



**HAL**  
open science

# Intégration améliorée de FMEA et HACCP pour la gestion du risque sécuritaire dans le transport international de marchandises conteneurisées

Mame Gningue

► **To cite this version:**

Mame Gningue. Intégration améliorée de FMEA et HACCP pour la gestion du risque sécuritaire dans le transport international de marchandises conteneurisées. Les Cahiers Scientifiques du Transport / Scientific Papers in Transportation, 2014, 66, pp.39-70. hal-04153099

**HAL Id: hal-04153099**

**<https://hal.science/hal-04153099>**

Submitted on 6 Jul 2023

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike| 4.0  
International License

# **INTÉGRATION AMÉLIORÉE DE FMEA ET HACCP POUR LA GESTION DU RISQUE SÉCURITAIRE DANS LE TRANSPORT INTERNATIONAL DE MARCHANDISES CONTENEURISÉES**

MAME GNINGUE  
ECOLE DE MANAGEMENT DE NORMANDIE

## **1. INTRODUCTION**

Pour accompagner les organisations dans les différentes phases d'identification, d'évaluation, de traitement, du processus transverse de management de risque, une grande variété d'outils et de méthodes a été développée dans la littérature.

Une méthode d'analyse de risque peut être assez simple et seulement orientée vers une des phases du processus de management de risque. Elle peut aussi être plus complexe, comme une combinaison de plusieurs méthodes simples.

Il existe des méthodes de management de risque qui reposent sur la qualité de l'expérience sur les risques à analyser, alors que d'autres exploitent un grand nombre de données disponibles sur le système à étudier.

Depuis que l'analyste est confronté au choix d'une approche et d'une méthode adaptées pour gérer les risques d'un système donné, beaucoup de travaux se sont principalement focalisés sur cette partie du management de risque.

Certains outils de management de risque sont spécifiques à des domaines d'activités, tandis que d'autres voient leur application de plus en plus étendue dans divers secteurs. *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) ou Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), initialement conçue pour une analyse de la fiabilité des équipements dans l'aérospatial, a vu son application s'étendre à l'industrie automobile, à la chaîne de production dans une grande variété d'industries, puis au secteur du transport maritime.

Généralement reconnue comme une technique puissante d'analyse des systèmes de sécurité dans les industries automobiles et aérospatiales, FMEA a montré sa performance dans l'analyse de risque des systèmes maritimes, ce qui lui a valu sa reconnaissance dans les régulations et opérations maritimes internationales.

Cependant, un revers débattu de la méthode FMEA concerne l'aspect le plus important de son application, l'évaluation du risque qui utilise des *Risk Priority Numbers* (RPN) ou nombres de priorité de risque pour classer le risque (PILLAY, WANG, 2002). La méthode d'évaluation et de priorisation des risques par RPN renvoie des nombres de priorité égaux pour des événements à risque ayant des caractéristiques différentes et des impacts totalement différents sur le système étudié. En outre, la méthode des RPN ne permet pas une priorisation des facteurs caractéristiques du risque qui sont les probabilités d'occurrence et de détection, et la sévérité des conséquences.

Afin de contourner ces limites dans divers secteurs d'application, FMEA a été couplée dans plusieurs travaux à d'autres approches telles que l'analyse multicritère (*Multi-Criteria Decision Making*) basée sur le processus analytique hiérarchique (*Analytic Hierarchy Process*), sur la méthode floue et la théorie de Grey, des approches de programmation mathématique (*Mathematical Programming*), des approches basées sur l'intelligence artificielle (IA) dont les systèmes à base de règles, les systèmes à base de règles floues.

Par ailleurs, grand nombre d'approches FMEA ont un objectif quantitatif qui consiste à prédire la probabilité de certains types de défaillance de système. Cependant, FMEA est une méthode qualitative qui peut se décliner en approche quantitative lorsqu'elle utilise des données statistiques quantitatives pour faire une estimation quantitative des facteurs de risque, mais également en approche qualitative lorsqu'il s'agit de faire une estimation qualitative des facteurs de risque parce que l'information statistique quantitative n'est pas disponible.

L'analyse FMEA se fait en plusieurs étapes largement décrites dans la littérature. Ces étapes font globalement ressortir les phases de description du système à étudier, d'identification, d'évaluation et de détection des modes de défaillance possibles du système, et les actions de corrections en cas de défaillance. Elles mettent plutôt l'accent sur les critères permettant de contrôler les modes de défaillance potentiels que sur les points critiques de contrôle de ces modes de défaillance, une notion qui est d'une importance primordiale lorsqu'il s'agit d'un système étendu.

La notion de point de contrôle constitue la base de la méthode traditionnelle de management de risque *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP), largement utilisée dans l'agroalimentaire et le secteur sanitaire. FMEA a d'ailleurs été combinée avec succès à HACCP dans plusieurs travaux, sous une approche qualitative, dans l'industrie agroalimentaire (SCIPIONI et al., 2002 ; ARVANITTOYANNIS, VARZAKAS, 2008 ; TRAFIALEK, KOLANOWSKI, 2014). Cette combinaison est possible grâce à l'approche préventive et le travail d'équipe similaires aux deux techniques, mais également grâce aux caractéristiques de contrôle de HACCP adaptables à l'étude FMEA. Les travaux effectués dans ce sens ont globalement pour objectif de compléter l'analyse des aléas et les mesures préventives de HACCP par celles de FMEA, et d'utiliser les plans de contrôle et mesures préventives de FMEA dans l'analyse HACCP.

Ces travaux d'intégration de FMEA et HACCP ont toujours fait ressortir la question de la priorisation des risques par nombre de priorité de risque (RPN) pour classifier les risques, sans pour autant permettre la résolution de ce problème, et n'ont jusque-là pas traité l'apport des points critiques de contrôle de la méthode HACCP sur la performance de l'analyse FMEA dans un contexte donné.

Dans la littérature, les travaux de recherche effectués pour l'amélioration de la performance de FMEA s'adressent particulièrement à la limite liée à la priorisation des risques par RPN. Dans notre travail nous menons notre réflexion sur les différentes limites susmentionnées et tentons de les contourner conjointement par une combinaison de FMEA avec la méthode HACCP en utilisant l'approche de priorisation de risque par rang de priorité de risque (RPR) présentée par SANKAR et PRABHU (2001). L'application de cette combinaison à un secteur spécifique qui est la chaîne du transport international de marchandises conteneurisées, pour la gestion des risques de sûreté liés aux conteneurs, constitue une nouvelle orientation de la combinaison FMEA-HACCP jusque-là testée uniquement dans le cadre de la gestion du risque lié à la sécurité des aliments dans l'industrie agroalimentaire.

Les résultats de ce travail ont montré que l'intégration de FMEA et HACCP combinée à la priorisation des risques par rang de priorité de risque permet de contourner la limite liée à la méthode conventionnelle des RPN dans le

cas du transport international de marchandises, une meilleure prise de décision sur le risque par l'affectation de poids aux facteurs de risque, et une amélioration de la performance de l'analyse FMEA par la détermination des points critiques de contrôle dans un contexte de système étendu.

## 2. L'ANALYSE FMEA : PERFORMANCES ET LIMITES

*Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) ou Analyse des Modes de Défaillance de leur Effet et de leur Criticité (AMDEC) est un processus systématique conçu dans les années 50 par l'armée américaine pour l'analyse de la fiabilité des équipements de la défense (BOWLES, PELAEZ, 1995 ; SCIPIONI et al., 2002) et plus particulièrement dans le secteur de l'aviation. Son application s'est d'abord étendue à l'aérospatial, puis à l'industrie automobile, mécanique, chimique, et après à la production (KANGARI, RIGGS, 1989 ; STAMATIS, 1995 ; SVRP, 1997 ; GUIMARAES, LAPA, 2006 ; SHAWULU, 2012). C'est une technique d'ingénierie utilisée pour identifier, prioriser et atténuer des problèmes potentiels avant qu'ils ne se réalisent (OMDAHL, 1988). Elle a pour but de fournir l'information nécessaire à la prise de décision de management du risque.

La technique FMEA considère chaque élément qui constitue le système dans sa totalité. Elle permet ainsi d'identifier les zones, fonctions et/ou composants critiques, dont la défaillance pourrait entraîner des conséquences indésirables sur l'ensemble du système telles que des pertes de production, des dommages, ou des accidents.

FMEA est grandement recommandée comme technique de management de risque parce qu'elle permet une classification de risque basée sur la sévérité, la probabilité d'occurrence et la détection du risque.

L'analyse FMEA ne peut être effectuée sur une base individuelle car FMEA est une fonction équipe. Elle se fait en quatre étapes :

### . Définir le système

L'objectif de cette première étape est de développer un modèle à partir d'un maximum d'informations collectées sur la conception, la structure et les exigences opérationnelles du système.

### . Identifier les modes de défaillances potentielles et leurs causes

Le mode de défaillance est la façon dont une défaillance est observée dans une fonction, sous-système ou composant (Article 46, Code des réglementations fédérales). Les modes de défaillance dépendent du système ou d'un de ses composants et de son environnement de fonctionnement. Une défaillance peut avoir une ou plusieurs causes. Toutes les causes potentielles des modes de défaillance doivent être identifiées dans l'étude FMEA (Code HSC, 1995)

### . Évaluer les effets de chaque mode de défaillance sur le système

L'effet de la défaillance est la sévérité de la conséquence du mode de défaillance. L'effet doit prendre en compte les conditions qui influencent le

management de la performance du système. Tous les effets d'une défaillance doivent être examinés à des niveaux différents du système afin de déterminer les mesures correctives possibles de la défaillance (Mil-Std 1629A).

. *Identifier les méthodes de détection de la défaillance et actions correctives*

Cette étape consiste à déterminer les méthodes de détection de la défaillance et les actions correctives possibles (WILCOX et al., 1996).

L'aspect le plus important de FMEA est la classification des défaillances potentielles par priorité de risque ou *Risk Priority Number* (RPN). Le but de la classification de risque est de pouvoir assigner les ressources limitées à l'élément de risque le plus sérieux.

La priorité de risque est déterminée par le produit de la probabilité d'occurrence des modes de défaillance, de leur probabilité de détection, et de la sévérité des conséquences de ces modes de défaillance. Donc sur une échelle de 1 à 10, une valeur est attribuée à chacun de ces trois facteurs de risque pour chaque mode de défaillance identifié. Les RPN peuvent ainsi aller de 1 à 1000.

Sur la base des RPN calculés, l'équipe FMEA définit une action stratégique basée sur les catégories de risque telles que :

- . Pour les risques mineurs : pas d'action
- . Pour les risques modérés : peu d'actions peuvent avoir lieu
- . Pour les risques élevés : des actions correctives auront lieu
- . Pour les risques critiques : des actions correctives auront lieu et des changements sont nécessaires sur le composant ou sur le sous-système étudié.

La performance de la technique FMEA dans l'analyse de la fiabilité des équipements militaires, dans l'aérospatial, dans l'industrie automobile et dans les usines de production lui a valu une renommée en management de risque dans d'autres secteurs. FMEA est la seule méthode traditionnelle de management de risque largement recommandée dans les régulations maritimes internationales. Elle est bien adoptée par la communauté maritime comme technique puissante d'analyse de risque dans les systèmes maritimes (WILCOX, 1999). Elle est aussi recommandée dans le code international de la sûreté des navires à grande vitesse ou *High-Speed Craft* (HSC) pour une analyse performante des défaillances liées à la sûreté des navires.

