



**HAL**  
open science

## Intégration de la sécurité dans les autoroutes de la mer

Amira El-Mabrouk, Feyrouz Hamdaoui, Habib Hadj-Mabrouk

### ► To cite this version:

Amira El-Mabrouk, Feyrouz Hamdaoui, Habib Hadj-Mabrouk. Intégration de la sécurité dans les autoroutes de la mer. 5th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT'2009), IEEE, Mar 2009, Hammamet, Tunisie. pp.1-11. hal-03025022

**HAL Id: hal-03025022**

**<https://hal.science/hal-03025022v1>**

Submitted on 4 Jun 2021

**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.

# Intégration de la Sécurité dans les Autoroutes de la Mer

Amira ELMABROUK<sup>\*</sup>, Feyrouz HAMD AOUI<sup>\*\*</sup> et Habib HADJ-MABROUK<sup>\*</sup>

*\* ISTL Sousse – Tunisie*

*Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité  
2 avenue du Général Malleret-Joinville, 94114 Arcueil Cedex – France*

**mabrouk.amira@gmail.com**

**mabrouk@inrets.fr**

*\*\* ISSAT Sousse – Tunisie*

**feyrouzhamdaoui@gmail.com**

**Résumé:** Depuis l'année 2005, les autorités européennes ont consacré un effort supplémentaire afin de garantir la sûreté de la mer et de l'environnement marin, ainsi que la sécurité des biens, des hommes et de système. Suite à l'apparition de nouveau projet des autoroutes de la mer, la sécurité devient de plus en plus cruciale lors de développement de ces projets. En effet, l'infrastructure, les Hommes et l'environnement demeurent exposé à des risques et des événements inopinés, imprévisibles, et contraires à la sécurité. Cette étude s'inscrit dans ce contexte et vise l'élaboration d'une nouvelle approche méthodologique d'analyse des risques dont l'objectif est d'améliorer le niveau de sécurité et d'affaiblir les anomalies du secteur maritime.

**Mots clés:** Transport maritime, Autoroutes de la mer, Sûreté de fonctionnement, Sécurité, Analyse Préliminaire des Risques (APR).

## INTRODUCTION

Après les accidents d'Erika et de Prestige, l'union européenne a pris une série de mesures pour la sécurité maritime afin d'améliorer le niveau de sécurité et rendre la mer plus sûr, ces mesures portent principalement sur la lutte contre les pirateries, l'interdiction du transport du fuel lourde sur un navire à simple coque, le renforcement du contrôle des navires, la publication d'une liste noire des navires bannis, et des préventions contre la pollution des navires.

Malgré l'intérêt de ces mesures, la sécurité, dans le secteur maritime, demeurent, à notre sens:

- insuffisante pour garantir un niveau de risque acceptable conformément à la norme CENELEC 50129 ;
- la terminologie, le vocabulaire et les concepts usuellement utilisés dans ce secteur demeurent toujours imprécises, incohérentes voir même contradictoire, par exemple, dans le secteur maritime, il existe toujours une confusion entre les termes de sécurité et de sûreté ;

- les méthodes et les techniques de sécurité mise en œuvre dans ce secteur sont encore insuffisantes pour palier à l'ensemble des accidents et incidents survenu ces dernières années.

En dépit de ces insuffisances en matière de sécurité, les autorités européennes ont pensé de renforcer et d'améliorer le transport maritime à travers la mise en œuvre de nouveau projet des autoroutes de la mer dont l'objet est de renforcer le développement régional européen par mer.

Dans ce contexte, on passe d'un système maritime unimodal, à un transport multimodal de bonne qualité, de forte fréquence et de haute régularité. Ceci exige de nouvelles contraintes notamment en matière de sécurité beaucoup plus draconiennes. C'est ce qui a motivé le présent travail qui consiste à proposer une nouvelle approche d'analyse des risques (inspiré de plusieurs autres secteurs de transport et notamment celui du ferroviaire) dont l'objectif est d'améliorer le niveau de sécurité et d'affaiblir les anomalies du secteur maritime. Cette nouvelle approche permet, en outre, d'améliorer la terminologie appliquée actuellement dans le transport maritime en proposant un vocabulaire basé sur l'analyse de plusieurs normes relatives à la sécurité.

Après avoir présenté de manière générale, le secteur de transport maritime et notamment les approches de sécurité, le deuxième paragraphe sera entièrement consacré à la présentation des nouveaux projets des autoroutes de la mer.

Le troisième paragraphe présente notre contribution à l'amélioration de la sécurité dans les autoroutes de la mer. Cette approche est fondée essentiellement sur une méthode d'analyse des risques nommés l'Analyse Préliminaire des Risques (APR). Elle prend également en considération une nouvelle terminologie normalisée afin de clarifier l'ensemble des concepts relative à la sécurité de transport maritime.

## 1. Sécurité appliqué dans le transport maritime

Compte tenu de la dimension internationale du secteur de transport maritime, la sécurité est devenue de plus en plus réglementé par plusieurs organismes et agences des Nations Unies comme l'Organisation Maritime Internationale (OMI). Cette dernière a développé notamment, un cadre réglementaire consistant pour la sécurité des transports maritimes internationaux qui est appliqué à l'échelle mondiale. L'union européenne dispose aujourd'hui d'une agence européenne pour la sécurité maritime chargée de veiller à la législation communautaire en matière de sécurité. Le transport par mer est le moyen de transport commercial qui cause le moins de dommage lié à l'environnement et, par comparaison avec les activités menées sur terre, il ne représente qu'une faible part de responsabilité dans la pollution des mers découlant généralement des activités humaines. En revanche, la gravité des dommages causés par les accidents potentiels de la mer est catastrophique.

Après les accidents les plus dramatiques d'Erika et de prestige, l'Union européenne a pris une série de mesures pour rendre ses mers plus sûres. Aujourd'hui, la Commission [RAP 05a] propose un troisième ensemble de mesures de sécurité maritime. Ce paquet permet à l'Europe d'offrir un service maritime plus sûr, concurrentiel et respecte les exigences environnementales afin de garantir la sûreté des biens, des hommes et du système.

Alors, les entreprises de transport et de services maritimes sont censés de suivre une démarche active pour promouvoir une vision et des actions en faveur de la sécurité maritime et du respect de notre environnement. Ces actions portent notamment sur :

- La surveillance : la qualité des travaux menés par des compagnies maritimes devrait mieux être surveillée ;
- L'inspection des bateaux dans le port devrait également être de plus en plus concentrée sur des navires avec des profils de haut-risque ;
- La surveillance de trafic maritime sera améliorée par la prolongation du système de « Safe Sea Net » dans toute l'union. Des zones de refuge

seront indiquées afin d'accueillir des navires dans la détresse.

