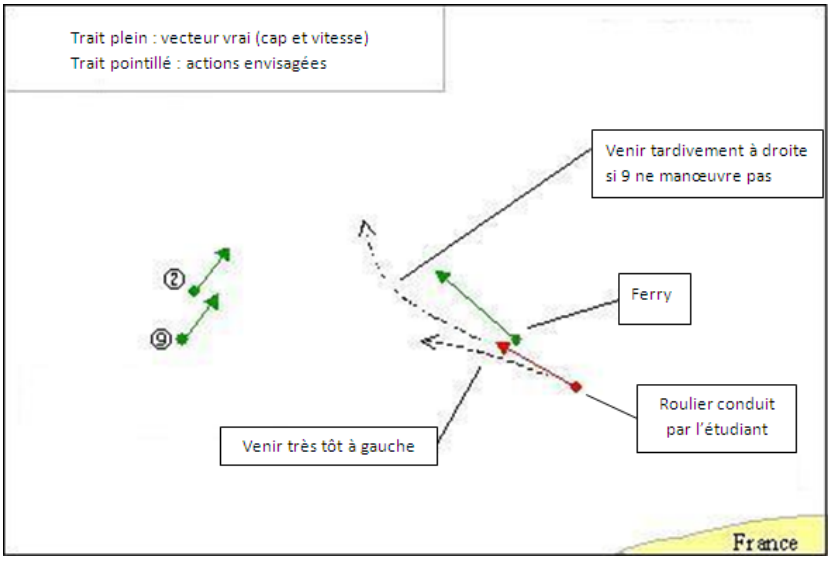



**Figure 33 : Situation expérimentale**

La situation expérimentale reproduisait une situation fréquemment observée dans le Pas de Calais : Plusieurs navires étaient impliqués (cf. Figure 33), deux navires marchands montant dans le rail (n°2 et n°9), le navire du participant et un ferry sur l'avant Tribord de celui-ci. Il y avait un risque de situation très rapprochée avec le navire 9. Ce navire faisait route à 9,5 nds, cap au 045.

Le CPA (Closest Point of Approach) indiqué par le radar montrait que les deux navires se croiseraient à 0,2 mille.

Cette situation, en dépit du caractère « privilégié » du navire du participant, est délicate car elle peut générer plusieurs combinaisons d'actions différentes : une manœuvre très précoce (pour les officiers dont l'objectif principal est le contrôle de la situation), une manœuvre tardive (pour les officiers qui respectent scrupuleusement les règles), une manœuvre à gauche (d'un point de vue géométrique, cette manœuvre ne nécessite qu'un petit changement de cap, et de plus, faisant passer derrière l'autre navire, elle peut avoir l'apparence d'une manœuvre sûre), ou une manœuvre à droite, sans compter la manœuvre par réduction d'allure.

Du point de vue de la sécurité, deux manœuvres semblent acceptables :

- Attendre la manœuvre du navire 9, puis, éventuellement, manœuvrer tard à droite quand il est acquis que 9 ne bougera pas.
- Manœuvrer très tôt (avant d'entrer dans le champ d'application de la règle), en venant à gauche, c'est la manœuvre de moindre amplitude, ou en venant à droite, ou en réduisant l'allure.

Dans le Pas de Calais, la limite d'interaction semble être de 3 milles environ. Plus près, les navires se considèrent comme liés par l'application des règles.

L'expérimentation durait 43 minutes. Après une présentation de l'expérimentation de 10 minutes, suivie de 5 minutes pour se familiariser avec la situation une fois sur la passerelle du simulateur, la simulation commençait, chaque participant étant libre de manœuvrer comme il l'entendait. Après 5 minutes, la situation était figée. A ce moment, le navire 9 était à une distance de 3,7 milles. On demandait alors au participant de remplir un questionnaire à choix multiples. Il répondait à des questions portant sur les trois niveaux de la Situation Awareness (Perception de la situation, compréhension, anticipation), sur son interprétation des règles et sur sa décision (cf.

Tableau 14) Une fois le questionnaire rempli, la simulation était relancée jusqu'à ce que la situation d'évitement soit terminée.

Les hypothèses émises étaient les suivantes :

- les séances de formation à la prise de décision donneront au groupe test une meilleure performance qu'au groupe témoin.

- Les officiers-élèves ayant navigué pendant leur 4e année sur ferries, ayant donc expérimenté plusieurs fois cette situation, adopteront une stratégie d'expert axée sur le maintien du contrôle de la situation.

| | Questions posées |
|---|---|
| Niveau 1 SA | 1. Quel est le cap de la cible ?<br>2. Quelle est la vitesse de la cible?<br>3. A quelle distance la cible se trouve-t-elle ?<br>4. Quel est le DCPA* de la cible ? |
| Niveau 2 SA | 5. Vous semble-t-il aller beaucoup moins vite que vous?<br>6. Vous semble-t-il aller beaucoup plus vite que vous?<br>7. Vous semble-t-il être encore loin de vous?<br>8. Ce navire est-il dangereux pour vous ?<br>9. Ce navire est-il gênant ?<br>10. Quel est, selon vous, le navire le plus dangereux ?<br>11. Selon vous, ce navire manoeuvre (plutôt difficilement/ normalement/ facilement/ vous ne savez pas) ?<br>12. Si aucune manoeuvre n'est effectuée, le navire le plus dangereux passera (devant votre navire/ derrière votre navire/ très près – il y a risque de collision) ? |
| Niveau 3 SA | 13. Selon vous, il est très probable que ce navire va manoeuvrer/ assez probable/ peu probable/ très peu probable/ vous ne savez pas ?<br>14. Cette situation vous paraît très dangereuse/ dangereuse/ peu dangereuse/ pas du tout dangereuse ? |
| Action prévue | 15. Selon vous, votre navire devrait manoeuvrer/ devrait ne pas bouger/ est encore libre de son choix car il est loin des cibles ?<br>16. Vous avez décidé de ne pas bouger/ de manoeuvrer maintenant ? |

**Tableau 14 – Les questions posées sur la SA et sur l'action prévue**

## 6.3.2 Résultats

### 6.3.2.1 Résultats du groupe test

Sur les 81 membres du groupe test ayant participé à l'expérimentation, 75 protocoles ont été retenus, les autres n'ayant pas été complétés.

59 individus ont manœuvré par changement de cap, à une distance moyenne de 3,3 milles. 9 ont diminué leur vitesse et 7 ont maintenu leur cap et la vitesse. En recoupant la distance de manœuvre et le changement de cap, nous pouvons classer les actions des sujets en trois catégories principales :

- Une manœuvre tôt à gauche, ce qui est une manœuvre économique (au moins d'un point de vue cognitif), effectuée par 27 % des individus, ou une manœuvre tôt à droite (21 % des individus) ;
- L'une des manœuvres suivantes : manœuvre tardive à droite, ralentissement, maintien du cap et de la vitesse, ou manœuvre à gauche une

fois que le navire 9 est passé devant le ferry de l'étudiant (distance inférieure à 1 mille). Ces manœuvres ont été considérées comme « conformes aux règles », 31 % des individus les ont mises en œuvre ;

- Une manœuvre tardive et dangereuse à gauche ; effectuée par 21 % des étudiants.

Soixante et un individus ont correctement identifiés le navire 9 comme étant le plus dangereux. Une majorité d'entre eux a donné une évaluation correcte de la distance (51% de ceux-ci avec précision) et correctement estimé sa vitesse (52%). 63 % des individus ont estimé correctement son cap et 70% se sont souvenu de son CPA (la distance à laquelle les deux navires vont passer au plus près l'un de l'autre). Il a également été noté que 57 % des individus ont jugé la situation comme dangereuse. Le tableau 15 présente les réponses relatives aux niveaux 2 et 3 de la SA. Ces réponses doivent être considérées comme des interprétations qui ne peuvent être classées en « vrai » ou « faux », mais qui auront une influence sur la décision finale.

| | Oui (%) | Non (%) | Ne sait pas (%) |
|---|---|---|---|
| Le navire 9 est encore loin | 28 | 70 | 2 |
| Le navire 9 est normalement ou très manœuvrant | 67 | 7 | 26 |
| Le navire 9 va manœuvrer | 39 | 41 | 20 |
| La situation est dangereuse ou très dangereuse | 57 | 43 | |

**Tableau 15 : Réponses des membres du groupe test aux questions relatives aux niveaux 2 et 3 de la SA**

Toutefois, aucun lien n'a émergé entre les différents niveaux de SA et les caractéristiques de la manœuvre effectuée.

Pour expliquer l'action effectuée, les intentions d'action sont bien entendu un facteur décisif ($\chi 2$ (6, N = 61) = 28,76, p <.001). Les étudiants qui ont l'intention de changer de route manœuvrent tôt, tandis que les étudiants qui n'ont pas l'intention de changer de route attendent de savoir s'ils seront contraints de le faire, et par conséquent manœuvrent tard. Cette variable (action envisagée) est corrélée avec :

- l'évaluation du danger de la situation (dans le sens où ceux qui jugent que la situation est dangereuse décident, plus souvent que les autres, de changer de route), ( $\chi 2$ (2, N = 61) = 7,03 , p = .03 ) ;

- l'interprétation des règles ($\chi 2$ (2, N = 61) = 27,92, p <.001) ; on peut noter, cependant, que tous les élèves qui estiment qu'ils doivent changer de route le font effectivement, alors que 22 % de ceux qui estiment qu'ils ne devraient pas changer de route décident de manœuvrer quand même.

L'interprétation de la réglementation est liée à l'évaluation de la distance ($\chi$ 2 (4, N = 61) = 16,13, p = 0,003). Ceux qui pensent que le navire marchand est proche pensent aussi, plus souvent que les autres, qu'ils doivent soit manœuvrer, soit conserver leur cap ; ceux qui considèrent que le navire marchand est encore loin considèrent pour la plupart qu'ils sont encore libres de choisir.

#### *6.3.2.2 Spécificités des étudiants ayant une expérience de navigation à bord de ferries*

La distance à laquelle la manœuvre a été effectuée dépend, de façon significative, du type de navigation effectuée par les jeunes officiers au cours des embarquements de quatrième année (t (59) = 2,58, p = 0,012). On constate que les étudiants qui ont déjà navigué comme officier à bord des ferries manœuvrent plus tôt (à une distance moyenne de 3,98 nm, SD = 1,09) que les autres (qui manœuvré à une distance moyenne de 3,08 nm, écart-type = 1,18).

Les étudiants ayant navigué à bord de ferries font une meilleure évaluation de la vitesse relative du navire 9 que les autres ; ($\chi 2$ (1, N = 61) = 6,52, p < .01). Une analyse des correspondances multiples (ACM) sur le type de navigation déjà pratiquée par le jeune officier, sur la perception et la compréhension des informations disponibles (cap, distance et vitesse relative du navire 9) et sur la qualité de la manœuvre effectuée, montre des contrastes supplémentaires entre les élèves ayant navigué à bord des car-ferries et les autres.

L'axe 1 (20,98% de l'inertie) différencie :

- sur le pôle négatif, les sujets ayant navigué à bord de ferries, effectuant des manœuvres tardives conformes aux règles, et évaluant correctement la vitesse relative du navire 9 ;
- sur le pôle positif, les sujets qui donnent de mauvaises réponses aux questions sur le cap et le CPA du navire 9, et effectuent une manœuvre jugée dangereuse (manœuvre tardive à gauche).

L'axe 2 (15,51% de l'inertie) oppose ;

- sur le pôle positif, les participants ayant navigué à bord de ferries, qui donnent de mauvaises réponses sur la valeur du CPA et qui manœuvrent tôt à gauche ;
- sur le pôle négatif, les sujets ayant navigué à bord d'autres types de navires et qui manœuvrent tôt à droite.

En fait, parmi les 13 participants ayant navigué à bord de ferries, un seul a entrepris une manœuvre tardive à gauche (soit 7%, ce pourcentage étant de 28 % chez les autres étudiants). D'autre part, une plus grande proportion de ces participants a effectué tôt une manœuvre économique (31% contre 26 %) ou manœuvré conformément aux règles (46 % contre 22%). Une « mauvaise » évaluation du CPA chez les étudiants qui manœuvrent tôt peut être attribuée au fait que le début de manœuvre a objectivement modifié les paramètres de la situation au moment où la situation est figée pour remplir le premier protocole.

#### *6.3.2.3 Différences entre le groupe test et le groupe témoin*

La distance à laquelle l'action a été effectuée est similaire pour les deux groupes (M = 3.3 nm, SD = 1,21 dans le groupe test ; M = 3,1 nm, SD = 1,21 dans le groupe témoin). La proportion de sujets qui viennent tardivement à gauche – une manœuvre qui peut être qualifiée de dangereuse – est également comparable (environ 21%). En revanche, on constate une tendance à l'amélioration du niveau 1 de la SA dans le groupe test et même une amélioration significative de la perception de la distance (voir Le tableau 16).

| | Groupe témoin, % de réponses correctes | Groupe test, % de réponses correctes | $\chi 2$ | p |
|---|---|---|---|---|
| Distance | 31 | 51 | 4,64534 | 0,031140 |
| Cap | 44 | 62 | 3,6874 | 0,054828 |
| Vitesse | 46 | 52 | 0,446419 | 0,504042 |
| CPA | 58 | 70 | 2,0101 | 0,156164 |

**Tableau 16 : Comparaison de la perception des étudiants du groupe témoin et de celle des étudiants du groupe test**

Une ACM (cf. Figure 34) croise les réponses relatives à la stratégie adoptée (manœuvre dangereuse ou manœuvre non dangereuse) et la décision prise. Cela comprend les aspects les plus importants de la perception, de la compréhension et de l'anticipation.

| Variable | Signification |
|---|---|
| V1 | Exp. group (groupe test) / Contr. group (groupe contrôle) |
| V2 | Expérience sur car-ferry / Expérience sur d'autres types de navires |
| V3 | mémorisation du cap du navire 9 : True (vrai) / False ( faux) |
| V4 | mémorisation de la distance du navire 9 : True ) / False |
| V5 | mémorisation de la vitesse du navire 9 : True / False |
| V6 | Le navire 9 est encore loin : Yes / No / NA (pas de réponse) |
| V7 | Le navire 9 va probablement manœuvrer : yes / No / NA |
| V8 | La situation est dangereuse : Yes / No |
| V9 | Vous avez décidé de : move (manœuvrer) / not move ( ne pas bouger) / NA |
| V10 | Manœuvre adoptée : dangereuse / non dangereuse |

**Tableau 17 : Variables utilisées dans l'ACM figure 34**

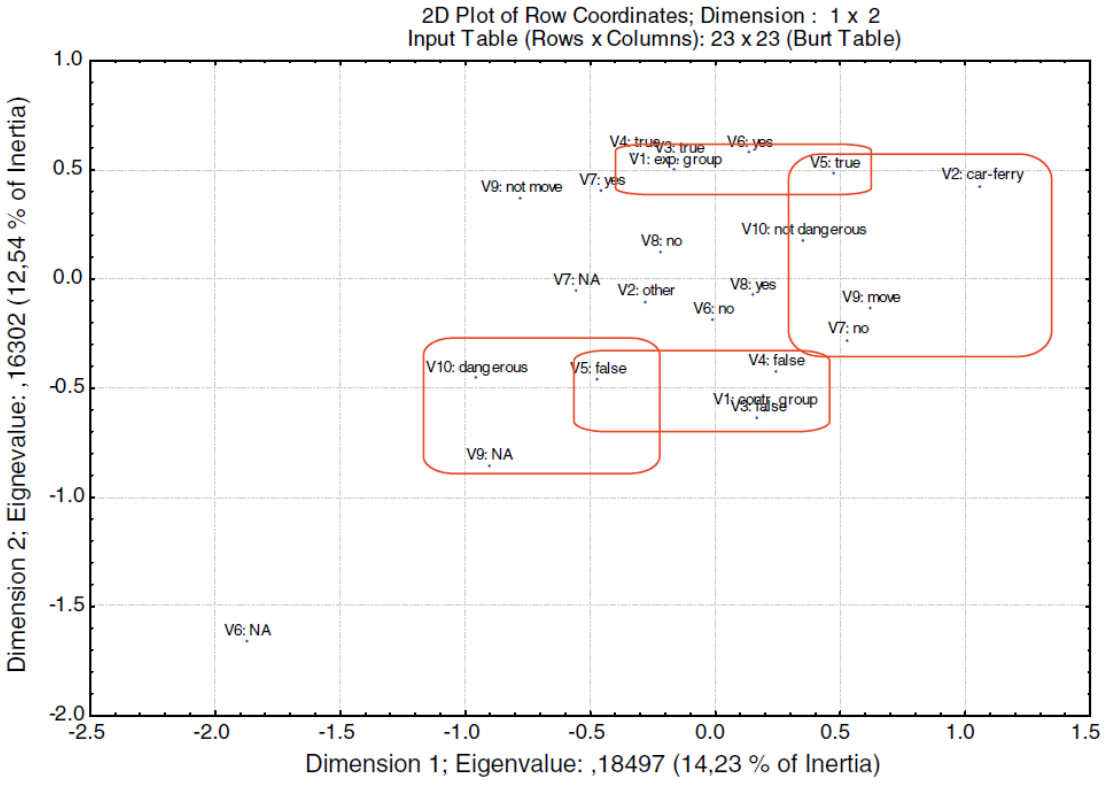



**Figure 34 : ACM Stratégie adoptée / décision prise**

Encore une fois, on retrouve la spécificité liée aux étudiants qui ont effectué leurs embarquements de 4e année à bord car-ferries.

