

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique

Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Présentée pour l'obtention du grade d' **Ingénieur d'état**

En : Qualité Hygiène et Sécurité de l'Environnement Gestion des Risques
Industriels

Thème

**Contribution à l'amélioration de la sécurité routière par la
méthode MADS-MOSAR pour l'analyse des risques
dynamiques et développement d'un outil d'aide à la décision.
Cas du transport des matières dangereuses
Contrôle routier par la Gendarmerie Nationale.**

Par : BOULKEDRA Chakib

Soutenue publiquement, le **09/07/2024**, devant le jury composé de :

M.	BOUBAKER Mohamed	Maitre Assistant A	à l'ENP	Président
M.	BENMOKHTAR Amine	Maitre conférence A	à l'ENP	Directeur de thèse
M.	BOURABI Lakhder	Docteur	CRD/GN	Co-directeur de thèse
Mme.	BENTALA Souad	Maitre conférences B	à l'ENP	Examineur
M.	BENBRAIKA Mohamed	Maitre assistant A	à l'ENP	Examineur
Mme.	BITCHIKH Karima	Maitre de conférences A	à l'ENP	Examineur
M.	BOUSBAI Mhamed	Maître de Conférences/B	à l'ENP	Invité

vide

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique

Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Présentée pour l'obtention du grade d' **Ingénieur d'état**

En : Qualité Hygiène et Sécurité de l'Environnement Gestion des Risques
Industriels

Thème

**Contribution à l'amélioration de la sécurité routière par la
méthode MADS-MOSAR pour l'analyse des risques
dynamiques et développement d'un outil d'aide à la décision.
Cas du transport des matières dangereuses
Contrôle routier par la Gendarmerie Nationale.**

Par : BOULKEDRA Chakib

Soutenue publiquement, le **09/07/2024**, devant le jury composé de :

M.	BOUBAKER Mohamed	Maitre Assistant A	à l'ENP	Président
M.	BENMOKHTAR Amine	Maitre conférence A	à l'ENP	Directeur de thèse
M.	BOURABI Lakhder	Docteur	CRD/GN	Co-directeur de thèse
Mme.	BENTALA Souad	Maitre conférences B	à l'ENP	Examineur
M.	BENBRAIKA Mohamed	Maitre assistant A	à l'ENP	Examineur
Mme.	BITCHIKH Karima	Maitre de conférences A	à l'ENP	Examineur
M.	BOUSBAI Mhamed	Maître de Conférences/B	à l'ENP	Invité

ملخص

يشكل نقل المواد الخطرة تحدياً كبيراً لسلامة الجمهور والبيئة. يهدف بحثنا إلى إنشاء أداة دعم اتخاذ القرار موجهة إلى الدرك الوطني. تركز المشكلة على تحليل المخاطر الديناميكية مقابل المخاطر الثابتة، تحسين قدرات الدرك أثناء الفحوصات على الطرق، وتسهيل اتخاذ القرارات في الميدان. تم استخدام طرق ونهج العواقب لتقييم المخاطر، مع مراعاة الخطر المرتبط بالمادة، المسار، واحتمالية الحوادث المتعلقة بالمسار. أبرزت النتائج أهمية الالتزام بالمعايير والمواصفات الفنية المتعلقة بالصهاريج.

Abstract

The transportation of hazardous materials (TMD) poses a challenge for public and environmental safety. Our thesis aims to create a decision support tool intended for the National Gendarmerie (GN) to enhance the control of TMD. The problem focuses on key questions: the analysis of dynamic risks versus fixed risks, the improvement of the gendarmes' capabilities during road inspections, and the facilitation of decision-making in the field. The MADS-MOSAR methods and the consequence approach were used to assess the risks, taking into account the danger associated with the material, vulnerability, the route, and the probability of accidents related to the route. The results underscored the importance of adhering to standards and technical specifications related to tanks.

Résumé

Le transport de matières dangereuses (TMD) constitue un défi pour la sécurité publique et environnementale. Notre mémoire a pour objectif de créer un outil d'aide à la décision destiné à la Gendarmerie Nationale (GN) afin de renforcer le contrôle du TMD. La problématique se concentre sur quatre questions clés : l'analyse des risques dynamiques par rapport aux risques fixes, l'amélioration des capacités des gendarmes lors des contrôles routiers, et la facilitation de la prise de décision sur le terrain. Les méthodes MADS-MOSAR et l'approche par conséquence ont été utilisées pour évaluer les risques, en tenant compte du danger associé à la matière, de la vulnérabilité, du trajet, et de la probabilité d'accidents liée au trajet. Les résultats obtenus ont souligné l'importance du respect des normes et des prescriptions techniques relatives aux citernes.

Mots Clés : TMD, MADS-MOSAR, Risque dynamique, Approche par conséquences

*À la mémoire de mon oncle Karim, que Dieu l'accueille dans ses vastes
paradis,*

*À MAMAN, WASSIM, RAHIM et FAIZ qui ont éclairé mon chemin et qui
m'ont encouragé et soutenu tout au long de mes études,*

*Je suis infiniment reconnaissant envers ma deuxième famille, Djihane,
Ouanis, Hanaa et Issam pour leur aide. Sans vous je n'aurais jamais pu y
arriver, partenaires de crimes,*

*Je ne saurais omettre mon oncle et sa femme pour leur amour et leur aide,
et surtout ma chère équipe de programmeurs, toujours prêts à la guerre,*

À ma FAMILLE, mon VILLAGE et ceux qui se reconnaîtront,

Merci.

- CHAKIB

Remerciement

Tout d'abord, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience nécessaires à mener ce travail à son terme. Je remercie ma mère ma raison de vie pour tout ce qu'elle m'a fait, mes frères mes épaules ainsi que mon oncle.

Je remercie tout particulièrement mon encadrant Dr. **BENMOKHTAR Amine**, qui m'a encadré tout au long de ce projet de fin d'études ; qu'il soit aussi remercié pour sa gentillesse, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'il m'a prodigués.

Je remercie également M. **Mohamed BOUBAKEUR** pour m'avoir honoré en acceptant de présider le jury, Dr. **BITCHIKH Karima**, Dr. **BENTALA Souad** et M. **BENBRAIKA Mohamed** d'avoir accepté de juger notre humble travail.

Je ne saurais oublier ici de remercier les enseignants du département de M'RIE à l'École Nationale Polytechnique pour m'avoir offert, une bonne formation au bout des trois années que j'ai passé sous le toit de notre département.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche, pour tous les moments agréables partagés durant cette formation ainsi que pour la bonne ambiance de travail qui a régné pendant la période de préparation de mon PFE.

Table des matières

Table des matières

Table des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction Générale	13
1 Contexte général, problématique et méthodologie	15
1.1 Historiques des accidents de TMD	16
1.1.1 Historique des accidents TMD dans le monde	16
1.1.2 Historique des accidents TMD en Algérie	21
1.1.3 Enseignements de l'historique des accidents de TMD	24
1.2 Présentation de la GN	25
1.2.1 Historique	25
1.2.2 Organisation	26
1.2.3 Missions	29
1.3 Problématique	30
1.4 Objectifs et méthodologies	31
1.4.1 Objectifs	31
1.4.2 Méthodologie	32
2 Définitions et concepts	35
2.1 Sécurité routière (SR)	36
2.1.1 SR dans le monde	36
2.1.2 Développement durable en matière de SR	39
2.1.3 SR en Algérie	39
2.1.4 La rôle de la GN dans la SR	40

2.2	Transport de matières dangereuses	41
2.2.1	Définition	41
2.2.2	Classes de matières dangereuses	42
2.2.3	Différents types de moyens de transport et leurs impacts	42
2.2.4	Différents types de moyens de transport routier	46
2.2.5	Réglementation relative au TMD	49
2.3	Notions de sécurité	59
2.3.1	Notion du risque	60
2.4	Gestion de risques	61
2.4.1	Définition de la gestion des risques	61
2.4.2	Processus de gestion du risque	61
2.5	Les méthodes utilisées pour la gestion du risque	63
2.5.1	Approche par conséquence	63
2.5.2	Méthode MADS-MOSAR	65
2.5.3	Arbre de défaillance	73
3	Application des méthodes	76
3.1	Présentation du cas à étudier	77
3.1.1	Type de véhicule étudié	77
3.2	Application de la méthode d'analyse des risques	79
3.2.1	Approche par conséquence	79
3.2.2	Application de MADS-MOSAR à notre cas d'étude	90
3.2.3	Évaluation du risque	105
3.2.4	Moyens de maîtrise du risque	108
3.2.5	Outil d'aide à la prise de décision lors des contrôles liés aux TMD .	111
3.2.6	BACK-END	121
4	Startup : "Transport"	124
4.1	Vision et missions	125
4.2	Analyse SWOT	126
4.2.1	Business Model Canva	126
	Conclusion Générale	134
	Bibliographie	135
	Annexes	137

Table des figures

1.1	Résumé des objectifs à atteindre	32
1.2	Méthodologie suivie	34
2.1	Camion-citerne	47
2.2	Camion de vrac	47
2.3	Véhicule frigorifique	48
2.4	Camion remorque	48
2.5	Plaque orange réfléchissante avec codes	52
2.6	Plaque orange réfléchissante avec codes	53
2.7	Signalisation d'un liquide très inflammable	53
2.8	Emplacement des signalisations d'un camion transportant une seule matière dangereuse [1]	53
2.9	Emplacement de signalisations d'un camion transportant deux matières dangereuses [1]	54
2.10	Processus de gestion des risques	62
2.11	Méthodologie de l'approche par conséquences	65
2.12	Représentation de l'univers de danger [2]	66
2.13	Méthodologie de module A de la MOSAR [3]	69
2.14	Boîte noire de la méthode MOSAR [3]	70
2.15	Boucles et relations entre les boîtes noires [3]	71
2.16	Méthodologie de module B de la MOSAR [3]	72
2.17	Portes logiques de l'AdD [4]	73
2.18	Démarche de l'arbre de défaillance	74
3.1	Segmentation du trajet	77
3.2	Impacts des phénomènes dangereux impliquant des MD	78
3.3	Représentation cartographique du trajet (Google Maps)	80
3.4	Segmentation du trajet et caractéristiques des segments	82
3.5	Variation de la surpression en fonction de la distance	83

3.6	Seuils de surpression cartographiques	84
3.7	Variation de la surpression en fonction de la distance	85
3.8	Seuils de surpression cartographiques	86
3.9	Variation de la surpression en fonction de la distance	88
3.10	Seuils de surpression cartographiques	89
3.11	Diagramme cause et effets	90
3.12	Décomposition du système TMD en sous-systèmes fixes et variables	91
3.13	Boite noire du sous-système Véhicule contenant de matières dangereuses SS1	93
3.14	Boite noire du sous-système Matières dangereuses SS2	94
3.15	Boite noire du sous-système Electricité du véhicule contenant SS2	95
3.16	Boite noire du sous-système Infrastructures SS3	96
3.17	Boite noire du sous-système conducteur SS4	97
3.18	Boite noire du sous-système Topographie terrain SS5	98
3.19	Boite noire du sous-système conditions météorologique SS6	99
3.20	Représentation de l'hexagone de l'explosion	101
3.21	AdD de l'explosion	102
3.22	AdD de la source d'ignition	103
3.23	AdD de la fuite de gaz	103
3.24	AdD de la surpression de gaz	104
3.25	Représentation de la page du site où les entreprises remplissent les renseignements liés à la matière et au chauffeur	118
3.26	Page du site indiquant le code QR lié à la base de données	118
3.27	Interface du scan du code QR de l'application	119
3.28	Interface de l'application indiquant les informations sur la matière ainsi que les indications sur la signalisation	119
3.29	Interface d'ouverture du site	120
3.30	Interface d'ouverture de l'application	120
4.1	Analyse SWOT sur notre startup	126

Liste des tableaux

1.1	Accident du Los Alfaques	17
1.2	Accident d'Asha	18
1.3	Accident de la Voulte-sur-Rhône	19
1.4	Accident du Lac-Mégantic	20
1.5	Accident de la wilaya Sétif	21
1.6	Accident de la commune d'Aïn Abid à Constantine	22
1.7	Accident Djebel El Ouahch 2023	22
1.8	Accident Djebel El Ouahch 2018	23
1.9	Facteurs provoquant les accidents de TMD	24
1.10	Structure de la GN	27
1.11	Autres structures de la GN	28
1.12	Directions et centres de la GN	29
2.1	Facteur définissant les personnes exposées aux risques d'accidents	37
2.2	Facteur de risque d'accident de circulation	38
2.3	Inconvénients de transport routier	45
2.4	Avantages du transport routier	46
2.5	Avantages du transport routier de TMD [1]	49
2.6	Information importantes des marchandises dangereuse	50
2.7	Indications sur la signalisation des moyens de transport de TMD	52
2.8	Affectation chiffres du code de danger [5]	54
2.9	Précautions pour la manutention des marchandises dangereuses	56
2.10	Équipements requis à bord du véhicule	56
2.11	Exigences sur les extincteurs	57
2.12	Modèle systémique de MADS [6]	66
2.13	Définitions de concepts liés au modèle systémique MADS [3]	70
3.1	Représentation de la segmentation du trajet étudié	80
3.2	Données utiles pour l'application du modèle TNT	82

3.3	La surpression en fonction de la distance	83
3.4	Seuils critiques de surpression et leurs distances maximales	83
3.5	Surpression en fonction de la distance	85
3.6	Seuils critiques de surpression et leurs distances maximales	86
3.7	Surpression en fonction de la distance	87
3.8	Seuils critiques de surpression et leurs distances maximales	88
3.9	Décomposition du système TMD suivant MADS-MOSAR	92
3.10	Résumé des risques dynamiques distingués	100
4.1	Représentation des segments de client	127
4.2	Représentation des propositions de valeur	127
4.3	Représentation des canaux de distribution	128
4.4	Représentation des relations avec les clients	128
4.5	Représentation des flux de revenu	129
4.6	Représentation des ressources clés	129
4.7	Représentation des activités clefs	130
4.8	Représentation des partenaires clés	130
4.9	Représentation de la structure de coûts	131
4.10	Représentation des objectifs stratégiques	132

Nomenclature

Acronymes / Abréviations

ADD	Arbre de Défaillance
ADR	Accord Relatif au transport international des marchandises dangereuses par Route
CRD	Centre de Recherche et de Développement
EI	Événement Initiateur
Ei	Événement indésirable
EM	Événement Majeur
END	Essai Non Destructif
ER	Événement Redouté
GN	Gendarmerie Nationale
IC	Infrastructures Critiques
MADS	Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes
MOSAR	Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques
NU	Nations Unies
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONU	Organisation des Nations Unies
REX	Retour d'expérience
SR	Sécurité Routière
TMD	Transport de matières dangereuses

Introduction Générale

Le transport de matières dangereuses (TMD) constitue un enjeu important pour la sécurité publique et environnementale. Les matières transportées, par leur nature dangereuse, présentent des risques élevés d'accidents. Ce mémoire vise à développer un outil d'aide à la décision destiné à la Gendarmerie Nationale (GN) afin d'optimiser le contrôle du TMD sur les routes.

La problématique de notre étude se présente en quatre questions essentielles : comment contribuer à l'analyse des risques du TMD en tenant compte de sa nature dynamique ; comment analyser ces risques dynamiques, fondamentalement différents des risques fixes traditionnellement étudiés ; comment optimiser le contrôle routier effectué par la GN pour prévenir les risques associés au TMD ; et enfin, comment faciliter la prise de décision des gendarmes sur le terrain.

Pour répondre à ces questions, nos objectifs sont définis en quatre axes principaux : proposer des méthodes d'analyse de risque dynamique en temps réel, l'analyse détaillée des risques liés au TMD, proposer des mesures concrètes pour sécuriser le TMD et développer un outil d'aide à la décision pour la GN qui fournit des informations claires et accessibles instantanément.

Pour analyser le risque dynamique dans le contexte du TMD, nous avons appliqué deux méthodes principales : la méthode MADS-MOSAR et l'approche par conséquence. La première permet d'identifier les scénarios d'accidents potentiels après une décomposition systémique du TMD en sous-systèmes fixes et dynamiques, tandis que la deuxième se concentre sur l'évaluation des conséquences potentielles des accidents liés au TMD. Notre évaluation du risque a pris en compte les quatre facteurs déjà cités.

La structure de ce mémoire est organisée en quatre chapitres principaux. Le chapitre 1 présente le contexte général, la méthodologie et la problématique, en incluant un REX des accidents de TMD dans le monde et en Algérie, ainsi qu'une présentation de la GN. Le chapitre 2 se concentre sur les définitions et concepts, abordant la sécurité routière, le TMD et les méthodes d'analyse de risque telles que l'approche par conséquence et MADS-MOSAR. Le chapitre 3 est consacré à l'application de ces méthodes, incluant l'étude de

cas, la modélisation d'un accident de TMD par le logiciel Phast, l'application de MADS-MOSAR, et la proposition de mesures de prévention. Enfin, le chapitre 4 présente une start-up innovante proposant des services de numérisation des données liées au transport des marchandises et la facilitation de leur contrôle.

Ce mémoire vise à fournir une solution complète et pragmatique pour améliorer la gestion des risques liés au TMD, en offrant à la GN des outils et des méthodes adaptés. Par la combinaison d'analyses théoriques et de développements pratiques, nous espérons contribuer de manière significative à la sécurité et à l'efficacité des contrôles routiers du TMD.

Chapitre 1

Contexte général, problématique et méthodologie

Dans ce chapitre, nous allons contextualiser notre problématique et présenter la méthodologie adoptée pour atteindre les résultats escomptés. Nous commencerons par introduire le transport de matières dangereuses (TMD) à travers un historique et un retour d'expérience (REX), en soulignant son importance et son impact sur la sécurité routière (SR) en cas d'accident. Puis nous présenterons la Gendarmerie Nationale (GN), organisme d'accueil et lieu de mon stage. Dans ce cadre, nous exposerons la problématique et les objectifs de notre étude, ainsi que la méthodologie adoptée pour les atteindre.

1.1 Historiques des accidents de TMD

Les accidents de TMD présentent des risques significatifs pour la santé publique et l'environnement. Ils peuvent entraîner des blessures, des contaminations, des dommages matériels et des perturbations économiques. Il est donc primordial de mettre en avant le REX afin d'identifier les divers risques répétitifs et les méthodes de prévention efficaces, ainsi que pour approfondir notre analyse des risques.

Dans cette section, nous allons examiner huit accidents liés au TMD, dont quatre survenus dans le monde et quatre en Algérie.

1.1.1 Historique des accidents TMD dans le monde

Analyser les anciens est essentiel pour prévenir de futurs accidents. Cela permet d'identifier les causes et les défaillances, améliorant ainsi les protocoles de sécurité et les procédures de prévention, de protection et d'intervention.

Dans la prochaine section, nous allons présenter quatre accidents liés au TMD qui se sont produits dans le monde. Nous analyserons ces accidents afin d'identifier les causes principales récurrentes. Les accidents étudiés sont ceux de Los Alfaques, Acha Ufa, La Voulte-sur-Rhône et du Lac-Mégantic au Canada.

— Accident de Los Alfaques [7] :

Dans le Tableau 1.1, nous allons présenter cet accident et ses détails afin de comprendre ses circonstances.

L'analyse des causes révèle plusieurs facteurs contribuant à cet accident. Les facteurs humains incluent une surmortalité due à une mauvaise évaluation du risque et au non-respect des consignes de sécurité par le conducteur et l'entreprise de transport. Les facteurs techniques impliquent une surcharge du camion-citerne au-delà de sa capacité maximale et l'utilisation de matériaux inadaptés pour le transport sécurisé du propylène. Les conditions environnementales, telles que les températures élevées, ont augmenté la pression

Tableau 1.1: Accident du Los Alfaques

Date de l'accident	Lieu de l'accident	Contexte	Nature des matières	Détails de l'accident	Conséquences
11 juillet 1978	Camping Los Alfaques, Alcanar, Espagne	Un camion-citerne transportant du propylène liquéfié a explosé à proximité d'un camping	Propylène liquéfié	Camion en surcharge circulant sous une forte chaleur. Perte du contrôle et écrasement près de l'entrée du camping. Provocation d'une explosion suivie d'un incendie.	- 217 morts. - 200 blessés. - Destruction des installations du site.

interne dans la citerne. Enfin, des problèmes organisationnels, tels que le manque de réglementation stricte et de contrôles adéquats sur le TMD ainsi que l'insuffisance des protocoles d'urgence, ont également contribué à l'accident.

— **Accident d'Acha Ufa [7] :**

Dans le Tableau 1.2, nous allons présenter cet accident et ses détails afin de comprendre ses circonstances.

Tableau 1.2: Accident d'Asha

Date de l'accident	Lieu de l'accident	Contexte	Nature des matières	Détails de l'accident	Conséquences immédiates
4 juin 1989	Près d'Asha, entre les villes de Ufa et Asha, Russie	Une fuite de gaz naturel liquéfié (GNL) provenant d'un pipeline adjacent engendre une explosion de deux trains de passagers.	Gaz naturel liquéfié (GNL)	<ul style="list-style-type: none"> - Une fuite dans un pipeline transportant du GNL a entraîné l'accumulation de gaz dans une vallée adjacente à une ligne ferroviaire. - Deux trains de passagers sont passés par cette zone, des étincelles provenant de l'un des trains ont enflammé le gaz, provoquant une explosion massive. 	<ul style="list-style-type: none"> - 575 morts. - Destruction complète de plusieurs wagons de train. - Incendie sur une vaste zone environnante.

L'analyse des causes met en évidence plusieurs facteurs contribuant à l'accident. Les facteurs humains incluent le manque de surveillance et d'entretien adéquats du pipeline. Les facteurs techniques concernent la défaillance du pipeline entraînant une fuite de GNL et l'absence de systèmes de sécurité et d'alerte appropriés pour détecter et signaler les fuites. Les conditions environnementales, telles qu'une vallée confinée permettant l'accumulation de gaz et des conditions météorologiques favorisant la dispersion limitée du gaz, ont également joué un rôle. Enfin, des problèmes organisationnels, tels que l'insuffisance des protocoles de sécurité pour le transport de GNL et la gestion des pipelines, ainsi que le manque de coordination entre les autorités ferroviaires et les gestionnaires de pipelines, ont contribué à l'accident.

— **L'accident de La Voulte-sur-Rhône [7] :**

Dans le Tableau 1.3, nous allons présenter cet accident et ses détails afin de comprendre ses circonstances.

Tableau 1.3: Accident de la Voulte-sur-Rhône

Date de l'accident	Lieu de l'accident	Contexte	Nature des matières	Détails de l'accident	Conséquences immédiates
6 octobre 1970	La Voulte sur Rhône, Ardèche, France	Collision entre deux trains de marchandises, entraînant une explosion massive et un incendie.	Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	L'impact a provoqué une fuite de GPL, qui s'est enflammé, entraînant une explosion et un incendie.	- 4 morts. - 35 blessés. -Destructions importantes de matériel ferroviaire et de l'infrastructure de la gare.

L'analyse des causes met en lumière plusieurs facteurs. Les erreurs de manœuvre et de communication entre les équipes de conduite des trains et les opérateurs de la gare constituent les principaux facteurs humains. Les défaillances des systèmes de freinage du train transportant du GPL et l'absence de dispositifs de sécurité pour prévenir et contenir les fuites de gaz sont des facteurs techniques majeurs. Enfin, les problèmes organisationnels incluent le manque de protocoles de sécurité adéquats pour la gestion du transport de matières dangereuses et des déficiences dans la coordination et la communication entre les différents acteurs ferroviaires.

— **L'accident du Lac-Mégantic [8] :**

Dans le Tableau 1.4, nous allons présenter cet accident et ses détails afin de comprendre ses circonstances.

Tableau 1.4: Accident du Lac-Mégantic

Date de l'accident	Lieu de l'accident	Contexte	Nature des matières	Détails de l'accident	Conséquences immédiates
6 juillet 2013	Lac Mégantic, Québec, Canada	Un train transportant du pétrole brut a déraillé dans le centre-ville de Lac-Mégantic, entraînant une explosion massive et un incendie dévastateur	Pétrole brut	Le déraillement a provoqué plusieurs explosions et un incendie massif.	<ul style="list-style-type: none"> - 47 morts. - Destruction de plus de 30 bâtiments. - Contamination environnementale sévère.

L'analyse des causes révèle plusieurs aspects critiques. Les facteurs humains incluent le manque de surveillance adéquate du train stationné et des erreurs dans l'application des freins manuels. Techniquement, les défauts dans le système de freinage du train et l'utilisation de wagons-citernes non conformes aux normes de sécurité pour le TMD sont identifiés comme des problèmes majeurs. Les conditions environnementales, telles que le stationnement du train sur une pente, ont également contribué à l'accident. Enfin, les problèmes organisationnels incluent le manque de réglementation et de supervisions strictes des pratiques de sécurité ferroviaire, ainsi que des protocoles de sécurité insuffisants pour le stationnement des trains transportant des matières dangereuses.

Synthèse globale des actions à prendre

Afin de prendre les bonnes précautions après ces accidents, les réglementations sur le TMD ont été renforcées, avec la mise en place de contrôles stricts concernant la capacité de chargement et les matériaux des véhicules et des citernes. La formation des conducteurs a été améliorée pour garantir une conduite sûre. La surveillance et l'entretien des infrastructures critiques, telles que les pipelines, ont été intensifiés grâce à l'installation de systèmes de détection avancés et à une formation renforcée du personnel chargé de leur gestion. Pour le transport ferroviaire, les procédures de sécurité ont été révisées et renforcées, la coordination entre les parties prenantes améliorée et des dispositifs de sécurité supplémentaires mis en place pour prévenir les incidents. Enfin, les normes de sécurité pour les wagons-citernes ont été accrues, et les inspections ainsi que la supervision des pratiques sécuritaires à toutes les étapes du TMD ont été renforcées.

1.1.2 Historique des accidents TMD en Algérie

Après avoir revue des accidents mondialement, il est important de revoir ceux arrivés en Algérie afin d’avoir une idée globale sur les circonstances de ces accidents, les causes potentielles ainsi que les actions à entreprendre. Dans cette section nous allons exposer deux accidents récents qui sont ceux de Sétif et Constantine et deux autres arrivés dans la même commune de Djebel El Ouahch (2023 et 2018).

— **L’accident de Sétif 2024 [9].**

Dans le Tableau 1.5, nous allons présenter cet accident et ses détails afin de comprendre ses circonstances.

Tableau 1.5: Accident de la wilaya Sétif

Date de l'accident	Lieu de l'accident	Contexte	Nature des matière	Détails de l'accident	Conséquences immédiates
31 mars 2024	Autoroute Est-Ouest, échangeur d'El-Eulma, entre Sétif et Constantine	Renversement d'un camion-citerne de transport de carburant	Carburant	Explosion suivie d'un incendie	Brûlures au 2 degré pour deux cadres, évacuation

Selon la GN la principale cause de l’explosion est technique. Le camion avait déjà une défaillance au niveau des dispositifs de sécurité, ce qui fait que l’explosion n’a pas pu être évitée. Cet accident soulève également des questions sur la réglementation du TMD appliquée en Algérie en soulignant que le camion est allé sur terrain avec un dispositif de sécurité défectueux, indiquant un possible manque de supervision au niveau de l’entreprise ou au niveau du contrôle routier du TMD.

— **Accident de Constantine 2024 [10] :**

Dans le Tableau 1.6, nous allons présenter cet accident et ses détails afin de comprendre ses circonstances.

Tableau 1.6: Accident de la commune d'Aïn Abid à Constantine

Date de l'accident	Lieu de l'accident	Contexte	Nature des matières	Détails de l'accident	Conséquences immédiates
Lundi, date non précisée	Commune d'Aïn Abid, wilaya de Constantine	Collision entre une voiture équipée d'un kit GPL et un camion-citerne de carburant	Carburant	Collision suivie d'un incendie	6 morts

Les causes de l'accident survenu à Aïn Abid sont attribuées à plusieurs facteurs : des erreurs de conduite ou un non-respect du code de la route, des défaillances dans les systèmes de sécurité des véhicules, en particulier le kit GPL de la voiture et le camion-citerne ainsi que l'état de la route.

— **Accident près de Djebel El Ouahch 2023 [10] :**

Dans le Tableau 1.7, nous allons présenter cet accident et ses détails afin de comprendre ses circonstances.

Tableau 1.7: Accident Djebel El Ouahch 2023

Date de l'accident	Lieu de l'accident	Contexte	Nature des matières	Détails de l'accident	Conséquences immédiates
15 avril 2023	Sortie de l'autoroute Est-Ouest, Djebel El Ouahch	Explosion d'un camion-citerne de carburant de Naftal	Carburant	Défaillance mécanique du camion-citerne entraînant un incendie et une explosion	<ul style="list-style-type: none"> - Décès du conducteur. - Incendie sur le site. - Retards significatifs sur l'autoroute.

Les facteurs humains ne rapportent aucune erreur directe, mais l'incapacité du conducteur à éviter l'incendie est notée. Du côté technique, la défaillance mécanique du camion-citerne a joué un rôle crucial, exacerbée par l'absence de dispositifs de sécurité pour prévenir l'incendie et l'explosion. Les conditions environnementales, notamment la route fréquentée, ont augmenté le risque d'impact et de dégâts collatéraux. En termes d'organisation, l'insuffisance des contrôles et inspections régulières des camions-citernes ainsi que

le manque de protocoles de sécurité adaptés au transport de carburant ont contribué à la survenue de cet accident tragique.

— **L’Accident près de Djebel El Ouahch 2018 [11] :**

Dans le Tableau 1.8, nous allons présenter cet accident et ses détails afin de comprendre ses circonstances.

Tableau 1.8: Accident Djebel El Ouahch 2018

Date de l'accident	Lieu de l'accident	Contexte	Nature des matières	Détails de l'accident	Conséquences immédiates
11 novembre 2018	Autoroute Est/Ouest, Djebel El Ouahch	Renversement d'un camion-citerne transportant du mazout	Mazout (carburant)	Dérapiage du camion-citerne puis renversement avec déversement de 30 000 litres de mazout.	- Impact environnemental significatif

Les possibles erreurs de conduite ou les conditions météorologiques défavorables pourraient avoir contribué au dérapage du véhicule. Sur le plan technique, une défaillance mécanique du camion-citerne, incluant des problèmes de freinage ou de manœuvre sur la route, est également mise en avant. Enfin, les conditions environnementales ont accentué les risques pour la biodiversité locale et l'écosystème en raison du déversement de mazout, soulignant la nécessité de mesures robustes de prévention et de gestion des incidents similaires à l'avenir.

Synthèse globale des actions à prendre

Afin de prendre les bonnes précautions après ces accidents, les procédures d'entretien et de contrôle des camions-citernes doivent être révisées régulièrement, avec un renforcement des dispositifs de sécurité spécifiquement conçus pour le transport de carburant. La formation des conducteurs doit être améliorée afin de renforcer leur connaissance des mesures de sécurité et d'urgence. Parallèlement, les inspections pour le transport de substances inflammables doivent être intensifiées, tout en contrôlant les horaires du TMD. Les accidents lors du TMD ont des impacts significatifs et diversifiés. Globalement, ils entraînent des pertes humaines, comme la mort de conducteurs, et peuvent provoquer des blessures graves. Par rapport à l'environnement, ils causent des déversements de substances toxiques qui contaminent les sols et les cours d'eau, affectant la biodiversité et les écosystèmes locaux. Économiquement, ces accidents perturbent les réseaux de transport,

engendrent des coûts de nettoyage et de réparations, et peuvent nuire aux activités commerciales locales.