Depuis plusieurs années les armateurs européens ont mené des efforts intenses afin de moderniser la flotte et améliorer sans cesse la qualité de leurs navires, la formation de leurs navigants, la relation avec leurs partenaires pour garantir les bonnes pratiques en matière de sécurité.

Ainsi, la notion de sécurité [ROD 07] dans le secteur maritime désigne aussi bien l'état matériel qui résulte de l'absence réelle de danger que l'organisation des moyens propres à créer ou à perpétuer une telle situation. Alors que la notion de sûreté est défini par la combinaison des mesures, des moyens humains et matériels visant à protéger le transport maritime contre les menaces d'actions illicites intentionnelles.

L'objectif de la sécurité maritime consiste donc à mettre en œuvre des moyens et dispositifs en vue d'améliorer en permanence :

1. La sécurité des personnes et des biens transportés ;
2. La qualité des navires ;
3. La préservation de la mer et du littoral.

Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire de :

- Protéger l'environnement marin et le littoral
- Améliorer sans cesse la sécurité et la qualité des navires.
- Garantir de bonnes conditions de vie et de travail aux équipages.
- Diriger leurs entreprises avec transparence
- Affirmer leur solidarité avec la communauté maritime.

En conclusion, le transport maritime représente aujourd'hui un moyen indéniable pour limiter le recours croissant au transport routier et minimiser ainsi les accidents dans le transport terrestre. Ce constat a motivé les autorités nationales et européennes à améliorer ce secteur et s'orienter ainsi vers l'idée des autoroutes de la mer présenté dans le paragraphe suivant.

## 2. Les autoroutes de la mer

### 2.1. Définition

Le trafic des marchandises ne cesse d'augmenter sur l'ensemble des réseaux routiers européens. Les préventions sont dans le transport de fret augmentera de plus de 70% dans l'union européenne d'ici 2020 et de 95% dans les 10 nouveaux états membres. Par conséquent, la congestion des réseaux sera aggraver, l'environnement sera de plus en plus dégradé et le nombre des accidents routier augmente. Les autoroutes de la mer apporte un élément de réponse à l'ensemble des problèmes liés au transport terrestre.

Très schématiquement, une autoroute de la mer [RAP 05b] désigne une voie maritime très fréquentée par les navires roulier de commerce dont l'intérêt de soulager un trafic routier surchargé. Plus précisément, les autoroutes de la mer se distinguent par des lignes classiques de transport maritime à courte distance dont

l'objectif de créer des liaisons maritimes à haute fréquence et haute qualité de services, permettant de capter une part importante du trafic poids lourds des grandes axes routiers pour des raisons de développement durable (émission de gaz, pollution atmosphérique, consommation énergétique,...), de sécurité (circulation routière, matière dangereuses,...), et de fluidité routière (économie générale).

Autrement dit, les autoroutes de la mer sont des infrastructures flottantes qui permettent de transporter des marchandises d'un état membre à un autre état membre par la mer. Cette nouvelle conception ne peut être que d'un apport bénéfique par rapport à des itinéraires routiers qui sont souvent congestionnés, encombrés par des camions trop nombreux sur ces autoroutes terrestres. Ainsi l'Europe ne peut pas laisser passer cette opportunité et d'exploiter ses 40.000 Km des voies maritimes sur les cotes.

L'idée consiste alors de sélectionner de manière judicieuse un nombre limité des ports qui représente des points stratégiques et de les relier par des liaisons maritimes de qualité.

## 2.2. Les projets en cours des autoroutes de la mer

La Commission européenne a présenté le concept des autoroutes de la mer dans son livre blanc sur les transports de 2001, soulignant qu'il s'agit d'«une véritable alternative compétitive au transport terrestre».

Un groupe d'experts de haut niveau (High Level Group), désignés par tous les Ministères des Transports, a contribué à la révision du réseau en formulant une liste de recommandations.

La révision, en 2004, des orientations communautaires pour le développement du réseau transeuropéen de transport mentionnait la réalisation de quatre autoroutes de la mer parmi les 30 projets prioritaires bénéficiant de la majeure partie du financement alloué par l'UE dans le cadre du Réseau Trans-Européen des Transports (RTE-T).

Les travaux sont en bonne voie et l'attribution des premiers fonds de l'UE a démarré. Grâce aux financements RTE-T, la Commission européenne supporte l'élaboration de plans d'ensemble visant le déploiement d'autoroutes de la mer dans la mer Baltique, l'océan Atlantique et la mer Méditerranée.

A l'horizon 2010, le réseau des autoroutes de la mer sera reparti en 4 grandes corridors :

1. la mer Baltique,
2. l'Europe de l'Ouest (océan Atlantique – mer du Nord/mer d'Irlande),
3. l'Europe du Sud-ouest (mer Méditerranée occidentale) (figure 1),
4. l'Europe du Sud-est (mer Ionienne, Adriatique et Méditerranée orientale).



**Figure 1.** Le réseau entre l'Espagne, France et l'Italie [RAP 05c]

La figure ci-dessus montre le réseau de l'autoroute de la mer méditerranéenne qui relie l'Espagne, la France et l'Italie. Eventuellement, plusieurs segments, simultanément ou en ligne unique, desservant ces 3 pays en fonction des besoins des clients. L'appel à projet pour une ligne d'autoroute de la mer sur la façade méditerranéenne est lancé en 2007 en collaboration avec l'Italie et l'Espagne.

## 2.3. Les avantages des autoroutes de la mer

Ce nouveau concept des autoroutes de la mer procure plusieurs avantages, et notamment l'aspect économique. Par exemple 4 bateaux qui font des rotations toute la journée coûte 400 millions d'euros, alors qu'un grand tunnel ferroviaire à travers les pyrénées pour acheminer les camions sur le train s'élève à 6 milliard d'Euros [RAP 05b]. Ce concept des autoroutes de la mer touche l'aspect économique des pays, il permet d'avantager la situation économique d'une nation. Il permet également d'épargner la congestion et les embouteillages à la frontière donnant comme exemple : une autoroute de la mer entre Nantes (France) et Bilbao (Espagne), si on met 100 camions sur chaque bateau avec 4 rotations par jour ça fait 200 millions camions de moins à la frontière franco-espagnol/an [RAP 05b].

En outre, le projet des autoroutes de la mer possède deux atouts :

- il permet aux industries d'améliorer leurs compétitivités
- il améliore le cadre de vie des citoyens en réduisant la pression sur la route.

Le facteur dominant du succès des autoroutes de la mer réside dans le choix de l'emplacement des ports et dans la capacité de ces ports à être connecté au moyen de transport terrestre. Le port idéal réuni les conditions suivantes : il est relié à la route, au chemin de fer et aux voies fluvial qui doivent être non congestionné ; c'est ce qu'on appelle une Platte forme multimodal. Cette accessibilité est fondamentale pour permettre à un port d'atteindre la masse critique suffisante en termes de tonnage, c'est une condition nécessaire pour rentabiliser les infrastructures et pour être compétitive.