L'axe 1 (représentant 14,23% de l'inertie) oppose :

- les étudiants qui ont une expérience de navigation sur les car-ferries. Ils perçoivent correctement la vitesse relative du navire 9. Anticipant le fait que le navire qui devrait s'écarter ne manœuvrera pas, ils décident d'agir et choisissent une manœuvre sûre ;
- les étudiants qui ont répondu incorrectement sur la vitesse relative du navire 9. Ils décident de garder leur cap et suivent une stratégie dangereuse.

L'axe 2 (représentant 12,54% de l'inertie) oppose les étudiants des deux groupes :

- les élèves du groupe contrôle qui ne répondent pas correctement sur la distance, le cap et la vitesse du navire 9 ;
- les élèves du groupe expérimental qui répondent correctement sur la distance, le cap et la vitesse du navire 9. ils considèrent qu'il est encore loin.

Bien que les résultats ne soient pas significatifs, il est néanmoins possible de noter une tendance à l'amélioration des résultats du groupe test. La séance d'entraînement à la prise de décision n'a cependant pas éliminé la différence entre les élèves qui ont réellement vécu la situation présentée et les autres.

## 6.4 DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Cette étude montre qu'il est difficile d'acquérir, grâce à la formation universitaire, des schémas qui permettent de comprendre une situation et d'agir de manière appropriée. Ces schémas sont disponibles pour les experts qui sont souvent confrontés aux mêmes situations. Ils sont également disponibles pour les stagiaires qui ont vécu des situations spécifiques lors de la formation embarquée et ont construit des schémas et des stratégies adéquates. Ils sont cependant ignorés par les autres.

Un grand nombre de stagiaires qui n'ont pas vécu une situation complexe sont incapables de réagir correctement, bien qu'ils connaissent les règles[61]. Cela signifie

[61] J'ai personnellement vécu exactement cette situation lors du premier quart à la passerelle pendant le premier embarquement après la 5e année : connaissant très bien la règle 17, je suis pourtant venu tardivement à gauche, au

que la connaissance des règles n'est pas suffisante pour entreprendre des manœuvres sûres dans des situations complexes. Ces stagiaires utilisent un mode de contrôle caractérisé par le fait que l'action semble être aléatoire (Hollnagel, 1993), là où les experts utilisent un type «tactique» de contrôle (ils appliquent une règle associant les caractéristiques de la situation et une action satisfaisante) ou un type « stratégique » de contrôle (un objectif de haut niveau visant à garder le contrôle les incite à manœuvrer très tôt et ils sont peu soumis aux caractéristiques de la situation).

Les résultats obtenus lors de l'expérimentation qui vient d'être présentée montrent que les exercices de prise de décision peuvent faciliter le processus de construction de schémas. Ils n'indiquent cependant qu'une tendance.

Les élèves du groupe test ont porté une plus grande attention aux caractéristiques de la situation que le groupe témoin. En revanche, ils ne semblent pas avoir été plus aptes à choisir une manœuvre sûre. Une seule séance d'exercices de prise de décision n'est probablement pas suffisante pour acquérir cette connaissance. Il pourrait être intéressant de développer ce type de session et de continuer à mesurer leur impact.

D'après les résultats ci-dessus, il est possible d'élaborer une autre stratégie d'amélioration de la formation, consistant en une formation « qualification de type».

Les officiers-élèves qui reviennent à l'école sont une classe très hétérogène. Les compétences qu'ils montrent dépendent largement du type de navigation pratiqué au cours de leur expérience en mer. Dans l'aviation civile, entre la phase de formation générique (formation en vol sur un petit avion) et le vol de ligne dans une compagnie aérienne, l'élève pilote est soumis à une formation intensive sur le type exact d'avion qu'il sera amené à piloter ensuite ; cette phase est appelée la « qualification de type ». De même, le pilote de ligne, aussi chevronné soit-il devra refaire une « qualification de type » s'il doit changer de type d'avion. Là où l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) fait une différence entre les types d'aéronefs, l'OMI (Organisation maritime internationale) pourrait faire une différence entre les types de navigation ou de métiers. La formation académique maritime française pourrait différencier la 5ème année en : a) déterminant un

moment où l'autre navire, plus petit et plus manœuvrant, décidait soudain de venir à droite, avec à la clé une situation très rapprochée (Clostermann, 2010, p. 199).

tronc commun à tous les métiers ; b) offrant aux officiers-élèves de se spécialiser dans le domaine précis dans lequel ils veulent obtenir leur diplôme (vrac liquide, conteneurs, pose de câbles, assistance aux plates-formes pétrolières, recherche sismique, gaz liquéfié, transport de passagers, etc.). Ceci permettrait, par la réduction du nombre des matières, de consacrer un temps plus long aux matières choisies. Un changement de type de navigation ultérieur forcerait l'officier à suivre une session de formation spécialisée dans le nouveau type de navigation envisagé. Finalement, cela revient simplement à reconnaître que les élèves officiers qui reviennent à l'école pour leur diplôme final ont des besoins différents en fonction de leur activité, et à appliquer à la formation initiale ce qui se pratique déjà au cours des sessions de formation continue.

Après ce chapitre consacré à la cognition de l'opérateur individuel, le chapitre suivant s'intéressera à la cognition d'équipe et la façon dont l'équipe construit et maintient, tout au long de son activité, une représentation commune de la situation qui lui permet de se coordonner efficacement.

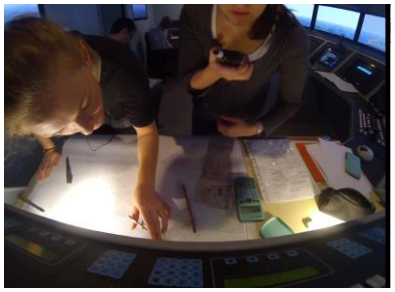
RESUME

Ce chapitre met en relief les insuffisances de la formation académique pour l'acquisition de compétences opérationnelles comme la capacité à évaluer une situation d'interaction entre navires et prendre une décision appropriée. Si les experts sont en mesure de gérer des situations complexes d'une manière acceptable, beaucoup d'officiers novices, cette expérimentation sur simulateur le montre, sont incapables de gérer de telles situations. ou même se rappeler leurs principales caractéristiques. Des jeux de prise de décision ont été testés avec ces jeunes officiers, et des exercices ont été conçus pour évaluer l'impact de ces nouveaux outils sur le processus décisionnel des stagiaires. Les résultats ont montré que les exercices de prise de décision, s'ils tendent à améliorer la capacité des stagiaires à analyser une situation complexe, n'ont pas eu un impact évident sur la manœuvre effectuée. En revanche, les officiers ayant déjà navigué sur car-ferry montrent plus que les autres une aptitude à gérer ces situations. Ceci confirme l'importance de la formation à bord pour l'acquisition des compétences.

# 7 MESURER LA COGNITION D'EQUIPE



*Après le chapitre 6 consacré à la cognition individuelle, ce chapitre s'intéresse à la cognition d'équipe. Quand la tâche devient si complexe qu'elle requiert la coordination de plusieurs opérateurs, ceux-ci doivent, en plus de la réalisation de la tâche technique, construire une représentation partagée de la situation qui leur permettra d'interagir efficacement. Ce chapitre relate une série d'expérimentations menées sur simulateur de conduite du navire entre 2010 et 2013 et destinées à établir un lien entre le processus de communication, l'élaboration du champ commun de la représentation mentale des membres de l'équipe et les performances obtenues par l'équipe en termes de sécurité et de réussite de la mission.*





Une équipe est définie par Salas et al. (1992) comme :

*A distinguishable set of two or more people who* ***interact, dynamically, interdependently, and adaptively*** *toward* ***a common and valued goal/objective/mission****, who have each been assigned* ***specific roles*** *or functions to perform, and who have a limited life-span of membership.*

Cette définition met l'accent sur différents aspects d'une équipe de travail : les membres d'une équipe interagissent, de façon dynamique, interdépendante et adaptative pour satisfaire une mission qui leur est commune et qu'ils valorisent ; chacun d'entre eux ayant des rôles ou fonctions spécifiques à réaliser. Une équipe en passerelle de navire présente toutes ces caractéristiques. Sur un navire de charge, elle est habituellement composée de 3 ou 4 personnes : un timonier (barreur), un officier, le commandant et, dans les zones qui l'exigent, un pilote. Le timonier a la charge de barrer le navire, soit en suivant un cap, soit en exécutant les ordres de barre. De plus, il peut aussi renforcer la veille visuelle. L'officier assure le rôle que lui attribue le commandant : soit il dirige la marche du navire – son rôle habituel quand il est seul sur la passerelle –, soit il assiste le commandant quand ce dernier a « pris la manœuvre ». Le commandant est responsable de la sécurité globale du navire et de la cargaison. Il peut décider de préserver ses ressources en restant en arrière-plan sur la passerelle, en soutien éventuel de l'officier, ou bien, en fonction des circonstances, il peut décider de se mettre en première ligne et diriger lui-même la manœuvre. Les SMS de certaines compagnies imposent parfois au commandant de prendre systématiquement la manœuvre au motif que puisqu'il est le responsable, c'est à lui de faire. Finalement, le pilote apporte sa connaissance fine du port et de ses abords. Avec un pilote à bord, le commandant peut décider de déléguer à ce dernier la conduite du navire, ou il peut au contraire conserver la manœuvre, au prix d'une consommation de ressources accrue, et n'utiliser le pilote qu'en filet de sécurité. De plus, chaque manœuvre est l'occasion d'une rencontre entre deux personnes étrangères l'une à l'autre : le capitaine et le pilote. Chaque manœuvre fait l'objet d'un compromis entre ces deux hommes, d'un réglage du fonctionnement de l'équipe. On comprend que le réglage ne sera pas le même pour un capitaine hollandais – pays de culture maritime très forte – et un pilote d'un pays émergent, et pour un capitaine d'un pays émergent et un pilote américain. On voit au travers de ces exemples que dans une équipe de passerelle hautement adaptative les compétences et les rôles sont différents et tous nécessaires pour

atteindre l'objectif. Tous ces acteurs interagissent pour conduire le navire en respectant des contraintes d'horaire et en évitant les accidents (échouements et collisions). L'analyse des rapports d'accidents portant sur les collisions entre navires a montré que le fonctionnement de ces équipes pouvait présenter des défaillances : absence de communication en « boucles fermées », absence de surveillance mutuelle, mauvaise répartition des tâches, absence de soutien, communication insuffisante sur les traits saillants de la situation, briefing insuffisant. On constate en particulier que quand le pilote arrive à bord, il a déjà construit une compréhension de la situation et donc un plan qui peuvent être très différents de ceux du capitaine, et de nombreuses surprises de coordination ont eu pour origine le fait que ces deux membres de l'équipe avaient en tête des plans incompatibles (DMAIB[62], 2008). Les formations de type CRM visent à pallier à ces défaillances. Cependant, comme on l'a noté précédemment, elles ne sont pas associées à une méthodologie permettant d'évaluer leur impact.

L'étude qui est présentée dans ce chapitre propose une méthodologie d'analyse des processus et de la performance d'équipes. Cette méthodologie a été mise en œuvre pour analyser la cognition d'équipe d'élèves de la marine marchande sur simulateur passerelle.

Elle est présentée en quatre temps. Une première section recense les différentes méthodes d'analyse de la cognition d'équipe en mettant l'accent sur les méthodes d'analyse des communications entre ses membres. Une deuxième section expose le cadre méthodologique qui a été établi. Les résultats obtenus sont ensuite présentés puis discutés.

## 7.1 LES METHODES D'ANALYSE DE LA COGNITION D'EQUIPE

Il est désormais admis qu'il est nécessaire de comprendre et de mesurer la cognition au niveau de l'équipe, pour pouvoir comprendre sa performance et son efficacité dans des environnements complexes (Salas, Rosen, Burke, Nicholson & Howse, 2007) ; (Cooke, Gorman & Kiekel, 2008).

L'analyse de la cognition d'équipe (Team Cognition) est nécessaire pour comprendre les causes des défaillances des collectifs. Dans le domaine militaire,

[62] Danish Maritime Accident Investigation Board, bureau danois d'enquête sur les accidents maritimes

Wilson, Salas, Priest et Andrews (2007) ont ainsi identifié les ruptures dans la cognition partagée comme cause essentielle des tirs fratricides. Il est également nécessaire d'analyser la cognition d'une équipe en situation de formation, pour pouvoir identifier les processus déficients et définir des programmes de remédiation.

La cognition d'équipe est un phénomène multi-niveau qui mobilise des structures de connaissances individuelles et des processus d'équipe, tels que la communication et la coordination (Cooke, Salas, Kiekel & Bell, 2004). Le traitement des connaissances individuelles par les processus collectifs conduit à une compréhension dynamique de l'environnement partagée par l'équipe et à des structures de connaissances collectives et stables à long terme (modèles mentaux partagés).

Mathieu et al. (2000) rappellent que tous les modèles portant sur le fonctionnement des équipes reposent peu ou prou sur un cadre de type Input-Process-Outcome (Cf. Figure 35). Les inputs sont les conditions qui caractérisent l'équipe (caractéristiques de l'équipe, de ses membres). Les résultats (outcome) recouvrent les caractéristiques de la performance (en termes de quantité et/ou de qualité) mais aussi la longévité de l'équipe ou encore les réactions affectives de ses membres. Les processus décrivent la transformation des inputs en outputs. Les processus collectifs couramment évoqués sont les processus de communication, de coopération et de coordination.

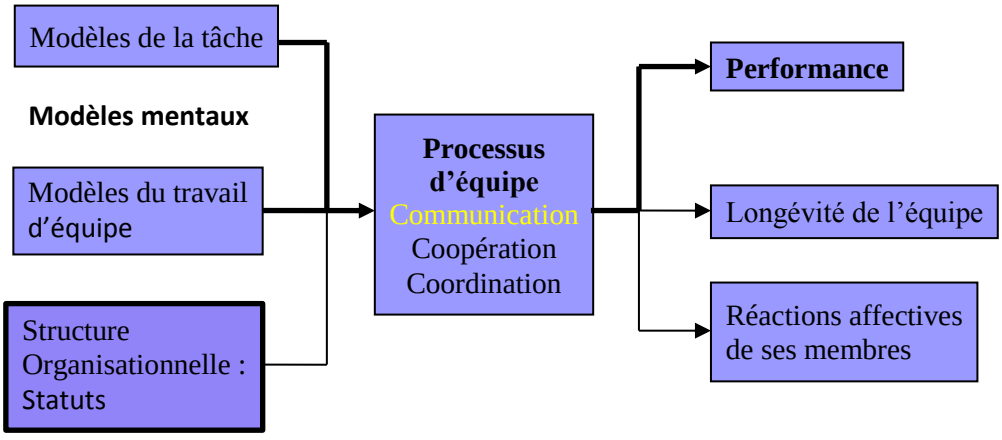



**Figure 35 : La cognition d'équipe représentée sous la forme d'un modèle IPO, Input-Processus-Output, d'après Mathieu & al. (2000)**

Dans la catégorie des inputs, les modèles mentaux partagés apparaissent déterminants. Ils sont particulièrement importants dans les situations où il est difficile de communiquer. Mathieu et al. (Ibid.) distinguent les modèles de la tâche et les modèles de l'équipe (portant notamment sur les rôles et responsabilités de ses membres). Burtscher et al (2011) distinguent, quant à eux, deux caractéristiques des Team Mutual Models (TMM) : la similarité et la précision. Ils montrent qu'il est nécessaire que la précision du TMM soit élevée pour que la similarité soit positivement reliée à la performance : avoir un modèle mental de la tâche similaire n'est profitable que si le modèle est précis.

Les systèmes de mesure de la cognition d'équipe doivent donc prendre en considération les résultats de l'équipe (la performance) mais également les structures mentales et les processus (comportements ou activités cognitives) utilisés par l'équipe pour accomplir sa tâche.

### 7.1.1 Mesures des performances/ résultats

Cooke et al. (Cooke, Kiekel, Salas, Stout, Bowers & Cannon-Bowers, 2003) proposent de mesurer la performance en terme de taux de réalisation de la mission : il s'agit de calculer un ratio prenant en compte la proportion de tâches réalisées avec succès et le temps utilisé (« *proportion of the mission tasks completed successfully divided by the proportion of maximum alloted minutes used* »).

Entin et Entin (2001) procèdent différemment. Un expert décompose une mission en différentes tâches et spécifie, pour chaque tâche, un certain nombre d'observables (« *behavioral anchors* ») indicateurs d'une performance « supérieure », d'une performance « adéquate » et d'une performance « faible ». Chacun de ces indicateurs peut être évalué en temps réel à l'aide d'une échelle en 7 points (de très faible à supérieur).

### 7.1.2 Analyse des processus mentaux et des structures mentales

Les méthodes visant à évaluer la qualité des structures mentales mobilisées au cours d'activités coopératives sont variées. On distinguera celles qui consistent en des jugements d'experts sur l'activité (jugement porté à l'aide de check-lists), celles qui utilisent des questionnaires pour interroger les opérateurs sur leurs

connaissances et celles qui infèrent les structures mentales à partir des traces de l'activité ou « marqueurs ».