Cependant ces accidents ont généralement des causes communes répétitives d'un accident à un autre qui sont d'une source humaine, mécanique, environnemental ou organisationnel.

1.1.3 Enseignements de l'historique des accidents de TMD

Les causes communes de ces accidents sont liées à des défaillances mécaniques des véhicules, des erreurs de conduite, et des conditions routières défavorables. La maintenance insuffisante des véhicules de transport, le manque de dispositifs de sécurité et les insuffisances dans la formation des conducteurs sont également des facteurs récurrents qui contribuent à ces accidents. Le Tableau 1.9 résume et explique ces facteurs.

Tableau 1.9: Facteurs provoquant les accidents de TMD

Facteurs	Description
Facteurs humains	Erreurs de conduite, conditions météorologiques défavorables, non-respect des consignes de sécurité, manque de formation adéquate
Facteurs techniques	Défaillances mécaniques des véhicules (freinage, manœuvre), équipements non conformes aux normes de sécurité, absence de dispositifs de sécurité pour prévenir les fuites et les incendies
Conditions environnementales	Risques accrus en raison de la proximité de zones sensibles (routes fréquentées, infrastructures critiques), conditions météorologiques extrêmes
Problèmes organisationnels	Manque de réglementation et de supervision strictes, insuffisance des protocoles de sécurité pour le transport et le stationnement des matières dangereuses, coordination et communication déficientes entre les différents acteurs

La GN joue un rôle crucial non seulement dans la prévention de ces accidents mais aussi dans l'enquête qui suit chaque accident. En cas d'accident, elle intervient rapidement pour sécuriser la zone, coordonner les secours et limiter les dégâts. De plus, la GN mène des enquêtes approfondies pour déterminer les causes exactes de chaque accident, ce qui permet de prendre des mesures correctives efficaces.

Dans la prochaine section, nous présenterons en détail le rôle et l'organisation de la GN, le lieu de notre stage, afin de mieux comprendre son importance dans la gestion et la prévention des accidents liés à la route et plus particulièrement au TMD.

1.2 Présentation de la GN

La GN, faisant partie intégrante de l'Armée Populaire Nationale, occupe une place fondamentale dans le paysage sécuritaire de la nation. Instituée par l'ordonnance n°62-19 du 23 août 1962 en tant que force militaire à vocation nationale, elle se voit confier des missions essentielles liées à la sécurité publique, au maintien de l'ordre et à l'application des lois. [12].

Son rôle dépasse largement les seules fonctions de défense territoriale pour englober une panoplie de missions variées, allant de la protection des biens et des personnes à la lutte contre la criminalité, en passant par la sécurisation des infrastructures sensibles. En tant que pilier de la sécurité intérieure, la GN œuvre inlassablement pour garantir la quiétude et la sérénité des citoyens, tout en veillant au respect des lois et des règlements édictés par les autorités compétentes. Dans cette section nous allons parler de l'historique de la GN, son organisation et ses missions.

1.2.1 Historique

L'évolution de l'organisation de la GN depuis sa création en 1962 jusqu'à nos jours peut être divisée en trois grandes étapes, chacune marquée par des évolutions significatives visant à adapter l'institution aux défis changeants de son environnement opérationnel et sociopolitique.

1.2.1.1 Première étape (1962-1973)

Durant cette période inaugurale, caractérisée par la promulgation de l'ordonnance n°62-19 du 23 Août 1962, la GN fut établie en tant que force publique chargée du maintien de l'ordre et de l'exécution des lois. L'objectif principal était de consolider l'autorité de l'État naissant, d'instaurer la sécurité et la stabilité au sein de la société algérienne postindépendance, et de faciliter le travail de la justice en fournissant des agents qualifiés pour l'application des lois et la prévention des infractions. Une attention particulière fut accordée à la formation des personnels, les établissements dédiés s'efforçant de préparer des éléments compétents capables d'assumer leurs responsabilités immédiatement après leur formation initiale.

1.2.1.2 Deuxième étape (1974-1987)

Cette période a été marquée par la promulgation d'un nouveau décret en juin 1973, visant à moderniser l'organisation existante de la GN. Durant cette étape, l'institution a accentué son rôle d'accompagnement du développement socio-économique de l'Algérie,

en tenant compte du nouveau découpage administratif. De nouvelles unités ont été créées pour répondre aux besoins émergents de la société, conférant ainsi à la Gendarmerie une souplesse accrue et une capacité de déploiement plus adaptée aux enjeux nationaux. Son rôle prépondérant lors des événements majeurs vécus par le pays a été consolidé, affirmant sa présence et son importance dans la vie nationale.

1.2.1.3 Troisième étape (après 1988)

Cette période voit l'adoption du décret n 88-19 en mai 1988, suivi du décret n09-143 en avril 2009, marquant une révision substantielle de l'organisation de la GN. Forte de l'expérience accumulée sur le terrain, l'institution a entrepris une série de réformes visant à renforcer ses capacités opérationnelles pour faire face à la montée du crime et de la criminalité organisée. L'augmentation significative du nombre d'unités, le développement de nouvelles structures et l'adaptation des appellations ont permis à la Gendarmerie de s'adapter aux mutations nationales et internationales, consolidant ainsi son rôle en tant que pilier de la sécurité et de la stabilité nationales.

La GN demeure un acteur incontournable dans la préservation de l'ordre public, la sécurité intérieure et la défense des institutions et des valeurs nationales, s'inscrivant ainsi dans la continuité de sa mission historique depuis sa création.

1.2.2 Organisation

La GN, sous la conduite d'un Officier Général désigné en tant que Commandant de la GN par décret présidentiel, est organisée en différentes entités opérationnelles et fonctionnelles pour répondre aux diverses exigences de sa mission. Voici le Tableau 1.10 qui résume les principales composantes de la GN :

Tableau 1.10: Structure de la GN

Structure et unités de la GN	Description
Commandement	Dirige et coordonne des activités nationales.
Unités territoriales	Sécurisent et maintiennent l'ordre à travers le pays.
Unités Constituées	Luttent contre la criminalité organisée, le terrorisme et protègent les personnalités.
Unités spécialisées	Prendent en charge la cybercriminalité, la criminalistique, et les interventions spéciales.
Unités de soutien	Fournissent le soutien logistique, technique et administratif aux unités opérationnelles.
Organes de formation	Forment le personnel dans divers établissements comme l'Institut National de Criminalistique et de Criminologie et d'autres établissements.
Services et centres scientifiques	Prend en charge la recherche, l'analyse et le support technique en criminalistique et lutte contre la cybercriminalité.
Service Central des Investigations Criminelles	Enquête sur les crimes graves et les affaires criminelles d'envergure nationale.
Service Central de cybercriminalité	Lutte contre les crimes liés aux technologies de l'information et de la communication.
Détachement Spécial d'Intervention	Prend en charge l'intervention rapide en situations d'urgence et de crise.

Aussi, dans le Commandement de la GN, plusieurs organes clés assurent la coordination, la planification et la gestion des différentes activités de l'institution. Voici le Tableau 1.11 qui détaille de ces organes :

Tableau 1.11: Autres structures de la GN

Autres structures de la GN	Description/Rôle
État-major de la GN	Direction stratégique et opérationnelle ; coordination entre les directions et les services.
Département de l'Administration Générale et des Moyens	Gestion administrative, financière et logistique pour le fonctionnement optimal.
Commandement des Unités des Gardes-Frontières	Surveillance et protection des frontières nationales contre les menaces transfrontalières.
Inspection Générale	Contrôle et évaluation des activités, respect des normes et amélioration continue.
Cabinet	Liaison entre le Commandant de la GN, les organes internes, les autorités civiles et militaires.
Service communication	Communication interne et externe, gestion de l'image publique de la GN.
Service de prévention et de contrôle	Prévention de la délinquance, promotion de la sécurité publique, contrôle et sensibilisation.

Au sein de l'État-major de la GN, plusieurs directions spécialisées assurent la gestion et la coordination des différentes activités opérationnelles et administratives de l'institution. Voici le Tableau 1.12 qui explique les tâches des directions en question :

Tableau 1.12: Directions et centres de la GN

Directions et centres de la GN	Description/Rôle
Direction de la Sécurité Publique et de l'Emploi	Supervision des opérations de sécurité publique, protection des biens et des personnes, maintien de l'ordre public.
Direction des Ressources Humaines	Gestion du personnel, recrutement, formation, carrière et bien-être des personnels de la GN.
Direction des Écoles	Supervision et coordination des établissements de formation, qualité des programmes éducatifs pour le personnel.
Direction des Unités Constituées	Gestion opérationnelle des unités spécialisées, coordination et déploiement lors des missions spéciales.
Direction de la Planification et des Finances	Planification stratégique, gestion budgétaire, allocation efficace des ressources pour atteindre les objectifs opérationnels.
Direction de la Télématique	Gestion des technologies de l'information et de la communication, développement et maintenance des systèmes informatiques et réseaux.
Direction de Logistique et d'Infrastructures	Gestion des équipements, matériels et infrastructures, approvisionnement, maintenance et sécurité des ressources matérielles.
Centre des Opérations	Coordination et supervision des opérations en cours, gestion des ressources et réponse aux situations d'urgence.

1.2.3 Missions

La GN joue un rôle essentiel dans la défense nationale, en particulier dans la lutte contre le terrorisme, conformément aux plans établis par le Ministre de la Défense Nationale. Elle est chargée de missions variées relevant de la police judiciaire, de la police administrative et de la police militaire. Leurs rôles sont :

1. **Police judiciaire** : la GN mène des actions de lutte contre la criminalité et le crime organisé en mettant en œuvre des moyens d'investigation scientifiques, techniques et d'expertise criminalistique. Elle exerce cette mission dans le respect des lois et des règlements en vigueur, notamment le code des procédures pénales.
2. **Police administrative** : elle veille au maintien de l'ordre et de la tranquillité publics par des actions préventives, telles que la surveillance générale et continue. La GN assure la sécurité publique en protégeant les personnes et les biens, ainsi qu'en garantissant la liberté de circulation sur les voies de communication. À cet

égard, elle veille à l'application des lois et règlements régissant les polices générale et spéciale.

3. **Police militaire** : la GN assure la police judiciaire militaire conformément aux dispositions du code de justice militaire, ainsi que la police générale militaire en vertu des lois et règlements régissant le service au sein de l'ANP.

En remplissant ces différentes missions, la GN contribue activement à la préservation de la sécurité intérieure, à la protection des citoyens et à la défense des intérêts nationaux, jouant ainsi un rôle crucial dans la sauvegarde de la souveraineté et de la stabilité du pays.

1.3 Problématique

La gestion des risques routiers liés au TMD constitue un défi majeur en raison de sa nature dynamique et des nombreux paramètres en jeu. Contrairement aux risques fixes, les risques associés au TMD évoluent constamment. Ces risques sont influencés par la nature des produits transportés, leurs quantités, et la relation entre la gravité des accidents et les volumes transportés. Les modes de transport utilisés et la réglementation encadrant ces activités ajoutent une couche supplémentaire de complexité. Par exemple, au cours de notre étude, deux accidents liés au TMD se sont produits en Algérie (présentés dans le REX).

En outre, la fréquence et le flux des TMD augmentent le risque diffus sur les trajets empruntés. Une évaluation dynamique, tenant compte des variations spatio-temporelles, est essentielle pour gérer ces risques de manière efficace. La nécessité de surveiller en continu les conditions de transport, les caractéristiques des matières et les environnements traversés est importante pour prévenir les accidents. En résumé, notre problématique se concentre sur quatre questions importantes qui intègrent ces paramètres pour mieux comprendre et gérer les risques associés au TMD.

- **Comment analyser un risque dynamique dans le contexte du TMD, sachant que ce type de risque diffère fondamentalement des risques fixes traditionnellement étudiés ?**

Cette question constitue le cœur de notre problématique. En effet, la complexité et la variabilité des situations rencontrées lors du TMD nécessitent des approches et des outils spécifiques pour une évaluation précise et efficace des risques.

— **Comment contribuer à l’analyse du risque du TMD en tenant compte du degré de difficulté imposé par sa nature dynamique ?**

L’analyse des risques dynamiques impose une compréhension approfondie des interactions entre les différents éléments du système de transport et des variations potentielles. Il s’agit de développer des méthodes et des modèles capables de capturer cette complexité et de fournir des évaluations fiables, même dans des conditions changeantes.

— **Comment améliorer le contrôle routier exercé par la GN en tant que mode de prévention des risques liés au TMD ?**

Une partie essentielle de cette recherche consiste à identifier des stratégies et des outils pour renforcer les capacités de contrôle et de surveillance des autorités routières. Cela inclut l’élaboration de protocoles et de technologies qui facilitent le travail des gendarmes, permettant une détection plus rapide et plus précise des non-conformités et des situations à risque.

— **Comment faciliter la prise de décision des gendarmes sur le terrain ?**

Dans le contexte du TMD, la prise de décision doit être rapide et basée sur des informations fiables. Il est crucial de développer des systèmes d’information et de communication qui fournissent aux gendarmes des données en temps réel, des évaluations de risques précises et des recommandations d’action claires.

Cette recherche vise à aborder les défis posés par l’analyse des risques dynamiques dans le transport de matières dangereuses. Elle propose d’explorer des méthodes innovantes pour l’évaluation des risques, de développer des outils pour améliorer les contrôles routiers effectués par la Gendarmerie Nationale, et de faciliter la prise de décision des gendarmes sur le terrain. Cette approche globale contribue à la prévention des risques liés au TMD et à la protection de la sécurité publique et de l’environnement.

1.4 Objectifs et méthodologies

Afin de répondre aux questions posées, la première étape consiste à établir des objectifs clairs et précis. Ces objectifs servent de fondation à notre étude et nous permettent de structurer notre approche de manière cohérente.

1.4.1 Objectifs

Notre objectif est de proposer des recommandations et des stratégies efficaces pour réduire les risques associés au TMD, en se basant sur une évaluation continue et actualisée

des conditions de transport et des environnements traversés. Ce travail vise à fournir une base solide pour améliorer la sécurité routière et minimiser l'impact des accidents impliquant des matières dangereuses.

Nous pouvons résumer nos objectifs en quatre points importants qui sont :

- Proposer des méthodes d'analyse de risque dynamique en temps réel.
- Analyser les risques liés au TMD.
- Proposer des mesures pour sécuriser le TMD.
- Développer un outil d'aide à la décision pour faciliter le contrôle de la GN.

Ces objectifs sont résumés dans la Figure 1.1.

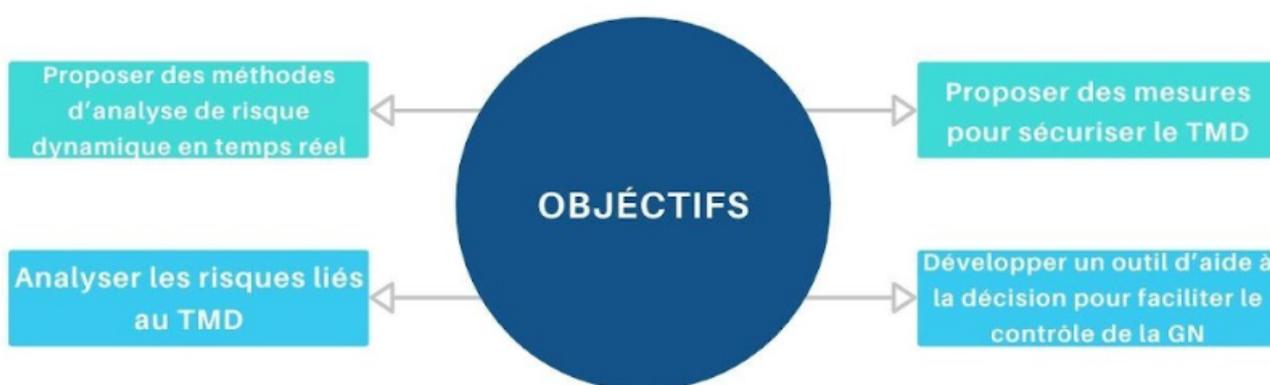


Figure 1.1: Résumé des objectifs à atteindre

1.4.2 Méthodologie

Pour aborder efficacement la complexité et la diversité des risques associés au TMD et de pouvoir développer des outils d'aide à la décision, il est essentiel de recourir à une méthodologie rigoureuse et adaptée. Dans cette section, nous présenterons les principales étapes de notre étude pour pouvoir honorer nos objectifs..

1.4.2.1 Revue de littérature

La première étape de notre méthode a consisté en une revue de littérature exhaustive sur les thèmes suivants :

- La sécurité routière.
- Le transport de matières dangereuses (TMD).
- Le risque dynamique, en particulier dans le contexte du TMD.

Cette revue de littérature a permis de poser les bases théoriques nécessaires à la compréhension de notre sujet. Nous avons pu remarquer qu'il n'existe pas de méthode

spécifique à l'analyse du risque dynamique.

1.4.2.2 Application et adaptation des méthodes MADS-MOSAR et l'Approche par Conséquence

Pour analyser le risque dynamique dans le contexte du TMD, nous avons appliqué deux méthodes, expliquées brièvement dans ce qui suit :

- **Mads-Mosar** : Cette méthode permet d'identifier les scénarios d'accidents potentiels et d'évaluer les mesures de prévention et de protection existantes.
- **Approche par Conséquence** : Cette approche se concentre sur les conséquences potentielles des incidents liés au TMD, en évaluant leur gravité et leur impact.

1.4.2.3 Évaluation du Risque selon Quatre Facteurs

Nous avons évalué le risque associé au TMD en tenant compte de quatre facteurs principaux :

- Danger lié à la matière.
- Vulnérabilité.
- Trajet.
- Probabilité des accidents liée à l'historique.

1.4.2.4 Proposition d'un Outil d'Aide à la Décision

Enfin, nous avons développé un outil d'aide à la décision destiné à améliorer les capacités opérationnelles des gendarmes. Cet outil intègre les éléments d'analyse précédemment mentionnés pour fournir des recommandations en temps réel, contribuant ainsi à améliorer le contrôle routier et à renforcer la prévention des risques liés au TMD sur nos routes.

Cette section a détaillé la méthodologie suivie pour répondre à notre problématique, ces méthodologies sont résumées dans la Figure 1.2. Les étapes clés comprennent une revue de littérature, l'élaboration d'un cadre méthodologique spécifique pour l'analyse des risques, l'évaluation des risques selon des facteurs déterminants, et la proposition d'un outil pratique pour la prise de décision. Les chapitres suivants présenteront les résultats de ces analyses et discuteront de leurs implications pour la sécurité routière et la gestion des risques associés au TMD.

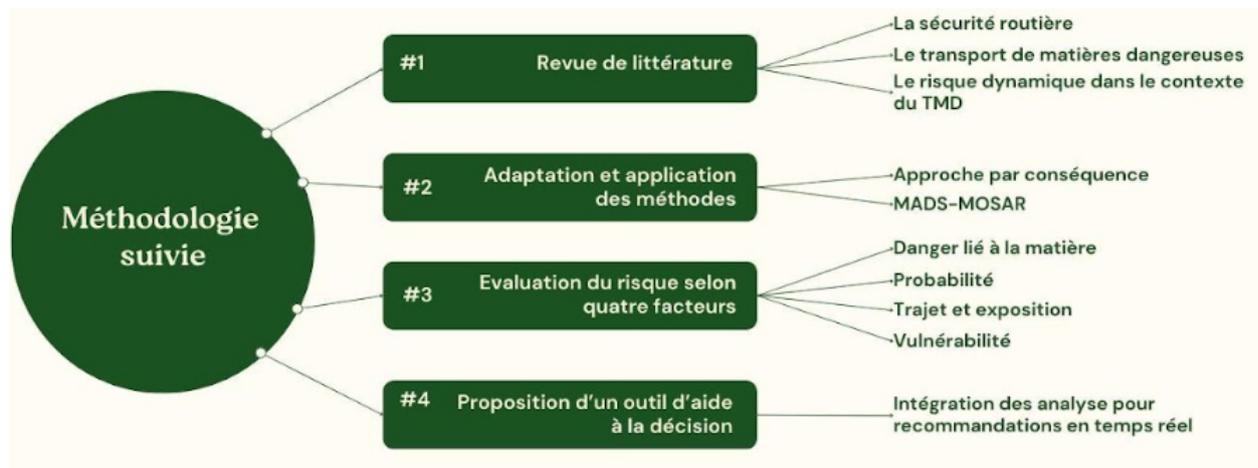


Figure 1.2: Méthodologie suivie

Ce chapitre a posé le socle théorique et méthodologique de notre étude. La compréhension du contexte et de la problématique nous permet maintenant de plonger plus profondément dans les concepts et les définitions essentielles liés à la sécurité routière et au TMD, qui seront explorés en détail dans le prochain chapitre.

Chapitre 2

Définitions et concepts

La gestion des risques liés au TMD est un domaine de recherche complexe en raison du degré de gravité des conséquences de ces accidents et la diversité de ses facteurs. Il est essentiel de comprendre les divers facteurs qui contribuent à ce risque et d'élaborer des stratégies pour les atténuer.

Dans ce chapitre nous allons explorer les concepts fondamentaux relatifs à la sécurité routière (SR) et au TMD. Ensuite, nous analyserons les différents modes de transport utilisés pour ces matières, ainsi que les réglementations en vigueur qui encadrent ces activités.

Enfin, cette revue se penchera sur les approches dynamiques de l'évaluation des risques, prenant en compte les variations spatio-temporelles. En réunissant ces différents éléments, nous visons à fournir une compréhension globale des enjeux liés au TMD. Cette synthèse nous aidera à orienter notre propre étude et adapter les méthodes utilisées pour analyser les risques fixes vers les risques dynamiques.

2.1 Sécurité routière (SR)

La sécurité routière (SR) est bien plus qu'une simple série de règles et de panneaux ; c'est un ballet harmonieux entre technologie, comportement humain et infrastructure. L'équilibre délicat entre liberté individuelle et responsabilité collective se joue sur cette scène. Nous voulons tous nous déplacer librement, mais cela doit se faire sans mettre en danger les autres. Les règles de circulation, les limitations de vitesse et les feux de signalisation sont les partitions de cette danse. Elles nous guident, nous protègent et nous rappellent que nous partageons la route avec d'autres voyageurs.

Dans les prochaines sections nous allons parler de la SR dans le monde, le développement durable en matière de SR, la SR en Algérie et le rôle de la GN en maîtrise et gestion de la SR.

2.1.1 SR dans le monde

La SR est un enjeu crucial qui transcende les frontières nationales, affectant des millions de vies à travers le monde chaque année. Les accidents de la circulation représentent l'une des principales causes de décès et de traumatismes, posant des défis majeurs en termes de santé publique, de développement économique et de bien-être social. Les accidents de la circulation entraînent environ 1,19 million de décès par an, faisant des traumatismes dus à ces accidents la principale cause de décès chez les jeunes âgés de 5 à 29 ans. Ces décès sont fortement concentrés dans les pays à revenu faible ou intermédiaire,

où 92% des décès routiers surviennent malgré la possession de seulement environ 60% du parc mondial de véhicules. Les usagers vulnérables tels que les piétons, les cyclistes et les motocyclistes représentent plus de la moitié des victimes des accidents de la route. En outre, ces accidents ont un impact économique significatif, coûtant en moyenne 3% du produit intérieur brut des pays touchés. Pour lutter contre cette crise, l'Assemblée générale des Nations Unies (NU) a fixé un objectif ambitieux visant à réduire de moitié le nombre total de morts et de blessés dus aux accidents de la route d'ici à 2030, comme défini dans la résolution A/RES/74/299. [13].

En matière de statistiques, il existe des facteurs qui aident à catégoriser les données afin de bien définir la population ciblée par les mesures de prévention et de protection. Dans la partie suivante nous allons parler des facteurs qui définissent les personnes exposées aux risques des accidents ainsi que les facteurs ainsi que les facteurs de risques d'accidents.

2.1.1.1 Les facteurs définissant les personnes exposées aux risques d'accidents de circulation

La sécurité routière est un domaine où les statistiques révèlent des disparités importantes en fonction du statut socio-économique, de l'âge et du sexe des individus [13].

Le Tableau 2.1 montre les trois facteurs ainsi que des observations concernant chaque facteur :

Tableau 2.1: Facteur définissant les personnes exposées aux risques d'accidents

Facteur	Observations
Statut socio-économique	<ul style="list-style-type: none"> - Plus de 90 % des accidents surviennent dans les pays à revenu faible ou intermédiaire. - Taux de mortalité routière élevés en Afrique selon l'OMS. - Exposition accrue aux accidents pour les classes socio-économiques défavorisées même dans les pays à revenu élevé.
Âge	<ul style="list-style-type: none"> - La tranche d'âge la plus touchée est entre 5 et 29 ans. - La tranche d'âge de 18 à 59 ans représentent 2/3 des décès liés aux accidents de la route.
Sexe	<ul style="list-style-type: none"> - Les hommes sont trois fois plus susceptibles d'être tués dans des accidents de la route que les femmes.

Après avoir classé les catégories les plus touchées par les accidents de la route, il est indispensable de connaître ce qui peut engendrer ces accidents. Cela est caractérisé par des facteurs de risque.

2.1.1.2 Les facteurs de risque d'accidents de circulation

La route, infrastructure vitale pour nos sociétés modernes, est malheureusement le théâtre de nombreux accidents aux conséquences souvent dramatiques. Comprendre les causes profondes de ces tragédies routières est crucial pour identifier des solutions efficaces et réduire le nombre de victimes. Il existe huit principaux facteurs de risque d'accidents de la circulation dont quatre intervenants avant l'accident et quatre autres qui interviennent après [13]. Ces facteurs sont résumés dans le Tableau 2.2 :

Tableau 2.2: Facteur de risque d'accident de circulation

Moment d'intervention	Facteur de risque	Informations sur le facteur de risque
APRÈS	L'erreur humaine	<ul style="list-style-type: none"> - Considération de l'erreur humaine et adaptation des systèmes de transport aux besoins des usagers. - La sécurisation des routes, bords de route, véhicules et usagers réduit les blessures graves et diminue la gravité des accidents.
AVANT	La vitesse	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la vitesse moyenne augmente la probabilité et la gravité des accidents.
AVANT	Conduite sous l'emprise de substances psychoactives	<ul style="list-style-type: none"> - Augmente significativement le risque d'accidents mortels ou graves. Le risque est variable selon le type de substance.
APRÈS	Non port prise en considération des dispositifs de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> - Les dispositifs de sécurité réduisent les risques de décès et de blessures graves en cas d'accident.
AVANT	Distraction au volant	<ul style="list-style-type: none"> - L'utilisation de téléphones multiplie par 4 le risque d'accident. - Effets négatifs sur le temps de réaction et le maintien de la trajectoire.
AVANT	Infrastructures routières	<ul style="list-style-type: none"> - La conception sûre pour tous les usagers : piétons, cyclistes, motocyclistes augmente la SR.
APRÈS	Sécurité des véhicules	<ul style="list-style-type: none"> - Conformité aux normes de sécurité telles que celles des Nations Unies. - Impact crucial sur la gravité des traumatismes en cas d'accident.
APRÈS	Soins après un accident	<ul style="list-style-type: none"> - Accès rapide aux soins préhospitaliers et amélioration de leur qualité. - Importance de la formation spécialisée pour les secouristes.

Les accidents de transport routier constituent une préoccupation majeure en matière

de sécurité publique en raison de leur fréquence élevée et de leurs conséquences souvent graves. La compréhension des facteurs de risque et la mise en place de mesures préventives sont essentielles pour réduire ces accidents.

2.1.2 Développement durable en matière de SR

L'impact significatif des accidents de la route est bien apparent, c'est pour cela qu'il est essentiel de promouvoir la prévention et de mettre en place des efforts concertés pour améliorer la sécurité routière. Après avoir identifié les facteurs exposant les individus au risque routier, ainsi que les facteurs de risque spécifiques des accidents, cette partie résume le développement des efforts fournis pour réduire ces risques et améliorer la SR d'une façon continue et durable.

2.1.2.1 Efforts de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Les lois sur la sécurité routière influencent fortement le comportement des usagers et aident à réduire les accidents et leurs conséquences. Elles ciblent les principaux facteurs de risque comme la vitesse, la conduite en état d'ivresse, et l'utilisation de casques et ceintures de sécurité. Les révisions législatives dans 17 pays au cours des trois dernières années ont amélioré la sécurité routière pour 409 millions de personnes [13].

En matière de transport durable, l'accent sur la mobilité et l'efficacité économique a souvent négligé la sécurité des usagers non motorisés. Des politiques favorisant les déplacements à pied et à vélo, ainsi qu'une gestion efficace des limitations de vitesse et des infrastructures adaptées, sont nécessaires pour assurer la sécurité de tous les usagers de la route [14].

2.1.3 SR en Algérie

Les accidents de la circulation en Algérie représentent un fléau social nécessitant une remise en question de la problématique en lien avec la SR. L'implication de l'ensemble des parties prenantes (Protection Civile, GN, Ministère du transport...) est importante afin d'atténuer les conséquences de ces accidents. La lutte contre l'insécurité routière doit devenir une priorité afin de réduire les accidents et les victimes, de modifier les comportements dangereux, et de promouvoir une culture de sécurité. Ce problème, causant de nombreuses pertes humaines, est un enjeu de santé publique national et mondial. Une étude du Ministère des Transports a révélé que les accidents de la route coûtent à l'économie 1,4% du Produit National Brut (PNB). [15].

L'insécurité routière s'est aggravée avec l'augmentation du parc automobile. Les parties impliquées dans la gestion des risques routiers doivent s'engager à redéfinir la gestion de la sécurité routière et à assurer un financement continu via le Fonds National de Prévention et de Sécurité Routières. Une attention particulière doit être accordée aux contrôles, à la maintenance des véhicules, et à la lutte contre la contrefaçon. En 2016, l'Algérie a enregistré 28 856 accidents, causant 3 992 décès et 44 007 blessés. Par rapport à l'année précédente, ces chiffres montrent une diminution de 18,02% pour les accidents, 13,41% pour les décès, et 21,41% pour les blessés. [15].

2.1.4 La rôle de la GN dans la SR

L'action de la GN en matière de SR se concentre sur la prévention routière, le contrôle du réseau routier, la régulation de la circulation et les actions de sensibilisation, ainsi que sur la lutte contre l'insécurité routière. Dans ce cadre, la GN exerce ses missions de police de la route sur environ 85% du réseau routier national. Les structures et les unités de la GN activant dans le domaine de la SR :

- Structures centrales de la GN (Division de Sécurité Routière, l'Institut Nationale de Criminologie et de Criminalistique, Centre d'Information et de Coordination Routière, Centre de Recherche et Développement) ;
- Formations Aériennes de la GN ;
- Escadrons Territoriaux de SR de la GN ;
- Pelotons d'autoroute de la GN ;
- Sections de SR de la GN ;
- Brigades de SR de la GN ;
- Brigades Territoriales de la GN et le reste des unités.