## 2.4. Importance de la sécurité dans les autoroutes de la mer

Aujourd'hui, le chantier des autoroutes de la mer est lancé, des garanties sont données à tous les acteurs que se soit les autorités locales des ports, les transporteurs, et les armateurs.

Il est difficile de convaincre les opérateurs de mettre des camions ou des marchandises sur un bateau s'ils n'ont pas la garantie que ce service va durer et va répondre aux critères de : fréquence, régularité, Sécurité et qualité de service. Par conséquent, il est crucial de prendre en considération de manière conjointe et complémentaire l'ensemble de ces critères afin que les autoroutes de la mer deviennent une réalité tangible. Dans ce contexte, il est primordial de doter les autoroutes de la mer des méthodes et des techniques permettant d'assurer un bon niveau de sécurité.

Bien que les accidents et les catastrophes de la mer existent depuis longtemps, les normes et la réglementation en matière de sécurité doivent être prises en compte, non seulement pour le bien-être des équipages et la régularité des courants d'échanges, mais aussi en raison des risques potentiels qui peuvent affecter les cargaisons des navires, la santé publique ainsi que l'environnement marin.

Malgré l'intérêt incontestable de ce nouveau concept de l'autoroute de la mer, l'infrastructure, les Hommes et l'environnement demeurent exposés à des risques et des événements inopinés, imprévisibles, et contraires à la sécurité.

En effet, certes par ces projets, on peut réduire les accidents routiers et la fluidité mais on ne peut en aucun cas éliminer définitivement les accidents potentiels qui peuvent être rares mais qui engendrent des conséquences dramatiques.

Le transport maritime représente donc une alternative au transport durable puisqu'il dispose d'une capacité de transport incomparable au transport terrestre (un porte-conteneurs de 10 000 boîtes équivaut à la capacité de 5 000 camions) ainsi que d'un délai de mise en œuvre efficace et rapide.

En ce sens, on ne peut pas nier l'importance et la place majeure que peut prendre la composante sécurité étant donné que les dommages provoqués par les autoroutes de la mer seront beaucoup plus graves, vu qu'il s'agit de transport des camions lourds et des rotations réguliers des navires.

Pour appréhender ce problème, il est nécessaire d'identifier, dès la phase de conception du projet, les risques potentiels liés à la mise en œuvre et à l'exploitation d'un système maritime.

Dans ce contexte, il est donc primordial de recourir aux concepts et principes de sûreté de fonctionnement et en particulier la composante sécurité tout au long du développement d'un projet d'autoroute de la mer.

## 3. Sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement d'un système (SdF) est définie comme la qualité du service délivré par un système, qualité telle que les utilisateurs de ce service puissent placer une confiance justifiée dans le système qui le délivre [BOU 06]. Son objectif est alors de connaître et de maîtriser les risques de dysfonctionnement des produits et systèmes complexes, notamment leur fiabilité en mettant en œuvre des méthodes prévisionnelles, expérimentales et opérationnelles appropriées [KRI et al 05]. Généralement, elle est caractérisée par quatre principales composantes : fiabilité (reliability), maintenabilité (maintenability), disponibilité (availability) ainsi que la sécurité (safety) et se nomme alors FDMS (RAMS). En outre, l'évolution technologique a contribué à l'apparition d'autres attributs à savoir : la qualité, le facteur humain et l'ergonomie. Selon la norme CEI 60050, la fiabilité est la caractéristique que le système accomplisse une mission donnée ou une fonction requise dans les conditions opérationnelles spécifiées [DES et al 03]. Associée au concept d'aptitude à la réparation, la maintenabilité est la caractéristique d'un système que ce dernier puisse être réparé dans l'intervalle de temps  $[t_0, t_1]$  sachant qu'il peut être en panne à l'instant  $t_0$  [DES et al 03]. La composante disponibilité signifie que le système soit opérationnel à l'instant  $t_1$  du début de mission [DES et al 03]. Quant à la sécurité, elle demeure la composante capitale de tout système industriel à risque.

### 3.1. Définition de la sécurité

La norme européenne CENELEC 50129 définit la sécurité par « l'absence de tout niveau de risque inacceptable ». La probabilité d'occurrence d'un accident potentiel ainsi que la gravité des dommages engendrés par cet accident potentiel sont les deux composantes qui identifient la notion du risque. De ce fait, pour définir le niveau de probabilité d'un accident potentiel, la norme CENELEC EN 50126 propose un ensemble de catégories dont chacune est associée à une plage de fréquence. Vu la difficulté d'estimer ces fréquences, cette association quantitative/qualitative est favorable. De même, la norme CENELEC EN 50126 définit le niveau de gravité en associant les quantifications avec les conséquences engendrées par l'accident potentiel. En effet, le niveau d'acceptabilité des risques est identifié et évalué en utilisant la matrice Occurrence/Gravité.

### 3.2. Matrice Gravité/ Occurrence

#### 3.2.1. Niveau de probabilité de l'accident potentiel

Les normes en matière de sécurité des transports tentent à définir l'ensemble des niveaux de probabilité d'occurrence sans prendre en compte le type d'analyse de sécurité dans lequel ces niveaux seront employés. Elles visent à proposer une échelle quantitative pour des probabilités dont la quantification est énormément complexe. Néanmoins, la norme EN 50126 propose

des probabilités quantitatives, d'où la probabilité d'occurrence d'un événement peut être :

- *Fréquent (A)* : surviendra probablement souvent. Le risque de concrétisation du danger sera

		Niveau de gravité des dommages			
		Catastrophique	Grave	Signifiant	Insignifiant
Niveau de probabilité d'occurrence de l'accident potentiel	Fréquent				
	Probable				
	Occasionnel				
	Rare				
	Improbable				
	Hautement improbable				

continuellement présent. ( $P > 10^{-3}$ )

- *Probable (B)* : surviendra plusieurs fois. Le danger se concrétisera fréquemment. ( $10^{-3} > P > 10^{-4}$ )
- *Occasionnel (C)* : surviendra probablement plusieurs fois au cours de la vie de système. Le danger se concrétisera plusieurs fois. ( $10^{-4} > P > 10^{-5}$ )
- *Rare (D)* : surviendra probablement au cours de la vie du système. On peut raisonnablement s'attendre à la concrétisation de ce danger. ( $10^{-5} > P > 10^{-7}$ )
- *Improbable (E)* : peu probable mais possible. On peut admettre que ce danger se concrétisera exceptionnellement. ( $10^{-7} > P > 10^{-9}$ )
- *Hautement improbable* : Extrêmement improbable. On peut admettre que ce danger ne se concrétisera pas. ( $10^{-9} > P$ )

### 3.2.2. Niveau de gravité des dommages engendrés par l'accident potentiel

Les normes classifient les niveaux de gravité des dommages engendrés par l'accident potentiel sur trois niveaux : selon les dommages aux personnes, au système et à l'environnement. Considérant les conséquences sur les personnes, la norme EN 50126 propose quatre niveaux de gravité des dommages :

- *Catastrophique* : plusieurs blessés graves ou plusieurs morts.
- *Grave* : un blessé grave ou un mort
- *Signifiant* : un blessé léger
- *Insignifiant* : ni blessé, ni mort.