*Check-lists* - Wilson et al. (2007) proposent des grilles (sous la forme de listes de questions) permettant d'évaluer la qualité du processus de communication, le processus de coordination et ses prérequis (la surveillance mutuelle, les connaissances partagées, la présence de comportements d'aide, l'adaptabilité de l'équipe) ainsi que les attitudes et croyances qui témoignent de la qualité de la coopération. Entin et Entin (2001) ont également développé un instrument permettant d'évaluer le travail d'équipe selon 6 dimensions (communication, surveillance, feedback, soutien, coordination, orientation).

*Métriques* – Cooke et al. (2003) proposent de mesurer les structures de connaissances partagées à l'aide de différentes métriques.

En ce qui concerne la connaissance de la tâche, chaque membre de l'équipe est interrogé (Salas, Rosen, Shawn Burke, Nicholson & Howse, 2007) sur les relations existant entre des paires d'objets de connaissance (il faut estimer s'ils sont faiblement ou fortement liés sur une échelle à 5 points) puis différentes métriques sont calculées pour évaluer la précision et la similarité des réponses. La précision des réponses est évaluée pour

- l'ensemble des questions (précision globale),
- les questions spécifiques à la tâche du participant (précision liée à la position de la personne, à son rôle),
- les questions qui ne relèvent pas de ses fonctions (précision inter positionnelle).

Cette dernière mesure permet d'évaluer la capacité de la personne à se décentrer. Pour chacune de ces trois métriques, il est possible de calculer la précision de l'équipe en faisant la moyenne des résultats de ses membres. La connaissance du travail de l'équipe est capturée à l'aide d'un questionnaire dans lequel chaque participant doit identifier le type d'information qui transite entre deux membres de l'équipe. Là encore les réponses sont évaluées en termes de précision (globale, positionnelle et inter positionnelle) et de similarité, au niveau individuel mais aussi au niveau collectif en ce qui concerne la précision.

Avec la même visée, Entin et Entin (2001) font passer, auprès de chaque membre d'une équipe et à la fin d'un scénario, un questionnaire qui porte sur la tâche qu'il était en train d'accomplir à un moment donné (moment correspondant à la

survenue d'un événement précis) et sur la tâche supposée être accomplie par les autres membres de l'équipe au même moment. Un score de congruence est calculé en comparant les différentes réponses.

Cooke et al. (Ibid.) montrent que les équipes qui ont les meilleurs scores de précision (globale, positionnelle et interpositionnelle) et de similarité sont également celles qui ont les meilleurs résultats.

Les questionnaires nécessaires au calcul des métriques, présentent l'inconvénient d'être des méthodes intrusives et par conséquent difficiles à utiliser en situation naturelle. Cooke et al. (2004) soulignent la nécessité de disposer de méthodes alternatives.

*Marqueurs* – Les propositions de Salas et al. (2007) vont dans ce sens, puisque ces auteurs définissent les marqueurs de structures partagées que sont *a)* la représentation mentale de la situation en cours et *b)* les modèles mentaux.

La représentation partagée de la situation résulte de la mise en œuvre d'un processus d'évaluation de la situation (situation assessment) qui lui-même comprend des processus de prise d'information, de compréhension de la situation, d'identification et de conceptualisation des problèmes, de planification et de mise en œuvre du plan.

Les modèles mentaux partagés sont des structures stables, sur lesquels les membres de l'équipe s'appuient pour communiquer et pour coopérer. Salas et al. (2007) identifient 3 marqueurs de ces structures :

- une communication en boucle fermée. Elle comporte trois étapes a) l'émetteur envoie un message ; b) le récepteur le reçoit, l'interprète et en accuse réception – en « collationnant », c'est-à-dire en répétant le message tel qu'il a été compris ; c) l'émetteur en écoutant l'accusé de réception s'assure que le message a été correctement compris (Salas, Sims, & Burke, 2005). Elle est caractérisée par des patterns standardisés de communication mais aussi par la concision ; Ruffel-Smith a montré dès 1979 dans une expérimentation sur simulateur de vol (Amalberti, Masson, Merritt, Pariès & al., 2001) que les pilotes ayant communiqué de façon explicite et en boucle fermée étaient ceux qui avaient réussi le mieux à gérer une situation imprévue générant une forte charge de travail. Orasanu & Fischer (1992) ont montré que les équipages d'avion performants alternaient entre coordination implicite et explicite et utilisaient la

communication dans des périodes relativement faible en charge de travail mentale et qu'ils se coordonnaient implicitement grâce à une compréhension partagée précise lors des périodes de forte charge de travail mental.

- La surveillance mutuelle de l'activité (capacité à suivre le travail d'autrui tout en réalisant ses propres tâches).
- La présence d'un comportement adaptatif se traduisant notamment par l'apport d'une assistance aux membres de l'équipe qui en ont besoin.

Cooke et al. (2004) proposent, eux aussi, d'utiliser la communication comme une « fenêtre sur la cognition d'équipe ». Leur proposition est la suivante : de la même façon qu'on utilise les verbalisations simultanées pour avoir accès à la cognition individuelle, on pourrait utiliser la communication inhérente au travail d'un collectif pour accéder à la cognition d'équipe. Ils retiennent deux aspects de la communication : le flux et le contenu.

En ce qui concerne le flux, la fréquence des prises de parole de chaque membre de l'équipe est enregistrée. Des méthodes séquentielles sont mises en œuvre pour identifier des changements dans les patterns. Le contenu est analysé à l'aide du logiciel LSA (Latent Semantic Analysis) développé par Landauer, Folz et Laham (1998).

Cooke, Gorman et Kiekel (2008) soulignent le caractère complémentaire de ces deux techniques. L'analyse des flux peut être automatisée facilement parce qu'elle porte sur des données de bas niveau. Elle permet de détecter rapidement des modifications dans les patterns de communication et, ce faisant, dans la cognition d'équipe. L'analyse de contenu peut être utilisée, dans un second temps, pour identifier la nature de ces changements.

Entin et Entin (2001) s'intéressent, eux aussi, aux flux de communication. Ils proposent de coder les communications en temps réel sur une matrice permettant d'identifier l'émetteur, le destinataire, le temps et le type de l'échange (transfert, demande, accusé de réception). Les transferts (ou apports) et les demandes sont catégorisés en apports ou demandes d'information, d'action ou de coordination. Cet outil est désormais informatisé. Différentes mesures reflètent la quantité, la direction, le temps et le type des communications (cf. Tableau 18). Elles peuvent être calculées au niveau individuel ou collectif.

| Mesure | Description |
|---|---|
| Total des communications | Nombre total de communications par minute |
| **Types de communication** | |
| Demande d'information | Nombre de demande d'information par minute |
| Apport d'information | Nombre d'informations transmises par minute |
| Demande d'action | Nombre de demandes d'actions par minute |
| Transfert d'actions | Nombre de déclaration d'action par minute |
| Demande de coordination | Nombre de demandes de coordination d'une action par minute |
| Transfert de coordination | Nombre d'acceptation de coordination d'une action par minute |
| Accusé de réception | Nombre d'accusés de réception par minute |
| **Ratios** | |
| Anticipation générale | Somme des transferts divisée par la somme des demandes |
| Anticipation d'information | Somme des transferts d'information divisée par la somme des demandes d'information |
| Anticipation d'action | Somme des transferts d'action divisée par la somme des demandes d'action |

Tableau 18 : Définition de métriques portant sur le flux de communication (d'après Entin & Entin, 2001)

### 7.1.3 Analyse centrée sur les processus coopératifs

Hoc (2001), Hoc et Carlier (2002) analysent également les échanges verbaux entre les membres d'une équipe. Ils proposent de réaliser une analyse de contenu consistant à identifier différentes activités de coopération interindividuelles en fonction de l'empan temporel et du degré d'abstraction des informations échangées. Ils distinguent ainsi la coopération « dans l'action », la coopération « dans la planification » et la « métacoopération ».

Lors de l'exécution de l'action, les activités de coopération consistent à gérer des interférences : à les créer (on retrouve ici la notion de contrôle mutuel), à les détecter, à les résoudre, à les anticiper.

Au niveau « planification », elles contribuent à élaborer et à assurer le maintien d'une représentation partagée (COmmon Frame Of Reference) concernant la situation extérieure mais aussi les buts, les plans et l'allocation des fonctions entre les agents. Il s'agit donc à la fois de se représenter le processus contrôlé et l'activité de contrôle.

Le niveau de la méta-coopération regroupe les activités cognitives qui permettent l'élaboration de représentations compatibles (élaboration d'un code de communication) ainsi que la génération d'un modèle de soi et des autres.
Bien qu'elle repose sur une analyse des communications, cette approche se démarque des méthodes précédemment présentées, parce qu'elle est qualitative et parce qu'elle vise à mettre directement en évidence les processus cognitifs. Elle apparaît donc complémentaire des analyses quantitatives de la communication, qui portent sur les flux et les contenus échangés.

Il est proposé, dans le cadre de ce chapitre, d'analyser la cognition d'équipe au travers des communications verbales de ses membres. Nous croiserons une analyse quantitative portant sur les flux de communication (nombre d'échanges, pourcentage de boucles fermées, durée des boucles, taux d'anticipation) et une analyse qualitative portant sur les contenus. Cette méthodologie a déjà été mise en œuvre pour analyser les processus cognitifs d'équipes en formation sur un simulateur de navigation (Chauvin, Coppin & Chéné, 2010). Cette étude a montré une relation entre les indicateurs de processus retenus et la performance des équipes observées.

## 7.2 METHODOLOGIE

### *7.2.1 Participants*

L'expérimentation a été menée auprès de 57 étudiants inscrits en 5ème année à l'Ecole Nationale de la Marine Marchande du Havre, repartis en 19 groupes de 3 personnes. Ce groupe se compose de 5 femmes et 52 hommes avec une moyenne d'âge de 26,2 ans (de 23 ans à 36 ans). Durant leur période d'embarquement appelée « 4ème année » – celle-ci dure en fait deux ans au minimum car elle comprend la navigation obligatoire comme élève, la navigation comme officier, et les périodes de congés – ces « étudiants » ont navigué en mer et comptabilisent, en moyenne, 8,3 mois de navigation en tant qu'officier de quart (3 mois au minimum, 34 mois au maximum). Ils ont navigué sur des ferries ou sur d'autres types de navires de transport, ou encore sur des navires de travail ayant une autre activité

que le transport telle que la recherche sismique, la pose de câbles, l'assistance de plate-forme pétrolière, etc…

Pendant le stage, qui dure deux semaines, les étudiants sont placés en équipes de deux sur chacune des quatre passerelles simulée (pass. A, B, C et D), l'un jouant le rôle du capitaine ou commandant[63] (Cdt), l'autre le rôle de l'officier de quart (CQ). La constitution des équipes est fixée par une grille (cf. Tableau 19) qui permet de s'assurer que les équipes changent d'un exercice au suivant, interdisant ainsi la construction d'habitudes communes qui permettraient à deux opérateurs une coordination implicite. A la fin du stage, les étudiants ne se connaissent que peu et leur coordination réclame des échanges explicites sur tous les aspects de la tâche.

**Répartition au SIM1 (G1, 8 stagiaires)**

| | | 1ère SEMAINE | | | | | | | | | | | | 2e SEMAINE | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MARDI | | | | MERCREDI | | | | JEUDI | | | | LUNDI | | | | MARDI | | | | MERCREDI | | | | JEUDI | | | |
| | | 0800 - 1215 | | | | 0800 - 1215 | | | | 0800 - 1215 | | | | 1015 et 1600 | | | | 1345 - 1800 | | | | 1345 - 1800 | | | | 1345 - 1800 | | | |
| D1 | | NAV1 | | | | NAV2 | | | | MAN2 | | | | MAN3 | | | | NAV3 | | | | NAV4 | | | | MAN5 | | | |
| | | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D |
| Etudiant 1 | Cdt | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | | 1 | | | | 2 | | | | | 1 | |
| | CQ | 1 | | | | | 1 | | | | | 2 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 2 |
| Etudiant 2 | Cdt | | 1 | | | | | | | | 2 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| | CQ | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | 2 | |
| Etudiant 3 | Cdt | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | 2 | | 1 | | | |
| | CQ | | | | | | | | 1 | | 2 | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | 2 | | | |
| Etudiant 4 | Cdt | | | | 1 | | | | | 2 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 2 |
| | CQ | | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | 1 | | 2 | | | 1 | | |
| Etudiant 5 | Cdt | 1 | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | |
| | CQ | | | | | | | | | 2 | | | | | | | 1 | | | 1 | | 2 | 1 | | | | | | 1 |
| Etudiant 6 | Cdt | | | | | | | | 1 | | | | 2 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 2 | |
| | CQ | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | 1 | | | |
| Etudiant 7 | Cdt | | | | | | 1 | | | | | 2 | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | 2 | | | |
| | CQ | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | 2 | | | | | | 1 | |
| Etudiant 8 | Cdt | | | | | 1 | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| | CQ | | | 1 | | | | | | | | | 2 | | | | | | 1 | | | 2 | | 1 | | 2 | | | |

**Tableau 19 : Rôle et passerelle attribuée aux étudiants pour chaque module du stage sur un des deux simulateurs**

## *7.2.2 Le protocole de recueil des données*

L'expérimentation a été réalisée sur le simulateur de navigation de l'école. Elle s'intègre dans un contexte d'évaluation des élèves. Ceux-ci doivent réaliser une tâche de conduite en respectant des exigences de sécurité et de performance

[63] Capitaine, commandant : 2 titres pour le même homme. « Capitaine » met l'accent sur la responsabilité, « Commandant » sur l'autorité.

(respect de l'horaire). Lors de la réalisation de cette tâche, les communications s'établissant entre les membres de l'équipe ont été enregistrées.

#### 7.2.2.1 : La situation expérimentale

Le simulateur. La passerelle du navire Altaïr est la reproduction légèrement simplifiée d'une passerelle intégrée moderne. Elle dispose d'un champ de vision de 180 degrés vers l'avant par l'intermédiaire de 7 écrans plasma, et de deux écrans plasma autorisant la vision vers l'arrière.

On peut dire que cette passerelle met à la disposition de l'élève l'instrumentation d'un navire moderne, à l'exception d'une carte électronique et un récepteur AIS (Automatic Identification System) lui permettant de connaître le nom des navires visibles sur le radar.

La passerelle simule les sons du moteur, des bruits divers, (pluie, vent etc…) et est équipée d'un générateur de basses fréquences simulant les vibrations dues à l'allure de la machine.

L'instrumentation de passerelle comporte deux radars, un GPS, un loch électromagnétique, un loch doppler donnant aussi les vitesses transversales de l'avant et de l'arrière, un sondeur à l'avant et un autre à l'arrière, une girouette anémomètre (capteur de vitesse et d'orientation du vent), un pilote automatique, une commande machine agissant sur le régime du moteur principal et sur l'orientation des pales de l'hélice, une commande de propulseur d'étrave, des jumelles associées à un compas de relèvement, une VHF, une liaison téléphonique avec les autres locaux du navire (machine, plage de manœuvre avant et arrière…)




Figure 36 : Vue partielle de la console centrale

Les données ont été enregistrées à l'aide de plusieurs caméras réparties sur la passerelle et placées de façon à ne pas gêner les étudiants. Une caméra de secours, au plafond, enregistrait aussi la simulation. Les verbalisations des étudiants assurant les rôles de capitaine et d'officier étaient enregistrées grâce à des micros cravates.




**Figure 37 : la passerelle de l'Altaïr, photomontage JM Diverrez**

Les informations figurant sur les écrans radars ont été enregistrées grâce au logiciel de capture d'écran « hypercam ». Celles apparaissant sur l'écran du poste instructeur ont été également enregistrées.

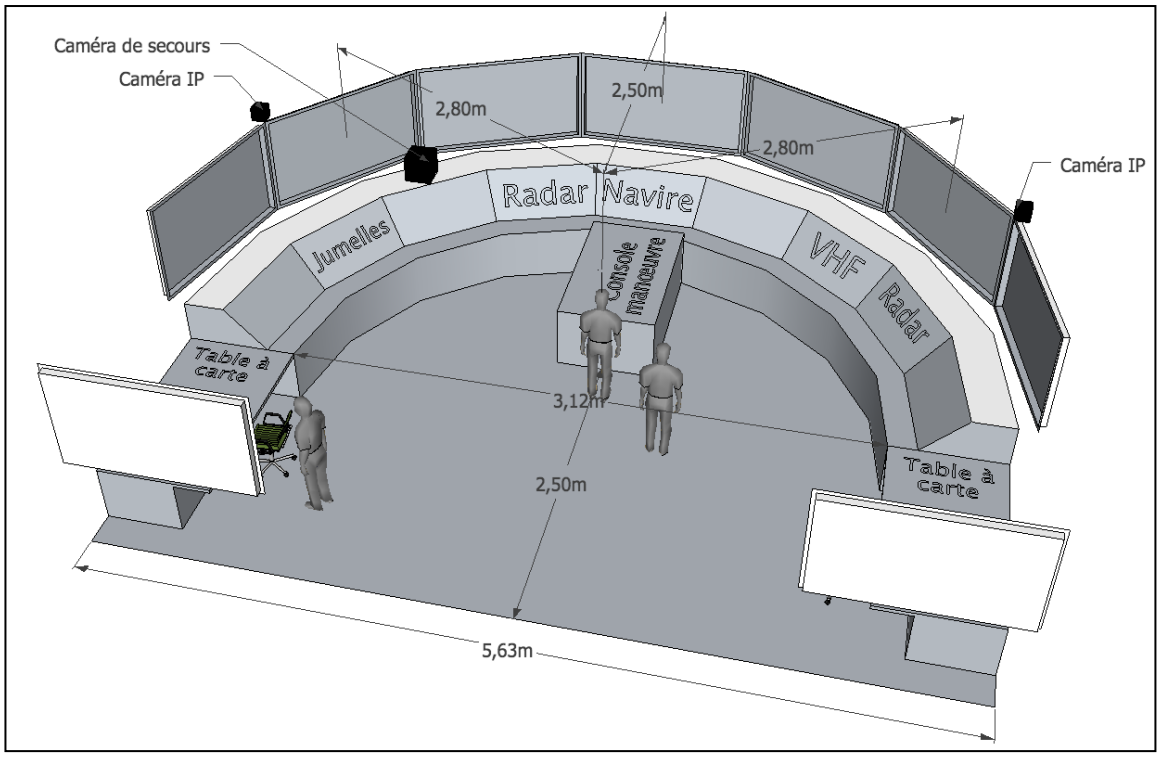



**Figure 38 : Configuration du dispositif de recueil des données au simulateur**

Le contexte. Les données ont été recueillies à l'issue d'un stage sur simulateur de conduite du navire ; stage consacré à l'anticollision, la navigation et la manœuvre.