Les missions des unités de SR de la GN sont diverses et essentielles pour assurer la sécurité sur les routes. Voici un aperçu des principales missions de ces unités [12] :

1. Surveillance et Contrôle :

- Surveiller les routes et les voies de communication ;
- Contrôler les usagers de la route ;
- Exercer des missions de police de la circulation routière ;
- Lutter contre la délinquance routière pour protéger les personnes, biens, infrastructures et biens de la collectivité nationale.

2. Prévention :

- Surveiller les voies publiques ouvertes à la circulation ;
- Veiller à la régulation et la fluidité de la circulation routière ;
- Assurer la liberté de circulation et contrôler la circulation routière ;

- Développer des actions d'éducation et sensibilisation sur les dangers de la route ;
- Contrôler la conformité des documents et des véhicules.

3. Information et Assistance :

- Informer sur l'état des voies et équipements routiers ;
- Proposer des mesures pour améliorer la sécurité des usagers ;
- Fournir assistance aux usagers en difficulté ;
- Coordonner les interventions lors d'accidents et rétablir la circulation perturbée.

4. Organisation et Répression :

- Participer à l'organisation de la circulation lors de convois et délégations ;
- Intervenir lors d'accidents en réceptionnant les alertes, protégeant les biens des victimes et constatant les accidents ;
- Constater et réprimer les infractions liées aux règles de la circulation routière et des transports terrestres [12].

Notre travail aura à aider les gendarmes en optimisant le temps et les efforts nécessaires lors des contrôles. Il facilitera la vérification de la conformité des transporteurs de matières dangereuses, tout en assurant la fluidité de la circulation et en minimisant les infractions aux règles de la circulation routière. La SR est un aspect primordial pour garantir la sûreté de tous les usagers de la route. Cependant, lorsqu'il s'agit du TMD, les enjeux sont encore plus importants. Le TMD introduit des risques supplémentaires qui nécessitent une attention. En comprenant les principes généraux de la sécurité routière, nous pouvons mieux appréhender les défis spécifiques posés par le TMD. Ainsi, la section suivante explorera en profondeur les particularités du TMD, en mettant l'accent sur les risques associés et les réglementations en vigueur.

2.2 Transport de matières dangereuses

La SR avec ses exigences ne peut suffire pour traiter également les risques liés au TMD. Ainsi, la prise en considération des mesures spécifiques au TMD est plus que nécessaire. En outre, le TMD exige une attention particulière en raison des risques inhérents à ces substances. Les normes et réglementations entourant le TMD sont strictes et visent à assurer la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement.

2.2.1 Définition

Le TMD fait référence au déplacement et au transfert de substances selon un mode de transport et qui, en raison de leurs propriétés physiques ou chimiques ou des réactions

qu'elles peuvent subir. En effet, ces substances présentent un risque pour les humains, les biens ou l'environnement. Ces derniers, peuvent être inflammables, toxiques, explosifs, corrosifs ou radioactifs. Les risques associés au transport de ces matériaux incluent des effets immédiats tels que le feu, l'explosion ou les déversements, ainsi que des effets secondaires tels que la propagation de vapeurs toxiques ou la pollution de l'air, de l'eau ou du sol. [5]

2.2.2 Classes de matières dangereuses

La classification des matières dangereuses est normalisée au niveau international, facilitant la communication et la gestion des risques à l'échelle mondiale. Elle est divisée en différentes classes, chacune représentant un type de danger spécifique. La compréhension de cette classification est essentielle pour tous les acteurs impliqués dans la gestion et le TMD, y compris les entreprises, les autorités réglementaires, et les services d'urgence. [16]

Les classes de matières dangereuses ainsi que leurs pictogrammes sont mentionnés dans le tableau 4.2.1 . Il existe certaines classes qui sont divisées en sous-classes. Les matières dangereuses sont classées en fonction de leurs propriétés et des types de risques qu'elles posent. Cette classification permet de gérer efficacement le transport, la manipulation et le stockage de ces substances pour minimiser les risques pour la santé, la sécurité et l'environnement.

Les risques associés aux produits dangereux sont influencés par leur gestion à toutes les étapes de leur cycle de vie, comme il apparaît dans l'annexe 4.2.1. Le stockage inadéquat peut conduire à des incidents comme des fuites ou des réactions chimiques indésirables, tandis qu'une manipulation incorrecte augmente le risque d'exposition accidentelle. Cependant, le transport représente souvent le moment le plus critique, où un accident peut avoir des conséquences graves sur l'environnement, la sécurité publique et la santé. Que ce soit par voie routière, ferroviaire, maritime ou par canalisation, la gestion rigoureuse des risques pendant le transport est essentiel pour prévenir les incidents et minimiser leurs impacts potentiels.

2.2.3 Différents types de moyens de transport et leurs impacts

Les moyens de transport utilisés pour les matières dangereuses doivent répondre à des normes élevées et à des exigences spécifiques, en raison des risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement. Ces moyens varient en fonction du type de matière transportée et des distances à couvrir, chacun offrant des avantages et des défis uniques. Dans la prochaine section nous allons parler des moyens de TMD en accentuant sur leur

risque et impact environnemental.

2.2.3.1 Transport aérien

- - **Risques de sécurité** : Bien que le transport aérien soit généralement considéré comme sûr, il existe des risques inhérents, tels que les accidents d'avion, les défaillances techniques et les incidents météorologiques. Les conséquences de ces événements peuvent être catastrophiques en raison de la vitesse et de l'altitude impliquées.
- **Impact environnemental** : Le transport aérien est l'un des modes de transport les plus énergivores et émetteurs de CO₂. Les émissions de gaz à effet de serre des avions contribuent de manière significative au changement climatique. De plus, le bruit des avions peut avoir un impact négatif sur les communautés locales près des aéroports.
- **Coûts élevés** : Le transport aérien peut être coûteux, en raison des coûts de carburant, des taxes d'aéroport et des frais de maintenance des avions. Cela limite souvent son utilisation aux marchandises de grande valeur ou nécessitant une livraison rapide. [17]

2.2.3.2 Transport maritime

- **Risques de sécurité maritime** : Le transport maritime est confronté à des risques tels que les naufrages, les collisions, les tempêtes et les actes de piraterie. Les accidents impliquant des navires peuvent avoir des conséquences environnementales graves, comme les déversements d'hydrocarbures.
- **Pollution marine** : Les navires peuvent être une source majeure de pollution marine en raison des déchets produits et des déversements accidentels de produits chimiques ou de carburant. Les pratiques de ballastage peuvent également introduire des espèces invasives dans les écosystèmes marins.
- **Dépendance aux voies navigables** : Le transport fluvial et maritime est limité par la disponibilité et la navigabilité des voies navigables. Les problèmes tels que les écluses endommagées, les bassins peu profonds ou la présence de glace peuvent entraver la circulation des navires. [17]

2.2.3.3 Transport par voie ferroviaire

- **Risques** : incluent le déraillement, le nez à nez, le rattrapage, la prise en écharpe, et la collision avec un obstacle. Ces risques peuvent être maîtrisés par l'application

de règles de conception, de maintenance, de sécurité, un suivi opérationnel fiable, et une formation adéquate du personnel.

- **Impact environnemental** le transport ferroviaire est considéré comme ayant un faible impact environnemental par rapport à d'autres modes de transport. Il émet environ 75% d'émissions de CO₂ en moins que le fret routier, ce qui en fait une option plus écologique. De plus, le transport ferroviaire offre une solution économique pour les longs trajets, avec moins de risques de retards dus à des horaires fixes et des trajets en train réguliers. [17] Cependant il supporte moins d'un tiers du trafic, représentant 17% du tonnage total. [1]

2.2.3.4 Transport par canalisation

- **Risques** : les fuites accidentelles ou les ruptures de canalisations peuvent entraîner des déversements de substances dangereuses, causant des dommages environnementaux significatifs et des risques pour la santé publique.
- **Impact** : le transport par canalisation est un moyen très efficace de déplacer de grandes quantités de liquides et de gaz sur grandes distances, réduisant les coûts logistiques par rapport au transport routier ou ferroviaire, surtout sur de longues distances. [17]

2.2.3.5 Transport par voie fluviale

- **Dépendance aux conditions climatiques** : les variations saisonnières des niveaux d'eau peuvent affecter la navigabilité des voies fluviales, entraînant des interruptions ou des retards dans le transport des marchandises.
- **Investissements en infrastructure** : la modernisation et l'entretien des infrastructures fluviales nécessitent des investissements considérables, et l'insuffisance de ces infrastructures peut limiter l'efficacité et la capacité du transport fluvial. [17]

2.2.3.6 Transport routier [17]

Le transport routier est le moyen de transport le plus utilisé pour le transport de matières dangereuses. Il offre une flexibilité en termes d'horaires, de volumes, et de traçabilité des marchandises. Les camions sont largement utilisés pour le transport routier, offrant une solution efficace pour des envois de différentes tailles. Dans ce qui suit, nous allons exposer les avantages et les inconvénients du transport routier.

- **Inconvénients du transport routier** :

Le transport routier de matières dangereuses présente divers avantages en termes de flexibilité, de contrôle et de rapidité. Cependant, il comporte également plusieurs risques et

défis qui doivent être soigneusement gérés pour assurer la sécurité et minimiser l'impact environnemental. Avant d'explorer ces aspects positifs, il est essentiel de considérer les principaux risques associés à ce mode de transport. Le tableau 2.3 présente une synthèse des principaux risques liés à la sécurité, à l'environnement et à la congestion routière.

Tableau 2.3: Inconvénients de transport routier

Inconvénients	Description
Risques liés à la sécurité	Le transport routier est confronté à des risques de sécurité routière, y compris les accidents de la circulation, les collisions et les défaillances mécaniques. Les conditions météorologiques, l'état des routes et le comportement des conducteurs peuvent influencer ces risques.
Impact environnemental	Les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique sont des préoccupations majeures associées au transport routier, en particulier avec les véhicules fonctionnant aux combustibles fossiles. De plus, la construction et l'entretien des routes peuvent avoir un impact écologique significatif.
Congestion routière	Les embouteillages et la congestion routière peuvent entraîner des retards, des coûts supplémentaires et une inefficacité dans la chaîne d'approvisionnement, en particulier dans les zones urbaines densément peuplées.

— **Les avantages du transport routier :**

Le TMD par voie routière présente des caractéristiques spécifiques qui en font un choix privilégié dans de nombreuses situations. Ce mode de transport offre une combinaison unique de flexibilité, de contrôle et de rapidité, tout en permettant une gestion efficace des risques associés. Avant d'explorer en détail les avantages du transport routier pour les matières dangereuses, il est essentiel de comprendre les principaux aspects qui le distinguent des autres modes de transport. Le tableau 2.4 présente une synthèse des éléments clés qui font du transport routier une option souvent préférée pour le déplacement de substances dangereuses.

Le transport routier est largement utilisé pour le TMD grâce à sa flexibilité et son accessibilité, ce qui en fait un pilier de la chaîne logistique. Il supporte un peu moins de deux tiers du trafic en tonnes kilomètres, ce qui représente 80% du tonnage total [18]. Cependant, il comporte des risques spécifiques nécessitant une analyse approfondie. Les accidents de la circulation, les collisions et les défaillances mécaniques sont des dangers majeurs pour la sécurité, aggravés par les conditions météorologiques, l'état des routes et le comportement des conducteurs. L'impact environnemental, notamment les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique, ainsi que la construction et l'entretien des routes, est également préoccupant. Analyser ces risques permet de développer des

Tableau 2.4: Avantages du transport routier

Avantages	Description
Flexibilité et accessibilité	Le réseau routier est souvent plus étendu et accessible que les voies navigables ou les infrastructures aéroportuaires, offrant une plus grande flexibilité dans les itinéraires et destinations.
Contrôle direct	Le transport routier permet un contrôle direct sur les marchandises et les véhicules, avec des procédures de sécurité spécifiques et une surveillance étroite des opérations.
Temps de transit rapide	Le transport routier peut offrir des délais de transit plus courts que le transport maritime ou aérien, réduisant ainsi la fenêtre d'exposition aux risques.
Taille des expéditions	Bien adapté au transport de charges de taille moyenne à petite, permettant un meilleur contrôle et une sécurité accrue par rapport aux cargaisons massives.
Diversification des itinéraires	La possibilité de trouver des itinéraires alternatifs en cas d'incident ou de perturbation, réduisant les risques liés à la congestion ou aux conditions météorologiques défavorables.
Adaptabilité aux technologies de sécurité	Intégration facile des avancées technologiques comme les systèmes de suivi GPS, les caméras de surveillance et les dispositifs d'assistance à la conduite pour renforcer la sécurité.

stratégies de gestion efficaces, améliorant ainsi la sécurité et l'efficacité du TMD. C'est pour cela que notre système de TMD étudié est le transport routier.

2.2.4 Différents types de moyens de transport routier

Il existe différents moyens de transport routier pour les marchandises dangereuses, chacun présentant ses propres avantages et défis. Dans cette partie, nous allons explorer ces différents types de camions.

2.2.4.1 Camion citernes

Les citernes sont des conteneurs pressurisés conçus pour le transport de liquides et de gaz dangereux, comme indiqué dans la Figure 2.1. Elles sont fabriquées à partir de matériaux résistants tels que l'acier, l'aluminium ou l'acier inoxydable et sont dotées de systèmes de confinement et de sécurité renforcés.

- Citernes à pression : Pour les gaz liquéfiés ou comprimés.
- Citernes à vide : Pour les liquides dangereux volatiles.
- Citernes isothermes : Pour les produits chimiques nécessitant un maintien de température.

Les camions-citernes compartimentés sont des véhicules spécialement conçus pour transporter différentes matières dangereuses ou non dangereuses en une seule fois, grâce à des compartiments isolés à l'intérieur de la citerne. La citerne est divisée en plusieurs sections, chaque compartiment étant étanche et isolé des autres.



Figure 2.1: Camion-citerne

2.2.4.2 Camions bennes

Les camions de vrac sont des véhicules spécialement conçus pour transporter des marchandises non emballées en grandes quantités, comme indiqué dans la Figure 2.2. Ils sont utilisés dans diverses industries pour transporter des matériaux tels que les grains, les minerais, les produits chimiques en poudre, et d'autres substances similaires.

Le camion de vrac est généralement équipé d'une benne ou d'une citerne conçue pour contenir des matériaux en vrac. La benne ou la citerne est souvent fabriquée en acier, en aluminium ou en matériaux composites pour assurer la robustesse et la durabilité.



Figure 2.2: Camion de vrac

2.2.4.3 Véhicules frigorifiques

Ils sont conçus pour le transport de matières dangereuses thermosensibles. Les véhicules frigorifiques, comme indiqué dans la Figure 2.3, sont utilisés pour le transport de matières dangereuses nécessitant une température contrôlée, comme des produits pharmaceutiques ou des produits chimiques réactifs. Ils sont équipés de systèmes de réfrigération ou de chauffage performants pour maintenir une température constante pendant le transport.



Figure 2.3: Véhicule frigorifique

2.2.4.4 Les camions remorques

Les camions remorques, également appelés semi-remorques, sont des véhicules articulés composés d'un tracteur (camion) et d'une remorque détachable, comme indiqué dans la Figure 2.4. Ils sont largement utilisés dans le transport de marchandises, y compris les matières dangereuses.

Le camion est relié à la remorque via une plaque tournante appelée sellette d'attelage, permettant une articulation et une maniabilité améliorées. La remorque peut être adaptée pour transporter une grande variété de charges, de marchandises générales à des charges spécifiques comme les matières dangereuses.



Figure 2.4: Camion remorque

2.2.5 Réglementation relative au TMD

La réglementation concernant le Transport de Matières Dangereuses (TMD) est essentielle pour assurer la sécurité lors du déplacement de substances potentiellement dangereuses à travers différents modes de transport. Ces réglementations visent à protéger la santé publique, l'environnement et les infrastructures en établissant des normes strictes pour la classification, l'emballage, l'étiquetage, et la documentation des matières dangereuses.

Chaque mode de transport a une réglementation spécifique qui lui est propre pour le transport de matières dangereuses comme il apparaît dans le tableau 2.5 :

Tableau 2.5: Avantages du transport routier de TMD [1]

Mode de transport	Règlements spécifiques
Route	ADR
Rail	RID
Fluvial	IMDG

Puisque on s'intéresse au transport routier, puisqu'il supporte un peu moins des deux tiers du trafic en tonnes kilomètres (80% du tonnage total) [1], nous parlerons dans la section suivante des règlements internationaux spécifiques au transport routier

2.2.5.1 Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par Route

Le règlement ADR (Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route) vise à prévenir les risques professionnels et environnementaux associés au transport de marchandises dangereuses par voie routière. Il considère comme dangereuses toutes les matières ou marchandises pouvant porter atteinte à l'intégrité physique d'une personne ou à l'environnement lors de leur transport. [5] Pour se conformer à la réglementation ADR, il est essentiel de respecter des normes strictes et précises, telles que :

- Le conditionnement adéquat des produits en fonction de leur dangerosité ;
- L'identification claire des produits transportés ;
- La signalisation et l'étiquetage des conteneurs ;
- L'équipement spécifique des véhicules.

Ne pas respecter ces normes peut entraîner des amendes importantes. De plus, l'ADR prévoit des exemptions pour certaines opérations de transport, mais il est crucial de se conformer aux règles pour assurer la sécurité des intervenants de la chaîne de transport et minimiser les risques liés au transport de matières dangereuses. [16]

Dans les prochaines parties, nous aborderons la méthode pour identifier une marchandise dangereuse, la sélection de l'emballage approprié, les exigences en matière d'étiquetage, les documents requis pour le TMD, les procédures spécifiques de chargement et de déchargement des matières dangereuses, les équipements nécessaires pour les véhicules utilisés dans le TMD, ainsi que les obligations des différents intervenants de la chaîne du TMD.

— **Identifier une marchandise dangereuse :**

Le numéro ONU attribué à chaque marchandise dangereuse au transport est complété par des éléments spécifiques qui constituent sa carte d'identité comme affiché dans le tableau 2.6.

Tableau 2.6: Information importantes des marchandises dangereuse

Aspect	Description
Classe de Danger et Risques Subsidiaires	Indique la catégorie de danger et les risques supplémentaires éventuels associés à la marchandise.
Code de Classification	Correspond à une catégorisation des produits au sein de chaque classe de danger en fonction de leurs propriétés physiques et chimiques.
Groupe d'Emballage (GE)	Définit le niveau de dangerosité de la marchandise pour le transport : GE I pour les marchandises très dangereuses, GE II pour les moyennement dangereuses, et GE III pour les faiblement dangereuses.
Dispositions Spéciales	Complètent les règles générales d'application de l'ADR pour la marchandise spécifique.
Code de Restriction en Tunnel	Indique les autorisations de circulation de la marchandise dans les tunnels, définissant les conditions spécifiques pour le transport en toute sécurité.

Ces informations sont des informations utiles devant être indiquées dans la fiche de données de sécurité du produit (FDS).

— - **Choix de l'emballage :**

Les marchandises dangereuses doivent être conditionnées dans un emballage approprié, en respectant les instructions d'emballage pour le transport routier. Ces instructions incluent des détails sur les différents types de conditionnement tels que les fûts, sacs, caisses, grands récipients pour vrac, et grands emballages. Un marquage spécifique sur l'emballage homologué permet d'identifier sa conformité aux normes de l'ADR pour le transport de marchandises dangereuses.

Le procès-verbal d'épreuve de l'emballage fournit des informations cruciales sur la compatibilité entre l'emballage et la marchandise, ainsi que les instructions de fermeture

du récipient. En suivant ces directives, on évite les risques de réaction chimique entre le contenant et le contenu, de débordement ou d'éclatement dus à un mauvais taux de remplissage, d'émission de vapeurs ou d'éclatement en cas d'utilisation incorrecte des événements, et d'écrasement des colis lors de la manutention.

L'ADR prévoit trois catégories d'emballages, classées selon le niveau de danger des substances transportées :

1. **Groupe I** : comprend les emballages très résistants destinés aux matières présentant un danger élevé, telles que les substances explosives, toxiques ou très corrosives. Ces emballages offrent une protection maximale contre les risques de fuite, de rupture ou d'explosion.
2. **Groupe II** : correspond aux emballages résistants, adaptés aux matières présentant un danger moyen, comme les solvants ou les produits chimiques corrosifs de moindre dangerosité. Ces emballages assurent une protection modérée et sont conçus pour les substances moins dangereuses que celles du Groupe I.
3. **Groupe III** : englobe les emballages standards, utilisés pour les matières à faible danger, telles que les peintures ou les produits chimiques ménagers. Bien qu'ils offrent une protection adéquate pour prévenir les fuites et les dommages, ils sont moins robustes que les emballages des Groupes I et II.

Tous les emballages doivent être correctement étiquetés et marqués pour indiquer les dangers spécifiques des matières contenues, incluant les codes ONU et les pictogrammes de danger. Cette classification et ces exigences d'emballage sont cruciales pour garantir la sécurité des personnes manipulant les marchandises dangereuses, assurer la conformité aux réglementations et minimiser les risques de pollution en cas d'accident.

— **Étiquetage** :

Une signalisation spécifique s'applique à tous les moyens de transport, qu'il s'agisse de véhicules routiers, de wagons SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires) ou de conteneurs. En fonction des quantités de matières dangereuses transportées, les véhicules doivent être signalés de manière appropriée pour assurer la sécurité et la gestion des risques.

- Signalisation Générale TMD :

Les moyens de TMD doivent être signalés par des plaques orange réfléchissantes, selon deux configurations possibles :

Les numéros d'identification ne sont utilisés que dans les cas de transports de matières dangereuses en citerne ou en vrac solide. Un chiffre doublé indique une intensité accrue du danger comme indiqué dans la Figure 2.5.

Tableau 2.7: Indications sur la signalisation des moyens de transport de TMD

Type de Plaque	Dimensions	Emplacement	Disposition des Codes
Plaques orange réfléchissantes Simples	40 cm par 30 cm	Placées à l'avant et à l'arrière, et sur les côtés du moyen de transport.	S/O
Plaques orange réfléchissantes avec Codes	40 cm par 30 cm	Placées à l'avant et à l'arrière, et sur les côtés du moyen de transport.	Numéro d'Identification du Danger (Code Danger) dans la moitié supérieure du panneau ainsi que le numéro d'Identification de la Matière (Code ONU) dans la moitié inférieure du panneau.
Pictogramme des principaux dangers	Sous forme de losange de 25 cm de côté	Placées à l'avant et à l'arrière si une seule matière est transportée, et sur les côtés du moyen de transport.	S/O

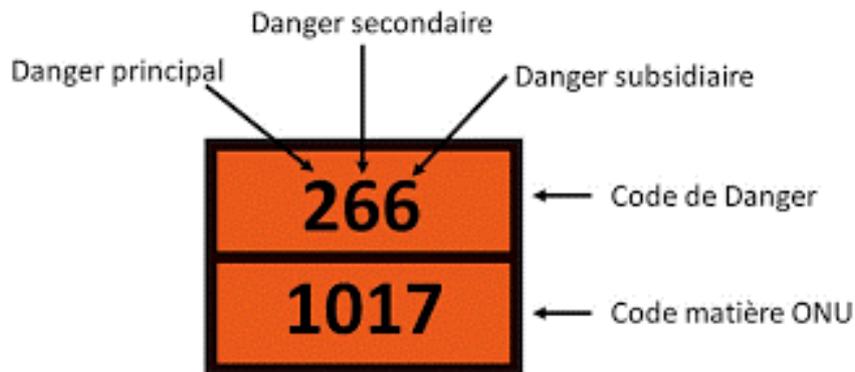


Figure 2.5: Plaque orange réfléchissante avec codes

Les codes de danger, souvent appelés codes Kemler, sont des chiffres utilisés pour identifier le type de danger présenté par les matières dangereuses transportées comme affiché dans le tableau 2.8.

Quand le code de danger commence par un «X» cela signifie que la matière est pyrophorique ce qui veut dire qu'elle réagit dangereusement avec l'eau comme il apparaît dans la Figure 2.6. Doubler un chiffre ou le tripler signifie que le danger est subsidiaire, comme il apparaît dans la Figure 2.6 et la Figure 2.7.

Pour le transport d'une seule matière dangereuse, les véhicules doivent obligatoirement



Figure 2.6: Plaque orange réfléchissante avec codes



Figure 2.7: Signalisation d'un liquide très inflammable

être équipés d'une plaque orange rectangulaire visible à l'avant et à l'arrière. Cette plaque orange doit afficher clairement le numéro ONU et le code Kemler spécifiques à la matière transportée. En complément, un autocollant d'identification portant le numéro ONU de la matière doit être apposé sur le conteneur ou la citerne transportant cette substance dangereuse. [5] Cela apparaît dans la Figure 2.8.

Pour le transport de deux matières dangereuses, chaque matière doit être signalée de manière distincte par une plaque orange placée à l'avant et à l'arrière du véhicule. Chaque plaque orange doit clairement afficher le numéro ONU et le code Kemler correspondant à la matière dangereuse transportée. [5] Cela apparaît dans Figure 2.9.

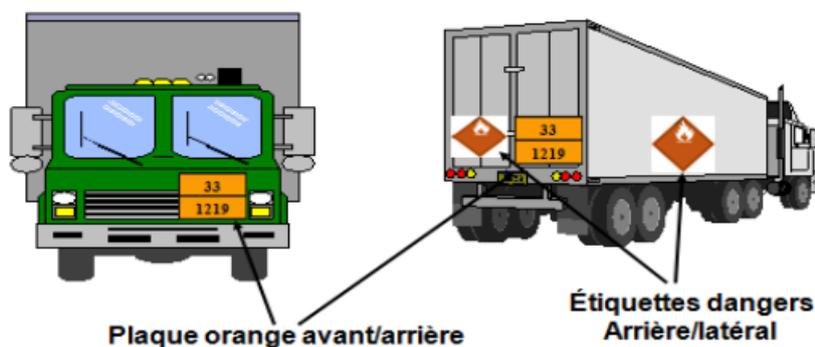


Figure 2.8: Emplacement des signalisations d'un camion transportant une seule matière dangereuse [1]

Les codes de danger, souvent appelés codes Kemler, sont des chiffres utilisés pour identifier le type de danger présenté par les matières dangereuses transportées.

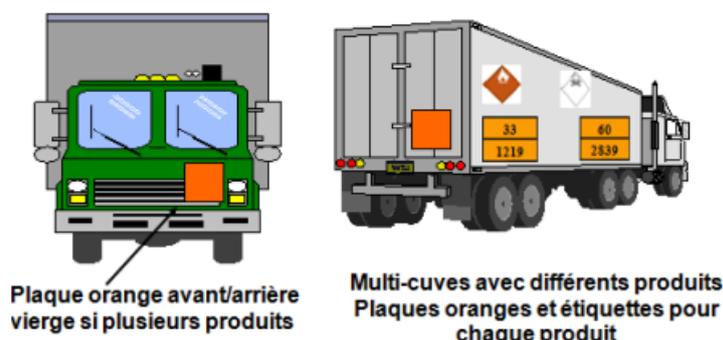


Figure 2.9: Emplacement de signalisations d'un camion transportant deux matières dangereuses [1]

Tableau 2.8: Affectation chiffres du code de danger [5]

	1er chiffre danger principal	2e et 3e chiffres dangers secondaires
0		Absence de danger secondaire
1	Matière explosive	
2	Gaz comprimé	Risque d'émanation de gaz
3	Liquide inflammable	Inflammable
4	Solide inflammable	
5	Matière comburante ou peroxyde	Comburant
6	Matière toxique	Toxique
7	Matière radioactive	
8	Matière corrosive	Corrosif
9	Danger de réaction violente ou spontanée	Danger de réaction violente ou spontanée
X	Danger de réaction violente au contact de l'eau	

- Une plaque-étiquette de danger : Si la quantité de matières dangereuses transportées nécessite l'affichage des codes matière et danger, le transporteur doit également apposer les plaques-étiquettes :

1. Pictogrammes des Principaux Dangers : Représentant les dangers associés à la matière transportée.
2. Format : Plaques-étiquettes sous forme de losanges, souvent de 25 cm de côté, contenant le symbole du danger.

2.2.5.2 Les documents qui accompagnent le transport de matières dangereuses :

— Documents réglementés par l'ADR :

Le document de transport, également connu sous le nom de "Déclaration de matières dangereuses", est essentiel pour tout transport de marchandises réglementé par

l'ADR. Ce document contient des mentions obligatoires qui permettent d'identifier qualitativement et quantitativement le chargement. Les principales mentions obligatoires sur ce document incluent le numéro ONU précédé des lettres "UN", la désignation officielle de transport, les numéros de modèle d'étiquette, le groupe d'emballage, le nombre et la description des colis, la quantité totale de chaque marchandise dangereuse, les coordonnées de l'expéditeur et du destinataire, toute mention d'accord particulier, et le code de restriction en tunnels.

Les consignes écrites pour l'équipage du véhicule : ces consignes doivent être remises par le transporteur à l'équipage du véhicule avant le départ, dans une (des) langue(s) que chaque membre puisse lire et comprendre. Attention, le transporteur doit s'assurer que chaque membre de l'équipage du véhicule concerné comprend correctement les consignes et est capable de les appliquer. Ces consignes doivent être disposées à l'intérieur de la cabine et à portée des mains. Les consignes écrites doivent correspondre au modèle de quatre pages figurant dans l'ADR.

Parmi les autres documents obligatoires à bord, on peut noter le certificat de formation du conducteur, ainsi qu'un document d'identification avec photographie pour chaque membre. [1]

2.2.5.3 Spécificités du chargement, déchargement et manutention des matières dangereuses :

Le protocole de sécurité établi entre l'entreprise d'accueil et le transporteur pour toutes les opérations de chargement et de déchargement doit être cohérent avec les règles fixées par l'ADR. La connaissance et le respect de ces règles sont essentiels pour réduire les risques d'accidents sur site et pendant tout le transport. Il est strictement interdit aux membres d'équipage d'ouvrir les colis ou de procéder au nettoyage du véhicule s'ils constatent une fuite. D'autres précautions doivent également être respectées, telles que la manipulation des colis en suivant les flèches d'orientation et la disposition des colis de manière à rendre les étiquettes de danger visibles. [16]

En plus des exigences définies ci-dessus, des précautions sont à prendre pour la manutention des marchandises dangereuses, concernant plus particulièrement ce qui apparaît dans le Tableau 2.9

— **Les équipements pour un véhicule de TMD**

Pour un véhicule transportant des matières dangereuses (TMD), plusieurs équipements spécifiques sont nécessaires pour assurer la sécurité tout au long du transport.

— **Équipements requis à bord du véhicule :**

Les véhicules transportant des substances potentiellement dangereuses doivent être

Tableau 2.9: Précautions pour la manutention des marchandises dangereuses

Précautions pour la manutention des marchandises dangereuses	Description
Interdictions de chargement en commun	Seules des marchandises compatibles peuvent être chargées dans un même véhicule, vérifiées en fonction de l'étiquetage de chaque colis.
Manutention et arrimage	Les colis contenant des marchandises dangereuses doivent être correctement arrimés pour assurer leur sécurité. Les colis ne doivent être gerbés que s'ils sont conçus pour cela. Une attention particulière doit être portée aux moyens d'arrimage pour éviter les dommages.
Interdiction de fumer	Il est strictement interdit de fumer à proximité et à l'intérieur des véhicules pendant la manipulation des colis de matières dangereuses.
Véhicule	Il est interdit de charger ou décharger des marchandises dangereuses sur la voie publique, sauf exceptions spécifiées. Le moteur du véhicule doit être à l'arrêt sauf nécessité.