Dans la circulaire sur la navigation et l'inspection des navires, NVIC (*Navigation and Vessel Inspection Circulars*), créée en 1993 pour servir de guide pour la certification du transport sous-marin de passager (NVIC n° 5-93), l'application de FMEA à tous les systèmes submersibles est incluse dans la liste des recommandations additionnelles (WILCOX, 1999). Mais son application dans le secteur maritime est particulièrement limitée à la gestion des risques de défaillances techniques liées aux navires.

Cependant, le système de classification des risques par RPN utilisé dans la méthode traditionnelle a fait l'objet de plusieurs critiques dans la littérature.

Puisque le RPN qui permet d'évaluer le niveau de risque de chaque mode de défaillance identifié et de classer le risque résulte du produit des trois facteurs de risque (probabilité d'occurrence, probabilité de détection, et sévérité des modes de défaillance) évalués sur une échelle de 1 à 10, des séries variées de probabilité d'occurrence, de probabilité de détection et de sévérité peuvent produire une valeur identique de RPN, alors que les implications du risque peuvent être totalement différentes (BOWLES, PELAEZ, 1995 ; WANG et al., 1995). A titre d'exemple, si nous considérons deux modes de défaillances différents ayant respectivement 2, 3, 2 et 4, 1, 3, comme probabilité d'occurrence, probabilité de détection et sévérité, ces deux modes de défaillance auront un même RPN égal à 12 alors que les conséquences du risque ne sont pas nécessairement les mêmes sur le système. Le mode de calcul du niveau de risque constitue ainsi une première limite de l'analyse FMEA.

Un autre revers critique de la méthode d'évaluation du niveau de risque par RPN est qu'elle néglige l'importance relative entre la probabilité d'occurrence, la probabilité de détection et la sévérité. Ces trois facteurs sont considérés comme ayant la même importance (PILLAY, WANG, 2002). Ceci ne peut pas être le cas quand nous considérons une application pratique du processus FMEA. D'où une seconde limite de l'analyse FMEA.

Très récemment, LIU et al. (2013) se sont intéressés à la problématique de la méthode conventionnelle du RPN et aux multiples travaux réalisés pour améliorer la performance de FMEA dans ce sens. Leur étude faite sur 75 articles publiés entre 1992 et 2012 dans des journaux internationaux sur ce thème a donné une indication sur les tendances actuelles de la recherche pour contribuer à la résolution de cette problématique connue de la méthode FMEA. Ils ont montré que, dans le but de contourner la limite relative à la méthode conventionnelle de priorisation des risques par RPN, FMEA est combinée à plusieurs catégories d'approches dont les approches *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) (BRAGLIA, 2000 ; FRANCESCHINI, GALETTO, 2001 ; BRAGLIA et al., 2003 ; CHIN et al., 2009 ; ZAMMORI, GABBRIELLI, 2011), *Mathematical Programming*, *Artificial Intelligence*, les *Hybrid Approaches* et autres outils de management de risque (LIU et al., 2013). Leurs statistiques ont montré que l'Intelligence Artificielle est la catégorie la plus utilisée avec 40 % des articles revus, suivie des approches MCDM (multi-critères). Les systèmes à base de règles floues constituent l'approche la plus utilisée de la catégorie de l'Intelligence Artificielle (BOWLES, PELAEZ, 1995 ; PUENTE et al., 2002), suivis de la Théorie Grey (CHANG et al., 1999), des modèles basés sur les coûts, du *Analytical Hierarchy Process* (AHP) et de la programmation linéaire.

Grand nombre d'approches FMEA ont un objectif quantitatif qui consiste à prédire la probabilité de certains types de défaillance de système (PILLAY, WANG, 2002). Cependant, FMEA est une méthode qualitative qui peut se décliner en approche quantitative lorsqu'elle utilise des données statistiques quantitatives pour faire une estimation quantitative des facteurs de risque, mais également, en approche qualitative lorsqu'il s'agit de faire une estimation qualitative des facteurs de risque parce que l'information statistique quantitative n'est pas disponible.

Sous une approche qualitative, dans l'industrie agroalimentaire, la technique FMEA est souvent combinée à la méthode HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Point*) pour une meilleure analyse des risques liés à la sécurité alimentaire. HACCP est une méthode traditionnelle de management de risque, reconnue simple et performante par les organisations internationales comme l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO) et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Elle est grandement recommandée par l'Union Européenne dans les législations alimentaires comme l'outil privilégié des industries agroalimentaires pour « *identifier tout aspect déterminant pour la sécurité des aliments et pour veiller à ce que des procédures de sécurité appropriées soient établies, mises en œuvre, respectées et mises à jour* » (93/43/CE, 1993), Aujourd'hui, son utilisation est largement étendue aux situations de contrôle d'infection et de contamination des aliments dans les établissements de santé.

La combinaison FMEA/HACCP a été testée par Scipioni et al. (2002) dans une industrie de confiserie italienne pour étudier les risques liés à la qualité des produits et améliorer la performance opérationnelle du cycle de production. Dans ces travaux, FMEA a été utilisée comme une phase additionnelle à la collecte de données permettant d'identifier les aléas et de définir des actions correctives. La méthode conventionnelle de priorisation des risques par RPN a été utilisée et les auteurs ont été confrontés à la limite de cette méthode (SCIPIONI et al., 2002). Lorsque deux défaillances avaient plus ou moins le même RPN, l'équipe FMEA faisait la différenciation sur la sévérité et éventuellement sur la détection, les deux aspects les plus importants de la défaillance dans le contexte de l'étude.

Ces travaux ont montré que les deux méthodologies FMEA et HACCP s'appliquent à des phases différentes de la production et que leur application simultanée permet d'étudier et d'analyser chaque étape du cycle de production, d'acquérir une connaissance exhaustive du système et d'améliorer la qualité des produits et des processus (SCIPIONI et al., 2002).

Toujours dans l'industrie agroalimentaire, ARVANITTOYANNIS et VARZAKAS (2008) ont intégré FMEA, HACCP et la norme ISO 22000 pour analyser le risque de sécurité alimentaire sur une chaîne de production de saumon. Dans cette étude, les auteurs ont mis l'accent sur la quantification de l'évaluation



de risque faite en déterminant un RPN pour chaque aléa. Une analyse du processus de production de saumon a permis d'identifier les aléas et de déterminer les points critiques de contrôle avec la méthode HACCP (ARVANITTOYANNIS, VARZAKAS, 2008). Une analyse FMEA a permis d'exprimer chaque risque de contamination et sa présence dans le produit final par un RPN défini par le produit des probabilités d'occurrence, de détection et de la sévérité. En fonction des RPN trouvés, les aléas sont classifiés et des actions correctives proposées pour chaque aléa identifié (changer de fournisseur, contrôler régulièrement, audit du nouveau domaine de culture, etc.). Dès que la valeur d'un RPN dépasse la valeur limite acceptée, une action corrective est mise en œuvre et un nouveau RPN est calculé. Les résultats de cette étude ont montré que l'intégration FMEA-HACCP a permis de réduire de façon considérable les niveaux de risque évalués (RPN) avec l'application d'actions correctives résultant de l'analyse des RPN calculés. Cependant, aucune limite n'a été évoquée dans ce travail concernant la méthode d'évaluation et de priorisation du risque par les RPN.

Une application très récente de FMEA a consisté à l'incorporer dans la procédure de vérification du bon fonctionnement d'un système HACCP en pratique pour la gestion du risque de sécurité alimentaire dans le secteur de la boulangerie industrielle (TRAFIALEK, KOLANOWSKI, 2014). Partant des critères d'audit indiqués dans le CODEX ALIMENTARIUS (2003) Art.5 de la réglementation (EC) n° 852/2004, les auteurs ont défini douze étapes correspondant à douze blocs de questions d'audit pour vérifier l'implémentation du système HACCP et six autres blocs de questions d'audit pour s'assurer du bon fonctionnement du système HACCP en pratique. Pour l'évaluation des critères d'audit, une échelle constituée de 4 scores a été utilisée : 2, 3, 4, 5. Le score 5 correspond à la conformité, c'est-à-dire au respect de toutes les exigences, et indique que la sécurité alimentaire du produit est assurée pour le consommateur. Le score 2, le plus bas, correspond à la non-conformité. Un score final est ainsi attribué à chaque bloc de questions et le risque est calculé pour chaque bloc en utilisant la méthode conventionnelle des RPN de l'analyse FMEA. La sévérité de la non-conformité, la fréquence d'occurrence et la détectabilité de cette non-conformité sont évaluées sur une échelle de 1 à 10 et le RPN est déterminé par le produit de ces trois facteurs de risque. Les résultats de cette étude ont montré que l'incorporation de FMEA dans la procédure de vérification du système HACCP peut réellement être un outil convenable pour une meilleure assurance de la sécurité alimentaire (TRAFIALEK, KOLANOWSKI, 2014).

Les travaux effectués sur l'intégration de FMEA et HACCP ont globalement pour objectif de compléter l'analyse des aléas et les mesures préventives de HACCP par celles de FMEA, et d'utiliser les plans de contrôle et mesures préventives de FMEA dans l'analyse HACCP. Mais une telle intégration pourrait également permettre d'améliorer la performance de la technique

FMEA dans la mesure où les étapes de l'analyse FMEA mettent l'accent sur les critères permettant de contrôler les modes de défaillance potentiels et ne font pas ressortir la notion de point critique de contrôle de ces modes de défaillance. Un point critique de contrôle est défini par là où des pertes de contrôle aboutissent à un risque inacceptable, là où les aléas peuvent être minimisés ou réduits à des niveaux acceptables (BUCHANAN et al., 1995). Cette notion de point critique de contrôle est d'une importance primordiale lorsqu'il s'agit de gérer les risques d'un système étendu. Elle constitue la base de la méthode traditionnelle HACCP.

### **3. APPROCHE AMÉLIORÉE DE L'INTÉGRATION FMEA-HACCP APPLIQUÉE AU TRANSPORT INTERNATIONAL DE MARCHANDISES**

Afin de surmonter les limites susmentionnées de FMEA et d'améliorer sa performance, nous avons choisi dans ce travail de combiner cette technique d'analyse de risque à la méthode HACCP en utilisant l'approche de priorisation de risque par rang de priorité de risque (RPR) présentée par SANKAR et PRABHU (2001). Pour tester l'efficacité de cette combinaison, nous l'appliquons au secteur du transport international de marchandises.

#### *3.1. CHOIX DU SECTEUR D'APPLICATION*

Avec la mondialisation, nous assistons à une totale réorganisation des processus de production et de distribution physique à l'échelle planétaire (COLIN, 1993), à une multiplication des mouvements de marchandises conteneurisées échangées dans le monde et qui passent par les ports maritimes. Plus de 18 millions de conteneurs en circulation dans le monde ont été recensés en 2011 (WSC, 2011).

Cette utilisation massive des conteneurs n'est pas sans poser des problèmes de sûreté dans le transport maritime. Les conteneurs constituent une des sources majeures de risque de sûreté dans la chaîne du transport maritime.