Le scénario. Le scénario sur lequel sont évalués les étudiants de 5ème année dure environ 1h40. Chaque groupe est constitué de 3 étudiants. Chaque étudiant joue environ 25 minutes le rôle du capitaine et 25 minutes le rôle d'officier. Lorsqu'il est timonier, il n'est plus évalué. Au cours de cette simulation, les élèves sont confrontés à de nombreux aléas : éviter les hauts fonds, gérer des interactions avec plusieurs navires etc.

A l'intérieur de ce scénario, nous avons choisi d'étudier une séquence de 15 minutes qui présente la particularité de placer les équipes dans une situation difficile nécessitant - pour être réalisée avec succès - une bonne représentation de la situation au moins par le conducteur du navire. Cette situation comprend deux périodes.

a) Le navire doit tout d'abord suivre un premier chenal, gérer une interaction avec un navire en route opposée par visibilité réduite, puis changer de route au bon moment pour engainer le deuxième chenal, voie d'accès à un port ;

l'équipage doit gérer pendant cette phase une multiplicité de tâches dont aucune n'émerge de façon saillante mais qui nécessite une bonne répartition entre les deux officiers : surveillance en temps réel de la navigation (présence d'un courant traversier), de l'anticollision (les officiers entendent à la VHF des communications qui ne les concernent pas directement, mais qui les renseignent sur la présence d'autres navires), anticipation de l'entrée dans le deuxième chenal, préparation de la manœuvre d'arrivée (signalement de la position au port, mise de l'équipage aux postes de manœuvre).

b) La deuxième période commence lorsque l'équipage reçoit l'ordre de se rendre à la zone de mouillage. L'annonce est faite pendant que le navire change de route pour engainer le deuxième chenal. Subitement, l'équipe est confrontée à la gestion simultanée de deux préoccupations distinctes :

   1) Piloter le navire en sécurité dans la giration en cours, car la zone est étroite et il y a d'autres navires à proximité, et

2) déterminer de façon précise sa situation en terme de position, de trajectoire, de vitesse pour évaluer si le navire peut sans danger arrêter sa giration là où il se trouve et modifier sa route pour pénétrer dans la zone de mouillage ou s'il doit impérativement terminer la manœuvre en cours, amener le navire en sécurité dans l'axe du chenal avant d'envisager de faire demi-tour, la présence d'un haut-fond rendant la sortie latérale trop risquée.

La préoccupation 2) appelle deux solutions à engagement fort : soit l'équipe choisit de s'engager dans la zone de mouillage, et il n'est plus possible de revenir vers les eaux saines du chenal, soit le navire continue vers le chenal et il ne lui est plus possible de revenir de façon simple vers la zone de mouillage. Il lui faut en effet envisager un demi-tour non exempt de risque à cause du courant.

Le travail qui était jusque-là plutôt « dissocié » (disjunctive tasks) – la réussite est la somme des réussites individuelles – devient subitement « associé » (conjunctive tasks) – la réussite de l'équipe est celle du maillon le plus faible (Sauer, Darioly, Schmid Mast, Schmid & Bischof, 2010). La réussite de la mission (parvenir en toute sécurité) dépend de la représentation construite rapidement par l'équipage sur une partie de la situation extérieure qui était considérée comme non prioritaire jusqu'à cet instant – la zone de mouillage et les navires qui l'encombrent – ainsi que sur la trajectoire possible du navire pour rejoindre le point de mouillage compte tenu de la proximité des hauts fonds. Or dans cette zone, compte tenu de la visibilité réduite qui ne permet pas de se repérer visuellement, de l'image radar confuse du fait de la présence de navires au mouillage rendant délicate l'identification précise des amers, la construction de cette représentation est très coûteuse en ressources et confronte l'équipe à une « difficulté » du type de celles que décrit Amalberti ; c'est à dire

> *un produit de l'exécution et non une anticipation, (…) une prise de conscience globale d'un risque de mise en échec des capacités cognitives du fait de la saturation des ressources cognitives, (celle qui) émerge chaque fois que l'opérateur ne peut pas utiliser une procédure de traitement ou de conduite basée sur les habitudes, (…) résultat d'une auto-évaluation de la fatigue, des erreurs commises et plus globalement de la sensation de réduction des marges qui engendre en retour un niveau de stress croissant (Amalberti, 2001, p. 60).*

S'y ajoute le sentiment d'urgence à prendre une décision, car le navire est en giration par visibilité réduite à proximité de dangers.

Cette situation critique rend impérative la coopération entre les membres de l'équipage ; Celui des deux officiers qui ne conduit pas le navire (le « *Pilot Not Flying* » ou PNF en jargon aéronautique) doit, notamment, être proactif et apporter à celui qui conduit (le « *Pilot Flying* » ou PF) les informations utiles concernant la situation extérieure, la situation du navire, le plan à suivre, et au besoin solliciter avec insistance une décision car pendant le temps de cette analyse, le navire continue d'avancer.

### 7.2.3 Le codage des données verbales

Les communications enregistrées ont été découpées en « interactions » entre les membres de l'équipe.

| Type d'activité coopérative | Exemples |
|---|---|
| Création d'interférence (CR-ITF) : demande d'action sur la barre ou la vitesse. | *Midship the Wheel*<br>*Port 20*<br>*Reduce to half ahead please* |
| Elaboration ou maintien de la représentation partagée sur l'environnement extérieur (MAINT-EXT) : bouées, amers, feux, chenal, trafic, visibilité, courant. | *There's a buoy just ahead of us.*<br>*There are 2 ships coming in front.*<br>*Visibility is decreasing.* |
| Elaboration ou maintien de la représentation partagée sur la situation propre au navire (MAINT-INT) : cap, route, vitesse, position, clair-sous-quille[64]. | *What is our present speed.*<br>*We are here in that position.*<br>*We are west of the fairway.*<br>*What is the underkeel clearance?*<br>*Wheel is hard to port.* |
| Elaboration ou maintien de la représentation partagée du but à atteindre (MAINT-BUT). | *We must go to the anchorage area.* |
| Elaboration ou maintien de la représentation partagée du plan (MAINT-PLAN) : route à suivre pour atteindre le but. | *Remember that north of this buoy, we have to alter course to the north for the approach fairway.*<br>*We will keep that one on starbord side and we will go to number 1.*<br>*Next course over ground: 2-4-7.* |
| Elaboration ou maintenance de la représentation partagée de l'attribution des fonctions et des tâches entre les membres de l'équipe (MAINT-AF) | *I take the watch.* |

**Tableau 20 : Codage des activités coopératives selon le schème établi par Hoc (2001)**

Chaque interaction a été codée selon quatre dimensions :

[64] Clair-sous-quille : hauteur d'eau disponible sous la quille du navire.

- Interlocuteurs : émetteur (capitaine, officier ou timonier), récepteur (capitaine, officier ou timonier).
- Type d'interaction : demande d'information, apport d'information, demande d'action, apport d'action, accusé de réception.
- Fonction dans la boucle de communication : ouverture (apport d'information ou bien demande d'information ou d'action de la part de l'émetteur), fermeture (accusé de réception ou réponse à la demande de la part du récepteur). Seules deux étapes ont été considérées, car il est rare – en pratique – d'observer des boucles complètes, comportant trois étapes (Härgestam, Lindkvist & Brulin, 2013).
- Type d'activité coopérative selon la typologie proposée par Hoc (2001) et Hoc et Carlier (2002) : interférence dans l'action, élaboration ou maintien d'une représentation partagée. Le tableau 20 présente et illustre le codage des activités coopératives.

### *7.2.4 Analyse des données*

Pour chaque groupe, l'analyse a porté sur les communications mais aussi sur la performance du groupe. Nous attendons de l'analyse des communications qu'elle nous donne des indications sur la qualité des processus d'élaboration et de maintenance d'une représentation mentale partagée. L'hypothèse générale est la suivante : les groupes enregistrant des performances insuffisantes seront également ceux dont les processus présentent des défaillances.

Concernant la performance, l'analyse a porté sur la sécurité de la navigation et sur l'atteinte des objectifs.

Pour la partie « sécurité » de la performance, les critères étaient :

- Faible : Le navire a subi un abordage, un échouement, un near-miss, il a heurté une bouée.
- Satisfaisant : Le navire s'est tenu à une distance suffisante des dangers
- Elevé : la trajectoire a été optimale en termes de sécurité à tout moment pendant l'exercice.

Pour la partie « Atteinte des objectifs », les critères étaient :

- Faible : objectifs non atteints (zone de mouillage) pour cause d'accident ou de vitesse insuffisante eu égard aux conditions régnantes.

- Satisfaisant : le navire a progressé à une vitesse adaptée au respect de l'ETA, et s'il s'est s'écarté temporairement de la route la plus directe il est rapidement revenu sur une trajectoire adaptée.
- Elevé : Le navire a progressé au maximum de ses possibilités eu égard aux conditions régnantes, il est plutôt en avance sur l'horaire, il a atteint la zone de mouillage.

Concernant la communication, l'analyse a porté sur les boucles (nombre de boucles par minute, pourcentage de boucles ouvertes) et sur le taux d'anticipation (somme des apports divisé par la somme des demandes).

| Mesures globales | Mesures par type d'activité coopérative |
|---|---|
| Nombre de boucles par minute. | |
| % de boucles ouvertes (% de BO) | Nombre de boucles ouvertes divisé par le nombre total de boucles, multiplié par 100.<br>Nombre de boucles relatives à l'élaboration et au maintien d'une représentation partagée sur :<br>- La situation extérieure (MAINT-EXT),<br>- La situation interne au navire (MAINT-INT),<br>- Les plans (MAINT-PLAN),<br>divisé par le nombre total de boucles, multiplié par 100. |
| Ratios | |
| Anticipation générale (Apport off / dem cap) | Somme des transferts de l'officier vers le capitaine divisée par la somme des demandes adressées du capitaine vers l'officier. |
| Anticipation relative à l'élaboration ou au maintien d'une représentation partagée de la situation extérieure (Apport ME/dem ME). | Somme des transferts relatifs à MAINT-EXT divisée par la somme des demandes relatives à MAINT-EXT. |
| Anticipation relative à l'élaboration ou au maintien d'une représentation partagée de la situation propre au navire (Apport MI/dem MI). | Somme des transferts relatifs à MAINT-INT divisée par la somme des demandes relatives à MAINT-INT. |
| Anticipation relative à l'élaboration ou au maintien d'une représentation partagée du plan (Apport MP/ dem MP). | Somme des transferts relatifs à MAINT-PLAN divisée par la somme des demandes relatives à MAINT-PLAN. |

**Tableau 21 : Indicateurs de communication**

Elle a été menée sur l'intégralité de chaque protocole, puis sur les interactions traduisant des activités de maintien de la représentation partagée : représentation

de la situation propre au navire (MAINT-INT), de la situation extérieure (MAINT-EXT) et du plan (MAINT-PLAN).
Le tableau 21 présente et définit les différents indicateurs retenus pour évaluer la qualité du processus de communication.

L'énoncé de ces indicateurs permet d'affiner l'hypothèse générale précédemment posée.
Les groupes enregistrant une performance insuffisante se distingueront des autres groupes en présentant plusieurs des caractéristiques suivantes :
- un nombre plus faible de boucles par minute ;
- un pourcentage plus élevé de boucles ouvertes ;
- un faible taux d'anticipation.

## 7.3 RESULTATS

Les résultats sont présentés en deux sections distinctes. La première expose les résultats des groupes en termes de performance. La seconde présente les résultats de l'analyse des communications puis établit les relations existant entre les caractéristiques de la performance et celles des communications.

### *7.3.1 Performances des groupes*

La performance des groupes a été évaluée selon deux critères : la sécurité (S) et la réussite de la mission (réussite de l'arrivée au mouillage dans le temps imparti, M). Pour chacun de ces critères, trois niveaux de performance ont été retenus, comme on l'a vu précédemment : très faible ou faible (F), satisfaisant (S), élevé (E).
Le tableau 22 présente les résultats de chacun des 19 groupes.

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 | G7 | G8 | G9 | G 10 | G 11 | G 12 | G 13 | G 14 | G 15 | G 16 | G 17 | G 18 | G 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S | F | A | F | F | F | E | F | A | E | A | F | E | A | A | F | F | F | E | F |
| M | F | A | F | E | F | E | F | E | E | F | E | E | E | A | E | F | E | E | E |

**Tableau 22 : Performances des groupes sur les critères sécurité (S) et réussite de la mission (M) évaluées en trois niveaux : faible ou très faible (F), adéquate (A) et élevée (E).**

L'examen de ce tableau conduit à distinguer 5 groupes dont la performance est jugée faible tant du point de vue de la performance (le navire n'a pas atteint la zone de mouillage) que du point de vue de la sécurité : le navire a subi un abordage ou un échouement (performance très faible) ou bien il est passé très d'un autre navire ou a heurté une bouée (performance faible). Il s'agit des groupes G1, G3, G5, G7 et G16.

Sept autres groupes se distinguent, à l'inverse, parce qu'ils réalisent une performance adéquate et / ou élevée sur les deux critères. En ce qui concerne la sécurité, le navire s'est tenu à une distance suffisante des dangers (performance adéquate) ou bien même a su garder une trajectoire optimale tout au long de l'exercice (performance élevée). En ce qui concerne la mission, il a progressé à une vitesse adaptée et a suivi une trajectoire également adaptée (performance adéquate) ou bien même a été en avance sur l'horaire (performance élevée). Il s'agit des groupes G2, G6, G8, G9, G12, G13, G14 et G18.

Les autres groupes (G4, G10, G11, G15, G17, G19) enregistrent une performance faible sur l'un des critères. Leur performance globale peut donc être qualifiée de « mitigée ».

### *7.3.2 Analyse des communications*

L'analyse a consisté à calculer des valeurs centrées-réduites pour chacune des variables, puis à mettre en évidence les groupes qui enregistrent des valeurs extrêmes (cf. Tableau 23).

- Valeurs extrêmes jugées NS, « non satisfaisantes » (en orange sur le tableau 23) : faible nombre de boucles par minute (valeur inférieure à -1), pourcentage important de boucles ouvertes (valeur supérieure à 1), faible anticipation générale et faible anticipation relative à l'élaboration et à la maintenance d'une représentation partagée de la situation extérieure, de la situation interne et du plan (valeurs inférieures à -1), proportion importante de boucles ouvertes relatives à l'élaboration ou la maintenance de la représentation partagée (valeurs supérieure à 1).
- Valeurs jugées B, « bonnes » (en vert sur le tableau 23) : nombre important de boucles par minutes (valeurs supérieures à 1), faibles proportions de boucles ouvertes (valeurs inférieures à -1), forte anticipation (valeurs supérieure à 1).