équipés d'une série d'équipements spécifiques, tant pour les membres d'équipage que pour les véhicules eux-mêmes, afin de répondre aux exigences réglementaires et de minimiser les risques. Le Tableau 2.10 résume les équipements requis à bord du véhicule.

Tableau 2.10: Équipements requis à bord du véhicule

Catégorie	Équipements Divers	Spécificités
Par membre d'équipage	<ul style="list-style-type: none"> - Gilet fluorescent - Éclairage portatif - Paire de gants - Protection des yeux 	- Masque d'évacuation d'urgence (pour matières toxiques n2.3 et n6.1)
Par véhicule	Deux signaux d'avertissement Une cale de roue Liquide de rinçage pour les yeux (sauf classes 1 et 2)	S/O

— **Exigences concernant les extincteurs :**

La sécurité lors du transport de matières dangereuses est une priorité absolue, nécessitant des équipements d'extinction adéquats pour prévenir et combattre tout incident potentiel. Le tableau 2.11 présente les exigences spécifiques en matière d'extincteurs à

poudre ABC selon la masse maximale admissible des unités de transport. Ces directives visent à assurer une réponse efficace aux situations d'urgence, tout en soulignant l'importance de la conformité et de la maintenance régulière des équipements pour garantir leur fonctionnalité optimale. Le tableau 2.11 résume les exigences concernant les extincteurs.

Tableau 2.11: Exigences sur les extincteurs

Unité de Transport	Extincteurs à Poudre ABC	Extincteur Supplémentaire
> 7.5 tonnes	Capacité totale de 12 kg minimum, incluant au moins un extincteur de 6 kg.	Au moins un extincteur de 2 kg doit être disponible pour les feux de moteur ou de cabine.
3,5 - 7,5 tonnes	Capacité totale de 8 kg minimum, incluant au moins un extincteur de 6 kg.	S/O
< 3,5 tonnes	Capacité totale de 4 kg minimum.	S/O

— **Les obligations pour les intervenants de la chaîne du TMD :**

La chaîne logistique implique de nombreux intervenants tout au long du processus d'approvisionnement, de production, de stockage et de distribution des produits.

La chaîne logistique du TMD implique une série d'obligations strictes pour chaque intervenant. Depuis les expéditeurs jusqu'aux transporteurs et aux destinataires, chaque acteur joue un rôle essentiel dans la sécurité, la conformité réglementaire et la protection de l'environnement lors du transport de substances potentiellement dangereuses. Vous trouverez dans (annexe B) un tableau résumant les intervenants et leurs missions respectives.

2.2.5.4 Cadre réglementaire Algérien

Le transport de matières dangereuses en Algérie est encadré par un ensemble de lois et de règlements visant à assurer la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement. Ce cadre réglementaire repose sur des principes de précaution, de prévention et de protection, et s'inspire des normes internationales en la matière.

D'après l'arrêté interministériel du 25 novembre 2015 les matières dangereuses sont classées en différentes catégories selon leur nature et les risques qu'elles posent. Ces catégories incluent les explosifs, les gaz, les liquides inflammables, les solides inflammables, les substances oxydantes, les substances toxiques, les substances radioactives, les substances corrosives et diverses autres matières dangereuses. Chaque catégorie nécessite des précautions spécifiques en matière d'emballage et d'étiquetage, conformément aux normes internationales. Les emballages doivent être résistants et appropriés, et chaque contenant doit être

clairement étiqueté avec des symboles standardisés indiquant la nature dangereuse du contenu et les précautions à prendre. [19]

La formation et la certification des personnels et des entreprises impliqués dans le transport de matières dangereuses sont essentielles et cela selon l'arrêté du 11 avril 2021, Les personnels doivent recevoir une formation adéquate sur les risques et les procédures de sécurité, tandis que les entreprises et les véhicules doivent être certifiés et enregistrés auprès des autorités compétentes pour garantir leur conformité aux normes de sécurité. [19] Le transport et le stockage des matières dangereuses doivent également respecter des normes strictes. Les véhicules utilisés doivent être spécialement équipés et entretenus pour assurer la sécurité, et des itinéraires spécifiques peuvent être imposés pour éviter les zones sensibles. Le stockage doit se faire dans des installations adaptées, respectant les normes de sécurité et les distances minimales par rapport aux zones habitées pour minimiser les risques. La réglementation inclut également des mesures spécifiques et impose aux entreprises de se conformer aux règlements nationaux et internationaux, tels que le Règlement ADR (Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route). Documents réglementés par les autorités algériennes : [23] Brevet professionnel de conducteurs de matières dangereuses. Certificat de bonne santé. Registre de commerce de transporteur. Attestation de travail Document de transport pour marchandises dangereuses. Assurance de la citerne. Attestation de remplissage.

La SR, en particulier dans le contexte du TMD, représente un enjeu important pour la protection des vies humaines et de l'environnement. Les accidents impliquant des véhicules transportant des substances dangereuses, tels que ceux survenus récemment, mettent en lumière les nombreuses vulnérabilités existantes. Les facteurs humains, techniques, environnementaux et organisationnels jouent tous un rôle dans la survenue de ces incidents, soulignant la nécessité d'une approche holistique pour la prévention et la gestion des risques.

Le rôle de la GN est primordial dans ce cadre, non seulement pour assurer le respect de la réglementation en vigueur, mais aussi pour intervenir rapidement et efficacement en cas d'accident. La mise en place de contrôles rigoureux, l'application stricte des normes de sécurité, et la formation continue des conducteurs sont des éléments essentiels pour réduire les risques associés au TMD. En outre, une coordination étroite entre les différents acteurs, y compris les entreprises de transport de MD, les autorités locales et les services de de la protection civile, est indispensable pour sécuriser le TMD.

L'amélioration continue des pratiques de sécurité routière et la vigilance permanente de la gendarmerie sont des piliers essentiels pour garantir la SR, particulièrement lorsque des matières dangereuses sont en transit.

— **Documents réglementés par les autorités algériennes :**

1. Brevet professionnel de conducteurs de matières dangereuses.
2. Certificat de bonne santé.
3. Registre de commerce de transporteur.
4. Attestation de travail
5. Document de transport pour marchandises dangereuses.
6. Assurance de la citerne. Attestation de remplissage.

La SR, en particulier dans le contexte du TMD, représente un enjeu important pour la protection des vies humaines et de l'environnement. Les accidents impliquant des véhicules transportant des substances dangereuses, tels que ceux survenus récemment, mettent en lumière les nombreuses vulnérabilités existantes. Les facteurs humains, techniques, environnementaux et organisationnels jouent tous un rôle dans la survenue de ces incidents, soulignant la nécessité d'une approche holistique pour la prévention et la gestion des risques.

Le rôle de la GN est primordial dans ce cadre, non seulement pour assurer le respect de la réglementation en vigueur, mais aussi pour intervenir rapidement et efficacement en cas d'accident. La mise en place de contrôles rigoureux, l'application stricte des normes de sécurité, et la formation continue des conducteurs sont des éléments essentiels pour réduire les risques associés au TMD. En outre, une coordination étroite entre les différents acteurs, y compris les entreprises de transport de MD, les autorités locales et les services de de la protection civile, est indispensable pour sécuriser le TMD.

Ainsi, l'amélioration continue des pratiques de sécurité routière et la vigilance permanente de la gendarmerie sont des piliers essentiels pour garantir la SR, particulièrement lorsque des matières dangereuses sont en transit.

2.3 Notions de sécurité

Les risques majeurs ont été identifiés dès les débuts de l'ère industrielle, mais leur gestion a souvent été négligée en raison de l'accent mis sur les avantages que l'industrie apporte à la société. Cependant, avec les accidents rencontrés, la prise de conscience a été stimulée et le management des risques est apparu comme une réponse pour réduire la probabilité et l'impact de ces risques. Cependant, il existe parfois une confusion entre les termes "management des risques" et "maîtrise des risques", qui sont utilisés de manière interchangeable pour désigner la même étude. De même, les concepts d'évaluation, d'estimation et d'appréciation des risques sont souvent assimilés.

Cette section vise à clarifier les concepts de gestion des risques en définissant les termes clés couramment utilisés dans la littérature, notamment la notion de risque et le concept

de la prévention et la protection. Nous aborderons également le processus de gestion des risques, en citant certaines références réglementaires pertinentes et en présentant la méthodologie de gestion des risques industriels ainsi que les méthodes de gestion de risques que nous utiliserons pour notre étude.

2.3.1 Notion du risque

La définition du risque selon la norme internationale ISO/CEI 73 est : la combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences, ou bien la combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité, selon ISO/CEI 51. [20]

- **Risque majeur :**

Toute menace probable pour l'homme et son environnement pouvant survenir du fait d'aléas naturels exceptionnels et/ou du fait d'activités humaines. [21]

- **Prévention des risques majeurs :**

La définition et la mise en œuvre de procédures et de règles visant à limiter la vulnérabilité des hommes et des biens aux aléas naturels et technologiques. [21]

- **Accident majeur :**

Un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation, entraînant pour la santé humaine ou pour l'environnement, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses. [22]

- **Scénarios d'accidents majeurs :**

L'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques) définit le scénario d'accidents majeurs comme suit :

Séquence d'événements qui, s'ils ne sont pas maîtrisés, s'enchaînent ou se combinent jusqu'à l'apparition de dommages majeurs au niveau des cibles de l'environnement. [22]

Le scénario d'accident majeur peut être défini comme l'enchaînement d'événements indésirables (Ei), aboutissant à un événement redouté central (ERC) qui conduit à un ou des événements majeurs (EM). [23]

- **Événements indésirables (Ei) :** qui représentent des événements ne devant pas se produire ou avec une probabilité très faible. Cela peut être une agression, une défaillance, une panne d'équipement ou une dérive de paramètre. [23]

- **Événements redoutés (ER) :** qui sont des événements qui entraînent la perte d'une ou de plusieurs fonctions essentielles d'un système et causent des dommages importants à ce système ou à son environnement, tout en ne présentant qu'un risque négligeable de mort ou de blessure. La perte de confinement de produit, la perte d'intégrité de l'installation

ou la rupture d'équipement en sont des exemples. [23]

- **Événements initiateurs (EI)** : qui sont les causes directes d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.

- **Événements majeurs (EM)** : qui sont des événements critiques aux conséquences finales lourdes. [23]

2.4 Gestion de risques

Le risque est une réalité omniprésente dans nos sociétés, que ce soit dans le domaine des affaires, de l'environnement ou de la vie quotidienne. Il découle de la confrontation entre des aléas, qu'ils soient d'origine naturelle ou technologique, et des enjeux humains, économiques ou environnementaux présents dans une zone géographique donnée. Face à ces risques, la gestion des risques s'impose comme une démarche indispensable pour les prévenir, les analyser et les réduire à un niveau acceptable.

2.4.1 Définition de la gestion des risques

La gestion des risques est un ensemble d'actions coordonnées visant à diriger et piloter un état, une entreprise ou toute autre organisation afin de réduire le risque à un niveau jugé acceptable. Elle s'inscrit dans un domaine scientifique pluridisciplinaire, intégrant des expertises variées pour s'adapter à la nature diverse des risques (technologique, naturel, professionnel, domestique, routier ... 1001[24]).

2.4.2 Processus de gestion du risque

La gestion des risques selon la norme ISO 31000 repose sur un processus structuré en plusieurs étapes clés. Ce cadre méthodologique vise à aider les organisations à identifier, évaluer, traiter et surveiller les risques de manière systématique et proactive. Chaque étape est conçue pour renforcer la capacité d'une organisation à anticiper les menaces potentielles, à optimiser ses décisions stratégiques et à améliorer sa résilience face à l'incertitude. [25]

- **Identification des risques** : Cette étape consiste à identifier les sources de danger et les situations associées pouvant causer des dommages aux personnes, à l'environnement ou aux biens.

- **Analyse des risques** : L'analyse des risques vise à estimer les conséquences potentielles des phénomènes dangereux et à déterminer leur probabilité d'occurrence.

- **Évaluation des risques** : L'évaluation des risques consiste à comparer le niveau de risque à des seuils de décision déjà définis dans l'étape d'établissement du contexte.

- **Traitement des risques** : Le traitement des risques désigne l'ensemble des actions qui visent à réduire la probabilité (prévention) ou la gravité (protection) des dommages associés à un risque particulier.

- **Communication et concertation** : La communication et la concertation sont des éléments essentiels de la gestion des risques. Elles permettent d'impliquer toutes les parties prenantes et de garantir une prise en compte efficace des enjeux.

- **Établissement du contexte** : L'établissement du contexte consiste à définir les objectifs, les exigences et les contraintes de l'organisation en matière de gestion des risques.

- **Surveillance et revue des risques** : La surveillance et la revue des risques permettent de s'assurer que les mesures mises en place sont efficaces et de les adapter si nécessaire.

La gestion des risques est une démarche proactive et essentielle pour assurer la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement. Elle permet de réduire les impacts négatifs des aléas et de contribuer à un développement durable. La norme ISO 31000 offre un cadre méthodologique rigoureux pour la mise en œuvre de la gestion des risques, permettant aux organisations de s'adapter à des contextes et à des enjeux variés. Le processus de gestion des risques se présente comme c'est indiqué dans le schéma ci-après, et nous constatons bien que l'analyse des risques est l'étape clé du processus.

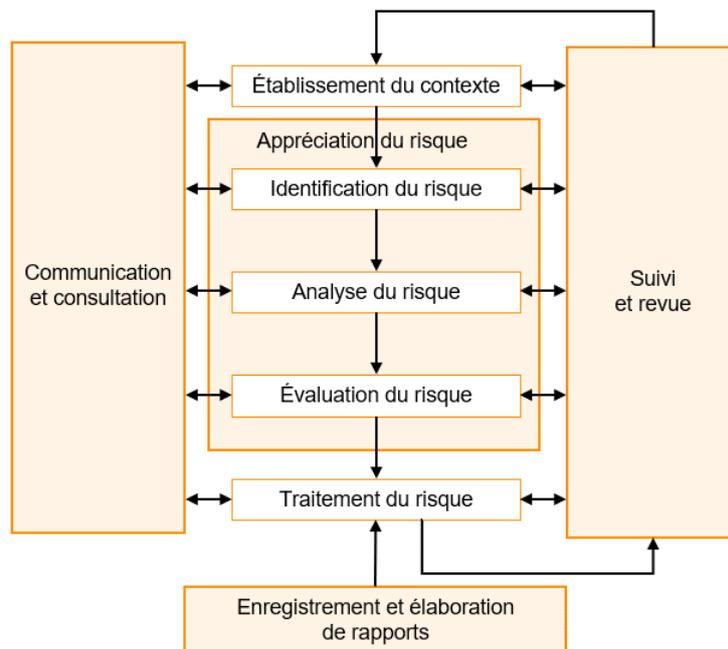


Figure 2.10: Processus de gestion des risques

L'évaluation des risques vise à aider les décideurs à identifier les risques nécessitant un plan d'action et à les hiérarchiser en fonction de leur priorité. Cette hiérarchisation prend en compte plusieurs facteurs :

- Le niveau de risque : négligeable, acceptable ou rédhibitoire. - La tolérance au risque des parties prenantes : les différentes parties prenantes peuvent avoir des perceptions différentes du niveau de risque acceptable. - Les obligations légales : certaines lois et réglementations imposent des seuils de risque à ne pas dépasser. - Les coûts financiers et les plans d'action existants : la mise en œuvre de mesures de réduction du risque peut impliquer des coûts importants.

En fonction de ces facteurs, les décideurs peuvent déterminer quels risques nécessitent une action immédiate et quels risques peuvent être traités ultérieurement. Ils peuvent également définir des budgets et des ressources pour la mise en œuvre des plans d'action. Cependant ces plans d'actions doivent être précédés par des méthodes d'analyse qui justifie l'intervention.

2.5 Les méthodes utilisées pour la gestion du risque

Une gestion appropriée des risques permet non seulement de prévenir les accidents et les pertes, mais aussi de renforcer la résilience de l'organisation face aux défis internes et externes. Elle joue un rôle crucial dans la protection des intérêts stratégiques et opérationnels de l'organisation, en assurant la conformité aux normes réglementaires et en inspirant confiance aux parties prenantes. Nous avons choisis d'appliquer l'approche par conséquence ainsi que MADS-MOSAR qui seront présentées ci-dessous.

2.5.1 Approche par conséquence

L'approche par conséquence est une méthode innovante d'analyse des risques, développée pour surmonter les limitations des méthodes traditionnelles. Au lieu de se focaliser sur des scénarios spécifiques ou des événements déclencheurs, cette approche se base sur la caractérisation des conséquences afin de déterminer les conditions qui les provoquent. Cette technique, développée au Centre risque & performance de l'École Polytechnique de Montréal, se distingue par son orientation vers l'analyse de la diminution d'efficacité d'un système comme point de départ. [26]

L'objectif est de faciliter la prise de décision en matière de sécurité en se basant sur l'évaluation des conséquences potentielles, permettant ainsi de prioriser les mesures de prévention et de protection. [26]

2.5.1.1 Principes de l'approche

L'approche par conséquences se focalise sur les impacts et les effets potentiels des incidents. Elle vise à comprendre et à quantifier les conséquences de différents scénarios d'accidents afin de mieux les gérer et de minimiser leurs impacts.

- **Évaluation des scénarios** : Identifier et analyser plusieurs scénarios d'incidents, en s'intéressant particulièrement aux conséquences qu'ils pourraient engendrer.

- **Quantification des impacts** : Utiliser des modèles et des outils pour quantifier les conséquences en termes de dommages humains, environnementaux, économiques et sociaux.

- **Gestion des conséquences** : Définir des stratégies et des mesures pour réduire les impacts négatifs des incidents identifiés.

2.5.1.2 Étapes de l'approche [26]

L'approche par conséquent garantit une évaluation complète et proactive des risques. Les étapes de l'approche se résument à :

- **Identification des scénarios d'accidents**

- Recueil de données : Collecter des données historiques sur les incidents passés, les types de matières dangereuses transportées, et les conditions de transport.

- Définition des scénarios : Déterminer des scénarios plausibles d'accidents en se basant sur les données collectées, les expertises des parties prenantes, et les retours d'expérience.

- **Analyse des conséquences**

- Modélisation des conséquences : Utiliser des modèles mathématiques et des simulations pour prévoir les conséquences des scénarios d'accidents. Par exemple, des logiciels de simulation peuvent modéliser la dispersion de produits chimiques en cas de fuite.

- Évaluation des dommages : Quantifier les dommages potentiels en termes de pertes humaines (blessures, décès), impacts environnementaux (pollution, destruction d'écosystèmes), et dommages matériels (infrastructures, biens).

- **Gestion des Risques**

- Priorisation des risques : Classer les scénarios d'accidents selon la gravité de leurs conséquences pour concentrer les efforts de prévention sur les scénarios les plus critiques.

- Mise en place de mesures : Développer et implémenter des mesures de prévention et de protection pour atténuer les conséquences des incidents.

La Figure 2.11 résume cette méthodologie en un diagramme simple.



Figure 2.11: Méthodologie de l'approche par conséquences

2.5.2 Méthode MADS-MOSAR

La méthode MOSAR, de son nom Méthode Organisée Systémique d'Analyse des risques, est une méthode d'analyse des risques a priori, de type sûreté de fonctionnement. Elle consiste en la décomposition du système à étudier en sous-systèmes (ou sous-unités), à étudier chaque sous-système indépendamment ainsi des interactions possibles entre ceux-ci.

2.5.2.1 MADS

L'approche MADS et le modèle a été développée par une équipe de recherche de l'Université de Bordeaux I en collaboration avec des ingénieurs du CEA. Le modèle MADS, également connu sous le nom d'Univers du danger, constitue un outil pédagogique précieux pour appréhender la problématique de l'analyse des risques dans le domaine du TMD. [6]

En se basant sur les principes de la modélisation systémique, le modèle MADS permet de décomposer un système complexe en ses éléments constitutifs et d'analyser les interactions entre eux afin d'identifier les dangers potentiels et les scénarios d'accidents qui en découlent.

L'évaluation du risque s'appuie sur l'analyse des séquences de danger, consistant à étudier le processus de danger, c'est-à-dire la mise en relation d'un système source avec un système cible au moyen de phénomènes appelés flux de dangers dans un environnement actif, champs de danger. En appliquant le modèle MADS à l'analyse des risques, il est important de bien cerner les définitions des concepts clés suivants :

Tableau 2.12: Modèle systémique de MADS [6]

Concept	Description
Flux de danger (ENS/ER)	Manifestation concrète du danger avec des conséquences négatives sur le système cible.
Système cible	Élément affecté par le flux de danger.
Système source de danger	Élément à l'origine du flux de danger.
Processus de danger	Chaîne d'événements menant à la concrétisation du flux de danger, impliquant des interactions entre les systèmes source et cible influencées par l'environnement.
Champ de danger	Environnement global influençant le processus de danger et ses conséquences.
Événements initiateurs et amplificateurs	Événements déclenchant ou modifiant le processus de danger.

En comprenant clairement ces concepts et leurs interactions, le modèle MADS, appa- rant dans la figure 2.12, offre un cadre structuré pour analyser les risques liés au transport de matières dangereuses. Il permet d'identifier les dangers potentiels, de cartographier les scénarios d'accidents possibles et d'évaluer les impacts potentiels sur les personnes, les biens et l'environnement. [6]

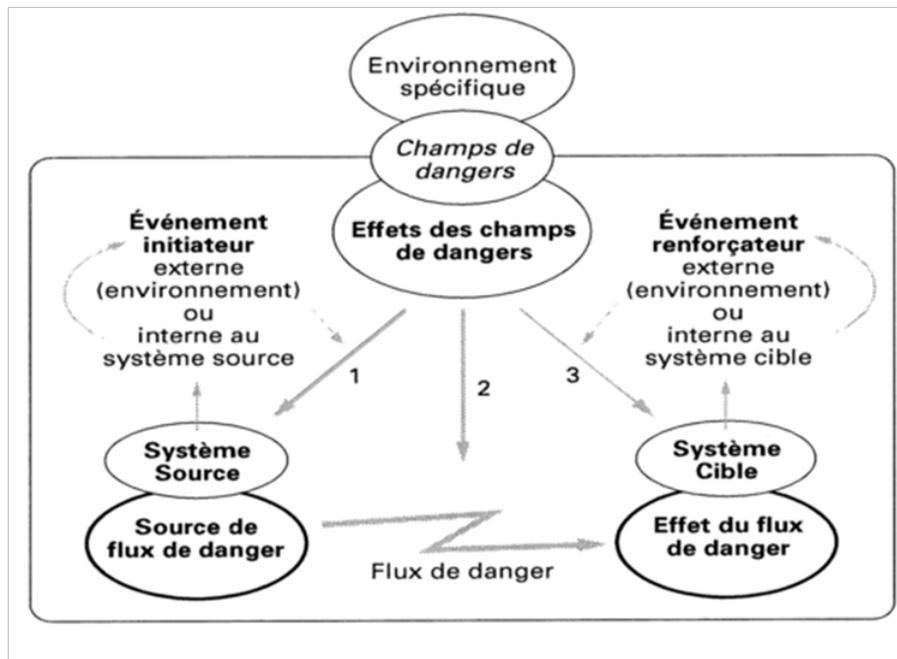


Figure 2.12: Représentation de l'univers de danger [2]

- Analyse des séquences de danger

L'une des principales critiques formulées à l'encontre des méthodes d'analyse de risques

réside dans leur potentiel d'exhaustivité limitée. Pour pallier à cette critique, le modèle MADS propose un cadre structuré en définissant quatre relations de référence source-cible à analyser :

- **Relation directe** : Le système source agit directement sur le système cible par un flux de danger unique. Cette relation représente le cas le plus simple et le plus direct, où le danger émanant du système source affecte directement le système cible sans intermédiaire.

- **Relation par l'intermédiaire d'un vecteur** : Le système source agit sur le système cible par un flux de danger, mais via un vecteur intermédiaire. Ce vecteur peut être un élément physique, un processus ou une information qui transmet le danger du système source au système cible.

- **Relation par enchaînement de flux de danger** : Plusieurs flux de danger successifs relient le système source au système cible. Cette relation implique une séquence d'événements où chaque flux de danger déclenche le suivant, conduisant à un impact final sur le système cible.

- **Relation par amplification ou atténuation** : Le système source influence indirectement le système cible en amplifiant ou en atténuant l'effet d'un danger existant. Cette relation ne crée pas de nouveaux flux de danger, mais modifie l'intensité des impacts sur le système cible.

2.5.2.2 MOSAR

Il s'agit d'une méthode d'analyse des risques basée sur un modèle d'accident formalisant de nombreuses étapes de l'analyse des risques. Cette méthode nécessite la collaboration d'un groupe de travail impliqué dans le système étudié, une approche souvent recommandée implicitement dans la plupart des méthodes précédemment mentionnées. Le modèle d'accident, appelé MADS, définit l'accident comme un événement non souhaité résultant de l'atteinte d'une ou plusieurs cibles par un flux de danger provenant d'une source de danger. Des événements internes ou externes au système étudié peuvent aggraver la situation.

Cette méthode, développée initialement au CEA [27] et dans les installations d'EDF [6], intègre l'approche déterministe du risque et l'approche probabiliste lorsque cela est possible. Elle permet de considérer un grand nombre de types d'accidents en appliquant le modèle d'accident basé sur le processus de danger aux champs d'application qui nous intéressent. Cela aboutit à la construction de scénarios dans lesquels des mesures de prévention ou de protection peuvent être mises en place, définies précisément en termes de durée et d'action sur le système. Les étapes principales de la méthode sont caractérisées par :

- Définition du système ;
- Identification des risques ;
- Évaluation des risques ;
- Proposition de solutions ;
- Vérification de l'efficacité.

- Démarche de référence :

La méthode MOSAR d'analyse globale de risques se compose de deux modules complémentaires, A et B.

Le premier module, le module A, a pour objectif d'identifier les dysfonctionnements de nature technique ou opératoire ainsi que leurs interactions, dont l'enchaînement peut conduire à des événements non souhaités, tels que des accidents. Ce module permet de générer des scénarios d'accidents en tenant compte de divers types de dysfonctionnements, tout en adoptant une vision macroscopique qui ne rentre pas dans le détail du fonctionnement de l'installation.

Le deuxième module, le module B, approfondit l'analyse en se basant sur les résultats du module A. Il vise à rechercher l'origine des événements, ceux-ci apparaissant comme événements primaires dans les arbres logiques fournis par le module A. Ce module se concentre davantage sur le fonctionnement détaillé de l'installation. Les événements considérés dans ce module sont principalement de nature technique. Grâce à cette approche, il devient possible de remonter aux causes profondes des dysfonctionnements et de mettre en place des mesures correctives spécifiques et efficaces.

- Description des étapes du Module A [3]

En utilisant MOSAR, nous considérons le système comme un ensemble complexe d'interactions entre composants, certains fixes, et d'autres variables, qui varient tout au long du processus. Ce système ne peut être simplifié à l'analyse ; l'approche privilégie la compréhension des principes fondamentaux du système, ainsi que de ses évolutions possibles.

— **Représentation de la situation**

Pour analyser cette complexité, MOSAR recommande de décomposer le système initial en sous-systèmes. Chaque sous-système doit être déterminé de manière à représenter de manière cohérente une partie de l'ensemble étudié, en respectant des critères systémiques tels que le but, la structure, l'évolution, l'activité et l'environnement. Cette découpe peut suivre plusieurs approches telles que la décomposition hiérarchique, topologique ou fonctionnelle, adaptées aux besoins spécifiques de l'analyse du système. Cette méthodologie permet de structurer les sous-systèmes de manière à maintenir une cohérence dans leur nature, tout en garantissant une couverture exhaustive des aspects critiques.

— **Identification des dangers et les scénarios d'accidents principaux**

Le but de cette étape est d'identifier les risques et leur mécanisme d'apparition dans

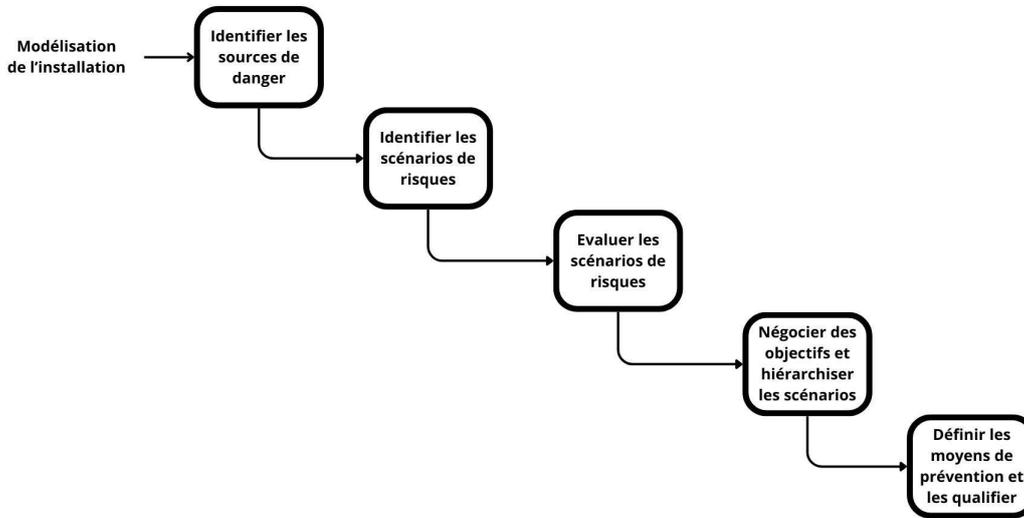


Figure 2.13: Méthodologie de module A de la MOSAR [3]

chacun des sous-systèmes définis antérieurement. La méthode MOSAR, basée sur le processus de danger MADS, vise à comprendre comment un flux de danger, généré par une source de danger, peut causer un événement non souhaité.

Pour cela, il est nécessaire d'identifier la source de danger qui, une fois excitée par un processus initiateur (d'origine interne ou externe provenant de l'environnement spécifique), crée ce flux principal de danger. Chaque sous-système est analysé à travers une grille de typologie des systèmes sources de dangers qui apparaît dans l'annexe 4.2.1. Cette grille permet d'inventorier systématiquement les entités pouvant devenir sources de flux de danger. Pour chaque sous-système, on obtient ainsi une liste possible de systèmes sources de danger de type mécanique, chimique, biologique, humain... Cela nous facilite la recherche des flux de danger.

La recherche des processus de danger consiste ensuite à déterminer l'enchaînement d'événements issus des systèmes sources de danger pouvant conduire à des événements non souhaités. Ces enchaînements constituent les scénarios d'accidents. Un outil nommé tableau A, reprenant les principaux éléments du modèle MADS, est utilisé pour composer ces scénarios d'accidents, soit en anticipant les événements initiateurs et renforceurs, soit en les extrayant du retour d'expérience collecté dans l'installation.

- **Événement initial** : événement qui marque le passage d'un système d'un état ou d'une situation normale à un état ou une situation défaillante.