A noter que cette norme différencie les dommages dus à des accidents individuels de ceux qui résultent d'accidents collectifs.

### 3.2.3. Niveau de risque

Généralement, il existe une confusion entre le risque et le niveau de risque. En effet, le niveau de risque identifie la combinaison du niveau de probabilité d'occurrence de l'accident potentiel ainsi que le niveau de gravité des dommages engendrés par cet accident potentiel ; d'où plusieurs classifications apparaissent. La norme EN 50126 identifie 4 niveaux de risque :

- *Risques intolérables* : doivent être éliminés
- *Risques non souhaitables* : « ne peuvent être acceptés, avec l'accord du Responsable Sécurité, que si l'on ne peut pas réduire le risque »
- *Risques tolérables* : « acceptables, avec l'accord du Responsable Sécurité, et moyennant des précautions appropriées »
- *Risques négligeables* : « acceptables, avec l'accord du Responsable Sécurité »

A partir de ces définitions, les différentes normes recommandent la mise en place d'une matrice gravité/occurrence pour évaluer le risque ; d'où la matrice suivante identifiée par la même norme en vigueur :

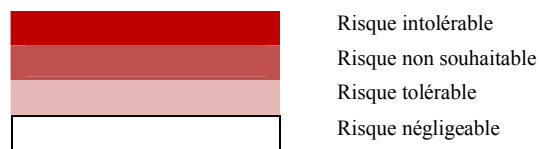


Figure 2. Matrice gravité/occurrence

Elaborer, administrer et évaluer la sécurité d'un système nécessite de faire appel à des principes, des techniques et des méthodes présentés ci-après.

### 3.3. Principes de sécurité

En Europe, on distingue trois grandes principes de sécurité. En Allemagne, on applique le principe MEM (Minimum Endogenous Mortality) qui prétend qu'on continue à améliorer le niveau de sécurité si seulement si le taux de mortalité dues aux faits technologiques (exogène à l'organisme) soit inférieur au taux de mortalité endogène (dans un lieu et un espace de temps déterminé). Au Royaume-Uni, le principe est plutôt d'ordre économique. En effet, le principe ALARP (As Low As Reasonably Practicable) y appliqué exige qu'un niveau de risque est acceptable si le coût dû à la réduction du risque est disproportionné en regard du gain d'amélioration. Apparu dans le décret 30 mars 2000, GAME (Globalement Au Moins Equivalant) est le principe retenu par le comité européen. Ce principe stipule que le niveau de sécurité d'un nouveau système doit être au moins équivalent à celui d'un système comparable déjà existant et réputé sûr.

### 3.4. Techniques de sécurité

Généralement, on parle de trois techniques de sécurité : intrinsèque, probabiliste et contrôlée. En effet, certains systèmes ne peuvent pas tolérer aucun niveau de défaillances. Afin de répondre à ce besoin, la sécurité intrinsèque vise à atteindre un niveau optimal de sécurité. Par contre, la sécurité probabiliste admet un niveau de risque acceptable et définit un seuil préétabli. De ce fait, elle démontre a priori que la probabilité d'occurrence d'un accident potentiel est inférieure à ce seuil. La troisième technique de sécurité est nommée contrôlée du fait que les



défaillances sont détectées et leurs conséquences empêchées par des équipements spécifiques.

Dans le cadre d'un projet, après avoir retenu un principe de sécurité et une ou plusieurs techniques de sécurité, il convient maintenant à recourir à un ensemble de méthodes d'analyse de sécurité.

### 3.5. Méthodes de sécurité

Il existe une gamme très large de méthodes d'analyse qui peuvent être classées en trois niveaux : système ou automatisme, logiciel et matériel (figure 3). L'analyse de sécurité au niveau logiciel est généralement basée sur la méthode d'analyse des effets et des erreurs du logiciel (AEEL) ainsi que sur les lectures critiques de code. Généralement, l'analyse de sécurité matérielle porte notamment sur les cartes électroniques et les interfaces définies comme étant de sécurité. Cette analyse met en œuvre plusieurs méthodes: Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), Méthode des Combinaisons de Pannes Résumées (MCPR) et Méthode de l'Arbre des Causes (MAC). Appliqué au niveau système, l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) représente la méthode la plus répandue. Elle vise à identifier les accidents potentiels liés au système et à ses interfaces afin d'évaluer leur probabilité d'occurrence ainsi que la gravité des dommages qu'ils pourraient causer et enfin de proposer des mesures de protection et/ou de prévention.

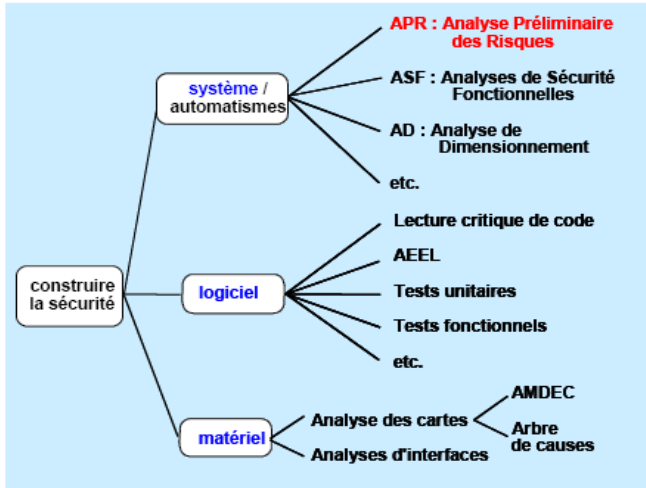


Figure 3. Méthodes d'analyse de la sécurité [HAD 95, 97 et 98]

## 4. Proposition d'une approche générique d'analyse des risques applicable aux autoroutes de la mer

Comme nous l'avons précédemment évoqué dans les paragraphes 1 et 3, nous pouvons constater que les méthodes, les techniques, les objectifs et voir même la terminologie relatifs à la sécurité appliquée dans le domaine de transport maritime est hétérogène par rapport à celles exigé par la réglementation européenne et nationale. Pour apporter un élément de réponse à ce problème, nous proposons une nouvelle

méthode d'analyse de sécurité applicable aux autoroutes de la mer et qui offre une terminologie consistante conformément à la réglementation en vigueur. Elle est fondée sur une nouvelle méthode générique d'analyse des risques qui fait appel à un vocabulaire élaboré à partir de l'étude d'une centaine de normes ainsi que du savoir faire et de l'expérience de l'INRETS acquise dans ce domaine. Le paragraphe suivant propose un vocabulaire normalisé relatif à la sécurité et qui peut être appliqué dans plusieurs domaines et notamment le transport maritime.