La relation entre les indicateurs de la communication et la performance apparait clairement pour la plupart des groupes.

| B | > 1 | < 1 | > 1 | > 1 | > 1 | < 1 | > 1 | > 1 | < 1 | > 1 | > 1 | < 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NS | < 1 | > 1 | < 1 | < 1 | < 1 | > 1 | < 1 | < 1 | > 1 | < 1 | < 1 | > 1 |
| N° de groupe | Nbre de boucles / min | % de Boucles ouvertes | App. Off / dem Cap | App.MI / min | Apport MI / dem MI | % de boucles MI BO | Apport ME / min | Apport ME / dem ME | % de boucles ME BO | Apport de MP / min | Apport MP / dem MP | % de boucles MP BO |
| G1 | 0,43 | 3,27 | -0,02 | 0,67 | 1,20 | 1,53 | -1,25 | -0,68 | -0,88 | -1,80 | -1,67 | -0,73 |
| G2 | 0,49 | -0,56 | 0,24 | 1,29 | | -0,07 | -0,10 | -0,63 | -0,38 | 0,14 | | -0,15 |
| G3 | -2,75 | 0,01 | -0,96 | -0,92 | | -0,61 | -0,20 | -0,40 | 2,08 | -0,97 | -0,33 | 1,62 |
| G4 | -0,17 | -0,32 | -0,62 | -1,38 | | -1,04 | -0,33 | -0,09 | 0,01 | 0,46 | -0,27 | -1,10 |
| G5 | 1,26 | 0,03 | 0,58 | -0,54 | -0,41 | 0,15 | 2,08 | 3,09 | 0,87 | 2,37 | 1,57 | 0,70 |
| G6 | 0,02 | 1,51 | -0,08 | -0,92 | | -0,96 | 0,93 | -0,35 | 0,89 | 0,57 | -0,40 | 0,56 |
| G7 | 0,71 | 0,48 | 1,19 | 0,79 | -0,41 | 1,63 | 1,50 | | 1,62 | -0,86 | | -1,14 |
| G8 | 1,05 | 0,20 | -0,88 | -0,04 | 0,13 | -1,17 | -1,00 | -0,56 | -1,30 | -0,91 | -0,90 | -0,05 |
| G9 | -1,16 | -0,10 | -0,43 | 1,71 | | 1,57 | 0,30 | | 0,30 | -0,71 | 0,62 | -0,17 |
| G10 | -1,07 | -0,70 | 3,14 | -0,17 | 1,73 | 1,97 | -0,50 | | -1,02 | -0,97 | | -1,81 |
| G11 | 0,56 | -0,79 | -0,25 | 0,96 | | -0,78 | 0,35 | 0,03 | 0,03 | 0,40 | -0,14 | -0,74 |
| G12 | -0,75 | -0,75 | -0,68 | 1,42 | 1,47 | -0,97 | -0,65 | -0,80 | -1,13 | 0,51 | 0,43 | 0,53 |
| G13 | 1,18 | 0,43 | 0,19 | 0,38 | -0,94 | 0,26 | 2,08 | 1,13 | -0,10 | 2,69 | 1,88 | 0,98 |
| G14 | 0,10 | -0,76 | -0,02 | 0,83 | -0,54 | 0,05 | -0,38 | | -0,28 | -0,14 | 0,62 | -0,02 |
| G15 | 0,16 | -0,56 | -0,88 | -0,04 | 0,93 | -0,33 | 0,23 | -0,36 | 0,36 | -0,77 | -1,00 | -1,01 |
| G16 | 1,41 | 0,46 | -1,08 | -1,50 | -1,34 | -0,95 | -0,73 | -0,56 | 0,92 | 0,43 | -1,00 | 1,81 |
| G17 | -1,02 | -0,19 | 1,03 | -1,04 | -0,67 | 0,08 | -0,50 | 0,50 | 0,51 | -0,14 | 1,38 | 1,30 |
| G18 | 0,56 | -0,73 | -0,48 | -0,13 | -0,41 | -0,50 | -0,65 | 0,26 | -1,27 | 0,31 | | -0,53 |
| G19 | -0,20 | -0,90 | -0,10 | -0,88 | -0,76 | 0,19 | -1,10 | -0,56 | -1,25 | 0,80 | | -0,06 |

**Tableau 23 : Valeurs prises, pour chacun des groupes, par les différents indicateurs de communication.**
**Nota : les cases vides correspondent à des divisions par zéro**

La lecture de ce tableau montre que les groupes G1, G3, G7 et G16, qui obtiennent des performances faibles, se distinguent des autres en enregistrant des valeurs extrêmes jugées « non satisfaisantes » pour deux indicateurs au moins.

Ces quatre groupes enregistrent, au total, 14 valeurs extrêmes jugées « insatisfaisantes ».

A l'inverse, les groupes qui obtiennent des performances satisfaisantes (G2, G6, G8, G9, G12, G13, G14 et G18) ne totalisent que 3 valeurs extrêmes de ce type.

Un test de chi2 montre que la relation entre performance (faible, mitigée, ou élevée) et qualité de la communication (valeurs extrêmes « non satisfaisantes », valeurs moyennes, valeurs extrêmes jugées « bonnes ») est fortement significative, $\chi 2$ (4,213) = 16.62, p= .002296.

Les groupes dont la performance est faible obtiennent plus souvent que les autres des scores extrêmes jugés « non satisfaisants » pour les variables caractérisant la communication au sein de l'équipe et plus rarement des scores moyens. Les groupes dont la performance est satisfaisante obtiennent, plus souvent que les autres, des scores moyens pour ces différentes variables et plus rarement des scores extrêmes jugés « non satisfaisants ».

Il convient cependant de souligner le cas particulier du groupe 5, pour lequel les caractéristiques de la communication ressortent en positif alors qu'il enregistre une performance très faible puisque le navire s'est échoué. On remarque que les points forts de ce groupe sont les mêmes que ceux du groupe 13 qui lui a réalisé une performance adéquate (sécurité) et élevée (réussite de la mission). L'auto-confrontation montre que le groupe 5 fonctionnait bien, avec une répartition claire des tâches – l'officier conduisant le navire suivant les indications du capitaine qui s'occupait de la navigation et des communications. A un moment particulièrement délicat, quand l'alarme sondeur signale que le navire est proche des hauts fonds, le capitaine décide de prendre la manœuvre lui-même et laisse subitement l'officier s'occuper de la navigation, sans instruction précise et sans lui demander s'il peut reprendre cette fonction « à la volée ». Celui-ci essaie en vain de comprendre où il se trouve, fait semble-t-il une erreur en reportant la position sur la carte. L'auto-confrontation montre qu'il avait des doutes sur le numéro de la place de mouillage à rejoindre « *je ne savais pas quel numéro c'était* » et que peu de temps après il perd pied sans juger utile de le signaler explicitement au capitaine puisque ce dernier « *savait où il était* ». Peu de temps après, le navire s'échoue. Dans ce cas, il y a eu une rupture soudaine du champ commun de représentation au moment du changement de rôle qui n'avait pas été préparé. La situation était complexe, générant une charge de travail élevée et du stress (alarme sondeur). L'équipe tente de reconstruire une compréhension commune, mais n'y parvient pas.

Après avoir testé la normalité des distributions à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov, des tests de Student ont été calculés pour les distributions normales,

dans le but de comparer les valeurs obtenues par les groupes peu performants et les autres. Les résultats sont non significatifs pour tous les indicateurs de communication, à l'exception de la proportion de boucles ouvertes relatives à la maintenance de la représentation de la situation extérieure ($t(17) = 2.84$, $p = 0.011$).

## 7.4 DISCUSSION

L'étude relatée dans ce chapitre poursuivait deux objectifs : *a)* identifier des indicateurs des processus cognitifs d'équipe, *b)* valider leur pertinence en montrant qu'ils constituent des prédicteurs de la performance des équipes.

Nous avons fait le choix d'extraire ces indicateurs des communications s'établissant entre les membres d'un équipage de trois personnes et, notamment, des communications s'établissant entre l'officier et le capitaine. L'analyse des communications nous permet d'aborder certaines des compétences non techniques qui sont au cœur du CRM (compétences listées par Flin et al., 2003) et, notamment, la construction de la *situation awareness* et la prise de décision. De plus, une communication en boucles fermées apparaît comme étant un des mécanismes de coordination centraux pour la réalisation d'un travail d'équipe efficace (Salas et al., 2005).

L'étude présentée ici montre qu'il convient de considérer plusieurs indicateurs pour appréhender la qualité des processus d'équipe mais que les indicateurs considérés ne sont certainement pas suffisants pour la cerner totalement. Elle présente également des limites qui seront discutées et ouvre la voie à des analyses complémentaires dont les grandes lignes seront exposées.

### *7.4.1 Intérêts et limites des indicateurs proposés*

L'étude montre que la plupart des groupes dont la performance n'est pas satisfaisante ont adopté un mode de communication qui présente des défaillances. Ces défaillances sont diverses et apparaissent au travers les valeurs prises par plusieurs des variables considérées. Il s'agit d'un faible volume de communication, d'une proportion importante de boucles ouvertes portant sur des points

importants (situation extérieure, situation interne, définition du plan), d'un manque de pro activité.

Il faut noter que ces groupes présentent des patterns de défaillance différents. Ce constat amène à dire qu'il faut considérer plusieurs indicateurs pour pouvoir évaluer la qualité du processus de communication.

Pour ces différents indicateurs, les groupes dont la performance est satisfaisante ou très satisfaisante enregistrent essentiellement des valeurs moyennes. Ce constat amène à dire qu'il faut, pour une tâche donnée, pouvoir comparer les groupes entre eux. Les seuls indicateurs pour lesquels il serait possible de considérer des valeurs absolues sont les ratios ou indicateurs d'anticipation ; une valeur inférieure à 1 indiquant, en effet, qu'il y a plus de demandes que d'apports.

D'autres aspects, qui peuvent également constituer des prédicteurs de la performance, n'ont pas été pris en compte dans cette étude. Il s'agit du leadership et des compétences managériales ainsi que des caractéristiques de coopération liées à la considération, à l'aide apportées à autrui, à la surveillance mutuelle. Par ailleurs, l'analyse réalisée met en évidence le processus de construction d'une représentation partagée de la situation, des buts et des plans mais elle ne permet pas de vérifier que cette représentation est exacte. Les membres de l'équipe peuvent se mettre d'accord sur des informations fausses et, de ce fait, échouer.

Cette lacune peut être comblée, comme on l'a vu, par l'analyse d'entretiens d'auto-confrontation et / ou par la comparaison du processus de construction du COFOR avec un modèle de la tâche.

### *7.4.2 Limites de l'étude et perspectives*

La limite de l'étude menée réside dans la petite taille de l'échantillon ; il est composé de 19 groupes, c'est-à-dire de 19 individus au sens statistique du terme. Elle est liée également à la nature des variables analysées. La littérature portant sur la communication d'équipe laisse penser, en effet, que des performances faibles peuvent être associées à trop peu ou trop d'interactions.

Il serait intéressant de réexaminer les données en considérant les boucles de communication comme des individus et en les mettant en parallèle avec des indicateurs de performance plus locaux déduits d'une analyse fine de la tâche. Il serait également intéressant, à cette occasion, de distinguer différents types de

boucles fermées, selon les interactions de fermeture (simple accusé de réception, apport d'une réponse à la question, apport d'une réponse partielle, apport d'une information plus riche que la question posée). Bowers et al. ont montré, en effet, qu'il y avait une relation entre des patterns de communication spécifiques et la performance des équipes (Bowers, Jentsch, Salas & Braun, 1998).

Nous pensons qu'une étude complémentaire de ce type est nécessaire avant de pouvoir utiliser l'analyse des communications verbales pour évaluer les processus mis en œuvre par des équipes ayant reçu une formation CRM.
Utiliser l'analyse des communications verbales pour évaluer les processus d'équipe suppose également de réduire son « coût » (temps de retranscription et de codage).

D'un point de vue technique, il nous semble envisageable de réaliser le codage des données « on line », à l'aide d'une tablette et d'un stylet. L'interface du dispositif de saisie devrait permettrait de coder le début et la fin d'une boucle (en cochant le coin supérieur gauche ou le coin inférieur droit d'une case par exemple), d'identifier l'émetteur et le récepteur du message, de distinguer des apports et des demandes d'information ou d'action et de distinguer le contenu des échanges selon qu'ils portent sur la situation extérieure, la situation interne au navire et le travail d'équipe (définition des buts et plans, répartition des fonctions).
Ce dispositif de saisie permettrait en particulier aux examinateurs d'améliorer leur évaluation de la performance de l'équipe pour les situations simples. En effet, en simulation, dès le lancement, les situations vécues par les stagiaires dépendent fortement de leurs premières actions dans le scénario. Reason (2008) admet qu'à côté des compétences des opérateurs, chance et malchance jouent aussi un rôle. Dans certains cas, les premières actions placent le navire dans une évolution idéale en termes de navigation et d'anticollision (les interactions avec des navires non encore perçus mais qui seraient devenus dangereux plus tard sont naturellement évitées). Dans une telle situation, des stagiaires n'effectuant qu'un médiocre travail d'équipe peuvent faire illusion, leur navire obtenant finalement de bons résultats sans rapport avec la qualité de leur coordination. Comme l'a montré Klein (1998) lors d'une expérimentation sur le jeu d'échecs, dans les situations faciles, les grands maîtres internationaux (les experts) semblent s'ennuyer et n'obtiennent

pas un résultat significativement meilleur que les joueurs amateurs (les novices). Tant que la pression temporelle est faible, les novices peuvent donc faire illusion et obtenir une performance proche de celle des experts. En revanche, l'écart se creuse quand la pression temporelle augmente, le nombre d'erreurs augmentant rapidement chez les novices alors qu'il diminue légèrement chez les experts. Si l'on admet que ce qui est vrai pour les individus l'est également pour les équipes, dans les situations simples, les navires conduits par des équipes peu coordonnées peuvent arriver à une performance honorable, qui n'est pas du tout prédictive de la performance qui serait la leur en situation complexe. Au simulateur, noter les résultats externes, les résultats objectifs obtenus par le navire ne permet pas de discriminer avec finesse les résultats internes : la qualité du travail d'équipe. En revanche, cette expérimentation semble montrer que l'inverse est vrai, et qu'un bon travail d'équipe, du moins celui dont témoignent les paramètres pris en compte ici, est fortement prédictif d'une bonne (ou même très bonne) performance du navire. Grâce à un outil facilitant la capture des échanges intra-équipe et à l'augmentation du poids de la note de coordination par rapport à celui de la note de performance du navire, les évaluateurs pourraient affiner la notation de ce stage affecté d'un coefficient important.

## CONCLUSION

Les expérimentations relatées dans ce chapitre, menées sur simulateur de conduite du navire dans un environnement relativement écologique, et à l'aide de méthodes non intrusives, ont montré, en dépit d'un nombre un peu faible de groupes, la valeur des indicateurs de certains processus cognitifs d'équipe (ceux qui permettent de maintenir un champ commun de représentation) pour prédire la performance de ces équipes. La mise au point d'une tablette de recueil des données permettrait aux évaluateurs d'effectuer un travail systématique de recueil à la fois quantitatif et qualitatif des échanges intra-équipes et d'augmenter la finesse de la notation.

RESUME

Des tâches complexes comme la conduite du navire en eaux resserrées nécessitent de coordonner les activités de plusieurs acteurs sur la passerelle. Cette coordination implique le partage de la conscience de la situation et des modèles mentaux (Team Mutual Models). 3 marqueurs signalent la présence d'un modèle mental partagé : une communication en boucle fermée, le contrôle mutuel et l'apport d'une assistance en cas de besoin. La communication est souvent utilisée comme « fenêtre sur la cognition d'équipe » (Cooke et al., 2004). Une expérimentation sur simulateur de conduite du navire faisant travailler en équipe 3 jeunes officiers a montré une relation fortement significative entre une communication faible en quantité et en qualité et la performance obtenue. En revanche, les résultats ne montrent pas de différence significative entre les équipes ayant un niveau de communication adéquat et celles montrant un niveau élevé en termes de performances obtenues. D'autres aspects que les échanges d'information peuvent être des prédicteurs de la performance comme les compétences managériales. De plus, une représentation partagée peut être fausse.

Néanmoins, un tel recueil des communications, s'il peut être automatisé, peut donner aux évaluateurs sur simulateur une image plus fine de la qualité du travail d'équipe réalisé qu'en se basant uniquement sur les performances obtenues.

# CONCLUSIONS DU MEMOIRE ET PERSPECTIVES

Le transport maritime est une activité à risques. Les grands accidents sont rares mais leur survenue suscite chaque fois la prise de conscience de la nécessité d'améliorer ce système. L'OMI a entrepris depuis maintenant deux décennies d'améliorer la sécurité du transport maritime en procéduralisant l'activité – code ISM – et en fiabilisant le travail des opérateurs, qu'ils soient seuls ou en équipe. C'est dans le cadre de cette fiabilisation que s'inscrit ce mémoire.

La problématique était double :

a) Identifier les processus les plus critiques dans la survenue des accidents maritimes.
b) Proposer des actions de formation permettant d'améliorer les processus relevant des équipages de navire.

La première question de recherche a porté sur les accidents maritimes survenus entre l'avènement de l'ISM en 1998 et les amendements de Manille en 2010. Ces accidents présentent-ils des caractéristiques communes ? Les grandes classes de défaillances identifiées dans l'aéronautique sont-elles présentes dans le maritime aujourd'hui ? Peut-on identifier des patterns de causes récurrents ?

La deuxième question de recherche portait sur le processus de prise de décision. Le courant de recherche de la NDM a montré que les experts sont capables de faire des choix entre des exigences contradictoires, tout en gérant leur consommation de ressources en adoptant un compromis cognitif satisfaisant. Comment fonctionnent les novices confrontés aux mêmes dilemmes ? Peut-on les aider à construire cette expertise qui leur permettra de reconnaître une situation prototypique de façon rapide et économique ?

La troisième question de recherche s'intéressait aux processus de construction d'une équipe synergique, l'objectif des formations CRM. Dans certaines circonstances, le travail atteint un tel niveau de complexité qu'il n'est plus possible

de l'effectuer seul. Pour parvenir à une bonne performance, les équipes mobilisent des connaissances individuelles, en particulier des modèles mentaux, et des processus collectifs, selon le modèle IPO, Input-Process-Output (Mathieu et al., 2000). Quels marqueurs pourrait-on utiliser pour servir de « fenêtre sur la cognition d'équipe » (Cooke et al., 2004) ? Pourrait-on prédire la réussite d'une équipe dans sa mission en se fondant sur la qualité du travail consacré au maintien d'une représentation partagée ?