- **Événement initiateur** : événement perturbateur à l'origine du changement d'état ou de situation d'un système.

Tableau 2.13: Définitions de concepts liés au modèle systémique MADS [3]

Type de système source de danger	Type de sous-systèmes	Phase de transport	Événement initial	Evénement initiateur	Événement principal
----------------------------------	-----------------------	--------------------	-------------------	----------------------	---------------------

- **Événement principal** : événement qui manifeste le flux de matière, d'énergie, et d'information émis par un système en état ou en situation défailante.

- **Phase de transport** : représente l'une des trois phases qui sont le chargement, le transport et le déchargement.

Ce travail consiste à documenter les scénarios d'accident ligne par ligne, en commençant par identifier les événements principaux. Ensuite, on décrit les événements initiaux qui peuvent précéder ces événements principaux, suivis des événements initiateurs qui les déclenchent. Ces événements peuvent être internes à la source de danger ou externes, générés par des conditions extérieures.

Chaque ligne du tableau A représente un scénario court, mais ils peuvent parfois être liés si un événement initial ou final d'un scénario est l'événement initiateur ou initial d'un autre scénario sur une autre ligne. L'objectif est de créer une série de scénarios sans tenir compte des interférences avec d'autres sous-systèmes, afin d'évaluer les barrières de prévention et de protection déjà en place ou en projet.

Même si les scénarios d'accident sont souvent connus grâce au retour d'expérience, il est essentiel voire indispensable d'en envisager d'autres possibles. Cette approche permet d'obtenir un "point zéro" sans barrières, facilitant ainsi l'évaluation de la pertinence des mesures de sécurité existantes.

Ce processus aide à identifier et à prévenir les risques potentiels en créant une vue détaillée des événements critiques et de leurs interactions dans un système donné. Chaque sous-système peut être conceptualisé comme une boîte noire où les événements initiateurs entrent en tant qu'entrées, et où les ENS générés par le sous-système en constituent les sorties. À ce stade, on distingue uniquement les scénarios courts qui se déroulent à l'intérieur d'un seul sous-système. Cela est illustré dans la Figure 2.14.

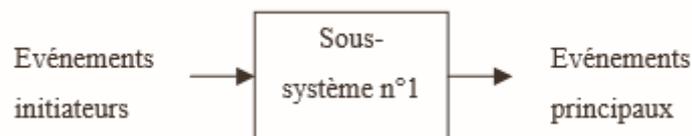


Figure 2.14: Boîte noire de la méthode MOSAR [3]

L'objectif est maintenant de combiner les événements d'entrée et de sortie entre eux,

en identifiant les boucles où les sorties et les entrées se rejoignent, que ce soit à l'intérieur d'une même boîte (autodestruction) ou entre différentes boîtes (scénarios longs) comme illustré sans la Figure 2.15.

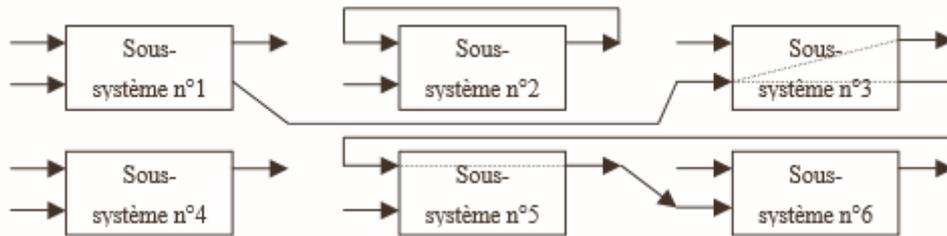


Figure 2.15: Boucles et relations entre les boîtes noires [3]

Après avoir construit ces scénarios, il est possible de regrouper et de concaténer sur un même événement redouté tous les enchaînements qui y mènent. Étant donné le nombre rapide de scénarios construits de cette manière, il est souvent judicieux de limiter l'explosion combinatoire en ne conservant que les événements majeurs générés en sortie des boîtes noires.

À ce stade de l'analyse, on peut regrouper les scénarios qui aboutissent aux mêmes événements finaux pour former des arbres logiques qui serviront de structure de base pour les futurs arbres de défaillances.

— Évaluer les risques principaux

Le but de cette phase d'évaluation est d'analyser les scénarios générés précédemment afin de déterminer la probabilité d'occurrence de l'accident redouté et son potentiel impact. Cela implique de hiérarchiser les scénarios identifiés et de distinguer ceux qui sont possibles de ceux qui sont moins possibles.

— Description des étapes du Module B [3]

Pour les accidents potentiels inacceptables, le MOSAR propose un module similaire aux méthodes de sûreté de fonctionnement et AMDEC, particulièrement adapté aux risques technologiques. Ce module permet d'identifier précisément les origines des événements initiateurs et de mettre en place des barrières plus efficaces et souvent moins coûteuses.

Les événements primaires identifiés dans le module A sont repris pour élaborer des arbres de défaillance, afin de déterminer leurs causes possibles. Il devient alors possible de calculer la probabilité des événements non souhaités finaux en connaissant celle des événements primaires. Ce module suit le précédent et se compose également de cinq étapes :

1. **Identifier de manière détaillée les risques principalement liés au fonctionnement** : En reprenant les événements primaires des arbres logiques du module A,

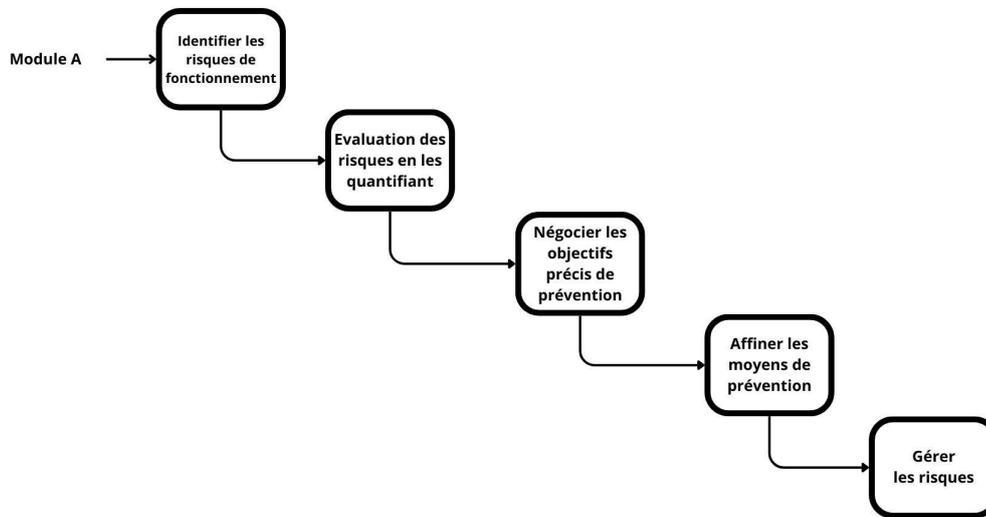


Figure 2.16: Méthodologie de module B de la MOSAR [3]

on va préciser les dysfonctionnements opératoires en analysant l'activité de l'opérateur. Pour les événements de nature technique, on recherchera leurs causes en réalisant des AMDEC.

2. **Évaluer les risques en construisant les arbres logiques de type arbres de défaillances** : En utilisant également les arbres logiques produits par le module A, ainsi que les informations issues des analyses d'activités et des AMDEC, on construit des arbres de défaillances pour les risques principaux. Cela permet de calculer la probabilité des événements non souhaités finaux.
3. **Négocier les objectifs détaillés de prévention** : Il est possible d'utiliser les propriétés des arbres de défaillances pour répartir des barrières de prévention. Une deuxième négociation entre les acteurs concernés est alors nécessaire pour fixer le nombre de barrières en fonction de la gravité des impacts.
4. **Définir les moyens de prévention complémentaires et détaillés** : Il existe plusieurs critères pour le choix et la répartition des barrières sur les événements primaires, le principal étant le rapport coût/efficacité.
5. **Gérer les risques** : Avec les scénarios d'accidents retenus et en identifiant les moyens d'intervention disponibles ainsi que l'organisation de leur mise en œuvre, on peut construire les plans d'intervention en cas d'accident (plan d'opération interne, etc.).

2.5.3 Arbre de défaillance

L'arbre de défaillances (AdD) est une méthode déductive utilisée pour comprendre les causes possibles d'indisponibilité d'un système. Cette méthode consiste à représenter les différents événements et leurs relations à l'aide de portes logiques, comme illustré à la Figure 3.8. Selon que la défaillance du matériel survient lorsque les événements se produisent simultanément ou individuellement, on utilise respectivement des portes logiques de type ET ou OU. [28]

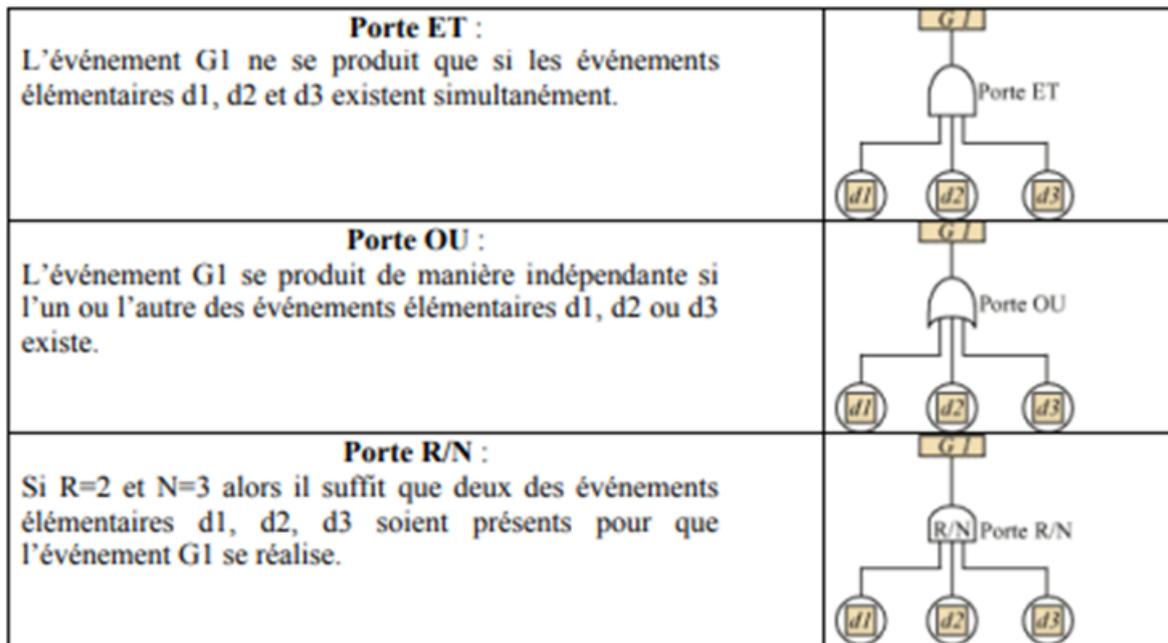


Figure 2.17: Portes logiques de l'AdD [4]

2.5.3.1 Objectifs

Lorsqu'on applique la méthode MADS-MOSAR, l'ADD joue un rôle important pour plusieurs raisons. Premièrement, elle permet une identification exhaustive de tous les dysfonctionnements possibles dans un système, assurant ainsi une prise en compte complète des sources potentielles de risques. Deuxièmement, elle structure et hiérarchise les causes des dysfonctionnements, distinguant les causes directes des causes sous-jacentes et facilitant la priorisation des actions correctives. Troisièmement, elle évalue les conséquences potentielles des dysfonctionnements identifiés, aidant à évaluer la criticité des situations et à concentrer les efforts de mitigation. Ensuite, elle assiste les décideurs en fournissant une analyse détaillée pour des décisions éclairées concernant les mesures de prévention et d'allocation des ressources. Enfin, elle promeut une gestion proactive des risques en iden-

tifiant les défaillances actuelles et potentielles, favorisant ainsi une culture d'amélioration continue. Les objectifs de cette méthode sont les suivants :

- Identifier les événements élémentaires ou leurs combinaisons menant à un ER.
- Représenter graphiquement les relations entre les événements.
- Effectuer une analyse qualitative pour déterminer les faiblesses du système, dans le but de proposer des modifications pour améliorer sa fiabilité.
- Réaliser une analyse quantitative pour évaluer la probabilité d'apparition de l'ER, en se basant sur la probabilité des événements élémentaires, et ainsi déterminer quantitativement les caractéristiques de fiabilité du système étudié.

2.5.3.2 Méthodologie de l'AdD

L'analyse de l'arbre de défaillances consiste à étudier les événements conduisant à un événement redouté (E.R.). La construction de cet arbre suit une méthodologie spécifique, mise en œuvre à travers plusieurs étapes, comme illustré dans la figure 3.9.

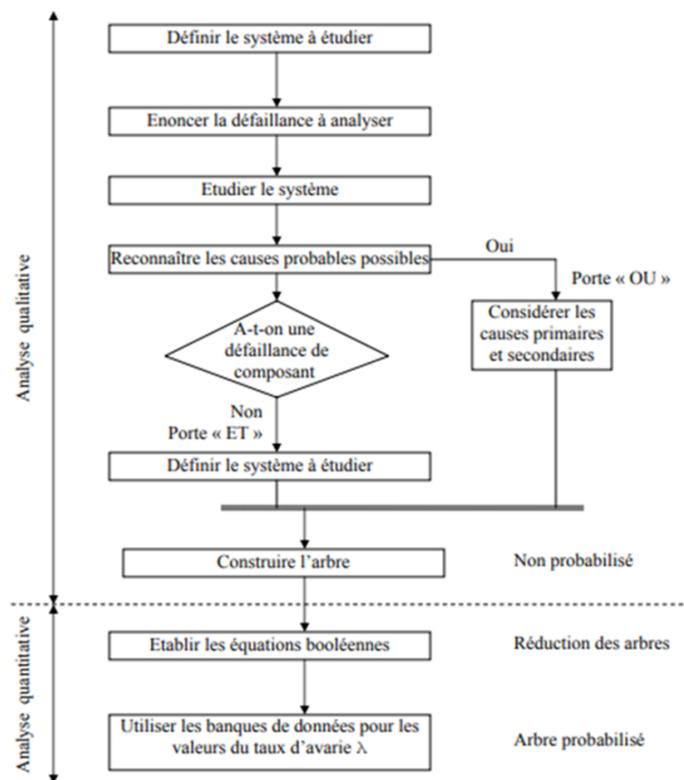


Figure 2.18: Démarche de l'arbre de défaillance

Dans ce chapitre nous avons exploré les concepts fondamentaux de la SR et du TMD. Nous avons défini les termes clés et expliqué les risques spécifiques associés au TMD. En

outre, nous avons introduit les méthodes d'analyse de risque dynamique, notamment l'approche par conséquence et MADS-MOSAR, qui nous permettront de mieux comprendre et évaluer les risques associés au TMD.

Chapitre 3

Application des méthodes

L'étape d'analyse des risques est essentielle dans notre démarche de maîtrise des risques, car elle nous permet de définir les scénarios critiques à maîtriser. Connaître les risques auxquels nous sommes confrontés est crucial pour pouvoir s'en protéger efficacement. Dans ce chapitre, nous aborderons l'analyse des risques de manière exhaustive. Nous présenterons en détail les résultats obtenus après l'application de la méthode d'analyse MADS-MOSAR, basée sur une approche par conséquences.

3.1 Présentation du cas à étudier

TMD sur le trajet reliant la station de remplissage de Caroubier à Alger et la station de service de Zeralda. Le trajet, d'environ 35 km, est divisé en trois segments distincts : le premier et le troisième segment traversent des zones urbaines sous la surveillance de la police, tandis que le deuxième segment, principalement suburbain, est sous la juridiction de la GN. Cela est illustré dans la Figure 3.1

Le camion-citerne transporte un total de 27 000 litres de carburant de type essence TK 18, répartis en trois compartiments : chaque compartiment contient 9000 litres. Le conteneur est fabriqué en acier/carbone pour sa robustesse et sa capacité à résister aux pressions et aux impacts typiques du transport routier.

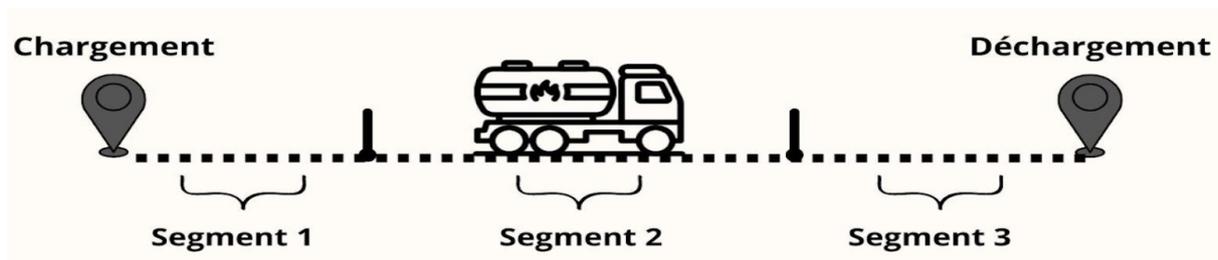


Figure 3.1: Segmentation du trajet

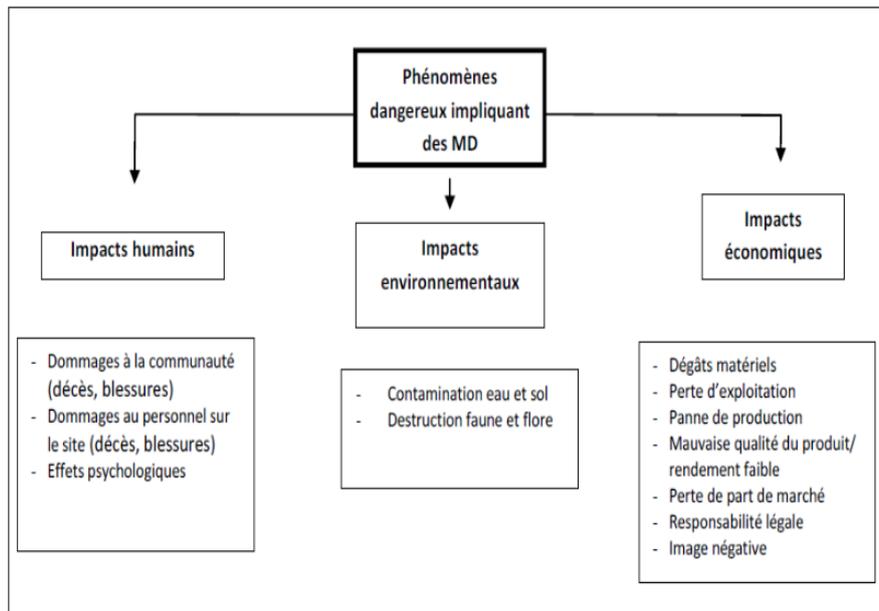
3.1.1 Type de véhicule étudié

Malgré la diversité des camions de TMD, notre analyse se concentre sur le camion-citerne, le plus couramment utilisé pour ce type de transport. Plusieurs raisons justifient ce choix :

- **Nature des matières transportées :** Les camions-citernes transportent des substances liquides ou gazeuses très dangereuses, nécessitant une gestion des risques rigoureuse en cas de déversement, d'incendie ou d'explosion.
- **Complexité technique :** Les équipements spécialisés des camions-citernes, comme ceux pour le maintien de la pression et de la température, augmentent le potentiel

de défaillance technique.

- **Conséquences graves** : Les incidents impliquant des camions-citernes peuvent entraîner des pertes humaines, des dommages environnementaux et des perturbations économiques significatives, comme indiqué dans la Figure 3.2.



Source : (Peignier, De Marcellis-Warin, Clément, & Sinclair-Desgagné, 2004)

Figure 3.2: Impacts des phénomènes dangereux impliquant des MD

- **Scénarios de risque complexes** : Les propriétés des matières transportées et les conditions de transport influencent la volatilité des produits, nécessitant une modélisation précise des scénarios de risque.
- **Données historiques** : Les accidents impliquant des camions-citernes sont souvent plus fréquents et graves, justifiant une analyse détaillée pour développer des mesures de prévention efficaces.
- **Sécurité publique et environnementale** : Les camions-citernes traversent souvent des zones densément peuplées ou écologiquement sensibles, nécessitant des mesures de sécurité renforcées.

Se concentrer sur les camions-citernes pour l'analyse des risques garantit une gestion des risques plus rigoureuse, efficace et réaliste, adaptée à leurs spécificités, à la nature dangereuse des substances transportées ainsi qu'à l'historique des accidents de TMD mondialement et nationalement.

3.2 Application de la méthode d'analyse des risques

Dans cette partie nous allons adapter et appliquer les deux méthodes choisies qui sont l'approche par conséquence et la méthode MADS-MOSAR, afin d'analyser les risques liés au TMD.

3.2.1 Approche par conséquence

Cette partie vise à modéliser et analyser les conséquences d'un accident de transport de matières dangereuses

Le risque inhérent à la matière transportée reste constant tout au long du trajet. Cependant, les critères qui varient sont la vulnérabilité, l'exposition, et la probabilité associée à l'historique des accidents.

- **Risque lié à la matière (constant)** : Ce risque est déterminé par les propriétés intrinsèques de la matière transportée et reste le même, peu importe où elle se trouve sur le trajet. Cela inclut des caractéristiques telles que la toxicité, l'inflammabilité, ou la réactivité chimique de la matière.
- **Vulnérabilité (variable)** : Cela fait référence à la capacité des personnes, des infrastructures et de l'environnement à résister aux effets négatifs en cas d'accident. La vulnérabilité peut varier en fonction des caractéristiques locales (densité de population, types de bâtiments, proximité de ressources naturelles, etc.).
- **Exposition (variable)** : Ce critère concerne le nombre de personnes, d'animaux, de plantes, ou de structures qui pourraient être affectés par un accident. L'exposition peut varier selon l'endroit où se trouve la matière sur son trajet. Par exemple, une matière transportée à travers une zone urbaine dense a une exposition plus élevée que lorsqu'elle traverse une zone rurale peu peuplée.
- **Probabilité liée à l'historique de l'accidentologie (variable)** : Cela se base sur les données historiques des accidents dans la région ou sur le trajet spécifique. Si une route a connu de nombreux accidents impliquant des matières dangereuses, la probabilité d'un incident similaire peut être considérée comme plus élevée.

3.2.1.1 Modélisation par PHAST

Pour évaluer le risque du TMD, nous optons pour une étude de cas. Dans cette étude, nous exposerons le problème du risque dynamique, qui dépend de trois paramètres : l'exposition et le trajet, la vulnérabilité et la probabilité. Nous fixerons le danger lié à la matière transportée et les conditions météorologiques afin de mieux comprendre l'impact de ces variables sur le risque global.

Présentation de PHAST : Phast (Process Hazard Analysis Software Tool) est un logiciel développé par DNV GL pour l'analyse des risques liés aux procédés industriels. Il est principalement utilisé pour évaluer les conséquences des accidents impliquant des substances dangereuses, comme les fuites, les explosions, et les incendies. Phast permet de modéliser divers scénarios d'accidents et d'estimer leurs impacts sur la sécurité des personnes, des installations, et de l'environnement. Grâce à ses fonctionnalités avancées, Phast aide les ingénieurs et les professionnels de la sécurité à identifier, quantifier et gérer les risques industriels, contribuant ainsi à la mise en œuvre de mesures de prévention et de protection efficaces.

Présentation du cas trajet : Le trajet, de 42 km, part de la station de remplissage de Caroubier jusqu'à la station-service de Zeralda, et est divisé en trois segments sous différentes compétences (SN et GN). Le trajet est illustré dans la Figure 3.3.

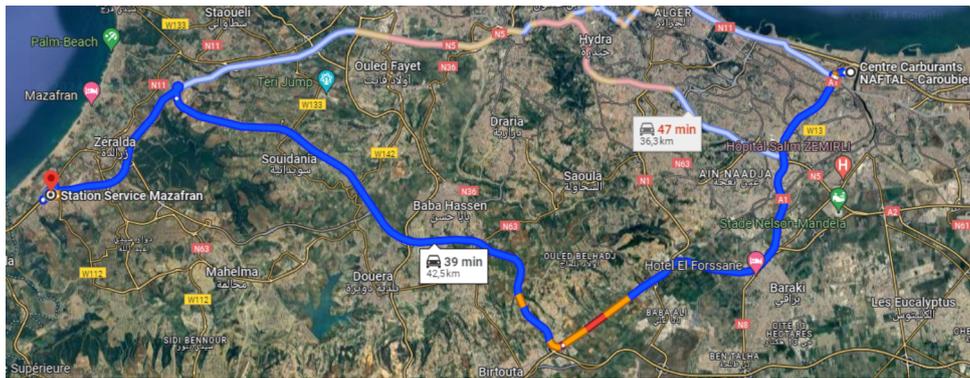


Figure 3.3: Représentation cartographique du trajet (Google Maps)

Le Tableau 3.1 résume les segments choisis et leurs responsables de supervision.

Tableau 3.1: Représentation de la segmentation du trajet étudié

Segment	Départ	Arrivée	Supervision
1er segment	Station de remplissage de Caroubier	Entrée de l'autoroute A1	Police
2e segment	Autoroute A1, la 2e rocade d'Alger	Entrée de la rocade sud	Gendarmerie
3e segment	Entrée de la rocade sud	Station-service de Zeralda	Gendarmerie

Pour chaque segment du trajet, un point critique a été identifié afin d'évaluer les risques et de modéliser les effets et les conséquences potentiels.

Dans le premier segment, le point critique choisi est l'intersection à la sortie de la station de remplissage, où il existe un risque accru de collision due à une mauvaise visibilité. Pour le deuxième segment, le point critique est une section de la 2e rocade d'Alger

caractérisée par une grande densité de circulation et considéré comme un point noir par la GN connu par son nombre important d'accident.

Enfin, dans le troisième segment, le point critique sélectionné est une courbe serrée à l'entrée de la rocade sud, où la possibilité de renversement du camion est plus élevée. Cette sélection, minutieuse, des points critiques permet de cibler spécifiquement les zones à risque élevé afin d'y simuler l'accident et d'élaborer des stratégies de prévention et de gestion des risques adaptées à chaque situation.

Choix du phénomène dangereux à modéliser Nous avons choisi de modéliser une explosion lors de notre étude. Notre choix est justifié par la gravité potentielle des conséquences, la probabilité accrue d'occurrence due à la nature inflammable des substances transportées, l'impact étendu sur l'environnement et les personnes et l'enchaînement fort probable entre l'explosion et les autres phénomènes dangereux. Comme déterminé après la conception des boîtes noires, une explosion est suivie d'un incendie et d'une dispersion de gaz toxiques. Cette approche permet une meilleure compréhension des risques, facilitant ainsi la mise en place de mesures de prévention et de réponse adéquates.

Caractéristiques des substances transportées L'essence présente des propriétés inflammables critiques ; elle est hautement volatile avec un point d'inflammation de -43°C , rendant les vapeurs facilement inflammables en présence d'une source d'ignition.

Scénario d'Accident En plein été, sous une chaleur intense, avec une température extérieure de 45°C , le camion circule sur une autoroute traversant une zone industrielle. Soudain, un véhicule en amont subit une panne, provoquant un ralentissement brusque du trafic. Le conducteur du camion-citerne freine d'urgence pour éviter une collision, mais un autre véhicule percute l'arrière du camion, provoquant un choc violent. Ce choc génère des étincelles à cause du frottement de la carrosserie endommagée contre la chaussée. La chaleur ambiante et l'énergie cinétique du choc favorisent l'évaporation de l'essence présente dans les compartiments, formant un nuage de vapeurs inflammables autour du camion. Les étincelles entrent en contact avec ce nuage de vapeurs d'essence, déclenchant une explosion. L'explosion initiale cause une augmentation rapide de la pression à l'intérieur des compartiments, qui, bien que contenant toujours le liquide, entraînent une réaction explosive due aux vapeurs de gazole et d'essence.

Dans la figure suivante, nous représentons les caractéristiques fidèles à chaque segment, nous supposons que le temps est ensoleillé dans les 3 segments, la matière ne change pas dans les 3 segments et les autres facteurs différent.

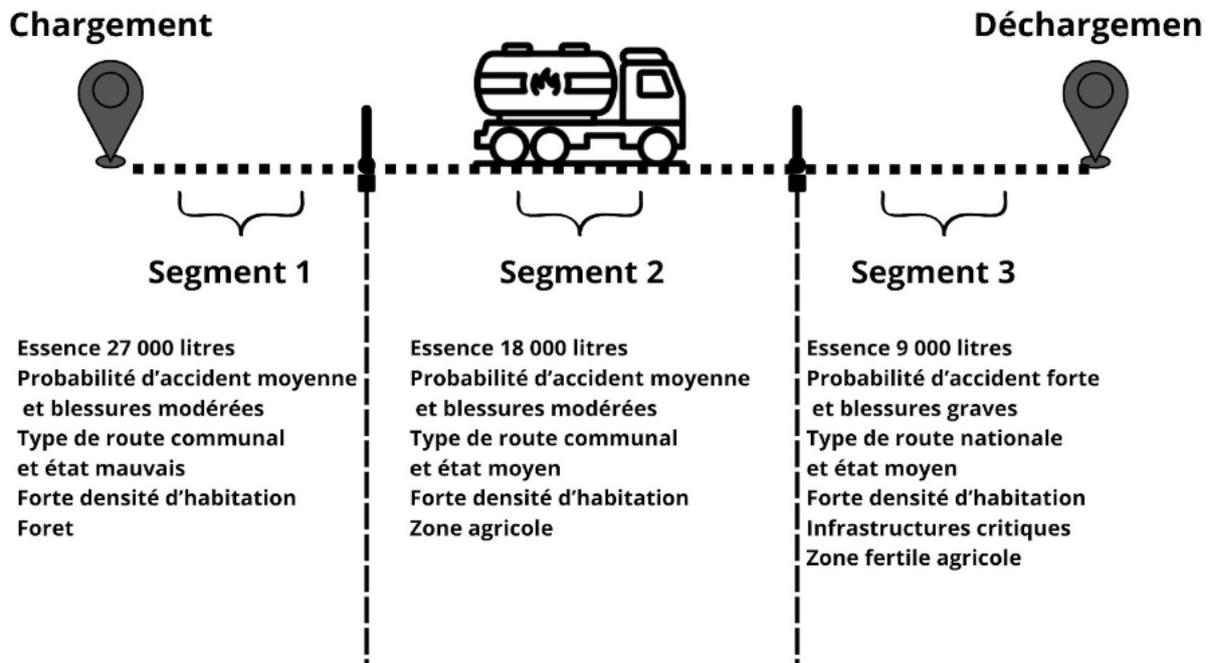


Figure 3.4: Segmentation du trajet et caractéristiques des segments

— Application

Dans notre cas, nous avons collecté les données utiles pour l'application du modèle TNT dans le logiciel FAST. Ces données sont résumées dans le Tableau 3.2 :

Tableau 3.2: Données utiles pour l'application du modèle TNT

Base de données carburant	Carburant et Essence
Conditions météorologiques	
Température	45C
Vitesse du vent	5 m/s

Segment 1 :

Après avoir modélisé le scénario dans le premier segment, nous avons pu obtenir le Tableau 3.3 représentant la suppression après explosion en fonction de la distance, accompagné du graphe illustré dans la Figure 3.5.