### 4.1. Proposition d'un vocabulaire

Le niveau de risque, le niveau de gravité et le niveau d'occurrence ont été précédemment définis dans le paragraphe 2.3 et restent toujours valides.

#### 4.1.1 Dommage

La norme mémorandum CEN/CENELEC n°9 précise que le dommage inclut la mort, la blessure physique, l'atteinte à la santé ou le dégât causé aux choses.

#### 4.1.2. Accident

Les normes NF F 71-011 et NF F 00-101 retiennent deux définitions différentes du terme « accident ». Inspiré des différentes normes, nous retenons que l'accident est tout événement ou succession d'événements provoquant un ou plusieurs dommages [CHO et HAD 96].

#### 4.1.3. Quasi-accident

Malgré que plusieurs normes mentionnent le concept de quasi-accident, seule la norme NF F 00-101 le définit. En effet, la définition que nous retenons s'inspire très largement de cette norme. Un quasi-accident est un événement ou succession d'événements ne provoquant aucun dommage mais telle qu'une condition qui n'était pas maîtrisée lors de l'événement ou des événements aurait pu conduire à un ou plusieurs dommages [CHO et HAD 96].

#### 4.1.4. Accident potentiel

Nous retenons la définition qui dit simplement que l'accident potentiel est un accident ou un quasi-accident [CHO et HAD 96].

#### 4.1.5. Danger

La norme MIL-STD-882C spécifie que le danger est « a condition that is a prerequisite to a mishap » (article « Hazard »). Nous penchons pour l'emploi de l'expression « situation préalable » qui nous rapproche la dernière norme [DOD 93] (in HAD 06a). Comme convenue dans la norme EN 50126, nous insistons sur le fait que le danger peut conduire indifféremment à un accident ou à un quasi-accident. C'est-à-dire que le danger est une situation préalable à un accident potentiel [CHO et HAD 96].

**4.1.6. Evénement dangereux**

C'est un événement créant un danger [CHO et HAD 96].

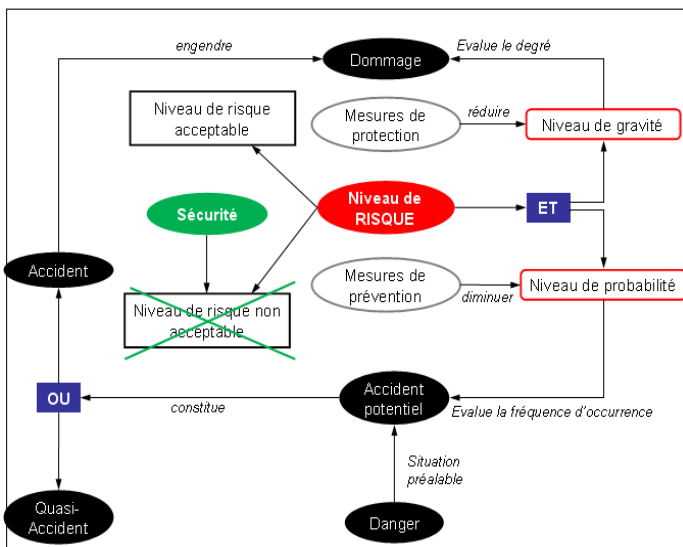
**4.1.7. Risque**

La norme EN 50129 définit le risque comme étant la combinaison de la fréquence (ou probabilité) d'un accident et des conséquences de l'accident. En outre, la norme CEI 56 (sec) 410 spécifie que le risque est une combinaison de la fréquence, ou de probabilité, et des conséquences d'un événement dangereux spécifié. En effet, la majorité des normes européennes adoptent des définitions différentes pour un même terme, alors que sur le fond elles convergent. Le risque est la combinaison de la fréquence ou de la probabilité d'un accident potentiel et de la gravité des dommages les plus sévères que pourrait causer cet accident potentiel [CHO et HAD 96].

**4.1.8. Mesures préventives et protectives**

Les méthodes d'analyse de sécurité visent à identifier les différentes mesures de protection et de prévention à mettre en œuvre pour réduire le niveau de risque. En effet, les mesures de prévention, connu aussi comme sécurité primaire, cherchent à minimiser ou annuler la probabilité d'un accident potentiel. Elles interviennent avant l'accident. En outre, les mesures de protection, ou sécurité secondaire, tentent d'atténuer la gravité des dommages provoquées par un accident potentiel. Ces mesures ont un effet pendant ou après un accident [BNA 86]

➤ La figure 4 illustre l'articulation des différents concepts précédemment évoqués.



**Figure 4.** Articulation des principaux concepts descriptifs d'une APR [HAD 97]

En se basant sur la terminologie précédemment évoqué, la méthode d'Analyse Préliminaire des Risques (APR) proposée fait intervenir, généralement, les étapes suivantes :

- Identifier la liste des accidents potentiels

- Identifier la liste des dangers, des dommages, des éléments dangereux y associés
  - Evaluer le niveau de risque en identifiant le niveau de gravité ainsi que le niveau de probabilité associé à l'accident potentiel.
  - Proposer les mesures de protection (pour atténuer la gravité des dommages provoqués par un accident potentiel) et de prévention (minimiser ou annuler la probabilité d'un accident potentiel).
  - Identifier les contraintes et les critères de sécurité qui doivent être imposé sur l'ensemble des études de sécurité situé en aval.
- Le paragraphe suivant illustre la méthode originale d'APR proposé pour être appliqué aux autoroutes de la mer.

**4.2. Méthode d'Analyse Préliminaire des Risques**

Théoriquement, l'Analyse Préliminaire des Risques est connue comme une démarche inductive [Lievens 76], [Villemeur 88] et [BNAE 86] (in HAD 98). Le raisonnement inductif va du plus particulier au plus général, ce qui conduit à une étude détaillée des effets d'une défaillance sur le système et son environnement. Dans le cadre de l'APR, il s'agit de rechercher principalement, par induction, l'ensemble des accidents potentiels à partir des dangers (ou éléments dangereux). Cependant, dans la pratique, on choisi une démarche plutôt déductive qui prend les accidents potentiels comme point de départ de l'APR. Cette divergence entre théorie et pratique existe non seulement au niveau de la démarche mais plus explicitement dans la représentation même d'une APR.