La synthèse des résultats des études entreprises pour répondre à ces questions est exposée dans le tableau 24.

| | |
|---|---|
| Chapitre 5 :<br>Analyse des abordages en mer à l'aide du HFACS | Actes dangereux : prédominance des erreurs de décision<br>Facteurs prédisposants : présence importante de facteurs environnementaux liés à la visibilité et à l'utilisation du radar, perte de conscience de la situation, charge de travail élevée, carences dans la coordination au sein de la passerelle (BRM) et insuffisance de communications inter-navires ;<br>Défauts de supervision : principalement la planification d'opérations inappropriées et le non-respect du SMS ;<br>Au niveau organisationnel, SMS incomplet, audits insuffisants ;<br>Facteurs extérieurs : administrations parfois un peu laxistes.<br><br>Trois patterns de causes organisés autour de :<br>- problèmes de communication et défaillance dans le travail d'équipe, associés à des collisions en eaux resserrées et à la présence d'un pilote à bord du navire.<br>- défaillances à différents niveaux du système (attention, utilisation des instruments, définition des opérations, SMS incomplet) associées à des conditions de mauvaise visibilité.<br>- Non-respect du SMS. |
| Chapitre 6 :<br>Impact de la formation de jeunes officiers-élèves à la conscience de la situation et à la prise de décision | Les jeunes officiers, bien que totalisant en moyenne 8 mois de navigation comme chef de quart à la passerelle, prennent leurs décisions sur des informations parfois très succinctes ;<br>Une formation à la prise de décision montre une amélioration de la compréhension de la situation par ces jeunes officiers ;<br>Le critère le plus déterminant de la compétence en prise de décision est l'expérience de situations analogues ;<br>Sur ce constat, la prudence conseillerait de ne pas réduire les temps d'embarquement interscolaires |
| Chapitre 7 :<br>Mesurer la cognition d'équipe | Il existe un lien significatif entre la performance d'une équipe et la qualité de sa communication interne ;<br>Un niveau d'échanges suffisant – mais pas forcément élevé – permet une performance adéquate ou élevée, mais des échanges défaillants entrainent une performance faible ;<br>Un outil de saisie des verbalisations pourrait aider les évaluateurs sur simulateur à affiner leur appréciation de la performance des étudiants. |

**Tableau 24 : Synthèse des résultats**

Pour répondre à la première question, une analyse a été effectuée portant sur les données extraites de 27 rapports d'enquête sur 39 navires ayant subi un abordage. L'outil utilisé, le HFACS, dérivé du modèle Swiss Cheese, a permis d'explorer le fonctionnement du système en amont des situations de travail proprement dites.

Les résultats ont montré des classes de défaillances déjà identifiées depuis longtemps : défaut de conscience de la situation et défaut de travail d'équipe.

Le modèle de référence – la grille de Reason – a permis d'identifier des patterns de causes en cascade, par exemple un défaut de travail d'équipe qui entraîne un défaut de compréhension de la situation, qui entraîne à son tour une erreur de décision. Par ailleurs l'ACM et le regroupement hiérarchique effectués ont mis en évidence 3 patterns :

- Les accidents dus à un défaut de travail d'équipe avec pilote ;
- Les accidents de non-respect du SMS, dans des circonstances « faciles », qui peuvent évoquer un manque de rigueur (leadership ?) à bord ;
- Les accidents dus à de multiples erreurs latentes sans relations directes entre elles qui, cumulées, finissent par éroder la capacité de l'officier de quart à faire face à une situation difficile classique : la mauvaise visibilité.

Si les deux premiers sont connus dans le milieu maritime, le mécanisme du 3e pattern l'est beaucoup moins. Il fait écho à un constat fait par Reason (2008) lors d'une étude en chirurgie néo-natale.

Les limites de l'étude rejoignent des constats faits par d'autres chercheurs (Schröder-Hinrichs et al., 2011) : les défaillances du niveau organisationnel semblent peu représentées ; ce constat amène à se poser la question de la capacité des enquêteurs – en termes de formation et/ou de pouvoir – à faire des investigations tout à fait dans l'amont de l'organisation du système.

Pour répondre à la deuxième question de recherche, nous avons conçu et expérimenté 3 exercices inspirés des travaux de Pliske et al. (2001) ayant trait à une situation de prise de décision – revue critique de décision, collecte d'information et « prédiction de Cassandre » – puis avons comparé, dans une situation d'anticollision sur simulateur, un groupe test de jeunes officiers ayant effectué ces exercices et un groupe témoin ne les ayant pas pratiqués. L'analyse des réponses à un questionnaire basé sur les 3 niveaux de la SA (Endsley, 1995) a donné les résultats suivants :

- Les jeunes officiers prennent leurs décisions sur des informations parfois très succinctes. En particulier, la distance et la vitesse de l'autre navire sont parfois mal renseignées. Or une ACM montre un lien entre ces informations et la manœuvre effectuée.
- Les membres du groupe test ont montré une amélioration sensible de la qualité des informations collectées dans l'environnement, mais qui ne se traduit pas par la même amélioration dans le choix de la manœuvre.
- L'analyse fait ressortir sous-groupes distincts dans chacun des groupes considérés (test ou témoin) : le sous-groupe ayant déjà navigué comme officier de quart sur les ferries obtient des résultats significativement meilleurs que l'autre sous-groupe.

Il ressort donc de cette étude que la formation universitaire présente des lacunes pour l'acquisition des schémas de compréhension d'une situation dynamique – ceux qui constituent la compétence professionnelle en situation de travail. En revanche, c'est bien l'expérience opérationnelle qui permet d'acquérir des schémas permettant de concilier des exigences contradictoires et de manœuvrer de façon sûre tout en gardant le contrôle de la situation.

Pour répondre à la troisième question de recherche, une autre expérimentation sur simulateur de conduite du navire a été effectuée, faisant cette fois intervenir une équipe de trois opérateurs, capitaine, officier, timonier. L'analyse de la cognition d'équipe a été effectuée au travers des communications verbales de ses membres, en croisant une analyse quantitative du flux d'informations échangées, et une analyse qualitative portant sur le contenu, et en utilisant un certain nombre d'indicateurs de communication (cf. tableau 21).

L'analyse des communications a montré de façon significative qu'en dessous d'un niveau minimum de qualité/quantité des processus de maintien d'une représentation mentale partagée, la performance réalisée par l'équipe est faible, aussi bien en termes de sécurité que de « réussite de la mission ».

Toutefois, cette étude présente des limites, en particulier la petite taille de l'échantillon.

Sur la base de ces résultats, nous identifions trois perspectives de recherche : la première porte sur la formation des élèves officiers et vise à poursuivre les réflexions portant sur la construction et l'évaluation d'outils de formation, la seconde porte sur l'activité d'une équipe passerelle en eaux resserrées, la troisième sur l'utilisation de l'instrumentation de passerelle et notamment du radar.

Axe de recherche 1

La première expérimentation montre que de jeunes officiers, bien notés par l'école et par leurs armements respectifs, peuvent être mis en difficulté dans des situations d'interaction courantes, on pourrait presque dire banales, en mer et prendre des décisions sous-optimales. La formation de type académique pour l'acquisition de compétences en situation dynamique comme la gestion de l'anticollision semble montrer des limites. Ceci incite à poursuivre des travaux de recherche ciblés sur les trois points suivants :

- Exercices de formation à la prise de décision. Des exercices appropriés peuvent améliorer la qualité de la prise d'information dans l'environnement, préalable indispensable à une bonne décision. Il faudrait élaborer plusieurs scénarios comme les deux présentés au chapitre 6, et tester l'amélioration résultante. Ceci suppose que les études accordent une place suffisante à ce type d'exercices.
- Scénarios pour le simulateur. Le simulateur est un excellent outil pédagogique. Son utilisation actuelle est principalement orientée vers l'amélioration des compétences techniques. Au vu des résultats de la deuxième expérimentation, cette utilisation gagnerait à être enrichie d'exercices spécifiquement orientés vers la construction d'un travail d'équipe efficace.
- Outil d'évaluation. Afin de pouvoir évaluer correctement les progrès des étudiants dans ce domaine, l'utilisation d'une tablette de recueil des verbalisations serait un avantage important. La mise au point d'une telle tablette pourrait faire à l'ENSM l'objet d'un projet d'études. Ce projet suppose cependant d'avoir validé au préalable les indicateurs de processus qui feront l'objet de l'analyse.

Axe de recherche 2

Le chapitre 5 montre la présence du pilote dans de nombreux accidents en eaux resserrées. A l'origine, une des pistes envisagée pour ce travail de thèse était l'étude du fonctionnement de la passerelle en opération de pilotage, en conditions écologiques, c'est-à-dire en situation réelle de travail. Au vu de l'analyse des accidents réalisée au chapitre 5, l'utilité d'un tel travail, en coopération avec la Fédération française des pilotes maritimes, semble toujours d'actualité.

Une analyse de l'activité en situation réelle de pilotage permettrait d'analyser les communications entre pilote, commandant, officier et timonier et d'évaluer ce processus à l'aide de la méthode d'analyse mise au point sur le simulateur passerelle.

Axe de recherche 3

Si la majorité des erreurs humaines concernent les compétences non techniques, on constate néanmoins à la lecture des rapports d'enquête que la mauvaise utilisation de l'instrumentation de passerelle, le radar notamment, contribue parfois aux accidents. Or, si les rapports mentionnent la mauvaise ou insuffisante utilisation du radar, ils s'étendent rarement sur le pourquoi de cette carence. Une réponse à ce constat – le projet « e-navigation » – est actuellement en cours d'étude à l'OMI, sous la forme d'apport d'informations supplémentaires pour permettre à l'officier de quart (toujours seul en passerelle) de mieux gérer les situations. Si l'industrie maritime ne semble pour l'instant pas s'être interrogée sur la pertinence de soigner le mal par le mal (davantage de technologie pour compenser l'utilisation inadéquate de la technologie existante par l'opérateur), il est crucial de se pencher sur l'utilisabilité des appareils par l'homme. Le centre du Havre devrait être doté prochainement d'un banc d' essai de matériels sous la forme d'une passerelle intégrée simulée permettant aux fabricants de tester les nouveaux produits, dès le stade de la conception et tout au long du développement. Un axe de recherche évident consisterait à accompagner les fabricants en testant la propriété émergeant du couplage homme-système, « *emerging property* » (Vicente, 2004, p. 46), grâce à des protocoles adaptés et garantir ainsi le meilleur couplage possible.

# INDEX


## A

accidents, 141
adaptabilité, 203
anticipation, 215
anticiper, 183

## B

briefing, 159

## C

charge de travail, 183, 205
check-list, 60
cognitif, 180, 183, 189
cognition, 101
cognition d'équipe, 201, 205
communication, 157, 201, 215
compétence, 180
complexe, 195
compréhension, 95, 157, 204
compréhension de la situation, 97, 100
compromis, 171, 175
compromis cognitif, 50, 92, 177
confiance, 99
contrôle, 177, 195, 206
coopération, 206, 213
coordination, 92, 201
culture de sécurité, 171

## D

de Terssac, 175
décision, 31, 35, 57, 84, 95, 179, 194, 213, 220
décisions, 170
défenses en profondeur, 54
délégation, 94, 95
difficulté, 212
dynamique, 85, 201

## E

échec, 100
Endsley, 77
engagement fort, 90
erreurs actives, 55
erreurs latentes, 55
évaluation, 186, 191
expert, 168
expertise, 85, 96, 181
experts, 178, 202

## F

fiabilité, 99
fiable. *Voir* fiabilité

## H

hiérarchie, 98

## I

initiative, 95
interdépendant, 93

## L

leader, 94, 95, 99
LOSA, 167

## M

modèles mentaux, 99, 178, 201, 204

## O

organisation, 70

## P

pattern, 205
*pattern matching*, 86, 88, 89
perception, 157
performance, 99, 177
plan, 95
planification, 96, 161, 204, 206
pratiques, 160
processus, 202

## R

reconnaissance, 178

récupération, 96, 97, 98
règles, 100, 160, 175, 183
représentation, 204, 206, 211, 214
résilience, 177
résilient, 178
ressources, 94, 178
retour d'expérience, 69

## S

schéma, 76
schémas, 179
sécurité, 60, 70, 96, 99
simulation mentale, 90
*situation awareness*, 220
Situation Awareness, 179
*soutien*, 158, 203
Soutien, 95
stress, 84
subordonné, 95, 98
supervision, 159
surveillance, 97, 205
synergie, 94
systémique, 172

## T

tâche, 99

# BIBLIOGRAPHIE


mv Herald of Free Enterprise (formal investigation), Report of Court N° 8074 (Department of Transport July 29, 1987).

Adams, M., Tenney, Y., & Pew, R. (1995). Situation Awareness and the cognitive management of complex systems. *Human Factors 37*, 85-104.

AFP. (2012, 2 mars). *Avis de gros temps pour la marque Costa Croisières.* Consulté le septembre 12, 2013, sur Directmatin.fr: www.directmatin.fr/people/2012-03-02/avis-de-gros-temps-pour-la-marque-costa-croisieres

Agrocampus Rennes Applied Math Dept. (2008). Récupéré sur FactomineR: http://factominer.free.fr

Allen, P., Wadsworth, E., & Smith, A. (2008). Seafarers' fatigue: a review of the recent litterature. *International Maritime Health*, pp. 59, 1 - 4, p 82 - 92.

Allianz Global Corporate & Specialty. (2012). *Safety and Shipping, 1912-2012.* Cardiff: Cardiff University.

Allianz Global Corporate & Specialty. (2013). *Safety and Shipping Review, 2013.* Récupéré sur www.allianz.com: https://www.allianz.com/v_1357567463000/media/press/documents/press-releases/AGCS_Safety_Shipping_Review_2013.pdf

Alwood, C. M. (1984). Error Detection Processes in Statistical Problem Solving. *Cognitive Science 8*, 413-437.

Amalberti, R. (2001). *La conduite des systèmes à risques, 2e ed.* Paris: Presses Universitaires de France.

Amalberti, R. (2005). Module 4 : Ergonomie cognitive. Dans U. R. V, *Support de cours du DU "Bases facteurs humains pour la conception de systèmes homme-machine en aéronautique"* (p. diapo 25). Paris: Université René Descartes.

Amalberti, R., & Mosneron-Dupin, F. (1997). *Facteurs humains et fiabilité.* Toulouse: Octarès.

Amalberti, R., Bons-Letouzey, C., & Sicot, C. (2009 (juin, n°33)). Trois ans de sinistralité en médecine générale : le rôle clé des "compétences non techniques" et des "tempo" dans le contrôle du risque. *RESPONSABILITE*.

Amalberti, R., Masson, M., Merritt, A., Pariès, J., & al. (2001). *BRIEFINGS, facteurs humains pour les pilotes et les professionnels de l'aéronautique, version 6.* Rungis: Editions Jean Mermoz.

Andro, A., Chauvin, C., & Le Bouar, G. (2003). Interaction Management and decision making in Collision Avoidance at Sea. . *9th European conference on cognitive science approaches to process control.* Amsterdam, september 16-19.

Antunes, P., Carrico, L., & Bandeira, R. (2011). Assessing Risk in Healthcare Collaborative Settings. Dans S. Kabene, *Human Resources in Healthcare, Health Informatics and Healthcare Systems* (pp. 154-166). Hershey, NY: Medical Information Science Reference.

Battacharya, S. (2012). The Effectiveness of the ISM Code: A Qualitative Enquiry. *Marine Policy 36*, 528-535.

BEA mer. (2011). *Abordage entre le porte-conteneurs CMA CGM Lapérouse et le caboteur fluvio-maritime Thèbe le 23 décembre 2010 dans le DST Off Vlieland (Mer du Nord).* Paris: BEA mer.

Bedny, G. Z., Karwowski, W., & Jeng, O. (2004). The Situational Reflection of Reality in Activity Theory and the Concept of Situation Awareness in Cognitive Psychology. *Theoretical Issues in Ergonomics Science 5/4*, 275-296.

Belcher, P. (2003). A Day in the Life of the Dover Strait. *Safety at Sea International 57/408*, 15-16.

Bird, F. E. (1974). *Management Guide to Loss Control.* Atlanta: Institute Press.

Bonavia, G. (2011). Un simulateur pour la formation des lamineurs de train à chaud. Dans P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet, *Améliorer la pratique professionnelle par la simulation* (pp. 73-89). Toulouse: Octarès.

Boucheix, J.-M. (2003). Ergonomie et formation. Approche d'ergonomie cognitive des apprentissages en formation professionnelle. *Psychologie française, 48(2)*, 17-34.

Bouillon, J.-F. (2011). *Les facteurs humains dans la formation des officiers mécaniciens de la marine marchande.* Le Havre: publication ENSM.

Bowers, C. A., Jentsch, F., Salas, E., & Braun, C. C. (1998). Analysing Communication Sequences for Team Training Needs Assessment. *Human Factors, 40*, 672-679.

Brami, J., & Amalberti, R. (2010). *La sécurité du patient en médecine générale.* Paris: Springer-Verlag France.

Brown, I. D. (1989). *Study into hours of work, fatigue and safety at sea.* Cambridge: Medical Research Council.

BST Canada. (1995). *Etude de sécurité portant sur les rapports de travail entre les capitaines, les officiers de quart et les pilotes de navires.*

Burt, C. (1950). The Factorial Analysis of Qualitative Data. *British Journal of Psychology 3*, 166-185.

Burtscher, M., Kolbe, M., Wacker, J., & Manser, T. (2011). Interactions of Team Mental Models and Monitoring Behaviors predict Team Performance in Simulated Anesthesia Inductions. *Journal of Experimental Psychology 17/3*, 257-269.

Cannon-Bowers, J. A., & Salas, E. (1998). *Making Decisions under Stress.* Washington DC: American Psychology Association.

Cannon-Bowers, J., & Bell, H. H. (1997). Training decision makers for complex environments : implications of the nautralistic decision making perspective. Dans C. E. Zsambok, & G. Klein, *Naturalistic Decision Making* (pp. 99-110). New-York: Lawrence Erlbaum Associates.