Depuis les attentats du 11 septembre 2001 à New York, l'attention de tous les acteurs du commerce international s'est portée sur les possibilités d'utilisation des conteneurs pour cacher et acheminer des armes de destruction massive, des agents terroristes et/ou de la drogue pour financer des activités terroristes. La sûreté devient ainsi l'affaire de tous les acteurs des chaînes logistiques internationales (ABKOWITZ, 2003) et gérer les risques de sûreté liés au transport international de marchandises devient impératif.

Dans un tel contexte de chaîne logistique globale caractérisée par une dispersion géographique et un grand nombre d'acteurs et de liens résultant de la multiplication des partenaires commerciaux des entreprises à travers le monde, gérer les risques devient beaucoup plus difficile.

Le manque de définition unanime du risque de la *Supply Chain* (HECKMANN et

al., 2014), son caractère multidimensionnel, les différentes perceptions par les acteurs et la diversité des sources de risque (CHRISTOPHER, LEE, 2001 ; JUTTNER et al., 2003 ; CHRISTOPHER, PECK, 2004) rendent particulièrement difficile le management de risque dans la *Supply Chain*.

Plusieurs définitions du risque de la *Supply Chain* ont été proposées dans la littérature. Parmi ces propositions, nous avons retenu une des premières définitions qui est celle de MARCH et SHAPIRA (1987). Ces auteurs définissent le risque de la chaîne logistique comme la « *variation de la distribution des résultats possibles de la Supply Chain, leur probabilité d'occurrence et leurs valeurs subjectives* ». ZISIDIN (2003a) propose une définition du risque lié à l'offre en relation avec l'occurrence d'un incident entraînant l'incapacité des compagnies affectées de gérer les conséquences. JUTTNER et al. (2003) ont également défini le risque de la *Supply Chain* comme « *la possibilité et les effets du décalage entre l'offre et la demande* ». CHRISTOPHER et PECK (2004) considèrent le risque de la chaîne logistique comme la vulnérabilité, la probabilité d'être détruit ou endommagé. Selon PECK (2006) le risque de la *Supply Chain* est « *tout ce qui interrompt ou qui ralentit les flux informationnels, matériels ou de produits du premier fournisseur à la livraison du produit fini au client final* ».

Alors que la probabilité et l'impact des pertes sont les dimensions de risque les plus communément discutées, MANUJ et MENTZER (2008a) ont rajouté deux autres dimensions dans les chaînes logistiques globales, la vitesse et la fréquence.

La diversité de ces définitions du risque de la *Supply Chain* et le manque d'unanimité rendent difficile sa compréhension par les acteurs, d'où la différence de perception dans la chaîne logistique.

La perception subjective de l'importance du risque impacte les processus de prise de décision et mène vers des solutions différentes (HECKMANN et al., 2014). Le risque de la *Supply Chain*, comme le risque en général, doit être vu comme un concept subjectif qui repose sur l'évaluation individuelle des résultats potentiels (ELLIS et al., 2010). ZISIDIN (2003b) a très tôt posé la question de la perception managériale du risque lié aux approvisionnements dans la *Supply Chain*. Selon lui, les différentes visions de ce type de risque dans la chaîne logistique rendent plus difficile la gestion de risque et incitent chacune des organisations impliquées à implémenter des stratégies de transfert de risque. LIU et NAGURNEY (2011) ont démontré que les managers de la *Supply Chain* devraient d'abord évaluer le niveau de tolérance du risque dans leur entreprise avant de prendre des décisions. WAKOLBINGER et CRUZ (2011) suggèrent l'application d'un facteur de poids représentant une attitude de risque ajustable du décideur.

Identifier et évaluer les risques probables et leurs impacts possibles sur des opérations est une tâche complexe et difficile pour une simple organisation.

La gestion de risque dans une perspective de chaîne logistique doit avoir un champ plus étendu que celui d'une simple organisation. Dans un tel contexte, les entreprises ne doivent pas seulement identifier les risques directement liés à leurs opérations, mais aussi les risques liés à toutes les autres entités de leur chaîne logistique, de même que ceux causés par les liens entre organisations.

Des approches de management de risque de la *Supply Chain* ont été proposées dans la littérature. KLEINDORFER et SAAD (2005) ont présenté un processus à trois étapes qui sont la spécification des sources de risque et des vulnérabilités, l'évaluation et l'atténuation des risques. JUTTNER et al. (2003) ont suggéré un processus à quatre étapes qui sont l'évaluation des sources de risque de la chaîne logistique, l'identification du concept de risque en définissant les conséquences les plus significatives, le suivi des pilotes de risque et l'atténuation des risques. Selon MANUJ et MENTZER (2008b), pour gérer les risques de la chaîne logistique globale, les compagnies ont besoin de suivre un chemin allant de l'identification de risque aux stratégies d'atténuation en passant par l'estimation et l'évaluation, la sélection de stratégies appropriées pour réduire le risque, et l'implémentation de ces stratégies.

TUMMALA et SCHOENHERR (2011) ont présenté un processus détaillé de management de risque de la chaîne logistique comprenant les étapes d'identification, de mesure, d'évaluation, de classification et d'atténuation des risques, de développement de plans d'urgence, de contrôle et de suivi des risques.

Clairement, il n'existe pas encore de standard du processus de management des risques de la chaîne logistique (CURKOVIC et al., 2013). Cependant, dans la littérature, les auteurs s'accordent sur quatre phases basiques similaires de ce processus (HARLAND et al., 2003 ; HAUSER, 2003 ; JUTTNER et al., 2003 ; SINHA et al., 2004 ; HALLIKAS et al., 2004 ; KLEINDORFER, SAAD, 2005) :

- . L'identification de risque
- . L'évaluation de risque
- . La priorisation de risque
- . Le traitement de risque.

Dans leurs travaux, LEE et BILLINGTON (1992) ont montré qu'un des écueils potentiels du management de la chaîne logistique est la compréhension de la probabilité de ses risques et de la magnitude de leurs impacts. Cependant, plusieurs événements dans le monde ont confirmé la forte probabilité des risques sécuritaires (vol, fraude, immigration clandestine, trafic de drogue, contrebande, actes terroristes) dans la chaîne de transport international (OCDE, 2005).

Pour contribuer à la démarche de sécurisation de la chaîne du transport conteneurisé, il est nécessaire de développer des approches performantes de management de risque basées sur des outils traditionnels permettant d'intégrer les caractéristiques d'un système étendu.

Récemment, FMEA a été utilisée pour gérer des risques dans un contexte de chaîne logistique. Partant de l'idée selon laquelle il faut attaquer les causes de risque afin de prévenir de futurs événements à risque, NYOMAN et LAUDINE (2009) ont appliqué la méthode FMEA à une chaîne de production d'engrais dans l'objectif de réduire l'occurrence des causes de risque liées à cette chaîne.

Plus récemment encore, CURKOVIC et al. (2013) se sont intéressés à l'utilisation de FMEA dans le management des risques de la chaîne logistique. Les résultats de leur étude faite auprès de 67 managers de compagnies nord-américaines ont montré que FMEA est très peu utilisée pour gérer les risques de la chaîne logistique (CURKOVIC et al., 2013). Parmi les principales raisons qui limitent l'utilisation de cette méthode dans la *Supply Chain*, il y a le manque de connaissance de la procédure FMEA, le manque de valeur explicite remarquable, le temps consommé pour l'application de la méthode, la difficulté d'estimer les modes de défaillance, l'absence de défaillances expérimentées pour justifier l'utilisation de FMEA, un outil trop confus et compliqué (CURKOVIC et al., 2013).

BRADLEY (2014) a également utilisé la méthode FMEA pour identifier, évaluer et prioriser les risques rares et catastrophiques de la chaîne logistique globale. Parce que les attitudes face au risque varient d'une compagnie à une autre, l'auteur a utilisé dans son approche la notion de score de risque (BRADLEY, GUERRERO, 2011) affecté à chaque combinaison des trois facteurs caractéristiques du risque dans FMEA (occurrence, détection et sévérité). Le score de risque de chaque combinaison est choisi sur une échelle ordinaire allant de 1 à 10. Cette approche permet de prendre en compte les préférences de risque des décideurs et de personnaliser le classement des combinaisons au lieu de se contenter du calcul commun du RPN (BRADLEY, 2014).

Cependant, la combinaison de FMEA avec la méthode traditionnelle HACCP n'a jusque-là été testée que dans le secteur de l'industrie agroalimentaire, secteur d'origine de HACCP, pour la gestion du risque de sécurité des aliments. L'application de cette combinaison au secteur du transport international de marchandises constitue une nouvelle orientation.

### 3.2. INTÉGRATION FMEA-HACCP APPLIQUÉE AU TRANSPORT INTERNATIONAL DE MARCHANDISES

Notre terrain d'étude est la chaîne du transport maritime et plus particulièrement la chaîne d'exportation des marchandises conteneurisées allant de l'entrepôt d'un client exportateur au terminal du Grand Port Maritime du Havre.

La chaîne d'exportation des marchandises conteneurisées étant multi-site, de courts séjours chez les différents acteurs de la chaîne nous ont permis de suivre les flux physiques et informationnels et décrire convenablement le

système étudié. Nous avons ainsi réalisé un modèle de processus de notre système (modèle en Annexe 1) qui nous a servi de base dans la suite de notre travail.

Les analyses FMEA et HACCP étant une fonction d'équipe, nous avons constitué dans un premier temps une équipe de travail composée de six experts spécialisés en transport international et en gestion du risque de sûreté dans les ports. Ces experts ont été choisis selon les quatre critères annoncés par WILSON et DARBY (2006), leur expérience, leur position professionnelle, leur spécialisation, leur qualification. Nous avons ainsi choisi comme instrument de recueil de données un processus de communication verbale, l'entretien de groupe.

Nous avons par la suite combiné le processus de base de la technique FMEA décrit au début de l'article aux sept principes de la méthode HACCP qui sont les suivants :

Principe 1 : Procéder à l'analyse des dangers

Il s'agit dans ce premier principe d'établir pour chaque étape du processus, la liste des dangers qui sont raisonnablement susceptibles de se produire. Les dangers identifiés sont ensuite pondérés en fonction de leur probabilité d'occurrence et de leur gravité.

Principe 2 : Déterminer les points critiques à maîtriser

Un point critique ou *Critical Control Point* (CCP), est un stade ou une étape où la maîtrise est essentielle pour prévenir, éliminer ou réduire un danger à un niveau acceptable (DOMENECK et al., 2007). Dans une logique préventive, un contrôle est nécessaire à chaque point critique.

Principe 3 : Fixer les seuils critiques

Un seuil ou limite critique est une valeur qui distingue l'acceptabilité de la non-acceptabilité du risque (DOMENECK et al., 2007). En se basant sur des données scientifiques ou des études techniques, un seuil critique est fixé pour chaque point critère (valeur cible et tolérances). Parmi les critères les plus choisis dans l'agroalimentaire, nous pouvons citer la température, la durée, la teneur en humidité, le pH.

Principe 4 : Mettre en place un système de surveillance permettant de maîtriser les CCP

Afin de détecter à temps toute perte de maîtrise et d'agir en conséquence, il est essentiel de mettre en place un système de surveillance permettant de mesurer ou d'observer les seuils critiques correspondant à un CCP. Le système de surveillance est constitué de procédures à appliquer pour un contrôle régulier des CCP. Les données obtenues dans l'exécution des opérations doivent en principe être communiquées en temps utile aux personnes compétentes afin de procéder aux ajustements nécessaires et d'éviter un dépassement de seuil critique. Tous les relevés et comptes rendus résultant de la surveillance des CCP doivent être validés et enregistrés.