Tableau 3.3: La surpression en fonction de la distance

Surpression (bar)	Distance (m)
1	5.9
0.5	16.5
0.21	22.78
0.15	23
0.14	23.77
0.1	26.85
0.05	38.2
0.025	58.5
0.021	63.19

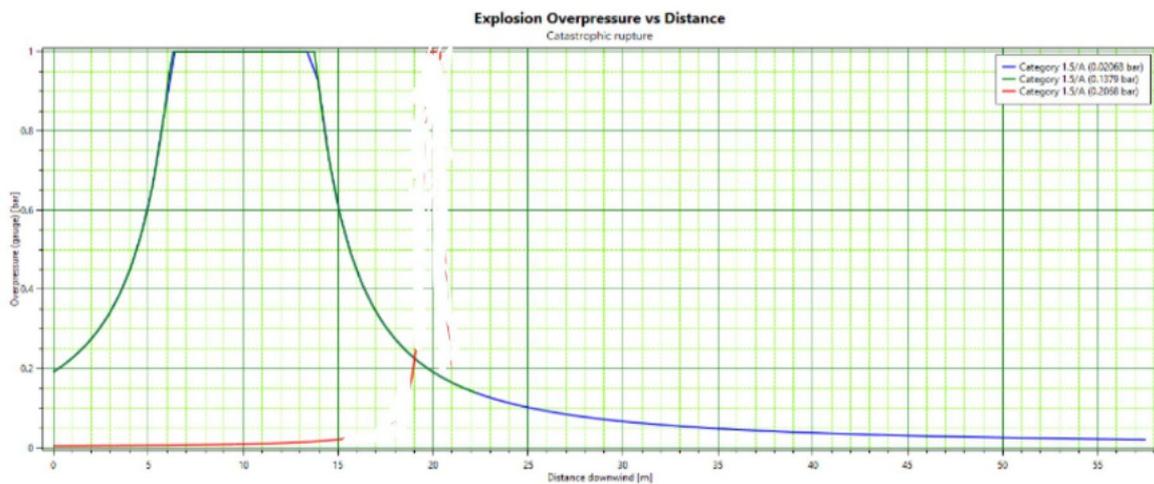


Figure 3.5: Variation de la surpression en fonction de la distance

En analysant les données, nous remarquons une relation inversement proportionnelle entre la surpression et la distance. Ce qui implique que l'effet de la surpression s'affaiblit à mesure qu'on s'éloigne du centre de l'explosion. Nous présentons le tableau suivant représentant les seuils critiques générés par le logiciel ainsi que leur distance respective. Ces seuils sont également visualisés dans la Figure 3.6 pour simuler les conséquences cartographiques.

Tableau 3.4: Seuils critiques de surpression et leurs distances maximales

Seuils de surpression (bar)	Distance maximale (m)
0,21	22,78
0,14	23,77
0,021	63,19

Les périmètres correspondant aux seuils critiques de surpression sont représentés dans la carte illustrée dans la Figure 3.6 de situation géographique. Le rayon rouge est caractérisé par une distance de 22,78 m et une surpression de 0,21 bar. Selon les seuils retenus dans le cadre des études de danger, cette limite de surpression présente des dommages irréversibles et mortels aux personnes présentes dans le périmètre du premier cercle. En outre, les effets sur les humains peuvent entraîner la destruction structurelle des murs et des bâtiments situés à une distance inférieure ou égale à 22,78 m de l'origine de l'explosion.

Le rayon vert est caractérisé par une distance de 23,77 m et une surpression de 0,14 bar. Cette limite de surpression, bien qu'inférieure à la première, reste dangereuse car elle est toujours au-dessus du seuil susceptible de provoquer des dommages irréversibles, entraînant la mort de personnes et la destruction des infrastructures.

Le rayon bleu est caractérisé par une distance de 63,19 m et une surpression de 0,021 bar. À ce niveau, les dégâts peuvent être moins graves sur les personnes (blessures). Ils sont également insignifiants sur les structures (fissures dans les murs, vitres brisées).

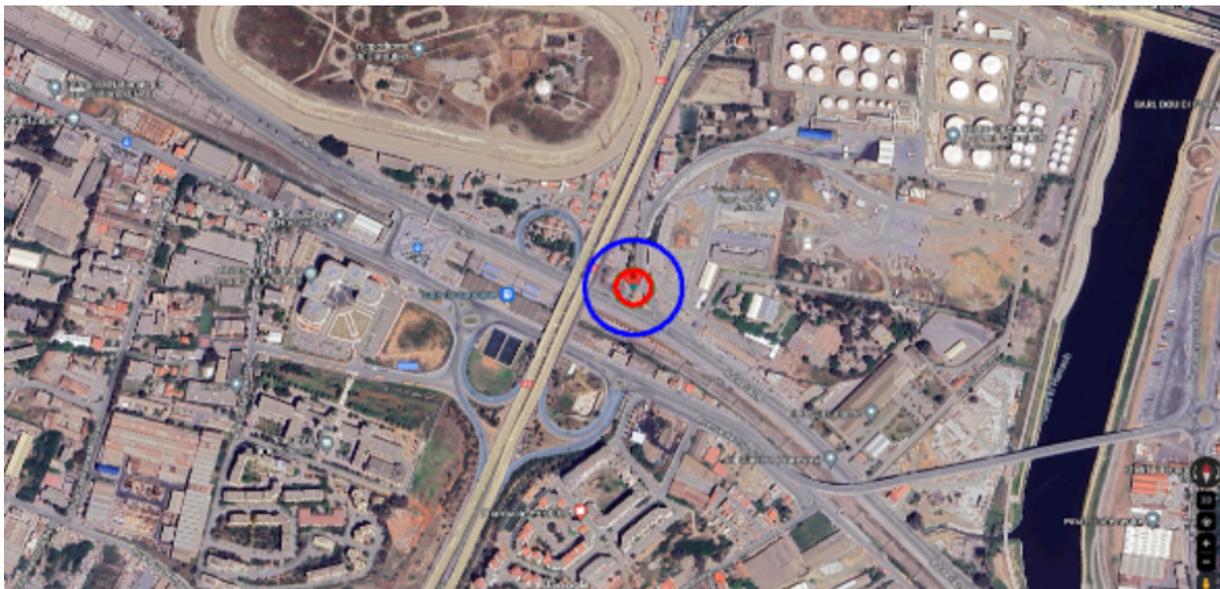


Figure 3.6: Seuils de surpression cartographiques

Le point choisi pour la simulation de l'explosion représente un milieu urbain dense avec un trafic intense, caractérisé également par des congestions routières. L'explosion entraînera des conséquences très graves, telles que des décès et des blessés graves, ainsi qu'un arrêt de la circulation à l'entrée de la route A1. Elle occasionnera également des pertes économiques, notamment en endommageant les infrastructures telles que les trains et le tramway.

Segment 2 :

Après avoir modélisé le scénario dans le deuxième segment, nous avons obtenu le Tableau 3.6 représentant la surpression après explosion en fonction de la distance, accompagné du graphe illustré dans la Figure 3.5.

Tableau 3.5: Surpression en fonction de la distance

Surpression (bar)	Distance (m)
1	6,55
0,5	15,65
0,21	21,01
0,15	21,96
0,14	22,31
0,1	25,2
0,05	27,15
0,025	51,5
0,021	57,56

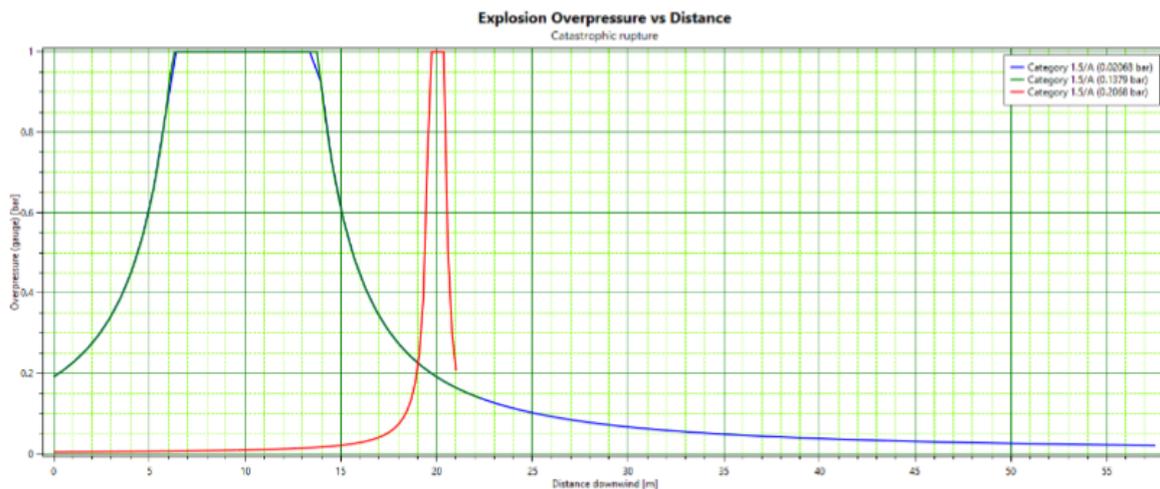


Figure 3.7: Variation de la surpression en fonction de la distance

En analysant les données, nous remarquons le même effet inversement proportionnel entre la surpression et la distance. Cependant, nous constatons également une diminution des distances par rapport à l'exemple du premier segment, due à la réduction de la quantité d'essence transportée.

Nous présentons ci-dessous le Tableau 3.7 représentant les seuils critiques générés par le logiciel ainsi que leurs distances respectives. Ces seuils sont également représentés dans la Figure 3.8, illustrant les données cartographiques pour simuler les conséquences.

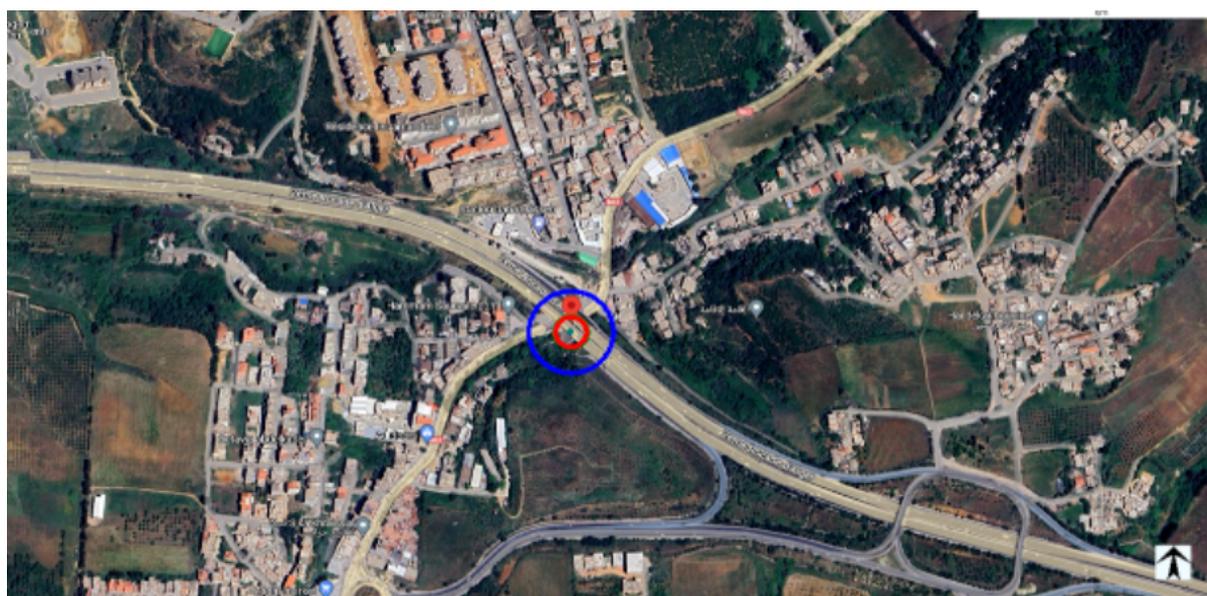
Tableau 3.6: Seuils critiques de surpression et leurs distances maximales

Seuils de surpression (bar)	Distance maximale (m)
0,21	21,01
0,14	22,31
0,021	57,56

Les périmètres correspondant aux seuils critiques de surpression sont représentés dans la carte illustrée dans la Figure 3.8, située géographiquement. Le rayon rouge est caractérisé par une distance de 21,01 mètres et une surpression de 0,21 bar. Selon les seuils retenus dans le cadre des études de danger, cette limite de surpression présente des dommages irréversibles et mortels pour les personnes présentes dans le périmètre du premier cercle. De plus, les effets sur les humains peuvent entraîner une destruction structurelle des murs et des bâtiments situés à une distance inférieure ou égale à 21,01 mètres de l'origine de l'explosion.

Le rayon vert se caractérise par une distance de 22,31 mètres et une surpression de 0,14 bar. Cette limite de surpression, bien qu'inférieure à la première, reste dangereuse car elle dépasse toujours le seuil susceptible de provoquer des dommages irréversibles, entraînant la mort de personnes et la destruction des infrastructures.

Le rayon bleu se caractérise par une distance de 57,56 mètres et une surpression de 0,021 bar. À ce niveau, les dommages peuvent être moins graves pour les personnes (blessures), et insignifiants pour les structures (fissures dans les murs, bris de vitres).

**Figure 3.8:** Seuils de surpression cartographiques

Le point choisi pour la simulation de l'explosion représente un milieu urbain dense, visible avec les habitations dans la Figure 3.8, il a été choisi aussi vu qu'il est considéré chez la GN comme un point noir compte rendu du nombre élevé d'accidents dans ce point spécifique.

Cette zone connaît un trafic intense et est caractérisée par des congestions routières fréquentes, notamment sur la deuxième rocade, empruntée par de nombreuses personnes.

L'explosion aura des conséquences graves, telles que des décès et des blessés graves, ainsi qu'un arrêt de la circulation sur la rocade concernée. Elle entraînera également des pertes économiques importantes. On peut également remarquer la présence d'une forêt à proximité.

Segment 3 :

Après avoir modélisé le scénario dans le troisième segment, nous avons obtenu le Tableau 3.7 représentant la surpression après explosion en fonction de la distance, accompagné du graphe illustré dans la Figure 3.9.

Tableau 3.7: Surpression en fonction de la distance

Surpression (bar)	Distance (m)
1	7,95
0,5	13,2
0,21	15,26
0,15	16,4
0,14	16,79
0,1	18,3
0,05	22,8
0,025	31,49
0,021	36,24



Figure 3.9: Variation de la surpression en fonction de la distance

En analysant les données, nous remarquons le même comportement de surpression en fonction de la distance.

Nous traçons le tableau suivant représentant les seuils critiques générés par le logiciel ainsi que leur distance respective. Ces seuils sont également représentés dans la Figure 3.10, qui illustre les données cartographiques afin de simuler les conséquences.

Tableau 3.8: Seuils critiques de surpression et leurs distances maximales

Seuils de surpression (bar)	Distance maximale (m)
0,21	15,26
0,14	16,80
0,021	36,25

Les périmètres correspondant aux seuils critiques de surpression sont représentés sur la carte illustrée dans la Figure 3.10 de situation géographique. Le rayon rouge est caractérisé par une distance de 15,26 mètres et une surpression de 0,21 bar. Selon les seuils retenus dans le cadre des études de danger, cette limite de surpression présente des dommages irréversibles et mortels aux personnes présentes dans le périmètre du premier cercle. De plus, les effets sur les humains peuvent entraîner une destruction structurelle des murs et des bâtiments voisins situés à une distance inférieure ou égale à 15,26 mètres de l'origine de l'explosion.

Le rayon vert se caractérise par une distance de 16,80 mètres et une surpression de 0,14 bar. Cette limite de surpression, bien qu'inférieure à la première, reste dangereuse car elle est toujours au-dessus du seuil de surpression susceptible de provoquer des dommages irréversibles, entraînant la mort de personnes et la destruction des infrastructures.

Le rayon bleu se caractérise par une distance de 36,25 mètres et une surpression de 0,021 bar. À ce niveau, les dégâts peuvent être moins graves sur les personnes (blessures). Ils sont également insignifiants sur les structures (mur fissuré, glace brisée).

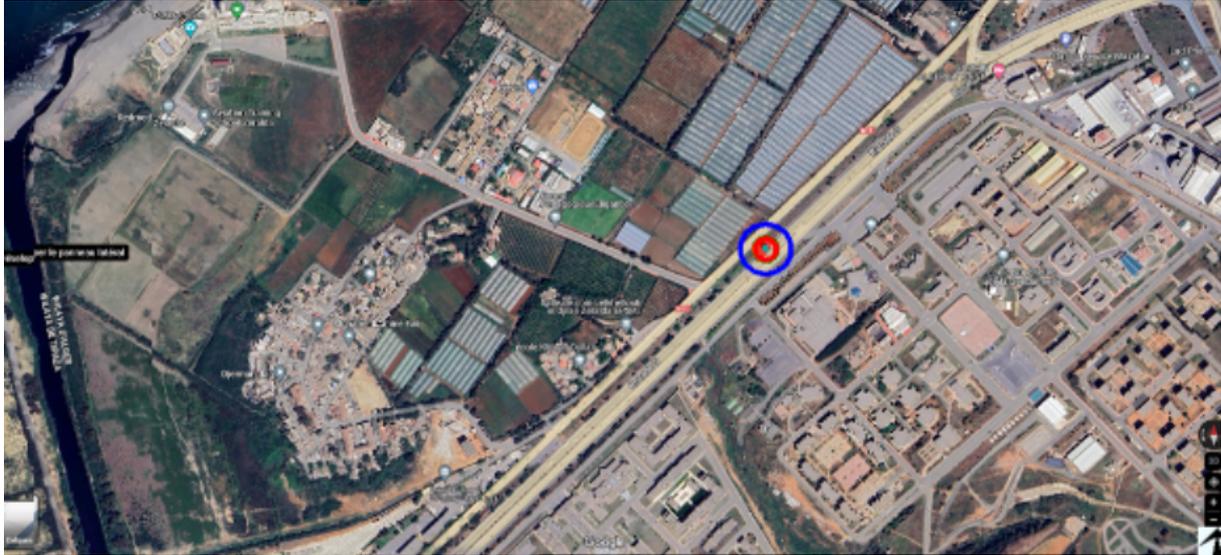


Figure 3.10: Seuils de surpression cartographiques

Le point choisi pour la simulation de l'explosion représente un milieu urbain dense, comme le montrent les habitations dans la Figure 10. L'explosion aura des conséquences graves, telles que des décès et des blessés graves, ainsi qu'un arrêt de la circulation sur la rocade concernée. Elle entraînera également des pertes économiques importantes notamment agricoles. On peut également remarquer la présence des terrains agricoles, et la résidence présidentielle, ce qui intensifie les pertes économiques.

La simulation de l'explosion révèle des conséquences potentiellement graves, particulièrement en présence de matières dangereuses. Les résultats indiquent des conséquences graves, telles que des décès et des blessés graves, ainsi qu'un arrêt de la circulation sur des voies clés. Cela entraînerait également des pertes économiques importantes, dues aux dommages causés aux infrastructures et aux institutions critiques, notamment la résidence présidentielle, ainsi qu'aux terrains agricoles et aux zones forestières environnantes.

L'explosion d'un camion de TMD est un événement à haut risque susceptible d'avoir des conséquences graves et diversifiées. Lorsque de tels accidents se produisent, les impacts peuvent être significatifs, engendrant des dommages matériels et environnementaux ainsi que des atteintes aux personnes. Les accidents impliquant des TMD peuvent déclencher des incendies, des fuites de substances toxiques ou même des explosions secondaires, chacun de ces scénarios ayant des effets dévastateurs sur les infrastructures et la santé

publique. La relation de cause à effet, illustrée dans la Figure 3.11, dans ces situations est souvent complexe et multifactorielle : une défaillance mécanique, une erreur humaine ou des conditions météorologiques adverses peuvent déclencher l'accident, tandis que la nature des matières transportées et la proximité des zones résidentielles ou industrielles peuvent aggraver les conséquences. En résumé, une compréhension approfondie des dynamiques des accidents impliquant des TMD est cruciale pour prévenir de futures catastrophes et réduire au minimum leur impact sur la société et l'environnement.

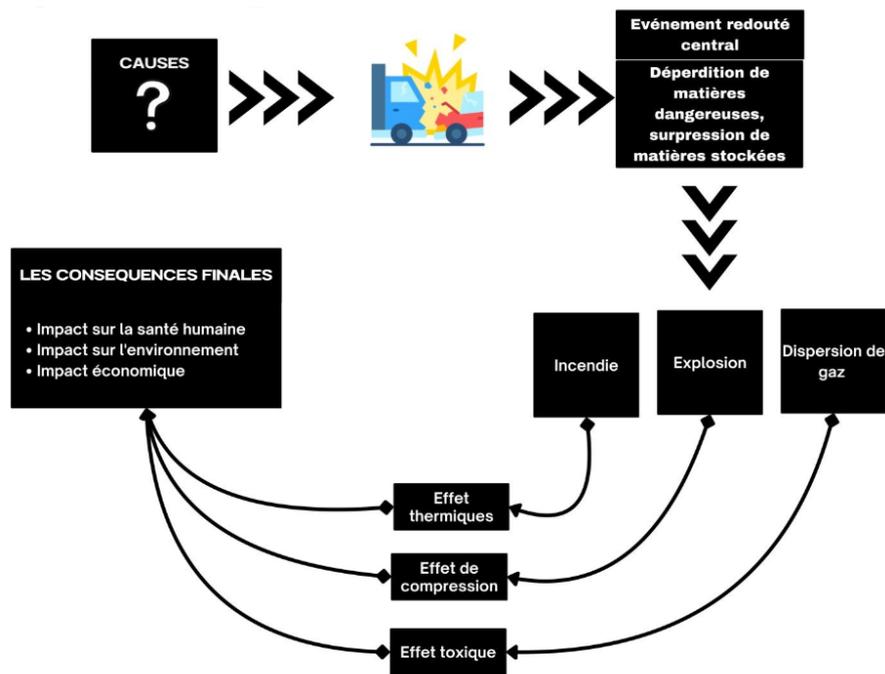


Figure 3.11: Diagramme cause et effets

L'analyse des accidents de TMD à travers le schéma de cause et effets souligne l'importance de prioriser la prévention des événements déclencheurs tels que les incendies, les explosions et les fuites. Bien qu'il soit difficile d'éliminer tous les risques, maîtriser ces événements initiaux est une étape importante pour limiter les conséquences graves qui en découlent.

3.2.2 Application de MADS-MOSAR à notre cas d'étude

On s'intéresse aux camions-citernes qui sont couramment utilisés en Algérie pour transporter des volumes importants. Ils sont omniprésents sur les routes et sont souvent employés pour des livraisons régulières et en grande quantité. Ils transportent généralement les hydrocarbures ce qui engendre un grand risque d'inflammabilité et d'explosion.

Dans ce qui suit, nous allons appliquer l'étape préliminaire de la méthode.

3.2.2.1 Étape préliminaire : Modélisation du système et décomposition en sous-systèmes

Le découpage en sous-systèmes dans la méthode MADS-MOSAR est essentiel pour gérer la complexité des systèmes analysés. Cette approche permet de simplifier l'analyse en divisant le système global en composants plus petits et plus gérables, facilitant ainsi une étude détaillée et précise de chaque partie. En clarifiant les interactions entre les sous-systèmes, elle aide à identifier les dangers spécifiques et à comprendre comment les problèmes dans un sous-système peuvent affecter les autres. De plus, elle permet de développer des stratégies de gestion des risques plus ciblées et efficaces, tout en assurant une couverture exhaustive de tous les aspects critiques du système. Dans la Figure... suivante nous proposons notre découpage en systèmes :

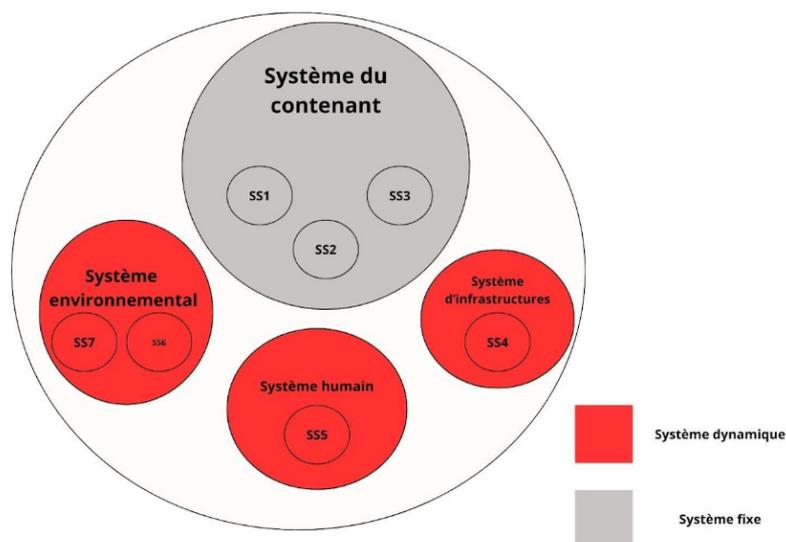


Figure 3.12: Décomposition du système TMD en sous-systèmes fixes et variables

Nous avons identifié la possibilité de décomposer notre analyse en quatre systèmes distincts, comprenant trois variables dynamiques et un système fixe. Les trois variables dynamiques sont : l'environnement, les infrastructures, et le système humain, chacun étant influencé par le point spécifique du trajet. Le système fixe, quant à lui, est représenté par le véhicule contenant, qui reste constant tout au long du trajet.

Dans le tableau suivant, nous avons subdivisé ces systèmes en sous-systèmes, ce qui nous permet de mener une analyse détaillée des risques associés. En examinant chaque sous-système individuellement, nous pouvons mieux comprendre les facteurs de risque et les interactions potentielles entre les différents sous-systèmes de notre modèle global.

Système	Sous-système	Facteur influençant la sécurité routière
Système du véhicule contenant	SS1 : Véhicule de transport	Caractéristiques et état du véhicule
	SS2 : Matières dangereuses	Caractéristiques des substances dangereuses
	SS3 : Électricité du contenant	Impact des appareils électriques du véhicule
Système d'infrastructures	SS4 : Réseau routier	État et gestion du réseau de transport
Système humain	SS5 : Conducteur	Compétence et état du conducteur
Système environnemental	SS6 : Conditions météorologiques	Impact des conditions atmosphériques
	SS7 : Topographie du terrain	Influence des caractéristiques du terrain

Tableau 3.9: Décomposition du système TMD suivant MADS-MOSAR

Nous avons finalement décomposé notre étude en quatre systèmes principaux, chacun contenant un ou plusieurs sous-systèmes sources de danger. Cette structure détaillée permet une analyse exhaustive et une gestion efficace des risques, assurant ainsi la sécurité et l'efficacité du transport de matières dangereuses.

Nous remarquons que les systèmes dynamiques dans la Figure 4.3, se composent de sous-systèmes dynamiques aussi.

Dans ce qui suit, nous allons appliquer la première étape du module A de la méthode qui consiste à identifier les sources de danger.

3.2.2.2 Première étape du module A : identification des sources de danger

Le premier travail consiste à identifier les sources de danger de chaque sous-système ou à déterminer comment chaque sous-système peut être une source de danger. Ensuite, on remplit la première colonne du tableau A dans l'annexe 4.2.1.

En effectuant cette identification pour tous les sous-systèmes, on obtient une liste des dangers de l'installation. On commence par les événements principaux indésirables et on décompose ces événements en sous-événements et conditions nécessaires pour qu'ils se produisent. On remplit alors la dernière colonne du tableau A avec les événements principaux. Ensuite, ligne par ligne, on retrace les chaînes causales qui peuvent conduire à ces événements principaux. En faisant cela, on identifie les sources de danger de chaque sous-système ou en quoi chaque sous-système peut être une source de danger. Cela permet d'obtenir une liste des dangers potentiels de l'installation.

3.2.2.3 Deuxième étape du module A : identification des sources de danger

Dans de nombreux cas, on suppose que les scénarios d'accidents sont connus, notamment grâce au retour d'expérience. Cependant, il est également intéressant de générer des scénarios d'accidents possibles. Cela permet de démontrer leur genèse, d'identifier des variantes, voire des scénarios insoupçonnés, et finalement de créer une suite logique d'événements pouvant conduire à un arbre montrant l'enchaînement de tous ces événements. La première étape de ce travail consiste à isoler chaque sous-système. En reprenant chaque sous-système dans les tableaux A, on les représente sous forme de boîtes noires, où les entrées sont les événements initiateurs d'origine externe ou interne, et les sorties sont les événements principaux. Ce travail consiste en une compilation du tableau A. On obtient ainsi les différentes boîtes noires suivantes :

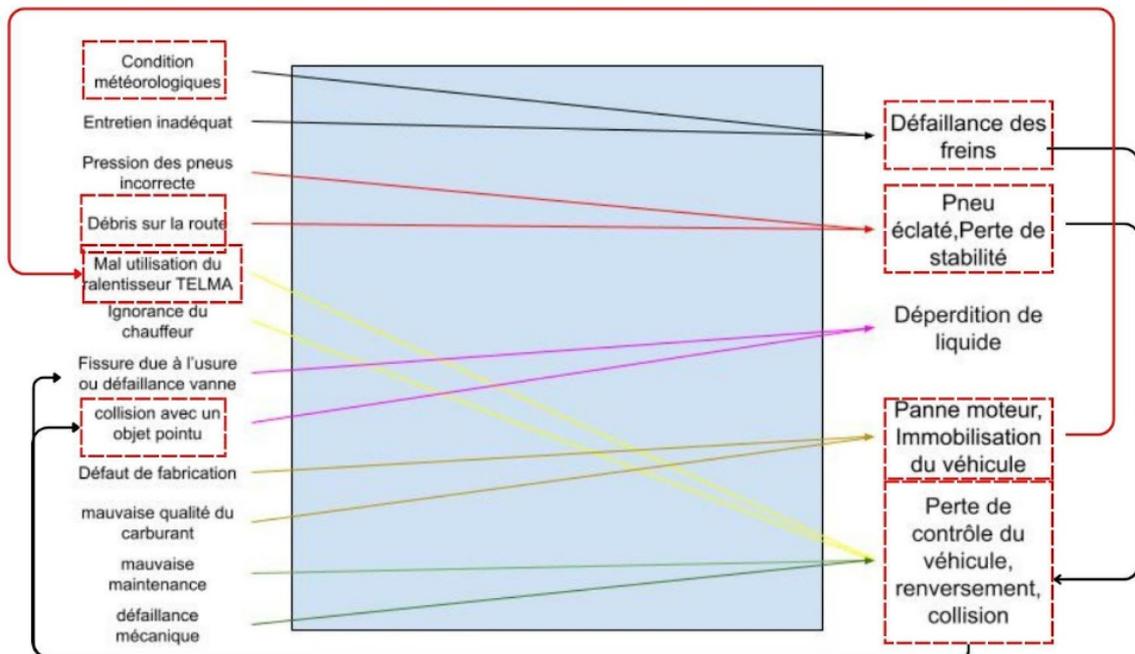


Figure 3.13: Boîte noire du sous-système Véhicule contenant de matières dangereuses SS1

En analysant ce sous-système, nous observons que les conditions météorologiques peuvent causer des défaillances des freins, entraînant une perte de stabilité. Une mauvaise utilisation du ralentisseur TELMA et l'ignorance du chauffeur peuvent aggraver ces situations, provoquant une perte de contrôle du véhicule et des accidents susceptibles de causer des déperditions de liquide. Le ralentisseur TELMA est un dispositif de freinage électromagnétique utilisé principalement dans les véhicules lourds pour réduire leur vitesse sans utiliser les freins de service. De plus, l'entretien inadéquat et les défaillances des pneus peuvent entraîner des éclatements, tandis que les fissures dues à l'usure ou à

des collisions avec des objets pointus peuvent aussi causer des fuites de liquide. Les défauts de fabrication, la mauvaise qualité du carburant, une maintenance insuffisante et les défaillances mécaniques augmentent le risque de pannes moteur et d'immobilisation du véhicule, pouvant conduire à des accidents. En considérant les risques dynamiques comme les conditions météorologiques, les débris sur la route, la mauvaise utilisation du ralentisseur TELMA et les collisions avec des objets pointus, leurs conséquences sont considérées des conséquences dynamiques aussi et peuvent amplifier les risques initiaux nous conduisant vers la déperdition de matières.