Celik, M., & Cebi, S. (2009). Analytical HFACS for investigation human errors in shipping accidents. *Accident Analysis and Prevention 41*, 66-75.

Chauvin, C. (2008). *La prise de décision en situation dynamique: exemple de la conduite du navire.* Lorient.

Chauvin, C. (2010). *Le facteur humain et la maîtrise des risques.* Conférence pour la Marine Nationale, Toulon.

Chauvin, C. (2011). Human Factors and Maritime Safety. *The Journal of Navigation*, pp. 64(4), 625-632.

Chauvin, C., & Clostermann, J.-P. (sous presse). Les facteurs cognitifs et la sécurité maritime. Dans D. Jegaden, *Traité de médecine maritime.* Paris: Springer-Verlag France.

Chauvin, C., & Lardjane, S. (2008). Decision making and strategies in an interaction situation : Collision avoidance at sea. *Transportation research*, Part F(4), 259-269.

Chauvin, C., & Saad, F. (2004). Interaction and communication in dynamic control tasks : ship handling and car driving. Dans T. H. Rothengatter, *Traffic and transport psychology, theory and application* (pp. 101-111). Amsterdam: Elsevier.

Chauvin, C., Clostermann, J.-P., & Hoc, J.-M. (2008). Situation Awareness and the Decision Making Process in a Dynamic Situation : Avoiding Collisions at Sea. *Journal of Cognitive Engineering and Decision-Making 2*, 1-23.

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*, pp. 1222-1231, vol 47.

Chauvin, C., Coppin, G., & Chéné, H. (2010). Analysis of the Dynamics of Common Ground : A methodological proposal. *E.C.C.E.*

Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J.-P., & Langard, B. (2013). Human and organizational factors in maritime accidents : Analysis of collisions at sea using HFACS. *Accident Analysis and Prevention, 59*, pp. 26-37.

Clostermann, j.-P. (2010). *La conduite du navire marchand, facteurs humains dans une activité à risques.* Rennes: INFOMER.

Clostermann, J.-P., & Bouillon, J.-F. (A paraître). Panorama des formations CRM dans la marine marchande. Dans M.-P. Fornette, & J.-Y. Jollans, *Les formations de type Crew Resource Management dans les activités de conduite de systèmes à risque.* Toulouse: Octarès.

Cockroft, A. N., & Lameijer, J. N. (1996). *A Guide to the Collision Avoidance Rules (5th ed).* Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

Cooke, N. J., Gorman, J. C., & Kiekel, P. A. (2008). Communication as Team-Level Cognitive Processing. Dans M. P. Letsky, N. W. Warner, S. M. Fiore, & C. Smith, *Macrocognition in Teams* (pp. 51-64). Aldershot: Ashgate.

Cooke, N. J., Kiekel, P. A., Salas, E., Stout, R., Bowers, C., & Cannon-Bowers, J. (2003). Measuring Team Knowledge : A window to the Cognitive Underpinning of Team Performance. *Group Dynamics : Theory, Research and Practice 7(3)*, 179-199.

Cooke, N. J., Salas, E., Kiekel, P. A., & Bell, B. (2004). Advances in Measuring Team Cognition. Dans E. Salas, & S. M. Fiore, *Team Cognition : Understanding the Factors that Drive Process and Performance* (pp. 83-106). Washington D.C.: American Psychological Association.

Cooper, G. E., White, M. D., & Lauber, J. K. (1980). Resource Management on the Flight Deck. *Proceeding of a NASA/Industry Workshop (NASA CP-2120.* Moffet Field, CA: NASA Ames Research Center.

Daniellou, F., Simard, M., & Boissières, I. (2010). Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle, un état de l'art. (F. p. industrielle, Éd.) *Les cahiers de la sécurité industrielle*(02).

Dekker, S. (2004). Ten Questions about Human Error: A New View of Human factors and System Safety. *Human Factors in Transportation*.

Dekker, S. (2007). *Just Culture: Balancing Safety and Accountability.* Farnham: Ashgate.

Dekker, S., & Lützhöft, M. (2006). Correspondance, Cognition and Sensemaking, : a Radical Empiricist View of Situation Awareness. Dans S. Banbury, & S. Tremblay, *A Cognitive Approach to Situation Awareness: Theory and Application* (p. 22). Adelshot: Ashgate.

Di Coccio, A. (A paraître). panorama des formations CRM dans l'aéronautique civile. Dans M.-P. Fornette, & J.-Y. Jollans, *Les formations de type Crew Resource Management dans les activités de conduite de systèmes à risque* (pp. 19-39). Toulouse: Octares.

DMAIB. (2008, July 8). *The Grounding of Minerva Concert on 14 May 2007.* Consulté le novembre 03, 2013, sur Danish Maritime Authority: http://www.dma.dk/SiteCollectionDocuments/OKE/List-marine-accident-reports-per-year/MINERVA-CONCERT.pdf

Doireau, P., Wioland, L., & Amalberti, R. (1997). La détection des erreurs humaines par des opérations extérieures à l'action : le cas du pilotage d'avion. *Le Travail Humain 60*, 131-157.

Dondery, D. C., & McFadden, S. (2003). A single Marine Overlay Display is more Efficient than Separate Chart and Radar Displays. *Displays 24*, 147-155.

Driskell, E., & Johnston, J. H. (2000). Stress Exposure Traning. Dans J. A. Cannon-Bowers, & E. Salas, *Making Decisions Under Stress, 2nd edition* (pp. 191-217). Washington DC: American Psychological Association.

Dunn, E. J., Mills, P. D., Neily, J., Crittenden, M. D., Carmack, A. L., & Bagian, J. P. (2007, June). Medical Team Training : Applying Crew Resource Management in the Veterans Health Administration. *Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*(6), 317-325 (9).

Edwards, E. (1972). Man and Machine : Systems for Safety. *Proceedings of British airline Pilots Associatio Technical Symposium.* London.

Edwards, E. (1988). Introductory Overview. Dans E. Wiener, & D. Nagel, *Human Factors in Aviation* (pp. 3-25). San Diego: Academic Press.

Ek, A., & Akselsson, R. (2005). Safety Culture onboard Six swedish Passenger Ships. *Maritime Policy & Management*, 159-176.

EMSA. (2010). *Maritime Accident Review .* European Maritime Safety Agency.

Endsley, M. R. (1995). Towards a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors 37*, 32-64.

Entin, E. E., & Entin, E. B. (2001). Measures for Evaluation of Team Processes and Performance in Experiments ans Exercices. *Proceedings of the 6th International Command and Control research and Technology Symposium.* Annapolis.

Fauquet-Alekhine, P. (2010, Décembre). Facteurs humains dans l'industrie nucléaire française. *La Revue Maritime*, pp. 4-11.

Financial Times. (2013, April 30). *BP faces 2,200 lawsuits over Deepwater horizon disaster.* Consulté le september 12, 2013, sur FT.com: http://www.ft.com/intl/cms/s/0/b0220494-b163-11e2-9315-00144feabdc0.html?siteedition=intl#axzz2efEQAzwk

Flin, R. (2006). Erosion of managerial resilience: Vasa to NASA. *Resilience engineering, concepts and precepts*, (pp. 208-219).

Flin, R., Martin, L., Goester, K. M., Hörman, H. J., Amalberti, R., Valot, C., et al. (2003). Development of the NOTECHS (non technical skills) System for Assessing Pilots' CRM Skills. *Human Factors and Aerospace Safety 3(2)*, 95-117.

Flin, R., O'Connor, P., & Mearns, K. (2002). Crew Resource Management : Improving Teamwork in High Reliability Industries. *Team Performance Management, 8*(3/4), 68-78.

Fornette, M.-P., & Jollans, J.-Y. (A paraître). *Les formations de type Crew Resource Management dans les activités de conduite de systèmes à risque.* Toulouse: Octarès.

Fowlkes, J. E., Lane, N. E., Salas, E., Franz, T., & Oser, R. (1994). Improving the measurement of Team Performance : Teh TARGETs Methodology. *Military Psychology, 6(1)*, 47-61.

Fowlkes, J. E., Salas, E., Baker, D. P., Cannon-Bowers, J. A., & Stout, R. J. (2000). The Utility of Event-based Knowledge Elicitation. *Human Factors 42*, 24-25.

Fuller, R. (2000). The task-capability interface model of the driving process. *Recherche, transport, sécurité 66*, 47-57.

Fuller, R. (2005). Toward a General Theory of Driver Behavior. *Accident Analysis and Prevention 37*, 461-472.

Gauthey, O. (2008). Le retour d'expérience : état des pratiques industrielles. (I. p. industrielle, Éd.) *Les cahiers de la sécurité industrielle*(02).

Gilson, R. D. (1995). Introduction to the Special Issue on Situation Awareness. *Human Factors 37*, 3-4.

Gordon, R., Flin, R., & Mearns, K. (2005). Designing and evaluating a human factors investigation Tool (HFIT) for accident analysis. *Safety Science 43*, 147-171.

Goukld, K. S., Roed, B. K., Saus, E. R., Koefoed, V. F., Bridger, R., & al. (2009). Effects of Navigational Method on Workload and Performance in Simulated High-Speed Ship Navigation. *Applied Ergonomics 40*, 103-114.

Graham, P. (2012). Casualty and World Fleet Statistics at 01.01.2012. *Communication presented at IUMI*. St Petersburg.

Granry, J.-C., & Moll, C. (2012). *Rapport sur l'état de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé.* Haute Autorité de Santé. consultable sur http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-01/simulation_en_sante_-_rapport.pdf.

Grau, J.-Y. (2008). Notions de psychologie aéronautique. Dans H. Marotte, & J.-Y. Grau, *Facteurs humains ATPL - CPL - IR 040* (p. partie 2). Institut Jean Mermoz.

Grech, M. R., Horberry, T. J., & Koester, T. (2008). *Human Factors in the Maritime Domain.* Boca Raton, Fl: CRC Press.

Greenacre, M., & Blasius, J. (2006). *Multiple Correspondence Analysis and Related Methods.* London: Chapman & Hall / CRC.

Härgestam, M., Lindkvist, M., Brulin, C., Jacobsson, M., & Hultin, M. (2013). Communication in Interdisciplinary Teams : Exploring Closed-Loop Communication during in situ Trauma Team Training. *BMJ Open*, 3:e003525. Doi: 10.1136/bmjopen-2013-003525.

Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Element of Statistical Learning.* New-York: Springer.

Havold, J. I. (2005). Safety Culture in a Norwegian Shipping Company. *Journal of Safety Research 36(5)*, 441-458.

Havold, J. I. (2010). Safety Culture and Safety Management aboard Tankers. *Reliability Engineering & System Safety 95(5)*, 511-519.

Hawkins, F. (1987). *Human Factors in Flight.* UK: Ashgate.

Hawkins, F. H., & Orlady, H. W. (1993). *Human factors in flight (2nd edition).* UK: Avebury Technical.

Hayward, B., & Lowe, A. (2010). The Migration of Crew Resource Management Training. Dans B. Kanki, R. Helmreich, & J. Anca, *Crew Resource Management* (pp. 317-342). San Diego: Academic Press.

Helmreich, R. L. (2002). Crew Performance Monitoring Program continues to evolve as database grows. *International Civil Aviation Organization (ICAO) Journal 57*, 6-7.

Helmreich, R. L., Merritt, A. C., & Wilhelm, J. A. (1999). The evolution of Crew Management Training in Commercial Aviation. *International Journal of Aviation Psychology, 9 (1)*, 19-32.

Hernqvist, M. (2013, June 3). *Media Release : The Swedish Club Academy fears limited impact of STCW revision*. Consulté le octobre 12, 2013, sur The Swedish Club Academy: http://www.tscacademy.com/main.php?mcid=3&mid=175&pid=76&newsid=1210

Hetherington, C., Flin, R., & Mearns, K. (2006). Safety in Shipping : The Human Element. *Journal of Safety Research 37*, 401-411.

Hoc, J. M. (1996). *Supervision et contrôle de processus : la congition en situation dynamique.* Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

Hoc, J. M. (1998, Février). L'ergonomie cognitive, un compromis entre des approches centrées sur la machine et des approches centrées sur l'homme. *Actes du colloque "Recherche et ergonomie"*. Toulouse.

Hoc, J.-M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification.* Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

Hoc, J.-M. (2001). Towards a Cognitive Approach to Human Machine Cooperation in Dynamic Situations. *International Journal of Human-Computer Studies, 54*, 509-540.

Hoc, J.-M., & Carlier, X. (2002). Role of a Common Frame of Reference in Cognitive Cooperation : Sharing Tasks between Agents in Air Traffic Control. *Cognition, Technology & Work, 4*, 37-47.

Hockey, G. R., Healey, A., Crawshaw, M., Wastell, D. G., & Sauer, J. (2003). Cognitive Demands of Collision Avoidance in Simulated Ship Control. *Human Factors 45*, 252-265.

Hollnagel, E. (1993). Human Reliability Analysis : Context and Control. *Academic Press*.

Hollnagel, E. (2004). *Barriers and Accident Prevention.* Aldershot: Ashgate.

Hollnagel, E. (2008). Investigation as an impediment to learning. Dans E. Hollnagel, C. Nemeth, & S. Dekker, *Remaining Sensitive to the Possibility of Failure; Resilience Engineering Series* (pp. 259-268). Aldershot: Ashgate.

Holt, A. (1878). Review of the progress of Steam Shipping during the last Quarter of a Century. *minutes of proceedings of the Institution of Civil Engineers* (pp. 2-11). London: published by the institution.

ICAO. (2001). *Proceedings of the First LOSA week.* HONG KONG: ICAO.

IHO. (2010, March). *Publication S-52 : Specifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS, 6th ed.* Monaco: IHO.

IMO. (1978). *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers.* London: IMO.

IMO. (1993, Novembre 4). *Res. A 741 (18) International Safety Management Code.* IMO.

IMO. (2004). Recommendations on Training ans Certification and on Operational Procedures for Maritime Pilots Other Than Deep-Sea Pilots. *Resolution A.960(23).* London: IMO.

IMO. (2010). Resolution 2 : The Manila Amendments to the Seafarer's Training, Certification and Watchkeeping (STCW) Code. *Conference of Parties to the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, STCW/CONF.2/34.* London: IMO.

IMO. (2011). *Resolution A.1037(27) Strategic Plan for the Organization (for the six-year period 2012 to 2017).* London: IMO.

Institute Of Medicine. (1999). *To Err is Human : Building a Safer health System.* Washington DC: National Academy Press.

ISO. (1990). *Norme ISO 8468 - Aménagement de la passerelle d'un navire et disposition de ses équipements annexes, exigences et directives*.

Itoh, H., Mitomo, N., Matsuoka, T., & Murohara, Y. (2004). An Extension of M-SHEL Model for Analysis of Human Factors at Ship Operation. *3rd International Conference on collision and Grounding of Ships (ICCGS 2004).* Izu, Japan.

Jensen, R. S., & Benel, R. (1977). *Judgement evaluation and instruction in civil pilot training. FAA Final Report (RD-78-24).* Springfield: National Technical Information Service.

Jollans, J. Y., & Fornette, M.-P. (A paraître). panorama des formations CRM dans les unités relevant du ministère de la défense. Dans M.-P. Fornette, & J.-Y. Jollans,

*Les formations de type Crew Resource Management dans les activités de conduite de systèmes à risque.* Toulouse: Octarès.

Jollans, J.-Y. (2011, novembre 28). *GdR psycho-ergo, 1ère journée de travail "Formations CRM"*. Paris.

Keyser (de), V. (1982). Les activités mentales dans le processus de production fortement automatisé. *Le Travail Humain 45 (2)*, 208-219.

Kirkpatrick, D. L. (1976). Evaluation of Training. Dans R. L. Craig, *Training and Developpement Handbook: a Guide to Human Resources Development* (pp. 18.1 - 18.27). New York: McGraw-Hill.

Kirkpatrick, D. L., & Kirkpatrick, J. D. (2006). *Evaluating Training Programs: The Four Levels.* San Francisco: Berret-Koehler Publishers Inc.

Klein, G. (1997). The Recognition Primed Decision (RPD) Model: looking back, looking forward. Dans C. E. Zsambok, & G. Klein, *Naturalistic Decision making* (pp. 285-292). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

Klein, G. (1998). *Sources of power: How people make decisions.* Cambridge, MA: MIT press.

Klein, G., Phillips, J. K., Rall, E. L., & Peluso, D. A. (2007). A data-frame theory of Sensemaking. Dans R. R. Hoffman, *Expertise Out of Context* (p. 113). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

Klein, G., Ross, K. G., Moon, B. M., Klein, D. E., Hoffman, R. R., & et Al. (2003). Macrocognition. *IEEE Intelligent Systems 18*, 81-85.

Kobus, D. A., Proctor, S., & Holste, S. (2001). Effect of Experience and Uncertainty during Dynamic Decision Making. *International Journal of Industrial Ergonomics 28*, 275-290.

Kristiansen, S. (2008). Marine Safety - Background. Dans A. Molland, *The Maritime Engineering Reference Book, Chap 11* (pp. 786-875). Butterworth Heinemann.

Kristiansen, S., Rensvik, E., & Mathisen, L. (1989, November 15-16). Integrated Total Control of the Bridge. *Presentation at Annual Meeting of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*. New-York.