Principe 5 : Déterminer les mesures correctives à prendre lorsque la surveillance révèle qu'un CCP donné n'est pas maîtrisé

En cas de dépassement de seuil critique, des actions permettant de rectifier les écarts sont nécessaires. Pour cela, des mesures correctives spécifiques doivent être prévues pour chaque CCP et consignées dans un registre HACCP.

Principe 6 : Appliquer des procédures de vérification afin de confirmer que le système HACCP fonctionne efficacement

Une fois le système HACCP mis en place, il est important de vérifier assez fréquemment son bon fonctionnement et son efficacité par le biais de procédures tests, d'audits, de relevés d'écarts relatifs aux CCP, ou d'analyses par échantillonnage.

Principe 7 : Constituer un dossier dans lequel figureront toutes les procédures et relevés concernant ces principes et leur mise en application

La tenue de dossier précis et rigoureux est indispensable à l'application du système HACCP. Le dossier HACCP comprend la documentation sur la mise en place du système HACCP telle que les procédures relatives aux CCP, les enregistrements de surveillance des CCP, les actions correctives mises en place, les conclusions de vérification du système.

Le premier principe de la méthode traditionnelle HACCP préconise une identification d'aléas. Dans les applications de la méthode à l'agroalimentaire, l'analyse de données scientifiques sur la base de standards techniques est la méthodologie principalement utilisée pour lister des aléas sécuritaires (liés à la sécurité des aliments) quantifiables, de nature chimique, physique ou biologique.

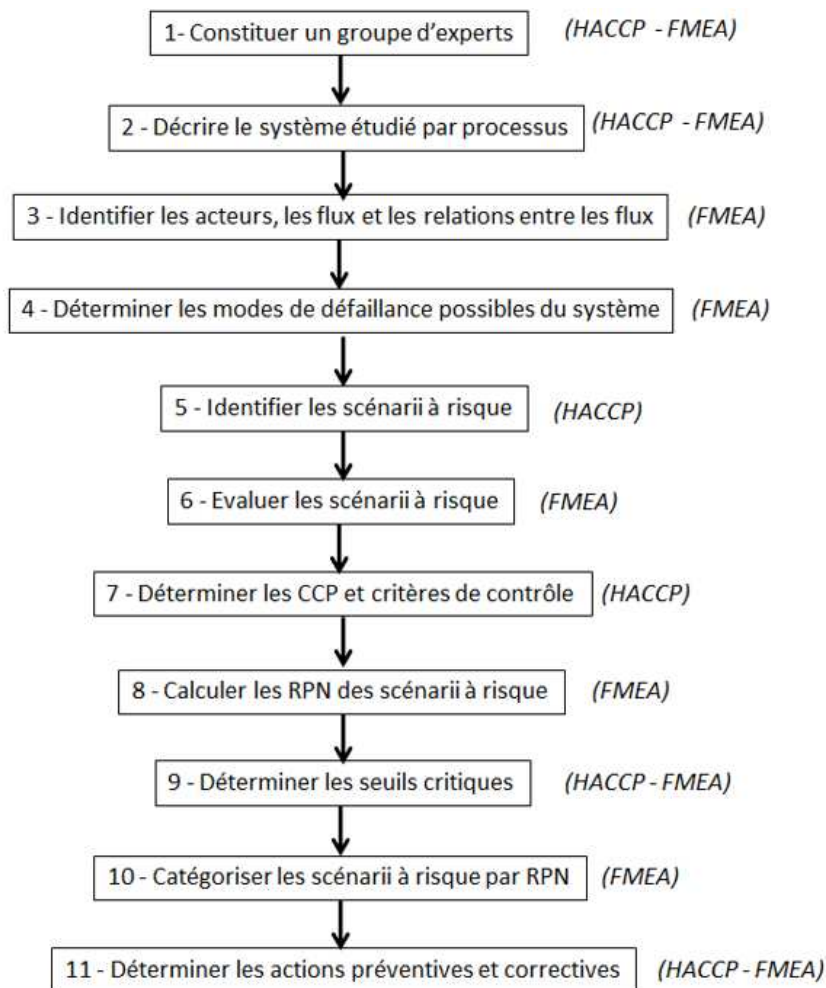
Dans notre étude, nous avons plutôt utilisé l'expertise humaine pour identifier des aléas sécuritaires (liés à la sûreté des conteneurs) qualifiables.

Les conséquences du risque de sûreté dans le transport international de marchandises sont connues, mais les probabilités restent inconnues. Ceci a motivé notre choix d'approche scénario, bien appropriée pour traiter ce type d'événement (VAN DER HEIJDEN, 1996). Après une série d'entretiens avec les experts sous forme de discussion de groupe, nous avons modélisé l'expertise humaine recueillie sous forme de scénarii (liste des scénarii en Annexe 2) que nous analyserons dans la suite de l'étude.

Le modèle de la chaîne du transport conteneurisé et les scénarii à risque ont été présentés et validés par les experts.

Le diagramme représenté sur la Figure 1 résume notre approche de combinaison des méthodes FMEA et HACCP utilisant la méthode conventionnelle du RPN.

Figure 1 : Processus de combinaison FMEA-HACCP



Comme préconisé dans l'analyse FMEA, pour évaluer les scénarii identifiés (étape 6 du processus de combinaison FMEA-HACCP), nous avons estimé quantitativement les valeurs des probabilités d'occurrence (O), de détection (D), et la sévérité du risque (S) sur l'ensemble de la chaîne du transport de marchandises conteneurisées en utilisant une échelle quantitative allant de 1 (très faible) à 9 (très élevé) (résultats en Annexe 3).

Pour chaque scénario, nous avons identifié le point critique de contrôle et le(s) critère(s) permettant d'effectuer le contrôle (résultats en Annexe 4).

Partant de la formule conventionnelle du nombre de priorité de risque (produit de la probabilité d'occurrence, de la probabilité de détection du risque, et de la sévérité des conséquences), nous avons déterminé le RPN de chaque scénario à risque identifié.



Nous avons tenté de fixer un seuil critique relatif au niveau de risque dans notre application. Mais déterminer objectivement une valeur à partir de laquelle le risque sera considéré inacceptable reste difficile. Imaginons le scénario le plus extrême ayant une probabilité d'occurrence égale à 9, une probabilité de détection égale à 1 et une gravité de conséquences égale à 9. Ce scénario aurait un niveau de risque égal à 81. Si nous fixons subjectivement le seuil critique à 45 par exemple, cela signifierait que tout scénario ayant un niveau de risque inférieur à cette valeur ne nécessite pas une alerte. Un scénario ayant une probabilité d'occurrence égale à 7 (élevée), une probabilité de détection de 1 (très faible), et une gravité de conséquences égale à 6 (moyenne), ne serait pas considéré comme étant grave car le RPN (égal à 42) serait inférieur au seuil critique. D'où la difficulté de fixer subjectivement une valeur de niveau de risque comme seuil critique dans la combinaison FMEA-HACCP.

En outre, des séries variées de probabilité d'occurrence, de probabilité de non-détection et de sévérité produisent une valeur identique de RPN, alors que les conséquences du risque sur l'ensemble de la chaîne sont totalement différentes. Nous restons ainsi confrontée dans notre application de la combinaison FMEA-HACCP à la limite de la méthode traditionnelle FMEA relative à l'utilisation du RPN pour classifier les risques.

Pour surmonter ces limites, nous nous sommes intéressés à l'utilisation des systèmes à base de règles. Les travaux de SANKAR et PRABHU (2001) ont particulièrement attiré notre attention.

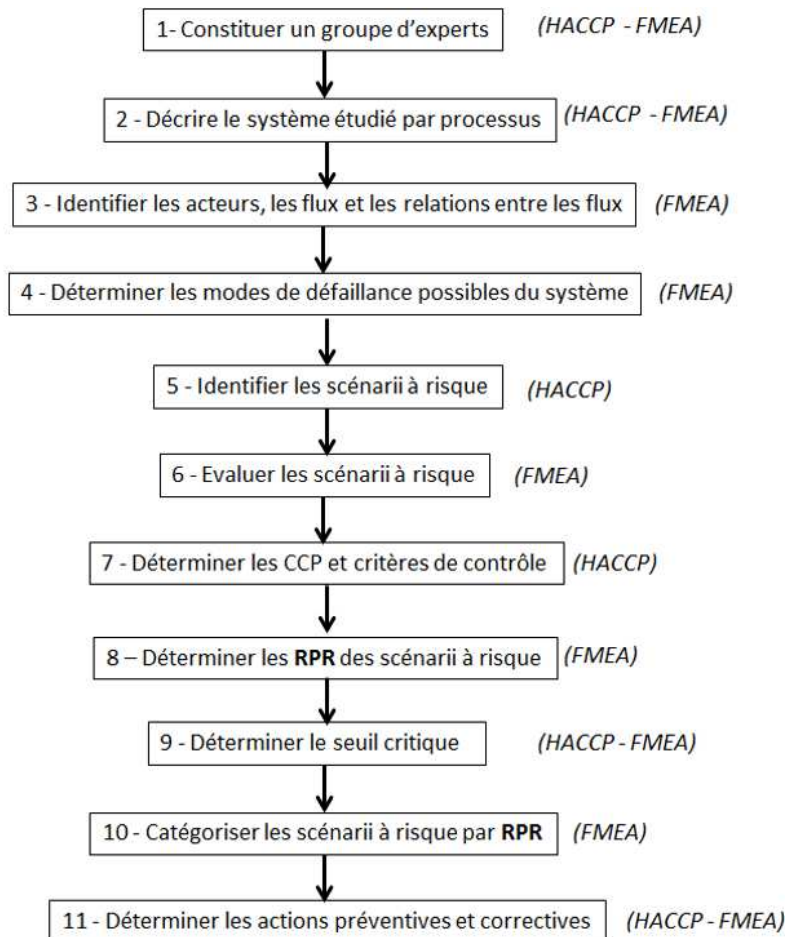
Partant du problème fondamental selon lequel la méthode FMEA tente de quantifier le risque sans quantifier de façon adéquate les facteurs qui contribuent au risque, ces auteurs ont utilisé dans leur approche des rangs allant de 1 à 1 000 appelés rangs de priorité de risque (*Risk Priority Ranks* ou RPR) pour représenter le risque croissant des 1 000 combinaisons possibles de O, D, et S. Ces 1 000 combinaisons possibles sont déterminées par un expert afin d'accroître le risque et de le représenter sous forme de règles « *if-then* » déterminées par des affirmations conditionnelles. Les défaillances ayant un rang élevé auront une plus grande priorité que celles de rang plus faible. L'approche modifiée de la méthode FMEA présentée dans ces travaux est la suivante (SANKAR, PRABHU, 2001) :

- 1- Décrire le nom, le numéro et la fonction de l'entité/produit à étudier
- 2- Lister les modes de défaillance possibles
- 3- Estimer la sévérité de la défaillance
- 4- Lister les causes potentielles de défaillance
- 5- Estimer la fréquence et l'occurrence de la défaillance
- 6- Décrire la méthode de détection de la défaillance
- 7- Estimer la détection de la défaillance
- 8- Évaluer le *Risk Priority Rank* ou RPR
- 9- Déterminer les actions correctives.