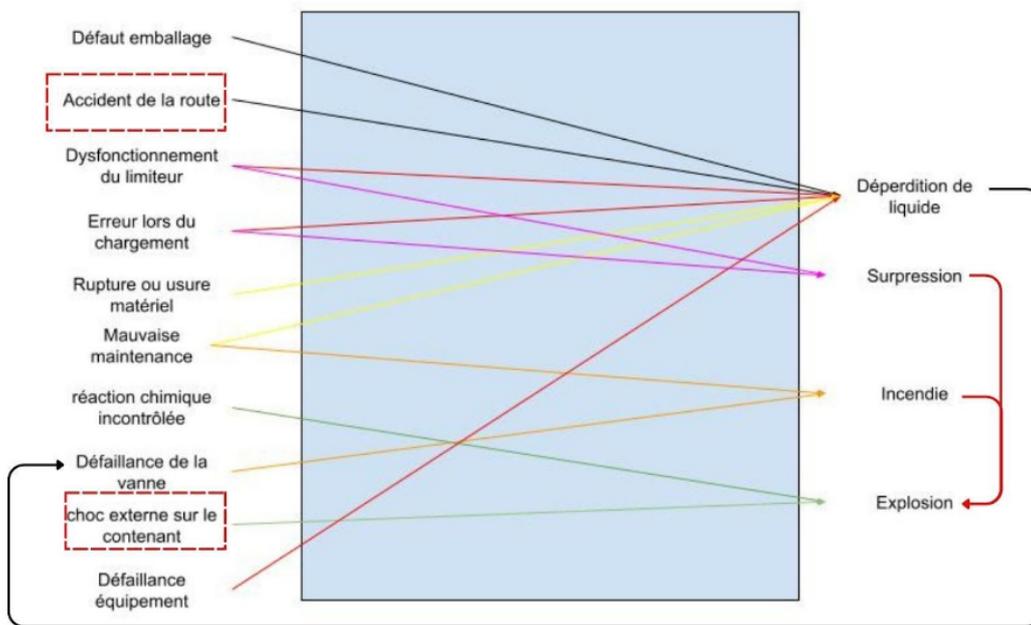


Figure 3.14: Boîte noire du sous-système Matières dangereuses SS2

L'analyse de ce sous-système révèle une relation étroite entre la déperdition de liquide et les accidents de la route. Cette déperdition peut aussi résulter d'erreurs humaines lors du chargement ou de la maintenance défaillante des équipements, tels que le limiteur de remplissage. La fuite de liquide peut entrer en contact avec une source d'ignition et provoquer un incendie. Le dysfonctionnement du limiteur de remplissage peut entraîner une surpression dans le contenant. Cette surpression, combinée à une réaction chimique incontrôlée ou à un choc externe, peut déclencher une explosion. La combinaison d'une surpression et d'une source d'ignition tel un incendie dans notre cas peut également provoquer une explosion. Il est important de noter que les accidents de la route et les chocs externes constituent des risques dynamiques qui peuvent aggraver les conséquences de la déperdition de liquide.

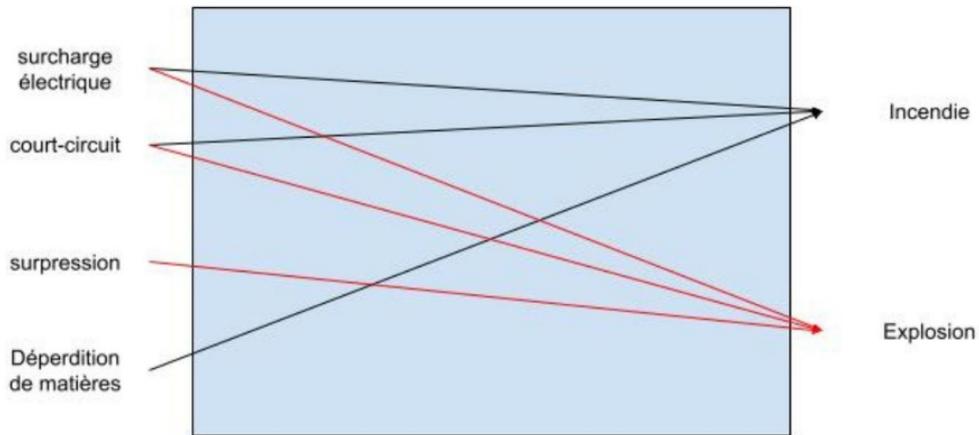


Figure 3.15: Boîte noire du sous-système Electricité du véhicule contenant SS2

L'analyse de ce sous-système révèle des interactions dangereuses entre plusieurs éléments. La surcharge électrique ou le court-circuit s'associent à la déperdition de matière pouvant créer un environnement propice à l'inflammation. La surcharge ou le court-circuit génère une source d'ignition, tandis que la déperdition de matière, qu'il s'agisse d'un liquide inflammable, d'un gaz combustible ou d'une substance susceptible de réagir chimiquement, fournit le combustible nécessaire à l'incendie. La chaleur intense générée par la surcharge ou le court-circuit peut fragiliser les conteneurs et provoquer une surpression. Cette surpression, combinée à la présence d'une source d'ignition, peut déclencher une explosion. Un incendie peut dégénérer en explosion s'il rencontre des poches de gaz inflammables ou si la combustion entraîne une augmentation rapide de la pression dans un espace confiné.

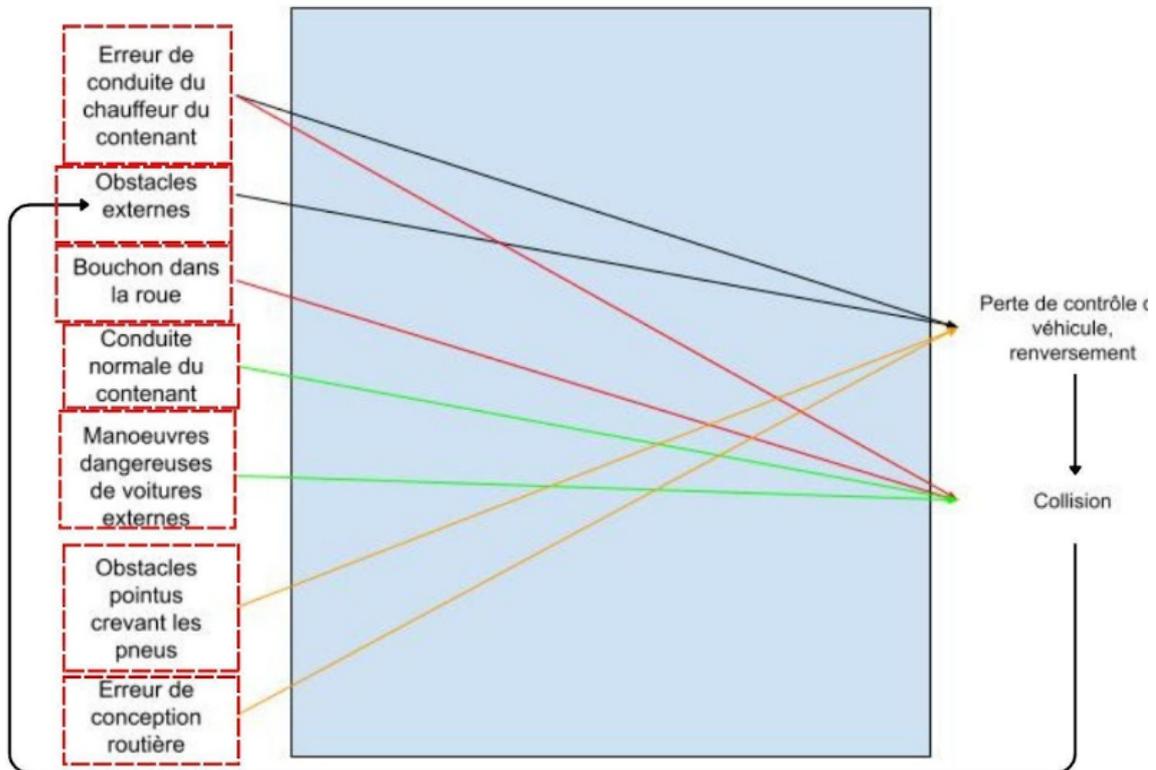


Figure 3.16: Boite noire du sous-système Infrastructures SS3

L'analyse de ce sous-système révèle que les risques encourus sont intrinsèquement dynamiques, en raison de la nature changeante des conditions et des interactions entre les différents éléments. Cette variabilité est caractéristique d'un système dynamique où les événements s'enchaînent et s'influencent mutuellement. Tous les risques identifiés dans ce sous-système sont interconnectés et peuvent déclencher une cascade d'événements menant à un accident.

L'erreur de conduite, combinée à des obstacles externes tels que des les autres voitures ou des chaussées dégradées, peut entraîner une perte de contrôle du véhicule. Cette perte de contrôle peut résulter également d'une erreur de conception routière qui ne tient pas compte des limitations de vitesse ou des conditions météorologiques. Les bouchons dans les roues, les manoeuvres dangereuses des autres véhicules et une conduite imprudente du véhicule transportant les matières dangereuses peuvent tous contribuer à une collision. La gravité de la collision dépend de la vitesse des véhicules impliqués et de l'environnement routier.

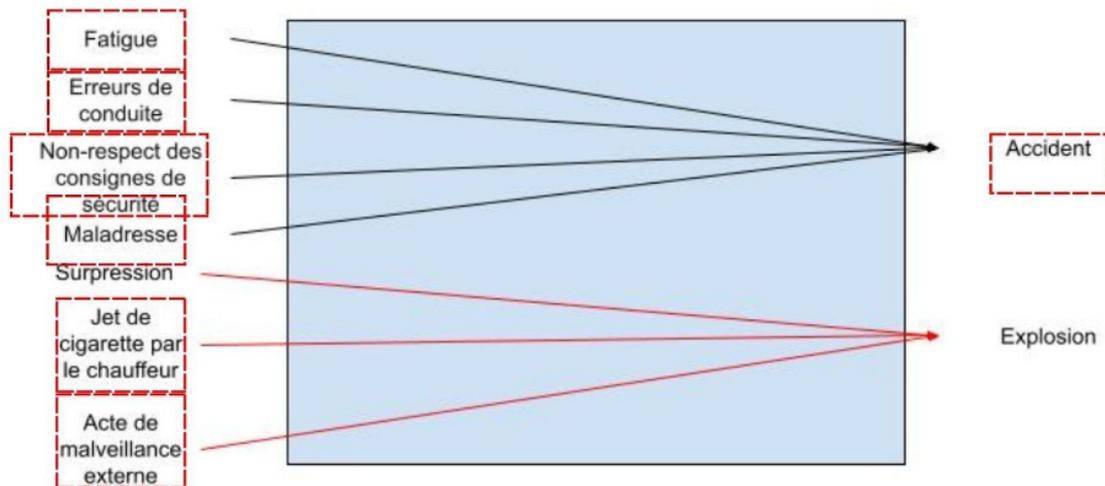


Figure 3.17: Boîte noire du sous-système conducteur SS4

L'analyse de ce sous-système révèle que l'état du conducteur et les risques d'accidents sont intrinsèquement liés à la nature dynamique du trajet et des facteurs humains en jeu. L'état du conducteur, qu'il s'agisse de sa fatigue, de sa vigilance ou de son respect des consignes de sécurité, est influencé par plusieurs caractéristiques du trajet comme la durée du trajet, les conditions météorologiques et la complexité du trajet.

Outre les influences du trajet, plusieurs facteurs humains dynamiques peuvent contribuer aux risques d'accidents. La fatigue, la conscience professionnelles et l'état mental et moral du conducteur, tout comme le stress, l'anxiété ou la colère, peuvent altérer son jugement et sa prise de décision, augmentant le risque de comportements imprudents.

L'analyse met également en lumière les interactions potentiellement dangereuses entre des facteurs externes et internes. Un acte de malveillance externe, comme le jet d'une source d'ignition dans un véhicule transportant des matières dangereuses, peut déclencher une explosion si la situation présente une suppression. Le jet imprudent d'une cigarette par le conducteur, notamment dans un véhicule transportant des matières inflammables, peut initier un incendie.

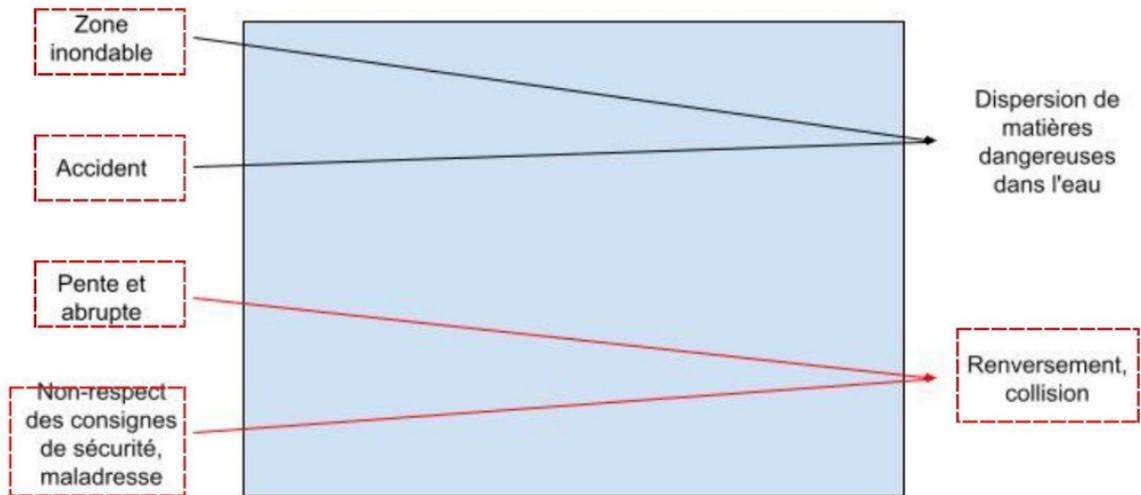


Figure 3.18: Boîte noire du sous-système Topographie terrain SS5

L'analyse de ce sous-système révèle que les facteurs de risque et les conséquences potentielles d'un accident de camion varient significativement en fonction de la zone traversée. Un accident dans une zone inondable présente un risque élevé de dispersion de matières dangereuses dans l'eau, ce qui peut entraîner une contamination grave de l'environnement et des impacts néfastes sur la faune et la flore aquatiques. Les pentes abruptes augmentent considérablement le risque de renversement du camion, surtout en cas de virages serrés ou de freinage brusque. Un tel renversement peut entraîner des fuites de matières dangereuses avec des conséquences graves pour les personnes et l'environnement. Un accident dans une zone densément peuplée est susceptible d'entraîner un nombre élevé de victimes et des dommages matériels importants. Les infrastructures et les réseaux de transport peuvent également être gravement affectés, perturbant l'activité économique et la vie quotidienne des populations. Un accident dans une zone sensible sur le plan environnemental, comme un parc naturel ou une réserve d'eau, peut causer des dommages irréversibles aux écosystèmes fragiles et à la biodiversité.

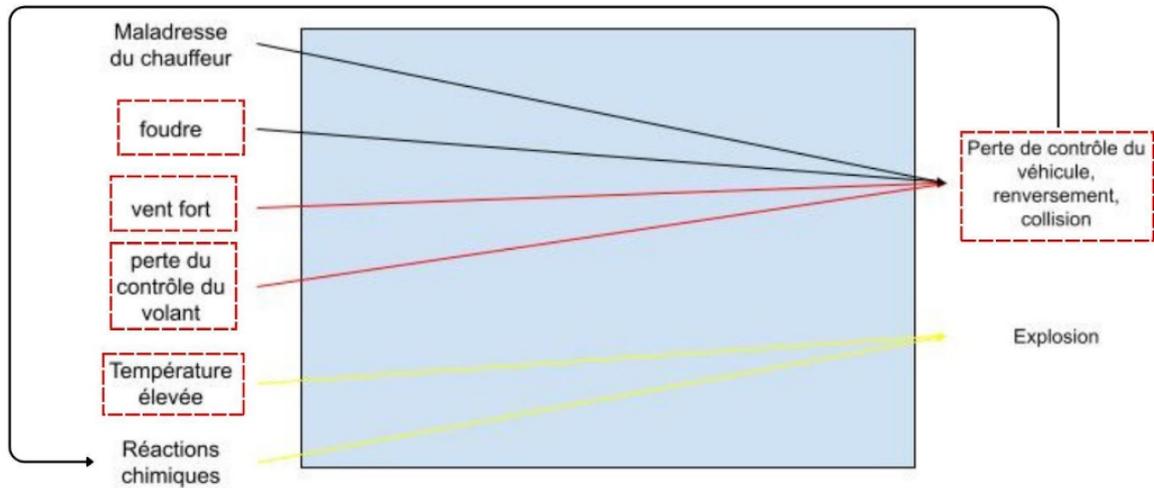


Figure 3.19: Boîte noire du sous-système conditions météorologique SS6

L'analyse de ce sous-système révèle que les conditions météorologiques peuvent avoir un impact significatif sur les risques d'accidents de camions transportant des matières dangereuses, en influençant à la fois le comportement du conducteur et l'état de la route. Des conditions météorologiques défavorables, telles que la foudre, le brouillard dense ou les vents forts, peuvent perturber la perception du conducteur et réduire sa visibilité, augmentant le risque d'erreurs de jugement et de manœuvres inappropriées. Dans le cas spécifique du TMD, les conditions météorologiques peuvent également jouer un rôle indirect dans l'augmentation des risques d'explosion. En effet, des températures élevées, combinées à une réaction chimique exothermique, peuvent accroître la pression dans un conteneur et déclencher une explosion si les conditions de sécurité ne sont pas optimales.

3.2.2.4 Analyse des résultats des boîtes noires

L'utilisation des boîtes noires nous a permis de générer divers scénarios. Jusqu'à présent, dans la génération du processus du tableau A, nous avons uniquement mis en évidence les liaisons directes entre les événements d'entrée et de sortie des boîtes noires. Nous devons maintenant combiner les événements d'entrée entre eux, les événements de sortie entre eux, et identifier les boucles de rétroaction entre les événements d'entrée et de sortie. Les boîtes noires nous ont également aidées à différencier les éléments initiateurs variables des éléments fixes, ce qui signifie que nous avons réussi à analyser les risques dynamiques pour mieux les maîtriser.

Les risques dynamiques distingués
Conditions météorologiques
Débris sur la route
Les accidents rencontrés pendant le trajet
Les obstacles externes et leur mouvement et leurs caractéristiques
Congestion routière
La conception routière
L'état moral et physique du chauffeur
Les zones traversées et leurs caractéristiques

Tableau 3.10: Résumé des risques dynamiques distingués

Après avoir tracé les boîtes noires, nous avons identifié plusieurs scénarios potentiels de défaillance et de danger. Parmi ceux-ci, l'explosion est apparue comme l'un des événements les plus critiques en raison de ses conséquences potentiellement catastrophiques pour la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement. En traçant l'arbre de défaillance (AdD) spécifique à l'explosion, nous avons pu décomposer systématiquement les causes sous-jacentes et les combinaisons de défaillances pouvant conduire à cet événement majeur.

Le choix de focaliser l'AdD sur l'explosion se justifie par plusieurs raisons. Premièrement, l'explosion représente un scénario de risque élevé avec des impacts immédiats et graves, justifiant une attention particulière dans notre analyse. Deuxièmement, en traçant l'AdD de l'explosion, nous pouvons identifier les points critiques du système où des mesures de prévention et de mitigation peuvent être les plus efficaces. Cette approche permet de prioriser les actions correctives en fonction de leur potentiel à réduire le risque global.

De plus, l'explosion est souvent le résultat de multiples facteurs interdépendants, comme les caractéristiques des matières dangereuses, les conditions environnementales, et les défaillances techniques ou humaines. En analysant ces interactions complexes à travers l'ADD, nous obtenons une vision claire des chemins de défaillance possibles et des barrières de sécurité nécessaires pour prévenir leur occurrence.

L'hexagone de l'explosion est un modèle utilisé pour comprendre les conditions nécessaires à une explosion, comme dans la Figure 3.20. Il est une extension du triangle du feu, qui comprend le combustible, l'oxygène et une source d'ignition. L'hexagone de l'explosion ajoute trois autres éléments : la dispersion, le confinement et une concentration adéquate du mélange combustible-oxygène.

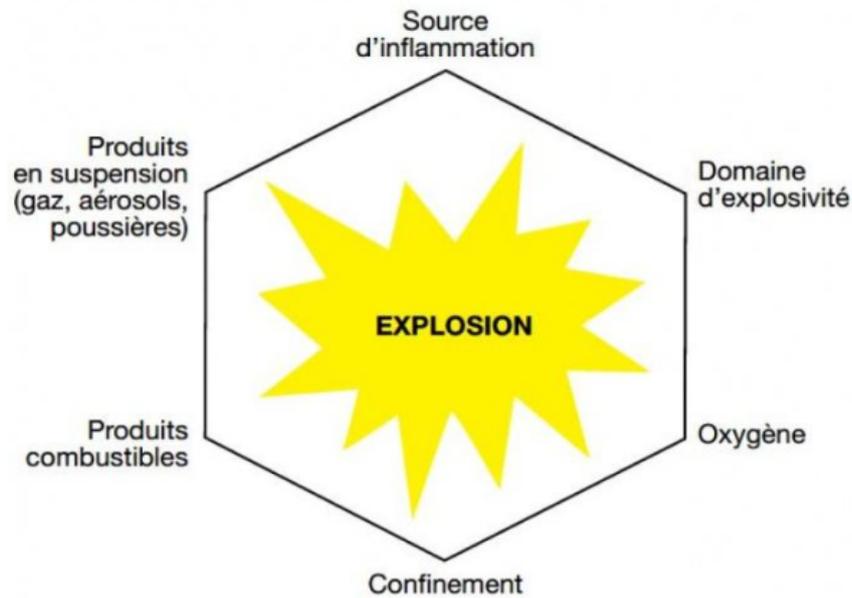


Figure 3.20: Représentation de l'hexagone de l'explosion

Dans notre cas étudié, la citerne transportant de l'essence dans un trajet, les conditions réunies sont :

- Matière explosive : Essence, Num ONU : 1203, Num de danger : 33
- Confinement
- Propagation de l'explosion (dépend de la dispersion et de la géométrie)
- Domaine d'explosivité (si la concentration est adéquate)

Il manque deux conditions qui sont la source d'ignition et le comburant pour atteindre l'explosion comme illustré dans la Figure 3.21.

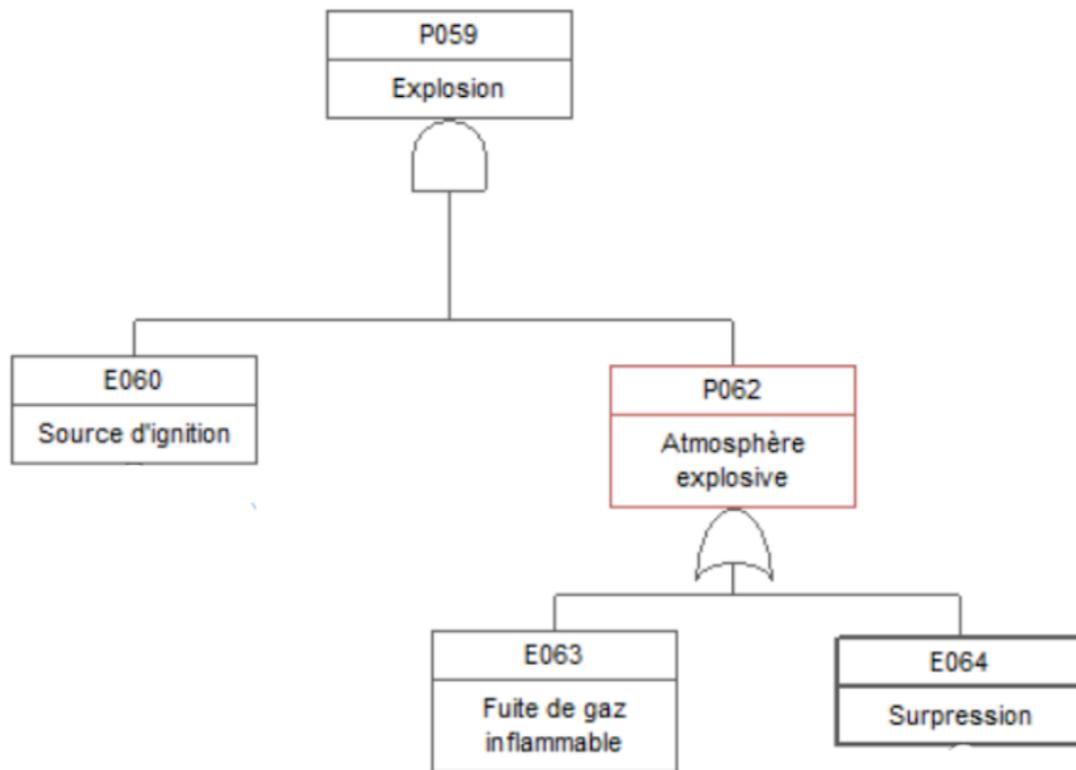


Figure 3.21: AdD de l'explosion

Nous remarquons dans cette figure que la surpression ou la fuite de gaz crée une atmosphère qui, en présence d'une source d'ignition, provoque une explosion.

L'AdD nous permet non seulement d'identifier les causes racines, de visualiser les scénarios mais aussi d'identifier les points de vulnérabilité. L'AdD vient pour compléter les scénarios déduits boîtes noires

Cela nous mène vers le traçage de trois arbres de défaillance qui sont : l'AdD de la fuite de gaz Figure 2.23, l'AdD de la surpression Figure 2.24 et l'AdD de la source d'ignition Figure 2.22 afin d'analyser ces trois événements.

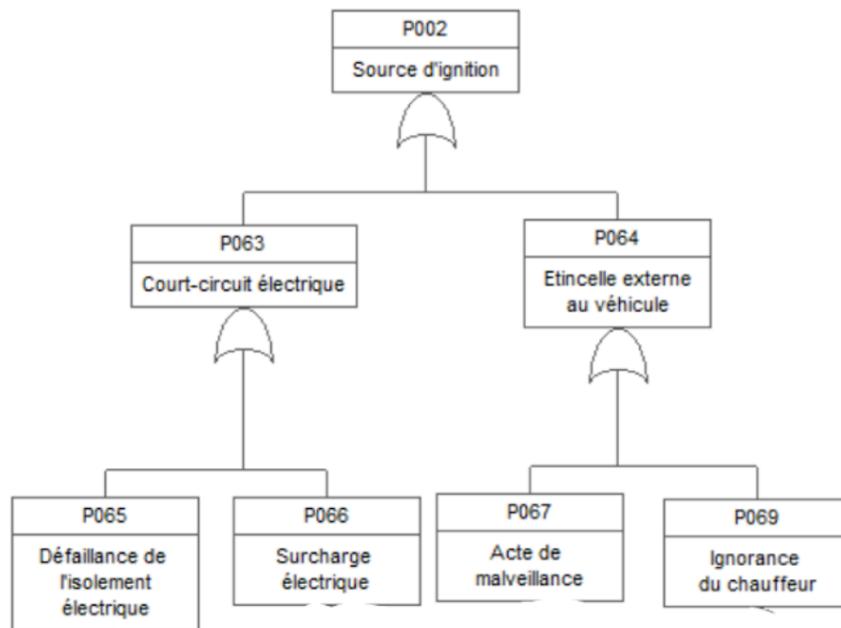


Figure 3.22: AdD de la source d'ignition

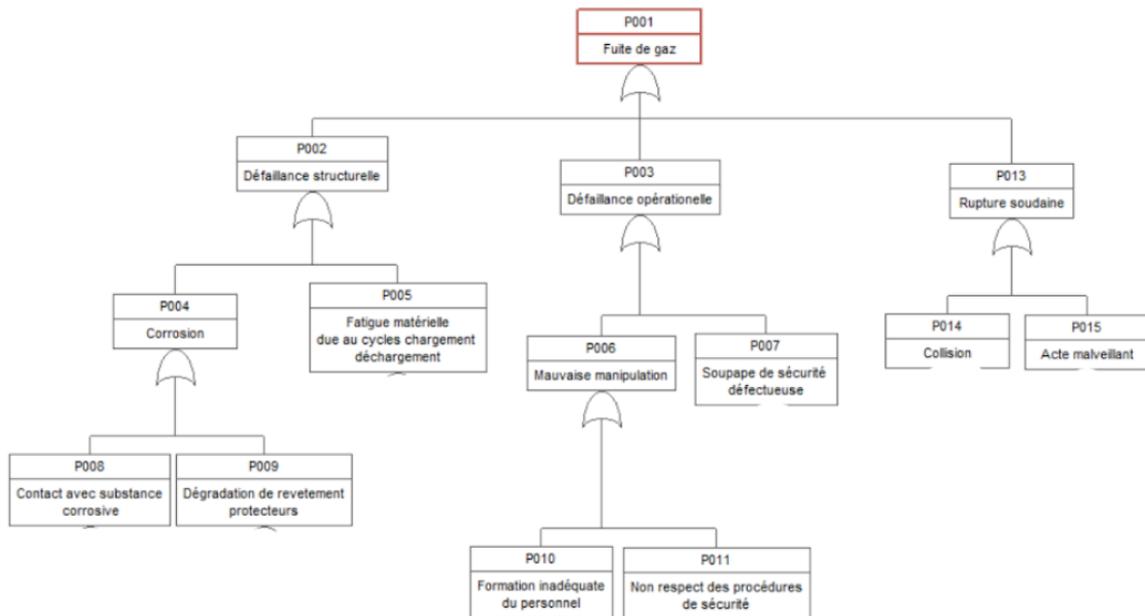


Figure 3.23: AdD de la fuite de gaz

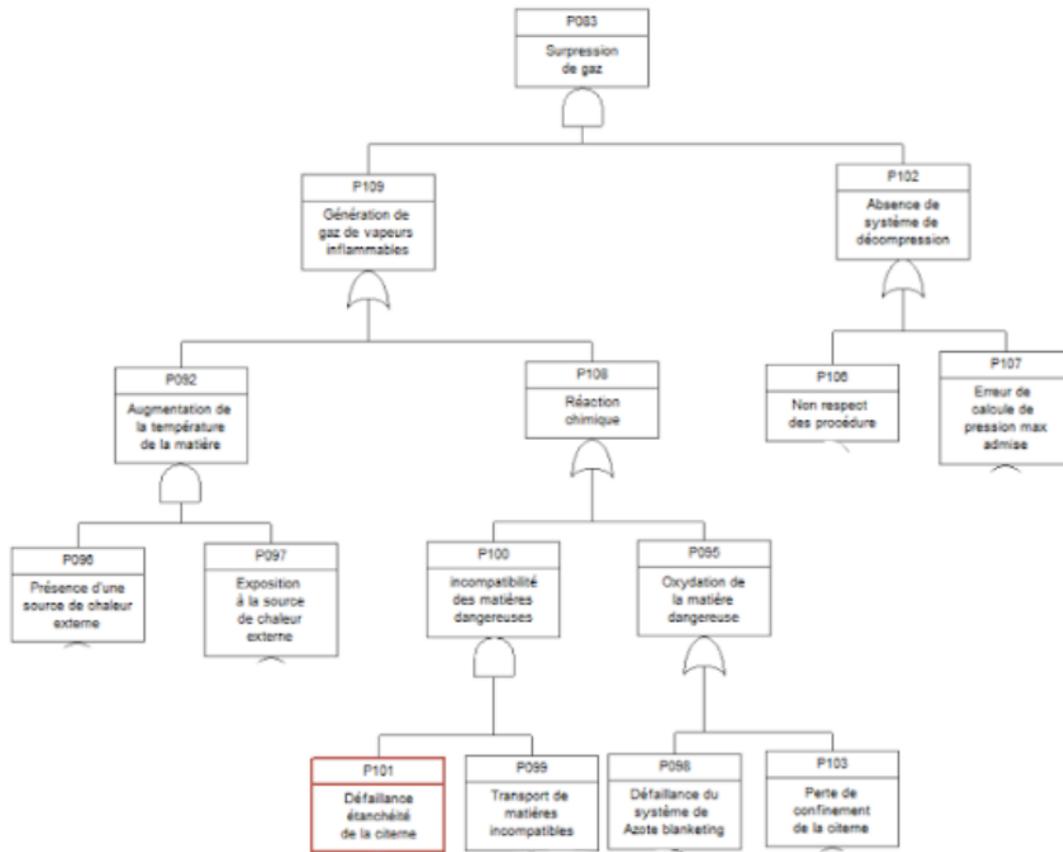


Figure 3.24: AdD de la surpression de gaz

L'AdD montrent que les causes principales d'une explosion peuvent être gérées par la gestion de la fuite de gaz et de la surpression de gaz et par l'implantation de barrières de prévention appropriées.