Nous proposons une méthode d'APR qui combine les deux approches inductive et déductive. A notre sens, une telle méthode renforce et perfectionne les démarches conventionnelles et garantie ainsi la qualité des analyses en termes de complétude et de cohérence. En effet, la méthode d'APR que nous retenons [HAD 97] s'articule autour de trois étapes complémentaires et itératives (figure 5).

A partir des accidents potentiels, la première étape permet de déterminer par induction la liste des dommages que pourrait causer un accident et par déduction la liste des dangers qui peuvent se manifester dans le système.

La deuxième étape utilise les dangers précédents pour identifier par déduction la liste des éléments dangereux et, par induction, celle des accidents potentiels. Etablir à nouveau la liste des accidents potentiels à partir des dangers permet éventuellement d'engendrer de nouveaux accidents potentiels non considérés lors de la première étape. Dans ce cas, la première étape de l'analyse doit être reprise en vue d'enrichir la liste des dangers précédemment déduite. Il s'agit en fait d'une action de vérification qui permet d'accroître davantage la liste initiale des accidents potentiels.

La troisième étape de l'analyse consiste, à induire des dangers, à partir des éléments dangereux déduits lors de la deuxième étape. Le catalogue des dangers



établi à l'issue de cette troisième analyse est confronté à celui qui est déduit lors de la première étape de l'analyse à partir des accidents potentiels. L'invention de nouveaux dangers impose de recommencer la deuxième étape d'analyse et éventuellement la première.

Ce processus de contrôle itératif permet d'assurer la complétude et de tendre ainsi vers l'exhaustivité de l'analyse préliminaire de risques (APR). La figure 5 schématise les différentes étapes impliquées dans le processus d'analyse de risque que nous retenons [HAD 97].

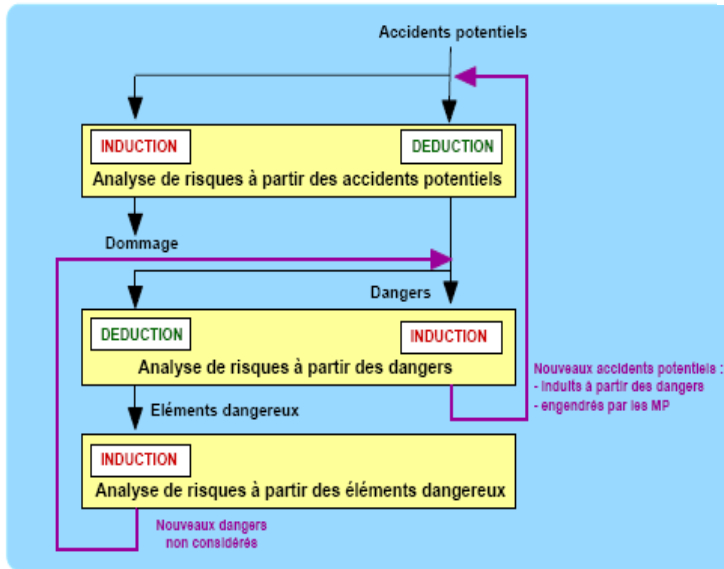


Figure 5. Principe général de la méthode d'APR retenue [HAD 06b]

### 4.3. Importance de la méthode d'APR proposée dans le processus de construction de la sécurité

Généralement, le processus de construction de la sécurité d'un système (figure 6) comporte plusieurs analyses complémentaires hiérarchisées [HAD 95 et 96] : L'analyse préliminaire de risques, l'analyse fonctionnelle de la sécurité, et l'analyse de la sécurité du produit réalisé. L'analyse préliminaire de risques (APR) a pour but d'identifier essentiellement les accidents potentiels liés au système et à ses interfaces afin de les évaluer et de proposer des solutions pour les supprimer, les réduire ou les contrôler. L'analyse fonctionnelle de la sécurité (AFS) a comme objectif de justifier que l'architecture de conception du système est sécuritaire vis-à-vis des accidents potentiels identifiés par l'APR et par conséquent de s'assurer que toutes les dispositions de sécurité sont prises en compte pour couvrir les dangers ou les accidents potentiels. L'analyse de la sécurité du produit réalisé concerne l'analyse de la sécurité des logiciels (ASL) et l'analyse de la sécurité des matériels (ASM) [HAD

06b].

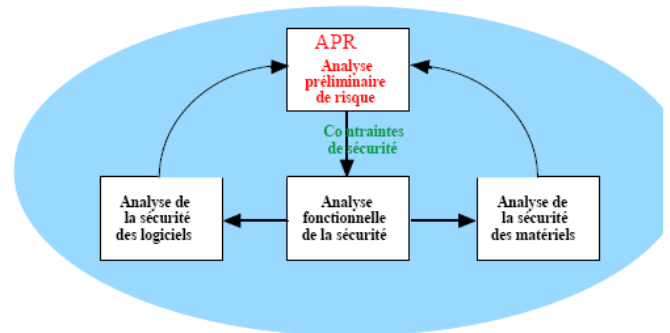


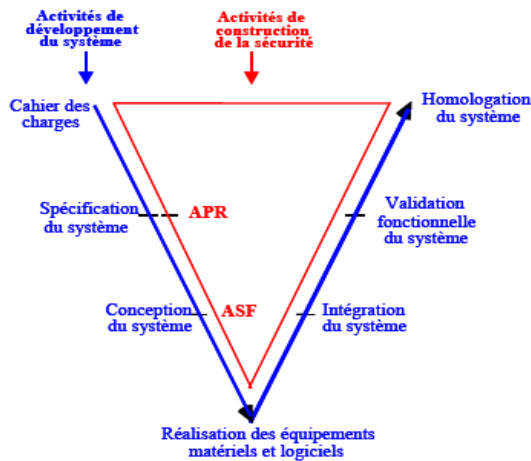
Figure 6. Place de l'APR dans le processus de construction de la sécurité d'un système de transport [HAD 98]

L'APR est généralement considérée comme « la première pièce du dossier de sécurité » [CHU 91] (in HAD 98) et représente ainsi la méthode fondamentale dans le processus de construction de la sécurité. En effet, c'est de la qualité et de l'exhaustivité de l'APR dépendent la qualité et la complétude des analyses postérieures (AFS, ASL, ASM).

### 4.4. Intégration de la méthode d'APR proposée dans le cycle de développement d'un projet d'autoroute de la mer

Classiquement, Le cycle de développement d'un système correspond à un diagramme en « V » qui comprend les phases de spécification et de conception dans la branche descendante, la phase de réalisation au coin et les phases d'intégration, de validation et d'homologation dans la branche ascendante. C'est en parallèle de ces activités de développement que les différentes analyses de sécurité se réalisent (figure 4). En effet, à chacune de ces activités correspond une ou plusieurs méthodes d'analyses de sécurité.