SANKAR et PRABHU (2001) ont appliqué cette nouvelle version de FMEA avec succès au cas d'un sous-système de refroidissement d'une usine off-shore extrait des travaux de DAVIDSON (1988).

En nous inspirant de cette technique de priorisation des défaillances par RPR, notre approche améliorée de la combinaison FMEA et HACCP est présentée en Figure 2.

Figure 2 : Processus de combinaison améliorée FMEA-HACCP



Dans le contexte de notre étude, l'analyse des 1 000 combinaisons possibles de O, D, et S (qui prennent des valeurs de 0 à 9) de l'approche de SANKAR et PRABHU (2001) nous a permis de réduire ce nombre à 810 (classification en Annexe 5) compte tenu des considérations suivantes :

- Lorsque la probabilité d'occurrence d'un scénario à risque est nulle, il n'est pas nécessaire de prendre en compte ce scénario dans la phase d'évaluation. Cent combinaisons présentent une probabilité d'occurrence égale à zéro.

- Pour chaque valeur de la probabilité d'occurrence allant de 1 à 9, il existe une combinaison de probabilité de détection et de sévérité nulles. Pour ce type de scénario, aucune priorisation ni action n'est nécessaire.
- Lorsque la sévérité d'un scénario à risque est nulle, quelle que soit la valeur de la probabilité d'occurrence et de détection, il n'est pas nécessaire de mettre en place des actions préventives ou correctives. Lorsque la probabilité d'occurrence est élevée, ce type de scénario peut ralentir le fonctionnement du système. 81 combinaisons présentent une sévérité égale à 0.  
Il est cependant important d'enregistrer ce type de scénario dans une base de connaissance et de contrôler régulièrement l'évolution de ses conséquences sur le système étudié.

Pour catégoriser nos 810 combinaisons retenues, nous avons considéré que :

- Lorsque le facteur O, D ou S est compris entre 1 et 3, la valeur est faible
- Lorsque le facteur O, D ou S est compris entre 4 et 6, la valeur est moyenne
- Lorsque le facteur O, D ou S est compris entre 7 et 9, la valeur est élevée.

Nous avons ensuite défini dix échelles de risque dont les caractéristiques des combinaisons qu'elles regroupent sont résumées dans le Tableau 1.

*Tableau 1 : Échelles de risque définies à partir de l'approche RPR*

Echelles de Risque	Caractéristiques des scénarii
1	Occurrence faible, Détection faible, Sévérité faible
2	Occurrence faible, Détection nulle, Sévérité faible
3	Occurrence faible, Détection moyenne/élevée, Sévérité faible/moyenne/élevée
4	Occurrence faible, Détection faible, Sévérité moyenne/élevée
5	Occurrence faible, Détection nulle, Sévérité moyenne/élevée
6	Occurrence moyenne/élevée, Détection moyenne/élevée, Sévérité faible
7	Occurrence moyenne/élevée, Détection faible, Sévérité faible
8	Occurrence moyenne/élevée, Détection nulle, Sévérité faible
9	Occurrence moyenne/élevée, Détection moyenne/élevée, Sévérité moyenne/élevée
10	Occurrence moyenne/élevée, Détection nulle/faible, Sévérité moyenne/élevée

Les combinaisons de chaque échelle ont été classées (résultats en Annexe 5) en donnant une forte priorité à la détection du risque, puis à l'occurrence et enfin à la sévérité. Nous avons délibérément choisi d'affecter un plus fort poids à la détection compte tenu du système et du type de risque (terroriste) que nous étudions, qui sont caractérisés par un taux d'occurrence non maîtrisé et une sévérité quasi constante.

Le Tableau 2 présente un extrait de la priorisation des 810 combinaisons pour les échelles 5 et 8. Partant de cette classification, nous avons priorisé l'ensemble des scénarii à risque (résultats en Annexe 6). Le Tableau 3 fournit un extrait de cette priorisation par l'approche des RPR.

Tableau 2 : Classification des RPR par échelle de risque

Echelle de risque 5	1	0	4	253	Echelle de risque 8	4	0	1	433
	1	0	5	254		4	0	2	434
	1	0	6	255		4	0	3	435
	1	0	7	256		5	0	1	436
	1	0	8	257		5	0	2	437
	1	0	9	258		5	0	3	438
	2	0	4	259		6	0	1	439
	2	0	5	260		6	0	2	440
	2	0	6	261		6	0	3	441
	2	0	7	262		7	0	1	442
	2	0	8	263		7	0	2	443
	2	0	9	264		7	0	3	444
	3	0	4	265		8	0	1	445
	3	0	5	266		8	0	2	446
	3	0	6	267		8	0	3	447
3	0	7	268	9	0	1	448		
3	0	8	269	9	0	2	449		
3	0	9	270	9	0	3	450		

Tableau 3 : Extrait de la priorisation des scénarii par l'approche des RPR

	Zones à risque	Scénarii	Probabilité d'Occurrence	Probabilité de Détection	Gravité des Conséquences	RPN	RPR
Scénario 10	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et pas connu et que le pays de destination est à risque alors le conteneur est à risque.	7	3	2	42	409
Scénario 11	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA mais connu et que le pays de destination n'est pas à risque alors le conteneur n'est pas à risque.	9	5	2	90	371
Scénario 12	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et que les pays d'origine et de destination sont à risque alors le conteneur est à risque.	8	5	4	160	599
Scénario 13	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide et qu'il n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.	6	8	4	192	524
Scénario 14	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide, sans détecteur d'ouverture et qu'il y a eu un arrêt dans parking non sécurisée alors le conteneur est à risque	4	8	4	128	452
Scénario 15	Terminal Portuaire	Si l'accès à la zone de stockage conteneurs pleins au port n'est pas contrôlé et que le scellé est fragilisé alors le conteneur est à risque.	6	8	2	96	314
Scénario 16	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le transporteur n'est pas OEA et la zone portuaire non sécurisée alors le conteneur est à risque.	6	5	2	60	317
Scénario 17	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le conteneur n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.	5	9	2	90	295
Scénario 18	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et qu'il n'a pas été contrôlé au port d'exportation alors le conteneur est à risque.	9	8	4	288	632

#### 4. RÉSULTATS

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés aux limites de FMEA liées à :

- . la méthode de priorisation des risques par nombre de priorité de risque traditionnellement utilisée dans l'analyse FMEA
- . l'importance relative aux facteurs de risque ignorée dans l'évaluation du risque par RPN
- . la notion de point de contrôle de risque qui n'apparaît pas dans les principales étapes de l'analyse FMEA.

La combinaison de FMEA à la méthode HACCP a tout d'abord permis une identification des points critiques de contrôle du risque tout au long de la chaîne du transport conteneurisé de marchandises.

L'utilisation de l'approche de priorisation de risque par RPR dans cette combinaison a montré une nette amélioration des résultats de l'analyse FMEA pour la gestion du risque sécuritaire dans la chaîne de transport de marchandises conteneurisées. Cette approche intégrée a permis tout d'abord de résoudre le problème du *Risk Priority Number*. Pour illustrer cette amélioration, prenons l'exemple des scénarii 11 et 17 du Tableau 3. Le scénario 11 présente une probabilité d'occurrence égale à 9, une probabilité de détection égale à 5 et une sévérité de conséquences égale à 2. Le scénario 17 présente une probabilité d'occurrence égale à 5, une probabilité de détection égale à 9 et une sévérité de conséquences égale à 2. Il est clair que dans un contexte de risque terroriste lié au transport international, à conséquences égales, le scénario 11 est beaucoup plus critique que le scénario 17. L'approche traditionnelle des RPN nous donne le même nombre de priorité et par conséquent le même classement des deux situations alors que l'approche des RPR donne un rang de priorité de 371 au scénario 11 (le plus critique) et un rang de priorité de 295 au scénario 17 (le moins critique), d'où une meilleure priorisation du risque dans ce contexte.

L'approche par RPR permet également à l'expert qui détermine les rangs de toutes les combinaisons de donner une priorité à un ou plusieurs facteurs de risque selon le contexte de l'étude. Dans le cas du risque de sûreté lié au transport international de marchandises, il semblait plus judicieux de donner une plus grande priorité à la détection, étant donné que l'occurrence du risque est très peu maîtrisée et la sévérité des conséquences quasi constante.

Quant à la problématique de la détermination des seuils critiques à laquelle nous étions confrontée dans la combinaison FMEA-HACCP pour évaluer le risque sécurité dans la chaîne de transport international de marchandises sous une approche par scénario, avec des critères de contrôle qualitatifs, nous l'avons finalement contournée plus facilement avec l'intégration améliorée de HACCP et FMEA. L'analyse des 810 combinaisons possibles montre un seuil critique de RPR de 235 à partir duquel, dans un contexte de gestion du risque de sûreté dans la chaîne du transport international de marchandises, l'occurrence du risque augmente, la probabilité qu'il soit détecté baisse et la sévérité des conséquences augmente.

Ce seuil serait variable d'un contexte à un autre, et selon les caractéristiques du risque étudié.

## CONCLUSION

Face à l'incertitude croissante dans le transport de marchandises conteneurisées résultant de l'explosion des échanges internationaux, une gestion

adaptée des risques de sûreté s'impose et la question du choix et de la performance des méthodes traditionnelles de management de risque se pose.

Dans cet article, nous avons souhaité contribuer à l'amélioration de la performance de l'analyse FMEA, grandement reconnue et recommandée dans les régulations maritimes internationale pour l'analyse de la fiabilité des systèmes maritimes. Nous nous sommes focalisés dans notre réflexion sur les limites de la méthode de priorisation des risques par nombre de priorité de risque utilisée dans l'analyse FMEA, sur l'importance relative aux différents facteurs utilisés pour évaluer le risque, et sur la notion de point critique qui n'apparaît pas dans l'analyse FMEA et est nécessaire dans un contexte de chaîne logistique.

La problématique des RPN dans l'analyse FMEA a été largement débattue dans la littérature. Dans plusieurs travaux, l'analyse FMEA a été combinée à d'autres outils de risque et approches afin de contourner les limites de la priorisation de risque par RPN. Sous une approche qualitative, FMEA a été combinée avec succès à HACCP dans le secteur de l'agroalimentaire sans pour autant soulever la question de l'évaluation et de la priorisation par RPN, ni l'apport des points critiques de contrôle sur la performance de l'analyse FMEA dans un contexte de système étendu.

Dans nos travaux, nous avons développé une approche combinant l'analyse FMEA à la méthode traditionnelle HACCP, qui intègre la technique de priorisation de risque développée par SANKAR et PRABHU (2001), basée sur les rangs de priorité de risque. Notre approche a été testée dans le secteur du transport international, et plus précisément, sur la chaîne du transport conteneurisé pour la gestion des risques de sûreté.

Les résultats de notre application ont montré que la combinaison des méthodes traditionnelles FMEA et HACCP couplée à la technique de priorisation de risque par RPR permet de contourner conjointement les limites de la méthode conventionnelle des RPN. Cette combinaison donne également la possibilité d'affecter différents poids aux différents facteurs de risque selon le contexte de l'étude et facilite la détermination du seuil critique pour une meilleure prise de décision sur le risque. La performance de la technique FMEA est ainsi améliorée lorsqu'elle est utilisée pour une analyse qualitative de risque dans un contexte de chaîne logistique.