Laboratoire d'anthropologie appliquée Université René Descartes. (1995). *Sommeil et vigilance des équipages des vols longs-courriers, guide de recommandation.* DGAC.

Labrucherie, M. (2011). Le pilotage des avions de ligne. Dans P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet, *Améliorer la pratique professionnelle par la simulation* (pp. 9-36). Toulouse: Octarès.

Landauer, T. K., Foltz, P. W., & Laham, D. (1998). An Introduction to Semantic Analysis. *Discourse Processes 25(2&3)*, 259-284.

Le Roux, B., & Rouanet, H. (2004). *Geometric Data Analysis, From Correspondence Analysis to Structured Data Analysis.* Dordrecht: Kluwer.

Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail.* Paris: Armand Colin.

Lille, F., & Baumler, R. (2005). *Tranport maritime, danger public et bien mondial.* Paris: Ed. Charles Léopold Mayer.

Limpar, P., & Jollans, J.-Y. (A paraître). panorama des formations inspirées du crew Resource Management (CRM) dans la santé. Dans M.-P. Fornette, & J.-Y. Jollans, *Les formations de type Crew Resource Management dans les activités de conduite de systèmes à risque.* Toulouse: Octarès.

Lipshitz, R., & Ben Shaul, O. (1997). Schemata and Mental Models in Recognition-Primed Decision Making. Dans C. E. Zsambok, & G. Klein, *Naturalistic Decision Making* (pp. 293-303). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

Lu, C. S., & Tsai, C. L. (2010). The effect of Safety Climate on Seafarers' Safety Behavior in Container Shipping. *Accident Analysis and Prevention 42*, 1999-2006.

Lu, C. S., & Yang, C. S. (2011). Safety Climate and Safety Behavior in the Passenger Ferry Context. *Accident Analysis and Prevention 43*, 329-341.

Lundberg, J., Rollenhagen, C., & Hollnagel, E. (2009). What-You-Look-For-Is-What-You-Find : The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals. *Safety Science 47*, 1297-1311.

Lundberg, J., Rollenhagen, C., & Hollnagel, E. (2010). What You Find is Not Always What You Fix - How others aspects than causes of accidents decide recommendations for remedial actions. *Accident Analysis and Prevention*, 2132-2139.

Lützhöft, M. H., & Dekker, S. W. (2002). On your watch: Automation on the bridge. *Journal of Navigation*, N°55(1), p 83-96.

Macmillan, J., Entin, E. E., & Serfaty, D. (2004). Communication overhead: The hidden cost of team cognition. Dans E. Salas, S. M. Fiore, & C. A. Bowers, *Team Cognition* (pp. 61 - 82). Washington DC: American Spychological Association.

MAIB. (2004). *Bridge Watchkeeping Safety Study 1.* Southampton: MAIB.

Manuel, M. E. (2009). Safety-Related Organizational Learning and Risk Construal in Shipping Companies. *Thèse de doctorat en "Maritime Administration"*. Malmö: World Maritime University.

Marc, J., & Amalberti, R. (2002). Contribution individuelle à la sécurité du collectif : l'exemple de la régulation du SAMU. *Le travail humain, 65*(3), pp. 217-242.

Marriot, J. (2007). *Disaster at sea.* New-York: Hippocrene Books.

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*, 273-283.

Miller, D. (1992). *Le paradoxe d'Icare.* Sainte-Foy, Québec: Les Presses de l'Université Laval.

Min Mou, J., Van der Tak, C., & Ligteringen, H. (2010). Study on Collision Avoidance in Busy Waterways by Using AIS Data. *Ocean Engineering 37*, 483-490.

Monseur, M., & Malaterre, G. (1969). Prise de décision des conducteurs aux carrefours. *Le travail humain*, n°32, 217-238.

Morel, C. (2002). *Les décisions absurdes - Sociologie des erreurs radicales et persistantes.* Paris: Gallimard.

Morel, G., & Chauvin, C. (2008). A Socio-Technical Approach of Risk Management applied to Collisions involving Fishing Vessels. *Safety Science*, 599-619.

Mosier, K. L. (1991). Expert Decision Making Strategies. *Proceedings of the 6th International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 266-271). Columbus, OH: P. Jersen (ed.).

Noy, L., Dekel, E., & Alon, U. (2011 ). The mirror game as a paradigm for studying the dynamics of two people improvising motion together. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 (52) 20947-20952.

NTSB. (1979). *NTSB-MAR-79-3 : collision of Argentine Freighter SANTA CRUZ II and U.S. Coast Guard Cutter CUYAHOGA in the Chesapeake Bay, October 20, 1978.* Springfield VA: National Technical Information Service.

NTSB. (1997). *NTSB-MAR-97-01 : Grounding of the panamenian passenger ship Royal Majesty on Rose and Crown Shoal near Nantucket, Massachussetts, june 10, 1995.* Springfield, VA: National Technical Information Service.

OACI. (2006). *Manuel de gestion de la sécurité, MGS, 1ère édition, Doc 9859 AN/460.* Publications techniques de l'OACI.

O'Connor, P., Campbell, J., Newon, J., Melton, J., Salas, E., & Al. (2008). Crew Resource Management Training Effectiveness: A Meta-Analysis and some Critical Needs. *the International Journal of Aviation Psychology*, 353-368.

O'Connor, p., Flin, R., & Fletcher, G. (2002). Techniques used to evaluate Crew Resource Management training: a literature review. *Human Factors and Aerospace Safety 2 (3)*, 217-233.

O'Connor, P., Flin, R., Fletcher, G., & Hemsley, P. (2002). Methods Used to Evaluate the Effectiveness of Flight Crew CRM Traning in the UK Aviation Industry. *Human Factors and Aerospace Safety 2/(3)*, 235-255.

O'Connor, P., Hörmann, H. J., Flin, R., Lodge, M., Goeters, K.-M., & the JARTEL group. (2002). Developing a method for Evaluating Crew Resourece Management Skills : A European Perspective. *The International Journal of Aviation Psychology , 12*(3), 263-285.

Orasanu, J. M., & Fischer, U. (1992). Team Cognition in the Cockpit: Linguistic Control of Shared Problem Solving. *Proceedings of the 14th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, (pp. 189-194).

Orasanu, J., & Connolly, T. (1993). The Reinvention of Decision-Making. Dans G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C. E. Zsambok, *Decision-Making in Action : Models and Methods* (pp. 3-20). Norwood, NJ: Ablex.

Pariès, J. (2007). Une brève histoire des formations facteurs humains dans l'aviation. *Séminaire sur les formations FH pour les opérations et la maintenance : pratiques et perspectives.* DGAC.

Patterson, J. M., & Shappell, S. A. (2010). Operator error and system deficiencies: analysis of 508 mining incidents and accidents from Queensland, Australia, using HFACS. *Accident Analysis and prevention 42*, 1379-1385.

Perrow, C. (1999). *Normal Accidents (original work published in 1984).* Princeton: Princeton University Press.

Perry, M. L., Pearce, C. L., & Sims, H. P. (1999). Empowered Selling Teams : How Shared Leadership Can Contribute do Selling Team Outcomes. *The Journal of Selling and Sales Management, 19 (3)*, 35-51.

Peruch, P., Cavallo, V., & Deutsch, C. (1985). Discrimination de trajectoires en simulation de conduite de grands navires. *Le Travail Humain 48 (4)*, 289-299.

Pettitt, M. (1994, octobre). Cockpit crisis and decision making: Implications for pilot training. *the Human Factors advocate*.

Pliske, R. M., McCloskey, M. J., & Klein, G. (2001). Decision Skills Training : Facilitating Learning from Experience. Dans E. Salas, & G. Klein, *Linking Expertise and Naturalistic Decision Making* (pp. 37-53). LEA: Mahwah.

Polet, P., Vanderhaegen, F., & Amalberti, R. (2003). Modeling borderline tolerated conditions of use (BTCU) and associated risks. *Safety Science 41*, 111-136.

Pourzanjani, M. (2001). Analysis of Human Error in Coordinating Ship's Collision Avoidance Action. *2nd International Conference on Collision and Grounding of Ships*, (pp. 85-91).

Rabardel, P., Chesnais, L. M., Lang, N., Le Joliff, G., & Pascal, M. (2001). *Ergonomie, concepts et méthodes, 3e édition.* Toulouse: Octarès.

Rasmussen, J. (1986). *Information Processing and Human-Machine Interaction.* North Holland: Elsevier.

Rasmussen, J. (1997). Risk Management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*, N°27, p 183-213.

Reason , J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents.* Aldershot: Ashgate.

Reason, J. (1988). Modelling the Basic Error Tendency of Human Operators. *Reliability Engineering and System Safety 22*, 137-153.

Reason, J. (1990). *Human error.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Reason, J. (2008). *The Human Contribution ; Unsafe Acts, Accidents and Heroïc Recoveries.* Farnham: Ashgate.

Reason, j., & Hobbs, A. (2003). *Managing maintenance Error.* Aldershot: Ashgate.

Reinach, S., & Viale, A. (2006). Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations. *Accident Analysis and Prevention, 38*, 396-406.

Ross, K. G., Lussier, J. W., & Klein, G. (2005). From the Recognition Primed Decision Model to Training. Dans T. Betsch, & S. Haberstroh, *The Routines of Decision Making* (pp. 327-341). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

Ross, K. G., Shafer, J. L., & Klein, G. (2006). Professional Judgments and "Naturalistic Decision Making". Dans K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovitch, & R. R. Hoffman, *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (pp. 403-419). New-York: Cambridge University Press.

Rothblum, A., Wheal, D., Withington, S., Shappell, S. A., & Wiegmann, D. A. (2002). Impoving Incident Investigation though inclusion of Human Factors. *Publications and papers. Paper 32*. United States Dept of Transportation.

Rouse, W. B. (1988). Adaptive aiding for Human/Computer Control. *Human Factors, 30 (4)*, 431-443.

Rousseau, R., Tremblay, S., & Breton, R. (2006). Defining and Modeling Situation Awareness: A Critical Review. Dans S. Banbury, & S. Tremblay, *A Cognitive Approach to Situation Awareness: Theory and Application.* Adelshot: Ashgate.

Sablowski, N. (1989). Effects of Bridge Automation on Mariner's Performance. Dans A. Coblenz, *Vigilance and Performance in Automized Systems* (pp. 101-110). Kluwer: Academic Publishers.

Salas, E., Dickinson, T. L., Converse, S., & Tannenbaum, S. I. (1992). Towerd an Understanding of Team Performance and Training. Dans R. W. Swezey, & E. Salas, *Teams: Their Training and Performance* (pp. 3-29). Norwood, N.J.: Ablex.

Salas, E., Fowlkes, J. E., Stout, R. J., Milanovich, D. M., & Prince, C. (1999). Does CRM Training improve Teamwork Skills in the Cockpit ? Two evaluation studies. *Human Factors 41 (2)*, 326-343.

Salas, E., Prince, C., Bowers, C. A., Stout, R. J., Oser, R. L., & Al. (1999). A Methodology for Enhancing Crew Resource Management Training. *Human Factors 41/1*, 161-172.

Salas, E., Rosen, M.-A., Shawn Burke, C. S., Nicholson, D., & Howse, W. R. (2007). Markers for Enhancing Team Cognition in Complex Environments: The Power of Team Performance Diagnosis. *Aviation, Space and Environmental Medicine 78*, B77-B85.

Salas, E., Shawn Burke, C., Bowers, C. A., & Wilson, K. A. (2001). Team Trainig in the Skies: Does Crew Resource Management (CRM) Training Work ? *Human Factors 43(4)*, 641-674.

Salas, E., Sims, D. E., & Burke, C. S. (2005). Is there a "big Five" in Teamwork ? *Small Groupe Research, 36*, 555-599.

Salas, E., Wilson, K. A., Burke, C. S., & Wightman, D. C. (2006). Does Crew Resource Management Training Work ? An Update, an Extension, ans Some Critical Needs. *Human Factors , 48(2)*, 392-412.

Salome-Martin, M., & Duvenci-Langa, S. (A paraître). Panorama des pratiques CRM à la SNCF. Dans M.-P. Fornette, & J.-Y. Jollans, *Les formations de type Crew Resource Management dans les activités de conduite de systèmes à risque.* Toulouse: Octares.

Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1991). Situation Awareness - a critical but ill-defined phenomenon. *International Journal of Aviation Psychology 1*, 45-47.

SAS Flight Academy AB. (2000). *Bridge Resource management Student's workbook, 8th edition.*

Sauer, J., Darioly, A., Schmid Mast, M., Schmid, P. C., & Bischof, N. (2010). A Multi-level Approach of Evaluating Crew Resource Management Training : A Laboratory-based Study Examining Communication Skills as a Function of Team Congruence. *Ergonomics 53:11*, 1311-1324.

Sauer, J., Wastell, D. G., Hockey, R. J., Crawshaw, C. M., Ishak, M., & al. (2002). Effects of Display Design on Performance in a Simulated Ship Navigation Environment. *Ergonomics 45*, 329-347.

Schröder-Hinrichs, J.-U. (2010). Human and organizational factors in the maritime world - Are we keeping up to speed ? *WMU Journal of Maritime Affairs 9*, 1-3.

Schröder-Hinrichs, J.-U., Baldauf, M., & Ghirxi, K.-T. (2011). Accident Investigation Reporting Deficiencies Related to Organizational Factors in Machinery Spaces Fires and Explosions. *Accident Analysis and Prevention 43*, 1187-1196.

Schuffel, H. (1984). Towards a Cockpit design once more. *Sd International Bridge Design and Operation Forum.* Hamburg: Hamburg Maritime Research.

Schuffel, H. (1986). *Human Control of Ships in Tracking Tasks.* Soest: Drukkerij Neoprint.

Shappell, S. A., & Detwiller, C. e. (2007). Human error and commercial aviation accidents: an analysis using the Human Factors Analysis and Classification System. *Human factors 49(2)*, 227-242.

Shappell, S. A., & Wiegmann, D. A. (2000). *The Human Factor analysis and Classification System - HFACS, Federal Aviation Administration Technical Report No.DOT/FAA/AM-00/7.* Springfield, VA: National Technical Information Service.

Shappell, S. A., & Wiegmann, D. A. (2001). Applying Reason: The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). *Human Factors and Aerospace Safety 1*, 59-86.

SHOM. (1991). *Réglement international pour prévenir les abordages en mer.* BREST: Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM).

Soelberg, P. O. (1967). Unprogrammed Decision Making. *Industrial Management Review, 8*, 19-29.

Stassen, H. G. (1987). Human Supervisor Modelling : Some new Developments. *Journal of Man-Machine Studies 27*, 613-618.

Stoschek, F. (2011, janvier 26-27). Projet performance humaine à EDF. *Communication lors des journées des grandes écoles de la Mer*. Le Havre.

Swift, A.-J. (1993). *Bridge Team Management - A practical Guide.* London: The Nautical Institute.

Taggart, W. R. (1993, octobre). How to kill off a good CRM program. *The CRM advocate, 93-1*, pp. 11-12.

Tamura, Y., Kawada, T., & Sazasawa, Y. (1997). Effect of ship noise on sleep. *Journal of sound and vibration*, 205 (4), p. 417 - 425.

Terssac (de), G. (1992). *Autonomie dans le travail.* Paris: P.U.F.

The R Development Core Team. (2012). *A langage and Environment for Statistical Computing*. Récupéré sur http://www.cran.r-project.org

The Swedish Club. (2013). *MRM Course Content*. Consulté le octobre 13, 2013, sur The Swedish Club academy: http://www.tscacademy.com/main.php?mcid=3&mid=166&pid=17246&tid=17246

UK P& I club. (1997). *Analysis of major claims.* édition numérique www.ukpandi.com .

Van Daele, A., & Ait Ameur, L. (2010). La gestion des erreurs et des risques dans l'aide médicale urgente. *Le Travail Humain 73 (4)*, 299-318.

Vaughan, D. (2005). The Normalization of Deviance: Signals of Danger, Situated Action, and Risk. Dans H. Montgomery, R. Lipshitz, & B. Brehmer, *How Professionals Make Decisions* (pp. 255-276).

Vicente, K. (2004). *The Human Factor.* New-York: routledge.

Vidal-Gomel, C., Fauquet-Alekhine, P., & Guibert, S. (2011). Réfexions et apports théoriques sur la pratique des formateurs et de la simulation. Dans P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet, *Améliorer la pratique professionnelle par la simulation* (pp. 115-141). Toulouse: Octarès.

Vidal-Gomez, C., & Rogalski, J. (2007). La conceptualisation et la place des concepts pragmatiques dans l'activité professionnelle et le développement des compétences. *Activités 4*, 49-84.

Weick, K. E. (1995). *Sensemaking in Organizations.* London: Sage Publications inc.

Wilson, K. A., Salas, E., Priest, H. A., & Andrews, D. (2007). Errors in the Heat of Battle : Taking a Closer Look at Shared Cognition breakdowns through Teamwork. *Human Factors. Special Issue : Classifying and Understanding Human Error 49(2)*, 243-256.

Woods, D. D. (2006). Essential characteristics of resilience. *Resilience engineering, concepts and precepts*, (pp. 18-30).

Xi, Y. T., Chen, W. J., Fang, Q. G., & Hu, S. P. (2010). HFACS model based data mining of human factors - A marine study. *International Conference of Industrial Engineering and Engineering Management*, (pp. 1499-1504).

Zsambok, C. E. (1997). Naturalistic Decision Making : Where are we now ? Dans C. E. Zsambok, & G. Klein, *Naturalistic Decision Making* (p. 3). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.