L'APR est généralement élaborée pendant la première phase de spécification du système. Les résultats de cette analyse permettent non seulement d'établir les grandes lignes des analyses de sécurité situées en aval (analyse fonctionnelle de la sécurité, analyse de la sécurité des logiciels, analyse de la sécurité des matériels) mais aussi de définir les exigences et critères de sécurité du système (de haut niveau) à prendre en compte lors des phases de conception et de réalisation des équipements matériels et logiciels. En effet, la constitution d'une liste d'accidents potentiels permet de recenser les points du système qui peuvent être critiques pour la sécurité et qui méritent une attention particulière dans la conception, la réalisation, la validation et la maintenance du système.



**Figure 7.** Place de l'APR dans le cycle de développement d'un système [HAD 98]

Une APR nécessite une bonne connaissance de la mission du système et de son environnement. Elle est indispensable pour les systèmes qui font appel à des technologies mal connues. Elle bénéficie d'une part de l'expérience et de l'imagination des experts du domaine et d'autre part du retour d'expérience (REX) [HAD 06b]. Afin de valider et démontrer le bien-fondé de la méthode d'APR proposée, nous avons fait recours au développement d'une maquette de faisabilité.

#### 4.5. Etude de faisabilité d'un système expert d'aide à la prévention des risques dans les autoroutes de la mer

Vu la nouveauté des projets des autoroutes de la mer, on a fait recours aux accidents effectués dans le transport maritime notamment ceux relatifs au transport des marchandises lourdes transportés par des navires rouliers de commerce.

##### 4.5.1. Moyens utilisés

###### a. Techniques de conception

La méthode d'APR proposée se base sur des modes de raisonnement inductif et déductif. En outre, vu que le savoir faire des experts et le retour d'expérience (REX) sont la source de recensement de la liste des accidents potentiels, les connaissances en matière sont incomplètes, évolutives, empiriques, qualitatives... Tout cela confirme qu'une solution informatique conventionnelle n'est pas adaptée. C'est à ce niveau que le recours aux techniques d'Intelligence Artificielle s'avère plus approprié. En effet, le but d'IA est de simuler ou de mimer les activités intellectuelles humaines. L'évolution des recherches menées dans cette voie résultent aux systèmes experts (SE) ou Systèmes à Base de Connaissances (SBC) [HHM 1992]. Ils permettent de modéliser le raisonnement humain, d'en faciliter l'acquisition, la modification et la mise à jour et de produire des explications sur la façon dont sont obtenus les résultats d'une expertise. En effet, le système expert reçoit des faits de l'utilisateur et

envoie l'expertise dans le retour. Habituellement, un SE se présente comme l'association d'une Base de Connaissances, d'un moteur d'inférence et d'une Interface Homme-Machine.

- La base de connaissances modélise la connaissance d'un domaine considéré. Elle est généralement constituée par :
  - Une base de fait : représente la mémoire du travail du système expert. Elle détient les informations établies par l'utilisateur ou déduites par le moteur d'inférence.
  - Une base de règles : constitue le savoir-faire sur le domaine et indique les actions à prendre lorsqu'on est face à une situation donnée.
- Le moteur d'inférence : est la partie créative du SE. A partir des règles et des faits détenus dans la base de connaissances, et mettant en œuvre des mécanismes inductifs et préventifs, il engendre de nouveaux faits afin de réaliser la résolution effective du système. Un moteur d'inférence peut fonctionner en chaînage avant ou en chaînage arrière :
  - Un moteur d'inférence fonctionnant en **chaînage avant** tente, à partir de la base de faits et des règles, de générer une réponse ; une démonstration classique (déductive) est un exemple de fonctionnement en chaînage avant.
  - Un moteur d'inférence fonctionnant en **chaînage arrière** tente d'invalider la question en montrant l'inconsistance de la nouvelle base de faits comprenant la négation de la question. Le mécanisme de résolution avec des clauses de Horn est un exemple typique de fonctionnement en chaînage arrière.
  - Il est également possible d'utiliser un **chaînage mixte** qui permet de concilier les deux méthodes. L'utilisation du chaînage mixte demande la mise en place d'heuristiques particulières capables de décider face à une situation donnée quel est le type de stratégie le plus adapté pour poursuivre la résolution.
- L'Interface Homme-Machine permet d'assurer le dialogue entre le système et les utilisateurs et/ou l'expert du domaine.

En effet, c'est cette séparation entre connaissance et traitement qui différencie un SE d'un logiciel classique.

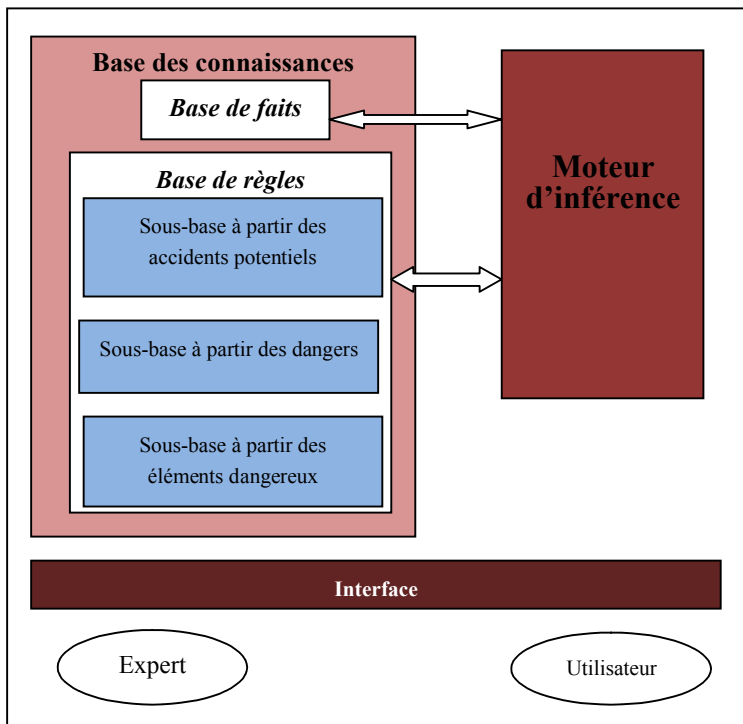
###### b. Outils Logiciels

Bien qu'il existe des générateurs automatiques des systèmes experts, le travail effectué dans ce cadre a été élaboré en utilisant le langage de programmation PROLOG. En effet, comme son nom l'indique, PROgrammation LOGique utilise un mode de programmation dit « logique » pour désigner l'outil informatique conçu pour implanter un système de communication homme machine en langage naturel.

Le principe de la programmation logique est de décrire le problème à résoudre. Dans le cas de PROLOG, cela est formalisé grâce à un langage dérivé du calcul des prédicats (ou calcul du premier ordre). Les prédicats servent à qualifier les objets du problème et à décrire les relations dans lesquelles ils sont impliqués.