Cependant, l'approche de management de risque développée présente des limites. Dans un contexte de chaîne logistique globale, une approche de management de risque devrait être utilisable par tous les acteurs. Pour ce faire, elle devrait prendre en compte la différence de perception que peuvent avoir ces acteurs, qui pourrait modifier l'évaluation des facteurs de risque, entraîner une incohérence dans le classement des scénarii et dans les décisions de management de risque. L'impact de la perception du risque sur la performance de cette approche serait une piste de recherche future. En

outre, les analyses FMEA et HACCP étant un travail d'équipe, la participation des acteurs clé de la chaîne du transport de marchandises conteneurisées dans les phases d'identification et d'évaluation de risque permettrait une même compréhension et une même interprétation du risque étudié.

#### RÉFÉRENCES

- ABKOWITZ M. D. (2003) Transportation risk management: A new paradigm. Proceedings of the **TRB 82<sup>nd</sup> Annual Meeting**, 11-16 January, Washington.
- ARVANITTOYANNIS I., VARZAKAS T. H. (2008) Application of ISO 22000 and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Industrial Processing of Salmon: A Case Study. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Vol.48, pp. 411-429.
- BOWLES J. B., PELAEZ C. E. (1995) Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure modes, effects and criticality analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, Vol. 50, n° 2, pp. 203-213.
- BRADLEY J. R. (2014) An improved method for managing catastrophic supply chain disruptions. **Business Horizons**, Vol. 57, pp. 483-495.
- BRADLEY J. R., GUERRERO H. H. (2011) An alternative FMEA method for simple and accurate ranking of failure modes. **Decision Sciences**, Vol. 42, n° 3, pp. 743-771.
- BRAGLIA M. (2000) MAFMA: multi-attribute failure mode analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Vol. 17, pp. 1017-1033.
- BRAGLIA M., FROSOLINI M., MONTANARI R. (2003) Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis. **Quality and Reliability Engineering International**, Vol. 19, pp. 425-443.
- BUCHANAN, in NOTERMANS S., JOUVE J. L. (1995) Quantitative risk analysis and HACCP: some remarks. *Food Microbiology*, Vol. 12, pp. 425-429.
- CHANG C. L., WEI C. C., LEE Y. H. (1999) Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory. **Kybernetes**, Vol. 28, pp. 1072-1080.
- CHIN K. S., WANG Y. M., POON G. K. K., YANG J. B. (2009) Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. **Computers and Operations Research**, Vol. 36, pp. 1768-1779.
- CHRISTOPHER M., LEE H. (2001) **Supply chain confidence: The key to effective supply chains through improved visibility and reliability**. Technical report, Cranfield University and Stanford University

CHRISTOPHER M., PECK H. (2004) Building the resilient supply chain. **International Journal of Logistics Management**, Vol. 15, n° 2, pp. 1-13.

CODEX ALIMENTARIUS (2003) **Hazard analysis and critical control point (HACCP) system and 339 guidelines for its application**. Food Hygiene Basic Text, Rome, FAO/WHO.

COLIN J. (1993) Les entreprises européennes et leurs réseaux de transport. In Datar **Circuler Demain**, Éditions de l'Aube, La Tour d'Aigues, pp. 59-72.

CURKOVIC S., SCANNELL T., WAGNER B. (2013) Using FMEA for Supply Chain Risk Management. **Modern Management Science & Engineering**, Vol. 1, n° 2, pp. 251-265.

DAVIDSON J. (1988) in SANKAR N. R., PRABHU B. S. (2001) Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. **The International Journal of Quality & Reliability Management**, Vol. 18, n° 3, pp. 324-335.

DOMENECK E., ESCRICHE L., MARTORELL S. (2008) Assessing the effectiveness of critical control points to guarantee food safety. **Food Control**, Vol. 19, n° 6, pp. 557-565.

ELLIS S. C., HENRY R. M., SHOCKLEY J. (2010) Buyer perceptions of supply disruption risk: a behavioral view and empirical assessment. **Journal of Operations Management**, Vol. 28, n° 1, pp. 34-46.

FRANCESCHINI F., GALETTO M. (2001) A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA. **International Journal of Production Research**, Vol. 39, pp. 2991-3002.

GUIMARAES A., LAPA C.M. (2006) Hazard and operability study using approximate reasoning in light-water reactors passive systems. **Nuclear Engineering and Design**, Vol. 236, pp. 1256-1263.

HALLIKAS J., KARVONEN I. et al. (2004) Risk management processes in supplier networks. **International Journal of Production Economics**, Vol. 90, n° 1, pp. 47-58.

HARLAND C., BRENCHLEY R., WALKER H. (2003) Risk in supply networks. **Journal of Purchasing and Supply Management**, Vol. 9, n° 2, pp. 51-62.

HAUSER L. M. (2003) Risk adjusted supply chain management. **Supply Chain Management Review**, Vol. 7, n° 6, pp. 64-71.

HECKMANN I., COMES T., NICKEL S., (2014) A Critical Review on Supply Chain Risk - Definition, Measure and Modeling. **Omega**, Vol. 52, pp. 119-132.

INTERNATIONAL CODE OF SAFETY FOR HIGH-SPEED CRAFT (CODE HSC) (1995) International Maritime Organization, pp. 175-185.



- JUTTNER U., PECK H., CHRISTOPHER M. (2003) Supply chain risk management: outlining an agenda for future research. **International Journal of Logistics Research and Applications**, Vol. 6, n° 4, pp. 197-210.
- KANGARI R., RIGGS L. S. (1989) Construction risk assessment by linguistics. **IEEE Transaction on Engineering and Management**, Vol. 36, pp. 126-131.
- KLEINDORFER P. R., SAAD G. H. (2005) Managing disruption risks supply chains. **Production and Operations Management**, Vol. 14, n° 1, pp. 53-68.
- LEE H. L., BILLINGTON C. (1993) Material management in decentralized supply Chains. **Operations Research**, Vol. 41, n° 5, pp. 835-847.
- LIU H. C., LIU L., LIU P. (2013) Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. **Expert Systems with Applications**, Vol. 40, pp. 828-838.
- LIU Z., NAGURNEY A. (2011) in HECKMANN I., COMES T., NICKEL S. (2014) A Critical Review on Supply Chain Risk - Definition, Measure and Modeling. **Omega**, Vol. 52, pp. 119-132.
- MANUJ I., MENTZER J. T. (2008a) Global supply chain risk management. **Journal of Business Logistics**, Vol. 29, n° 1, pp. 133-155.
- MANUJ I., MENTZER J. T. (2008b) Global supply chain risk management strategies. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, Vol. 38, n° 3, pp. 192-223.
- MARCH J. G., SHAPIRA Z. (1987) Managerial perspectives on risk and risk taking. **Management science**, Vol. 33, n° 11, pp. 1404-1418.
- MILITARY STANDARD (1980) **Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**. MIL-STD-1629A.
- USCG NAVIGATION VESSEL AND INSPECTION CIRCULAR (1993) In WILCOX R. **Risk -Informed Regulation of Marine Systems Using FMEA**. U.S. Coast Guard Marine Safety Center Washington, D.C.
- NYOMAN P. I., LAUDINE H. G. (2009) House of risk: a model for proactive supply chain risk management. **Business Process Management Journal**, Vol. 15, n° 6, pp. 953-967.
- OMDAHL T. P. (1988) Reliability, Availability, and Maintainability Dictionary. In KMENTA S. et al. **Advanced Failure Modes and Effects Analysis of complexe processes**, Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, Nevada.
- ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ECONOMIQUES (OCDE) (2005) **La sûreté du transport intermodal de conteneurs**. Conférence Européenne des Ministres des Transports.

- PECK H. (2006) Reconciling supply chain vulnerability, risk and supply chain management. **International Journal of Logistics Research and Applications**, Vol. 9, n° 2, pp. 127-142.
- PILLAY A., WANG J. (2002) Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. **Reliability Engineering and System Safety**, Vol. 79, n° 1, pp. 69-85.
- PUENTE J., PINO R., PRIORE P., DE LA FUENTE D. (2002) A decision support system for applying failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Vol. 19, pp. 137-150.
- SANKAR N. R., PRABHU B. S. (2001) Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. **The International Journal of Quality & Reliability Management**, Vol. 18, n° 3, pp. 324-335.
- SCIPIONI A., SACCAROLA G. et al. (2002) FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. **Food Control**, Vol. 13, n° 8, pp. 495-501.
- SHAWULU H. N. (2012) Software failure analysis at architecture level using FMEA. **International Journal of Software Engineering and its Applications**, Vol. 6, n° 1.
- SINHA P. R., WHITMAN L. E., MALZAHN D. (2004) Methodology to mitigate supplier risk in an aerospace supply chain. **Supply Chain Management: An International Journal**, Vol. 9, n° 2, pp. 154-168.
- STAMATIS D. H. (1995) **Failure mode and effect analysis-FMEA from theory to execution**. New York: ASQC Quality Press
- SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE (SVRP) (1997) in SCIPIONI A., SACCAROLA G. et al. FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. **Food Control**, Vol. 13, n° 8, pp. 495-501.
- TRAFIALEK J., KOLANOWSKI W. (2014) Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for audit of HACCP system. **Food Control**, JFCO 3762.
- TUMMALA V. M. R., SCHOENHERR T. (2011) Assessing and Managing Risks Using the Supply Chain Risk Management Process (SCRMP). **Supply Chain Management: An International Journal**, Vol. 16, n° 6, pp. 474-483.
- VAN DER HEIJDEN K. (1996) Scenarios: the art of strategic conversation. In DUINKER P. N., GREIG L. A. Scenario analysis in environmental impact assessment: Improving explorations of the future. **Environmental Impact Assessment Review**, Vol. 27, n° 3, pp. 206-219.

WAKOLBINGER T., CRUZ J. M. (2011) in HECKMANN I., COMES T., NICKEL S. (2014) A Critical Review on Supply Chain Risk-Definition, Measure and Modeling. **Omega**, Vol. 52, pp. 119-132.

WANG J., RUXTON T., LABRIE C. R. (1995) Design for safety of engineering systems with multiple failure state variables. **Reliability Engineering and System Safety**, Vol. 50, n° 3, pp. 271-84.

WILCOX R., KARASZEWSKI Z., AYYUB B. (1996) Methodology for Risk-Based Technology Applications to Marine System Safety. In WILCOX R. **Risk-Informed Regulation of Marine Systems Using FMEA**. U.S. Coast Guard Marine Safety Center Washington, D.C.

WILCOX R. (1999) **Risk-Informed Regulation of Marine Systems Using FMEA**. U.S. Coast Guard Marine Safety Center Washington, D.C.

WILSON J. R., DARBY T. F. (2006) The nature of expertise: A review. **Applied Ergonomics**, Vol. 37, pp. 17-32.

WORLD SHIPPING COUNCIL (2011) Container Supply Review. **Containerisation International Market Analysis**, pp. 1-2.

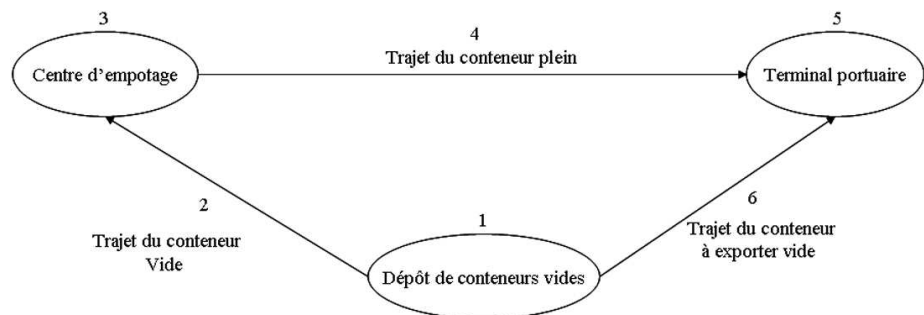
ZAMMORI F., GABBRIELLI R. (2011) ANP/RPN: A multi criteria evaluation of the risk priority number. **Quality and Reliability Engineering International**, Vol. 28, pp. 85-104.

ZSIDISIN G. A. (2003a) A grounded definition of supply risk. **Journal of Purchasing and Supply Management**, Vol. 9, n° 5, pp. 217-224.

ZSIDISIN G.A. (2003b) Managerial perceptions of supply risk. **Journal of Supply Chain Management**, Vol. 39, n° 4, pp. 14-26.

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : MODÈLE DE LA CHAÎNE DU TRANSPORT CONTENEURISÉ



## ANNEXE 2 : LISTE DES SCÉNARIIS À RISQUE

Liste des scénariis à risque		
	Zones à risque	Scénariis
Scénario 1	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide est OEA, alors le conteneur vide n'est pas à risque.
Scénario 2	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide n'est pas OEA et que le dépôt de conteneur vide n'est pas sous vidéosurveillance alors le conteneur vide est à risque.
Scénario 3	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide n'est pas OEA et que le numéro du conteneur vide transmis n'est pas référencé alors le conteneur vide est à risque.
Scénario 4	Dépôt de conteneur vide	Si l'exportateur est OEA, alors le conteneur vide n'est pas à risque.
Scénario 5	Trajet Conteneur vide	Si le transporteur n'est pas OEA et qu'il a fait un arrêt long non prévu dans un parking non sécurisé, alors le conteneur est à risque.
Scénario 6	Trajet Conteneur plein	Si le transporteur n'est pas OEA et que le numéro de scellé commercial n'est pas transmis par le client, alors le conteneur est à risque.
Scénario 7	Centre d'empotage	Si l'exportateur n'est pas OEA et que la zone d'empotage n'est pas sécurisée alors le conteneur est à risque.
Scénario 8	Trajet Conteneur Plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et que le numéro de scellé commercial est différent du numéro annoncé alors le conteneur est à risque.
Scénario 9	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et que le scellé commercial est mal apposé alors le conteneur est à risque.
Scénario 10	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et pas connu et que le pays de destination est à risque alors le conteneur est à risque.
Scénario 11	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA mais connu et que le pays de destination n'est pas à risque alors le conteneur n'est pas à risque.
Scénario 12	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et que les pays d'origine et de destination sont à risque alors le conteneur est à risque.
Scénario 13	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide et qu'il n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.
Scénario 14	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide, sans détecteur d'ouverture et qu'il y a eu un arrêt dans parking non sécurisée alors le conteneur est à risque.
Scénario 15	Terminal Portuaire	Si l'accès à la zone de stockage conteneurs pleins au port n'est pas contrôlé et que le scellé est fragilisé alors le conteneur est à risque.
Scénario 16	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le transporteur n'est pas OEA et la zone portuaire non sécurisée alors le conteneur est à risque.
Scénario 17	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le conteneur n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.
Scénario 18	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et qu'il n'a pas été contrôlé au port d'exportation alors le conteneur est à risque.
Scénario 19	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et que le pays d'origine est à risque et le destinataire final pas OEA alors le conteneur est à risque.
Scénario 20	Trajet Conteneur plein	Si le conteneur contient des marchandises dangereuses et que le pays d'origine est à risque alors le conteneur est à risque.

## ANNEXE 3 : EVALUATION DES SCÉNARIIS À RISQUE

Evaluation quantitative des scénariis à risque					
	Zones à risque	Scénariis	Probabilité d'Occurrence	Probabilité de Détection	Gravité des Conséquences
Scénario 1	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide est OEA, alors le conteneur vide n'est pas à risque.	6	8	2
Scénario 2	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide n'est pas OEA et que le dépôt de conteneur vide n'est pas sous vidéosurveillance alors le conteneur vide est à risque.	8	4	2
Scénario 3	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide n'est pas OEA et que le numéro du conteneur vide transmis n'est pas référencé alors le conteneur vide est à risque.	4	8	4
Scénario 4	Dépôt de conteneur vide	Si l'exportateur est OEA, alors le conteneur vide n'est pas à risque.	4	6	2
Scénario 5	Trajet Conteneur vide	Si le transporteur n'est pas OEA et qu'il a fait un arrêt long non prévu dans un parking non sécurisé, alors le conteneur est à risque.	2	8	2
Scénario 6	Trajet Conteneur plein	Si le transporteur n'est pas OEA et que le numéro de scellé commercial n'est pas transmis par le client, alors le conteneur est à risque.	2	3	4
Scénario 7	Centre d'empotage	Si l'exportateur n'est pas OEA et que la zone d'empotage n'est pas sécurisée alors le conteneur est à risque.	9	8	4
Scénario 8	Trajet Conteneur Plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et que le numéro de scellé commercial est différent du numéro annoncé alors le conteneur est à risque.	9	8	4
Scénario 9	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et que le scellé commercial est mal apposé alors le conteneur est à risque.	9	6	4
Scénario 10	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et pas connu et que le pays de destination est à risque alors le conteneur est à risque.	7	3	2
Scénario 11	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA mais connu et que le pays de destination n'est pas à risque alors le conteneur n'est pas à risque.	9	5	2
Scénario 12	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et que les pays d'origine et de destination sont à risque alors le conteneur est à risque.	8	5	4
Scénario 13	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide et qu'il n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.	6	8	4
Scénario 14	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide, sans détecteur d'ouverture et qu'il y a eu un arrêt dans parking non sécurisé alors le conteneur est à risque.	4	8	4
Scénario 15	Terminal Portuaire	Si l'accès à la zone de stockage conteneurs pleins au port n'est pas contrôlé et que le scellé est fragilisé alors le conteneur est à risque.	6	8	2
Scénario 16	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le transporteur n'est pas OEA et la zone portuaire non sécurisée alors le conteneur est à risque.	6	5	2
Scénario 17	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le conteneur n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.	5	9	2
Scénario 18	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et qu'il n'a pas été contrôlé au port d'exportation alors le conteneur est à risque.	9	8	4
Scénario 19	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et que le pays d'origine est à risque et le destinataire final pas OEA alors le conteneur est à risque.	8	8	2
Scénario 20	Trajet Conteneur plein	Si le conteneur contient des marchandises dangereuses et que le pays d'origine est à risque alors le conteneur est à risque.	4	6	2

**ANNEXE 4 : POINTS CRITIQUES DE CONTRÔLE (CCP) DES SCÉNARIIS À RISQUE**

CCP des scénarii à risque			
	Zones à risque	Scénarii	Points Critiques de Contrôle (CCP)
Scénario 1	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide est OEA, alors le conteneur vide n'est pas à risque.	Pas de contrôle nécessaire
Scénario 2	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide n'est pas OEA et que le dépôt de conteneur vide n'est pas sous vidéosurveillance alors le conteneur vide est à risque.	Au moment de la réception du conteneur vide pour empotage
Scénario 3	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide n'est pas OEA et que le numéro du conteneur vide transmis n'est pas référencé alors le conteneur vide est à risque.	A partir de la livraison du conteneur vide au transporteur qui doit lui communiquer le numéro du conteneur
Scénario 4	Dépôt de conteneur vide	Si l'exportateur est OEA, alors le conteneur vide n'est pas à risque.	Pas de contrôle nécessaire
Scénario 5	Trajet Conteneur vide	Si le transporteur n'est pas OEA et qu'il a fait un arrêt long non prévu dans un parking non sécurisé, alors le conteneur est à risque.	Au moment de l'empotage du conteneur
Scénario 6	Trajet Conteneur plein	Si le transporteur n'est pas OEA et que le numéro de scellé commercial n'est pas transmis par le client, alors le conteneur est à risque.	Avant l'arrivée au port
Scénario 7	Centre d'empotage	Si l'exportateur n'est pas OEA et que la zone d'empotage n'est pas sécurisée alors le conteneur est à risque.	Sur le trajet centre d'empotage port et avant l'arrivée au port
Scénario 8	Trajet Conteneur Plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et que le numéro de scellé commercial est différent du numéro annoncé alors le conteneur est à risque.	Sur le trajet centre d'empotage port et avant l'arrivée au port
Scénario 9	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et que le scellé commercial est mal apposé alors le conteneur est à risque.	Sur le terminal portuaire
Scénario 10	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et pas connu et que le pays de destination est à risque alors le conteneur est à risque.	Sur le trajet centre d'empotage port et avant l'ar
Scénario 11	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA mais connu et que le pays de destination n'est pas à risque alors le conteneur n'est pas à risque.	Sur le terminal portuaire
Scénario 12	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et que les pays d'origine et de destination sont à risque alors le conteneur est à risque.	Sur le terminal portuaire
Scénario 13	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide et qu'il n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.	Sur le trajet dépôt de conteneur vise- port et avant l'arrivée au port
Scénario 14	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide, sans détecteur d'ouverture et qu'il y a eu un arrêt dans parking non sécurisé alors le conteneur est à risque	ur le trajet dépôt de conteneur vide- port et avant l'arrivée au port
Scénario 15	Terminal Portuaire	Si l'accès à la zone de stockage conteneurs pleins au port n'est pas contrôlé et que le scellé est fragilisé alors le conteneur est à risque.	Avant chargement sur le navire
Scénario 16	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le transporteur n'est pas OEA et la zone portuaire non sécurisée alors le conteneur est à risque.	Au terminal final
Scénario 17	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le conteneur n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.	Au terminal final
Scénario 18	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et qu'il n'a pas été contrôlé au port d'exportation alors le conteneur est à risque.	A l'entrée du terminal final
Scénario 19	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et que le pays d'origine est à risque et le destinataire final pas OEA alors le conteneur est à risque.	Sur le terminal portuaire
Scénario 20	Trajet Conteneur plein	Si le conteneur contient des marchandises dangereuses et que le pays d'origine est à risque alors le conteneur est à risque.	Sur le trajet centre d'empotage port et avant l'arrivée au port