#### 4.5.2. Structure générale de la maquette

Etant un système expert, la maquette développée se base sur un moteur d'inférence et une base des connaissances (base des faits et base des règles). Rappelons que la méthode d'APR implémentée s'articule autour de trois analyses de risques : analyse des risques à partir des accidents potentiels, analyse des risques à partir des dangers et analyse des risques à partir des éléments dangereux. De ce fait, la base des règles est constituée de trois sous bases qui implémentent successivement les trois analyses des risques de la méthode d'APR proposée.



**Figure 8.** Structure générale de la maquette

### Conclusion

Vu son importance majeure, la sécurité devient de plus en plus une exigence internationale et nationale notamment dans de gros projets à risque comme le transport maritime. En effet, l'ampleur de cette composante vient de s'accroître avec l'évolution de ce mode de transport et l'apparition des autoroutes de la mer. Ayant comme objectif de réduire la pression routière et d'améliorer la compétitivité, l'application d'une méthode d'analyse des risques s'avère indispensable.

Dans ce contexte, nous avons proposés une méthode générique d'Analyse Préliminaire de Risques

(APR) qui s'articule autour de trois phases complémentaires et itératives. En outre, nous avons, non seulement, identifié la place de la méthode proposée dans le processus global d'analyse de la sécurité ainsi que dans le cycle de développement d'un projet d'autoroute de la mer ; mais aussi nous avons proposé un vocabulaire normalisé relatif à la sécurité qui peut être appliqué dans plusieurs domaines et notamment dans le transport maritime.

Cette étude se poursuit actuellement et vise, dans un premier temps, à montrer sa faisabilité et son bien fondé à travers un cas réel issu du terrain comme le projet d'autoroute de la mer d'Enfidha. En effet, Le port d'Enfidha répond aux critères des ports idéaux, il est situé à proximité de l'aéroport, de l'axe autoroutier Bizert/Sfax et de la ligne ferroviaire Tunis/Gabés. Sa position de carrefour lui permet de bénéficier de la densité du réseau routier, des nœuds d'échanges et d'une zone d'activité logistique (300hectares). Selon les études effectuées, le port en eaux profondes d'Enfidha comblera un déficit de capacité portuaire en méditerranée.

### REFERENCES

- [BOU 06] BOULANGER J-L., « Expression et validation des propriétés de sécurité logique et physique pour les systèmes informatiques critiques ». Thèse de Doctorat de l'Université de Technologie Compiègne. 23 Mai 2006.
- [BNA 86] Bureau de Normalisation de l'Aéronautique et de l'Espace (BNAE). « Guide des méthodes courantes d'analyse de la sécurité d'un système missile ou spatial ». Recommendations RE. AERO 70111, Boulogne-Billancourt, 1986.
- [CHO et HAD 96] CHOPARD-GUILLAUMOT G, HADJ-MABROUK H. « Définition des principaux concepts relatifs à la notion de sécurité dans les transports guidés ». Revue Générale des Chemins de Fer, Paris, n°2, pp23-36, Février 1996.
- [CUI 04] Rémy CUISIGNIEZ. « La réglementation de sécurité à bord des navires marchands », chapitre 13. 2004
- [DES et al 03] DESROCHES A., LEROY A., VALLÉE F., « la gestion des risques : principes et pratiques ». Edition Hermes-science, 2003.
- [HAD 92] HADJ-MABROUK H. Thèse de doctorat en Automatique Industrielle et Humaine. Université de Valenciennes. Titre : « Apprentissage automatique et acquisition des connaissances : deux approches complémentaires pour les systèmes à base de connaissances. Application au système ACASYA d'aide à la certification des systèmes de transport automatisés ». Décembre 1992.
- [HAD 95] HADJ-MABROUK H. « La maîtrise des risques dans le domaine des automatismes des systèmes de transport guidés : Le problème de l'évaluation des analyses préliminaires des risques ». Revue Recherche-Transport-Sécurité, Numéro 49, décembre 1995, pp 101-112.

- [HAD 96] HADJ-MABROUK H. « Méthodes et outils d'aide aux analyses de sécurité dans le domaine des transports terrestres guidés ». Revue Routes et Transports, Montréal, vol. 26, n° 2, 1996.
- [HAD 97] HADJ-MABROUK H. « Projet SAPRISTI : Proposition d'une méthode et d'une maquette d'aide à l'élaboration et à la capitalisation des analyses préliminaires de risques ». Rapport n° ESTAS/A-97-66, 17p, Arcueil, 19 novembre 1997.
- [HAD 98] HADJ-MABROUK H. « Acquisition et évaluation des connaissances de sécurité des systèmes industriels. Application au domaine de la certification des systèmes de transport guidés ». Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Technologie de Compiègne, février 1998.
- [HAD 06a] HADJ-MABROUK H. « L'analyse préliminaire des risques – Application au domaine de la sécurité des transports ferroviaires » (tome pédagogique). Février 1997 (version mise à jour le 19 Décembre 2006).
- [HAD 06b] HADJ-MABROUK H. « Méthode d'analyse préliminaire des risques dans les transports ferroviaires ». 15ème congrès de maîtrise des risques et de Sûreté de fonctionnement, Lille-France, 10-12 Octobre 2006.
- [KRI et al 05] KRISHNAKUMAR R., PREZELIN N., RAZAFINDRAKOTO H., « Les outils de sureté de fonctionnement », DESS Sécurité des transports, Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines. 2004-2005.
- [NOR a] Norme CENELEC EN 50 126: Application ferroviaire – Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS).
- [NOR b] Norme CENELEC EN 50 129 : Application ferroviaire – Systèmes de signalisation, de télécommunications et de traitement è Systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation.
- [RAP 03] Rapport du comité interministériel à l'aménagement et au développement du territoire du 18/12/03.
- [RAP 05a] Rapport de la commission européenne sur la sécurité maritime
- [RAP 05b] Rapport de la commission européenne sur les autoroutes de la mer. Article 12-bis des orientations RTE-T 2005.
- [RAP 05c] Rapport de la Direction générale de la mer et des transports sur les autoroutes de la mer. 16 Juin 2005.
- [RAP 06] Rapport de la commission européenne sur les appels à manifestation pour le lancement des projets des autoroutes de la mer
- [RAP 07] projet transport Euro-Méditerranéen des autoroutes de la mer MEDA-MOS. Appel à projet octobre 2007.
- [ROD 07] Jean-paul RODREGUE. « Straits, Passages and Chokepoints: A Maritime Geostrategy of Petroleum Distribution", in S.K. Multani (ed) Maritime Trade and Security, Hyderabad: ICFAI University Press, 2007. (Note: this is a reprint of an article published in 2004).