Echelle de risque 7				Echelle de risque 8				Echelle de risque 9				Echelle de risque 9				Echelle de risque 9				Echelle de risque 9			
O	D	S	RPR	O	D	S	RPR	O	D	S	RPR	O	D	S	RPR	O	D	S	RPR	O	D	S	RPR
7	1	2	411	4	0	1	433	4	7	8	477	5	5	8	515	6	9	9	553	7	7	9	591
7	3	1	412	4	0	2	434	4	6	8	478	5	4	8	516	6	8	9	554	7	6	9	592
7	2	1	413	4	0	3	435	4	5	8	479	5	9	9	517	6	7	9	555	7	5	9	593
7	1	1	414	5	0	1	436	4	4	8	480	5	8	9	518	6	6	9	556	7	4	9	594
8	3	3	415	5	0	2	437	4	9	9	481	5	7	9	519	6	5	9	557	8	9	4	595
8	2	3	416	5	0	3	438	4	8	9	482	5	6	9	520	6	4	9	558	8	8	4	596
8	1	3	417	6	0	1	439	4	7	9	483	5	5	9	521	7	9	4	559	8	7	4	597
8	3	2	418	6	0	2	440	4	6	9	484	5	4	9	522	7	8	4	560	8	6	4	598
8	2	2	419	6	0	3	441	4	5	9	485	6	9	4	523	7	7	4	561	8	5	4	599
8	1	2	420	7	0	1	442	4	4	9	486	6	8	4	524	7	6	4	562	8	4	4	600
8	3	1	421	7	0	2	443	5	9	4	487	6	7	4	525	7	5	4	563	8	9	5	601
8	2	1	422	7	0	3	444	5	8	4	488	6	6	4	526	7	4	4	564	8	8	5	602
8	1	1	423	8	0	1	445	5	7	4	489	6	5	4	527	7	9	5	565	8	7	5	603
9	3	3	424	8	0	2	446	5	6	4	490	6	4	4	528	7	8	5	566	8	6	5	604
9	2	3	425	8	0	3	447	5	5	4	491	6	9	5	529	7	7	5	567	8	5	5	605
9	1	3	426	9	0	1	448	5	4	4	492	6	8	5	530	7	6	5	568	8	4	5	606
9	3	2	427	9	0	2	449	5	9	5	493	6	7	5	531	7	5	5	569	8	9	6	607
9	2	2	428	9	0	3	450	5	8	5	494	6	6	5	532	7	4	5	570	8	8	6	608
9	1	2	429					5	7	5	495	6	5	5	533	7	9	6	571	8	7	6	609
9	3	1	430					5	6	5	496	6	4	5	534	7	8	6	572	8	6	6	610
9	2	1	431					5	5	5	497	6	9	6	535	7	7	6	573	8	5	6	611
9	1	1	432					5	4	5	498	6	8	6	536	7	6	6	574	8	4	6	612
								5	9	6	499	6	7	6	537	7	5	6	575	8	9	7	613
								5	8	6	500	6	6	6	538	7	4	6	576	8	8	7	614
								5	7	6	501	6	5	6	539	7	9	7	577	8	7	7	615
								5	6	6	502	6	4	6	540	7	8	7	578	8	6	7	616
								5	5	6	503	6	9	7	541	7	7	7	579	8	5	7	617
								5	4	6	504	6	8	7	542	7	6	7	580	8	4	7	618
								5	9	7	505	6	7	7	543	7	5	7	581	8	9	8	619
								5	8	7	506	6	6	7	544	7	4	7	582	8	8	8	620
								5	7	7	507	6	5	7	545	7	9	8	583	8	7	8	621
								5	6	7	508	6	4	7	546	7	8	8	584	8	6	8	622
								5	5	7	509	6	9	8	547	7	7	8	585	8	5	8	623
								5	4	7	510	6	8	8	548	7	6	8	586	8	4	8	624
								5	9	8	511	6	7	8	549	7	5	8	587	8	9	9	625
								5	8	8	512	6	6	8	550	7	4	8	588	8	8	9	626
								5	7	8	513	6	5	8	551	7	9	9	589	8	7	9	627
								5	6	8	514	6	4	8	552	7	8	9	590	8	6	9	628

Echelle de risque 9				Echelle de risque 9				Echelle de risque 9				Echelle de risque 9			
O	D	S	RPR	O	D	S	RPR	O	D	S	RPR	O	D	S	RPR
4	9	4	451	4	8	6	464	4	7	6	465	4	6	6	466
4	8	4	452	4	7	6	465	4	6	6	466	4	5	6	467
4	7	4	453	4	6	6	466	4	5	6	467	4	4	6	468
4	6	4	454	4	5	6	467	4	4	6	468	4	4	4	469
4	5	4	455	4	4	6	468	4	4	6	469	4	4	4	470
4	4	4	456	4	4	7	469	4	3	7	470	4	4	4	471
4	9	5	457	4	4	7	470	4	6	7	472	4	5	7	473
4	8	5	458	4	7	7	471	4	5	7	472	4	4	7	474
4	7	5	459	4	6	7	472	4	5	8	475	4	9	8	476
4	6	5	460	4	5	7	473	4	8	8	475	4	8	8	476
4	5	5	461	4	4	7	474								
4	4	5	462	4	9	8	475								
4	9	6	463	4	8	8	476								

Echelle de risque 9				Echelle de risque 10				Echelle de risque 10				Echelle de risque 10			
O	D	S	RPR	O	D	S	RPR	O	D	S	RPR	O	D	S	RPR
8	5	9	629	5	1	7	705	5	1	7	705	7	3	5	743
8	4	9	630	4	2	4	668	5	0	7	706	7	2	5	744
9	9	4	631	4	1	4	669	5	3	8	707	7	1	5	745
9	8	4	632	4	0	4	670	5	2	8	708	7	0	5	746
9	7	4	633	4	3	5	671	5	1	8	709	7	3	6	747
9	6	4	634	4	2	5	672	5	0	8	710	7	2	6	748
9	5	4	635	4	1	5	673	5	3	9	711	7	1	6	749
9	4	4	636	4	0	5	674	5	2	9	712	7	0	6	750
9	9	5	637	4	3	6	675	5	1	9	713	7	3	7	751
9	8	5	638	4	2	6	676	5	0	9	714	7	2	7	752
9	7	5	639	4	1	6	677	6	3	4	715	7	1	7	753
9	6	5	640	4	0	6	678	6	2	4	716	7	0	7	754
9	5	5	641	4	3	7	679	6	1	4	717	7	3	8	755
9	4	5	642	4	2	7	680	6	0	4	718	7	2	8	756
9	9	6	643	4	1	7	681	6	3	5	719	7	1	8	757
9	8	6	644	4	0	7	682	6	2	5	720	7	0	8	758
9	7	6	645	4	3	8	683	6	1	5	721	7	3	9	759
9	6	6	646	4	2	8	684	6	0	5	722	7	2	9	760
9	5	6	647	4	1	8	685	6	3	6	723	7	1	9	761
9	4	6	648	4	0	8	686	6	2	6	724	7	0	9	762
9	9	7	649	4	3	9	687	6	1	6	725	8	3	4	763
9	8	7	650	4	2	9	688	6	0	6	726	8	2	4	764
9	7	7	651	4	1	9	689	6	3	7	727	8	1	4	765
9	6	7	652	4	0	9	690	6	2	7	728	8	0	4	766
9	5	7	653	5	3	4	691	6	1	7	729	8	3	5	767
9	4	7	654	5	2	4	692	6	0	7	730	8	2	5	768
9	9	8	655	5	1	4	693	6	3	8	731	8	1	5	769
9	8	8	656	5	0	4	694	6	2	8	732	8	0	5	770
9	7	8	657	5	3	5	695	6	1	8	733	8	3	6	771
9	6	8	658	5	2	5	696	6	0	8	734	8	2	6	772
9	5	8	659	5	1	5	697	6	3	9	735	8	1	6	773
9	4	8	660	5	0	5	698	6	2	9	736	8	0	6	774
9	9	9	661	5	3	6	699	6	1	9	737	8	3	7	775
9	8	9	662	5	2	6	700	6	0	9	738	8	2	7	776
9	7	9	663	5	1	6	701	7	3	4	739	8	1	7	777
9	6	9	664	5	0	6	702	7	2	4	740	8	0	7	778
9	5	9	665	5	3	7	703	7	1	4	741	8	3	8	779
9	4	9	666	5	2	7	704	7	0	4	742	8	2	8	780



**ANNEXE 6 : PRIORISATION DES SCÉNARIIS PAR RPR**

	Zones à risque	Scénarii	Probabilité d'Occurrence	Probabilité de Détection	Gravité des Conséquences	RPN	RPR
Scénario 1	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide est OEA, alors le conteneur vide n'est pas à risque.	6	8	2	96	314
Scénario 2	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide n'est pas OEA et que le dépôt de conteneur vide n'est pas sous vidéosurveillance alors le conteneur vide est à risque.	8	4	2	64	354
Scénario 3	Dépôt de conteneur vide	Si le propriétaire du dépôt de conteneur vide n'est pas OEA et que le numéro du conteneur vide transmis n'est pas référencé alors le conteneur vide est à risque.	4	8	4	128	452
Scénario 4	Dépôt de conteneur vide	Si l'exportateur est OEA, alors le conteneur vide n'est pas à risque.	4	6	2	48	280
Scénario 5	Trajet Conteneur vide	Si le transporteur n'est pas OEA et qu'il a fait un arrêt long non prévu dans un parking non sécurisé, alors le conteneur est à risque.	2	8	2	32	98
Scénario 6	Trajet Conteneur plein	Si le transporteur n'est pas OEA et que le numéro de scellé commercial n'est pas transmis par le client, alors le conteneur est à risque.	2	3	4	24	217
Scénario 7	Centre d'empotage	Si l'exportateur n'est pas OEA et que la zone d'empotage n'est pas sécurisée alors le conteneur est à risque.	9	8	4	288	632
Scénario 8	Trajet Conteneur Plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et que le numéro de scellé commercial est différent du numéro annoncé alors le conteneur est à risque.	9	8	4	288	632
Scénario 9	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et que le scellé commercial est mal apposé alors le conteneur est à risque.	9	6	4	216	634
Scénario 10	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA et pas connu et que le pays de destination est à risque alors le conteneur est à risque.	7	3	2	42	409
Scénario 11	Trajet Conteneur plein	Si l'exportateur n'est pas OEA mais connu et que le pays de destination n'est pas à risque alors le conteneur n'est pas à risque.	9	5	2	90	371
Scénario 12	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et que les pays d'origine et de destination sont à risque alors le conteneur est à risque.	8	5	4	160	599
Scénario 13	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide et qu'il n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.	6	8	4	192	524
Scénario 14	Trajet Conteneur à exporter vide	Si le transporteur n'est pas OEA et que le conteneur doit être exporté vide, sans détecteur d'ouverture et qu'il y a eu un arrêt dans parking non sécurisé alors le conteneur est à risque	4	8	4	128	452
Scénario 15	Terminal Portuaire	Si l'accès à la zone de stockage conteneurs pleins au port n'est pas contrôlé et que le scellé est fragilisé alors le conteneur est à risque.	6	8	2	96	314
Scénario 16	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le transporteur n'est pas OEA et la zone portuaire non sécurisée alors le conteneur est à risque.	6	5	2	60	317
Scénario 17	Terminal Portuaire	S'il y a eu transfert du conteneur entre terminaux et que le conteneur n'est pas équipé de détecteur d'ouverture alors le conteneur est à risque.	5	9	2	90	295
Scénario 18	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et qu'il n'a pas été contrôlé au port d'exportation alors le conteneur est à risque.	9	8	4	288	632
Scénario 19	Terminal Portuaire	Si le conteneur est en transbordement et que le pays d'origine est à risque et le destinataire final pas OEA alors le conteneur est à risque.	8	8	2	128	350
Scénario 20	Trajet Conteneur plein	Si le conteneur contient des marchandises dangereuses et que le pays d'origine est à risque alors le conteneur est à risque.	4	6	2	48	280