Sources d'ignition :

- **Actes humains externes :** Les sources d'ignition peuvent souvent être causées par des activités humaines en dehors du périmètre contrôlable. Cela peut inclure des travaux de soudure, des cigarettes allumées, des équipements défectueux ou des actes de malveillance. Ces sources sont difficiles à maîtriser car elles échappent souvent aux procédures de sécurité standard.
- **Défaillance électrique :** Les courts-circuits et les surcharges électriques entraînent des surchauffes, puis des étincelles.

Fuites de gaz :

- **Corrosion :** L'exposition continue des matériaux à des substances corrosives peut entraîner une dégradation progressive, conduisant à des fuites. La corrosion peut être interne, causée par le produit transporté, ou externe, due aux conditions environnementales.

- **Fatigue matérielle** : Les matériaux subissent des contraintes répétitives et des variations de température, ce qui peut provoquer des fissures et des ruptures au fil du temps.
- **Erreurs de manipulation** : Des erreurs humaines, telles que des connexions incorrectes, des fermetures inadéquates des valves ou des dommages accidentels lors de la manutention, peuvent entraîner des fuites.

Suppression de gaz :

- **Réactions chimiques** : Certaines matières dangereuses peuvent réagir chimiquement, produisant des gaz ou de la chaleur, entraînant une augmentation de la pression à l'intérieur des conteneurs. Ces réactions peuvent être déclenchées par des impuretés, des mélanges non intentionnels ou des conditions de stockage inadéquates.
- **Défaillance des équipements** : Les équipements de contrôle de pression, comme les soupapes de sécurité, peuvent échouer en raison de mauvais entretien, de blocages ou de défauts de conception.

3.2.3 Évaluation du risque

Après avoir tracé les boîtes noires et l'arbre de défaillance, nous avons une compréhension détaillée des différentes fonctions et interactions au sein de notre système. Cette étape nous a permis de décomposer le système en éléments plus simples, facilitant ainsi l'identification des potentiels points de défaillance.

Le but de cette phase d'évaluation est d'analyser les scénarios générés précédemment afin de déterminer la probabilité d'occurrence de l'accident redouté et son potentiel impact. Cela implique de hiérarchiser les scénarios identifiés et de distinguer ceux qui sont possibles de ceux qui sont moins possibles.

3.2.3.1 Proposition d'un algorithme d'évaluation basé sur l'outil Google Sheet

L'évaluation du risque TMD s'appuie sur l'analyse de ces quatre facteurs clés, chacun pondéré en fonction de son importance relative et de sa capacité à influencer le niveau de risque global. Cette pondération permet de prendre en compte la nature intrinsèque du danger, les antécédents d'accidents, les caractéristiques du trajet et la vulnérabilité des zones traversées.

Danger lié à la matière

Ce facteur est considéré comme le plus important en raison du potentiel de dommage inhérent à la matière transportée. Un accident impliquant une matière hautement dangereuse, comme une matière explosive ou toxique, peut avoir des conséquences catastrophiques pour les personnes, les biens et l'environnement. La pondération de 30% reflète cette gravité potentielle.

Historique des accidents

L'analyse des accidents survenus sur le trajet permet d'identifier les zones à risque et les types d'incidents les plus fréquents. Cette connaissance historique est essentielle pour anticiper les dangers potentiels et prendre des mesures préventives ciblées. La pondération de 25% souligne l'importance de cette analyse.

Caractéristiques du trajet

Le choix du mode de transport, les conditions météorologiques et l'état du réseau routier influencent considérablement la probabilité d'accidents. Ces facteurs contextuels ne peuvent être négligés lors de l'évaluation du risque. La pondération de 25% reflète leur importance non négligeable.

Vulnérabilité des zones traversées

La sensibilité des zones traversées aux conséquences d'un accident est un facteur important à prendre en compte. Des zones densément peuplées, des zones à proximité de sites sensibles ou des infrastructures critiques présentent un risque accru. La pondération de 20% souligne cette importance relative.

L'évaluation du risque TMD consiste à attribuer une note à chaque indice en fonction de son ampleur et de sa criticité. Ces notes sont ensuite pondérées par les coefficients respectifs et cumulées pour obtenir un score global du risque. Ce score global permet de classer le transport selon une échelle de risque (faible, modéré, élevé) et de prendre des décisions éclairées concernant :

- Le choix du mode de transport le plus sûr
- La sélection d'itinéraires moins risqués
- La mise en place de mesures de prévention adaptées
- La planification des interventions d'urgence en cas d'accident
- Le respect des réglementations en vigueur

La pondération des indices d'évaluation du risque TMD permet d'appréhender de manière plus fine les différents facteurs influençant le risque global et de prendre des mesures préventives ciblées pour garantir un transport de matières dangereuses sûr et responsable.

Vous trouverez dans l'annexe E un tableau résumant les pondérations des quatre facteurs ainsi que les paramètres de chaque facteur.

3.2.3.2 Formule de calcul d'évaluation proposé via l'outil Google Sheet

Le poids dans une moyenne pondérée agit comme un multiplicateur du nombre d'occurrences d'une valeur donnée, influençant directement le calcul de la moyenne. Cette méthode est particulièrement utile lorsque toutes les observations ne contribuent pas de manière égale à l'analyse, permettant ainsi une évaluation plus précise et personnalisée des données, comme dans notre cas.

Pour chaque sous-critère, vous multipliez la note par sa pondération et faites la somme pour obtenir le score total de chaque facteur. Une fois que nous avons les scores pondérés pour chaque critère, nous pouvons utiliser la formule pour calculer le risque global. Le risque global est égal à la somme du risque de chaque facteur multiplié par sa pondération respective.

$$\begin{aligned} \text{Risque} &= 0.3 \times \text{danger lié à la matière} \\ &+ 0.2 \times \text{probabilité} \\ &+ 0.25 \times \text{exposition et trajet} \\ &+ 0.25 \times \text{vulnérabilité} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Danger lié à la matière} &= 0.3 \times \text{nature du danger} \\ &+ 0.5 \times \text{type d'emballage} \\ &+ 0.2 \times \text{quantité} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Probabilité} &= 0.6 \times \text{fréquence des accidents} \\ &+ 0.4 \times \text{gravité} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Exposition et trajet} &= 0.5 \times \text{type de route} \\ &+ 0.3 \times \text{météo} \\ &+ 0.2 \times \text{état de la route} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vulnérabilité} &= 0.5 \times \text{densité d'habitation} \\ &+ 0.3 \times \text{IC} \\ &+ 0.2 \times \text{types de zones environnementales} \end{aligned}$$

Nous avons pu réaliser une Dash-Board qu'on remplit avec les informations nécessaires et qui résulte en une évaluation globale du risque dans l'annexe 4.2.1. Vous trouverez dans l'annexe G une application sur les 3 segments déjà proposés et dont les conséquences ont été modélisées.

Après avoir évalué le risque lié au TMD en tenant compte des 4 facteurs, nous allons maintenant passer à la phase de maîtrise du risque afin de développer des barrières de sécurité.

3.2.4 Moyens de maîtrise du risque

Après avoir analysé l'arbre de défaillance, il a été remarqué que deux événements redoutés importants à maîtriser sont la fuite de gaz et la surpression de gaz. Ces deux événements nécessitent un contrôle complet et continu de la citerne du camion. La source d'ignition étant d'origine humaine, elle est difficilement maîtrisable.

3.2.4.1 Importance de la prévention en TMD

La législation algérienne, notamment le décret exécutif n 06-198 du 31 mai 2006, impose des normes strictes pour le transport de ces substances. [29] La prévention est cruciale pour :

- Protéger la population et l'environnement.
- Éviter les accidents et les incidents potentiellement catastrophiques.
- Assurer la continuité des activités économiques et industrielles.

La réglementation algérienne s'applique à toutes les entreprises impliquées dans le TMD, y compris les producteurs, les transporteurs, et les destinataires. Cela inclut les substances inflammables, explosives, toxiques, corrosives, et radioactives.

3.2.4.2 Méthodes de prévention utilisées en Algérie

Le décret exécutif n 90-79 impose des exigences précises pour l’emballage, l’étiquetage et la documentation des matières dangereuses. Par exemple, chaque contenant doit afficher des étiquettes de danger conformes aux standards internationaux. [29].

Prescriptions Techniques pour les Citernes : Les prescriptions techniques visent à garantir la sécurité du transport de matières dangereuses (TMD), en minimisant les risques de fuites, d’explosions ou d’autres accidents, tout en assurant une robustesse et une durabilité optimales des citernes. Les prescriptions techniques se résument à trois points essentiels et réglementés :

Conception et Fabrication

- **Matériaux :** Acier inoxydable ou alliages spéciaux résistants à la corrosion et aux chocs.
- **Normes :** Conformité aux normes internationales telles que l’ADR.

Équipements de Sécurité

- **Soupapes de sécurité :** Ils doivent résister à une pression de 4 bar pour une citerne de 40 000 litres.
- **Systèmes de fermeture hermétique :** Ils garantissent l’étanchéité des ouvertures de la citerne.
- **Dispositifs de protection contre les impacts :** Ils représentent des structures renforcées pour protéger la citerne en cas de collision.

Entretien Régulier

- **Fréquence :** Inspections périodiques au moins une fois par an.

Examens Techniques

Les examens techniques des citernes visent à garantir que les citernes respectent les normes de conception, de fabrication et de maintenance, afin d’assurer leur fiabilité et leur sécurité en service. Cette section détaille les différentes étapes des examens techniques, les seuils de sécurité, et les procédures et normes applicables.

Examen Initial

Il a pour objectif de garantir que la citerne est apte à transporter des matières dangereuses en toute sécurité avant sa mise en service. [30].

- **Inspection visuelle** : vérification de l'intégrité structurelle, des soudures, des supports et des équipements de sécurité. Les soudures doivent être conformes aux normes de l'ADR et exemptes de défauts visibles.
- **Test de pression** : remplissage de la citerne avec de l'eau ou un gaz inerte, puis application d'une pression de 1,5 fois la pression de service maximale. Par exemple, pour une pression de service de 10 bars, la pression appliquée sera de 15 bars.
- **Contrôle d'étanchéité** : utilisation de méthodes comme le test au savon ou des capteurs électroniques pour détecter les fuites potentielles.
- **Certification de conformité** : attribution d'une certification après succès des tests, attestant que la citerne respecte toutes les normes de sécurité.

Examen Périodique

L'examen périodique s'effectue tous les trois ans [30].

- **Inspection externe** : Vérification de l'état général, y compris la peinture, les étiquettes de danger et les équipements de sécurité.
- **Test de pression** : Répétition du test de pression initial pour confirmer la capacité de la citerne à supporter la pression de service. Application d'une pression de 1,5 fois la pression de service maximale.
- **Contrôle visuel interne** : Inspection de l'intérieur de la citerne pour détecter toute corrosion, fissure ou déformation.

Examen Intermédiaire

L'examen intermédiaire s'effectue tous les six ans [30].

- **Inspection complète** : Combinaison d'inspections externes et internes détaillées, utilisant des endoscopes pour les zones difficiles d'accès.
- **Essais non destructifs (END)** : Utilisation d'ultrasons, de rayons X ou de magnétoscopie pour détecter des défauts internes invisibles à l'œil nu.
- **Test de pression et d'étanchéité** : Application de tests plus rigoureux pour vérifier l'intégrité de la citerne.

Examen Spécial

Un examen spécial est effectué en cas de modification majeure ou de réparation importante [30].

- **Inspection après réparation** : Contrôle des soudures et des réparations, utilisant des tests non destructifs pour vérifier la qualité des réparations.

- **Tests de conformité** : réalisation de tous les tests de l'examen initial pour s'assurer que la citerne modifiée ou réparée respecte toujours les normes de sécurité.

Les examens techniques, qu'ils soient initiaux, périodiques, intermédiaires ou spéciaux, sont conçus pour identifier et corriger les défauts potentiels avant qu'ils ne provoquent des incidents graves. L'application rigoureuse des normes internationales, combinée à des inspections régulières et à l'utilisation de technologies avancées, permet de réduire significativement les risques associés au TMD.

Veille à l'Application des Examens Techniques et à la Conformité

Les autorités compétentes, telles que les agences de régulation des transports et les organismes de certification, jouent un rôle clé dans le contrôle et la surveillance de l'application des examens techniques. Elles effectuent des inspections régulières et des audits pour s'assurer que les normes sont respectées. Les non-conformités détectées peuvent entraîner des sanctions, des suspensions de licences ou des obligations de mise en conformité immédiate.

Les forces de l'ordre comme la GN, assure la conformité des véhicules et cela à travers le contrôle journaliers par les gendarmes dans les points de contrôle dans le territoire national, veillant à l'application des normes de sécurité.

Afin de faciliter et optimiser le travail de la GN, nous parlerons dans la prochaine section d'un outil que nous avons développé qui permet au gendarme d'avoir toutes les données nécessaires afin qu'il soit apte à prendre sa décision.

3.2.5 Outil d'aide à la prise de décision lors des contrôles liés aux TMD

Le contrôle des matières dangereuses est un ensemble de pratiques et de procédures visant à gérer de manière sûre et efficace la manipulation, le stockage, le transport et l'élimination de ces substances. Les objectifs principaux sont de minimiser les risques pour les personnes, les biens et l'environnement.

Nous avons choisi de se concentrer sur le contrôle pendant le transport seulement afin de développer une idée innovante permettant l'encadrement du gendarme présent dans les points de contrôle et présentant un outil momentané d'analyse de risque aidant le gendarme à la prise de décision.

3.2.5.1 Analyse de Besoin

L'objectif de cette analyse est de déterminer les besoins spécifiques pour le développement d'un outil facilitant les procédures de contrôle des TMD. Cet outil vise à améliorer la gestion, la conformité, et la sécurité des opérations de TMD.

Le TMD est soumis à des réglementations strictes pour garantir la sécurité des personnes, des biens, et de l'environnement. Un outil dédié peut aider les parties prenantes à respecter ces réglementations tout en optimisant leurs opérations.

Objectifs de l'Outil

Développer un outil pour simplifier, automatiser et sécuriser les procédures de contrôle des TMD et pour numériser ces procédures et garder la traçabilité pour une longue durée. Cela se schématise à travers :

- La facilitation de la gestion des documents et des procédures de conformité.
- L'amélioration de la traçabilité et de la transparence des opérations de transport.
- L'optimisation des processus de contrôle et de validation des TMD pour les autorités.
- La réduction des risques d'accidents et d'incidents.
- La communication efficace entre toutes les parties prenantes.

Présentation de l'Outil

Dans le cadre de la gestion et de la régulation du TMD, les forces de l'ordre telles que la GN font face à plusieurs défis. Ces défis comprennent la vérification rapide et précise des documents, des données sur les véhicules et les conducteurs. Pour améliorer l'efficacité et la sécurité de ces contrôles, une approche innovante utilisant des codes QR peut être mise en œuvre.

Notre outil offre une solution numérique innovante pour faciliter et sécuriser les procédures de contrôle des TMD. Avant même le contrôle, l'entreprise renseigne toutes les informations nécessaires sur un site dédié : les détails du camion, du conducteur et de la matière transportée. Ces données sont stockées dans une base de données centralisée.

Lors du contrôle routier, le gendarme peut simplement scanner un code QR qui lui permet d'accéder instantanément à toutes ces informations, l'aidant ainsi dans sa vérification. L'application fournit non seulement les documents à examiner, mais aussi des renseignements détaillés sur le véhicule, le conducteur et la nature de la marchandise.

De plus, elle propose une analyse de risque complète, évaluant le danger lié à chaque

matière, ainsi que la vulnérabilité, le trajet emprunté et la probabilité d'accidents liée à l'historique.

Enfin, l'outil offre des schémas illustrant l'emplacement adéquat de la signalisation sur le camion, facilitant ainsi le contrôle visuel par les forces de l'ordre. Cette solution numérique contribue ainsi à simplifier les procédures, à réduire les risques et à optimiser les contrôles des TMD.

Valeur Ajoutée

Notre solution ne se contente pas de simplifier les vérifications actuelles, elle apporte également une valeur ajoutée significative à plusieurs niveaux.

Sécurité

- Utilisation de hachage pour sécuriser les processus de code QR et d'authentification.
- Protection des données sensibles contre les accès non autorisés et les tentatives de piratage.
- Implémentation possible de l'authentification à deux facteurs pour une protection renforcée.

Historique Détaillé

- Archivage pratique et utile des historiques de contrôles pour les potentielles enquêtes.
- Capacité à retracer toutes les étapes importantes et obtenir une vue d'ensemble des événements passés.
- Utilité en tant que preuve en cas de litiges ou de vérifications internes.

Intégration Facile

- Solution accessible et facile à utiliser pour tous, y compris les utilisateurs non techniques.
- Interface utilisateur intuitive offrant une expérience irréprochable.
- Intégration simplifiée avec les systèmes existants, facilitant la transition.

Code QR

- Contient toutes les informations nécessaires pour les contrôles de gendarmerie.

- Simplifie le processus de vérification en intégrant toutes les données essentielles en un seul scan.
- Permet de gagner du temps et de réduire les erreurs humaines lors des contrôles.

Numérisation

- Amélioration de l'efficacité, réduction des erreurs manuelles et facilitation de l'accès à l'information en temps réel.
- Contribution à la réduction de l'utilisation de papier, bénéfique pour l'environnement.
- Documents numérisés facilement partageables et consultables à distance, favorisant la collaboration et la productivité.

3.2.5.2 Propriétés du code QR

Les codes QR (Quick Response codes) sont des codes-barres bidimensionnels qui peuvent stocker des informations sous forme de motifs de points ou de carrés, lisibles par des scanners QR ou des smartphones.

Les codes QR sont constitués d'une grille de modules noirs et blancs, et existent en 40 versions, variant en taille de 21x21 modules (version 1) à 177x177 modules (version 40). Ils utilisent la correction d'erreur Reed-Solomon, avec quatre niveaux (L, M, Q, H), permettant de reconstruire des données même si une partie du code est endommagée. En termes de capacité de stockage, un code QR peut contenir jusqu'à 4 296 caractères alphanumériques, 7 089 chiffres, 2 953 octets de données binaires, ou 1 817 caractères Kanji. Les modes de codage disponibles incluent le numérique, l'alphanumérique, le binaire et le Kanji, ce qui permet une grande flexibilité dans les types de données pouvant être stockées.[40] [31]

Avantages des codes QR

- **Haute capacité de stockage** : Les codes QR peuvent stocker beaucoup plus de données que les codes-barres unidimensionnels traditionnels.
- **Vitesse de lecture** : Les scanners QR et les smartphones peuvent lire les codes QR rapidement et efficacement, même dans des conditions de faible éclairage.
- **Correction d'erreur** : Les niveaux de correction d'erreur permettent de lire le code QR même s'il est partiellement endommagé ou sale.
- **Polyvalence** : Peut être utilisé pour stocker divers types de données, y compris des URL, du texte brut, des informations de contact (vCard), des SMS, des emails, des emplacements géographiques.

- **Facilité de génération et de lecture** : De nombreux générateurs de codes QR gratuits sont disponibles en ligne, et la plupart des smartphones modernes peuvent scanner les codes QR avec leur appareil photo intégré.

Inconvénients des codes QR

- **Limites de taille physique** : Plus la quantité de données stockées est importante, plus la taille physique du code QR doit être grande pour maintenir la lisibilité.
- **Esthétique et conception** : Les codes QR peuvent être considérés comme inesthétiques dans certains contextes de design, nécessitant parfois une intégration créative pour ne pas perturber l'esthétique globale.
- **Sécurité et confidentialité** : Les codes QR peuvent être utilisés pour diriger les utilisateurs vers des sites web malveillants ou pour exécuter des actions non désirées. Il est donc important de scanner les codes QR provenant de sources fiables.

Les codes QR offrent une solution versatile et efficace pour le stockage et la lecture rapide de données dans de nombreux contextes. Leur capacité de stockage élevée, leur vitesse de lecture et leur robustesse grâce à la correction d'erreur en font un outil précieux dans diverses applications commerciales et personnelles.

3.2.5.3 Réponse aux besoins de à la GN

Pour la GN, cela signifie un accès instantané aux informations importantes. En scannant un code QR apposé sur un véhicule de TMD, le gendarme pourrait immédiatement accéder à :

- Les détails du véhicule, y compris son immatriculation et son état de conformité.
- Les informations sur le conducteur, telles que les permis nécessaires et les certificats de formation.
- Les documents relatifs aux matières transportées, y compris les fiches de sécurité et les autorisations pertinentes.

L'utilisation de codes QR pour stocker et accéder aux informations de vérification présente plusieurs avantages. Premièrement, elle assure l'exactitude et l'actualité des informations disponibles, car les données peuvent être mises à jour en temps réel. Deuxièmement, elle réduit la nécessité de transporter des documents papier, diminuant ainsi le risque de perte ou de falsification et cela dans le cadre du projet de numérisation vers lequel nous nous dirigeons inévitablement. Enfin, elle facilite une approche plus intégrée et systématique de la vérification, où toutes les informations nécessaires sont disponibles en un seul scan.

3.2.5.4 Réponse aux besoins des entreprises du TMD

Dans le secteur du transport de matières dangereuses, la sécurité, la conformité et l'efficacité sont des priorités absolues. Les entreprises doivent non seulement respecter des réglementations strictes, mais aussi gérer des processus complexes pour assurer que chaque transport se déroule sans incident. L'adoption de technologies numériques offre une solution puissante pour relever ces défis, notamment grâce à l'utilisation de codes QR et de bases de données centralisées.

Gains de Temps et de Productivité

L'utilisation de technologies numériques pour la saisie et la gestion des informations élimine la nécessité de manipuler des documents papier. Cela réduit les erreurs humaines, les délais et les coûts associés au traitement manuel des documents. De plus, l'accès instantané aux données lors des contrôles routiers permet d'accélérer les procédures, rendant les processus de vérification plus efficaces et moins chronophages pour les forces de l'ordre et les entreprises.

Amélioration de la Traçabilité

La centralisation des informations dans une base de données sécurisée permet une gestion plus cohérente et accessible des données. Cela améliore la traçabilité des mouvements de matières dangereuses, facilitant les audits et les reportings. Un suivi détaillé des mouvements de déchets garantit que toutes les étapes du transport sont documentées, offrant une transparence totale et une facilité d'accès aux informations historiques.

Réduction des Risques et des Sanctions

Grâce à une analyse de risque approfondie, les entreprises peuvent identifier et prévenir les situations à risque avant qu'elles ne se produisent. Cette proactivité permet de maintenir une conformité stricte avec les réglementations en matière de transport de matières dangereuses, réduisant ainsi les risques de sanctions. Les systèmes numériques facilitent également l'adhérence aux normes de sécurité, garantissant que toutes les exigences légales sont respectées.

Simplification des Contrôles

La mise à disposition instantanée de toutes les informations nécessaires aux forces de l'ordre réduit considérablement le temps passé lors des contrôles routiers. Les agents peuvent accéder rapidement aux détails pertinents sur les véhicules, les conducteurs et les

matières transportées, ce qui simplifie les vérifications et réduit les interruptions du flux de transport.

Meilleure Coordination avec les Autorités

Les échanges facilités entre les entreprises et les services de contrôle améliorent la transparence et la fluidité des procédures. Une meilleure coordination avec les autorités favorise la collaboration et assure que les entreprises et les régulateurs travaillent ensemble de manière harmonieuse. Cette collaboration améliore la sécurité et la conformité des opérations de transport.

Avantage Concurrentiel

L'adoption de solutions numériques démontre l'engagement de l'entreprise en matière de sécurité et de traçabilité. En se différenciant par rapport à la concurrence grâce à une solution innovante, les entreprises peuvent renforcer leur position sur le marché. Une telle démonstration de progrès technologique et de responsabilité peut attirer des clients et des partenaires qui valorisent la sécurité et l'efficacité.

3.2.5.5 Principales composantes et fonctionnalités de l'outil

L'outil numérique proposé met en œuvre une solution basée sur les codes QR pour faciliter et sécuriser les procédures de contrôle des TMD. Vous trouverez sur l'annexe... les plans résumant le principe de marche du site internet et de l'application.

Collecte et stockage des informations

- Saisie par l'entreprise : Avant le contrôle, l'entreprise renseigne toutes les informations nécessaires (détails du camion, du conducteur, et de la matière transportée) sur un site dédié. Dans la Figure 3.25 un exemple sur la page où les entreprises remplissent les renseignements liés à la matière et au chauffeur.

Figure 3.25: Représentation de la page du site où les entreprises remplissent les renseignements liés à la matière et au chauffeur

- Base de données centralisée : Ces données sont stockées dans une base de données centralisée, accessible par la GN.

Dans la Figure 3.26 est visualisée la page du site internet où il est indiqué que le code QR lié à la base de données spécifique est prêt.

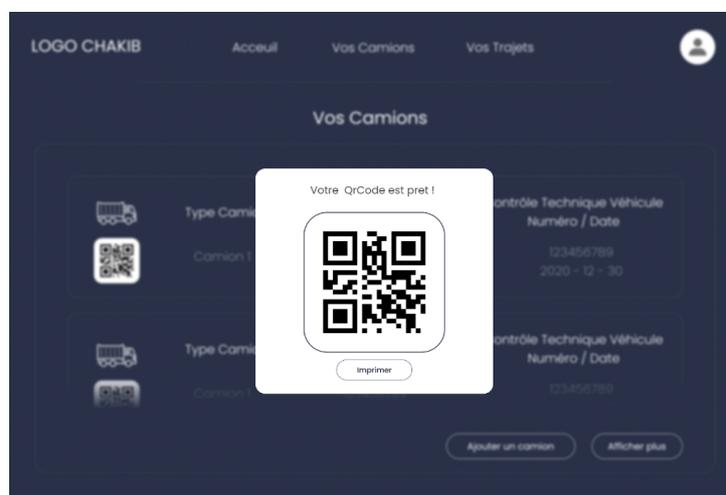


Figure 3.26: Page du site indiquant le code QR lié à la base de données

Contrôle Routier par la GN

- Scan de code QR : Lors du contrôle routier, le gendarme peut scanner un code QR pour accéder instantanément à toutes les informations nécessaires comme affiché sur la Figure 3.27.



Figure 3.27: Interface du scan du code QR de l'application

- Accès aux informations : L'application fournit les documents à examiner, ainsi que des renseignements détaillés sur le véhicule, le conducteur et la nature de la marchandise comme sur la Figure 3.28



Figure 3.28: Interface de l'application indiquant les informations sur la matière ainsi que les indications sur la signalisation

- Analyse de risque : L'application propose une analyse de risque complète, évaluant le danger lié à chaque matière, la vulnérabilité, le trajet emprunté, et la probabilité d'accidents liée à l'historique.
- Schémas de signalisation : L'outil offre des schémas illustrant l'emplacement adéquat de la signalisation sur le camion, comme indiqué dans la figure. . . , facilitant ainsi le contrôle visuel par les forces de l'ordre.

Interface utilisateur et processus

- **Connexion et authentification** : Les utilisateurs (entreprises et forces de l'ordre) se connectent via une page d'authentification sécurisée, cela est indiqué dans la Figure 3.29 et la Figure 3.30.

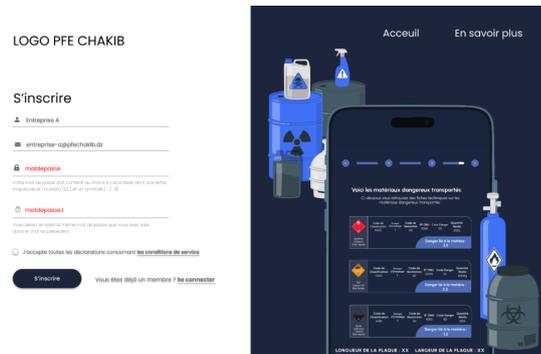


Figure 3.29: Interface d'ouverture du site



Figure 3.30: Interface d'ouverture de l'application

- **Saisie des informations** : Les entreprises remplissent les formulaires nécessaires concernant le trajet, le camion, le conducteur, et les matières dangereuses, comme indiqué dans la Figure 3.25.
- **Génération de QR Code** : Une fois toutes les informations saisies et validées, un code QR est généré pour le camion et le trajet spécifique.
- **Vérification et validation** : Lors du contrôle routier, le gendarme scanne le QR code, accède aux informations, effectue les vérifications nécessaires, et valide ou non le transport.

3.2.6 BACK-END

Le back-end, en développement informatique, fait référence à la partie d'un site web ou d'une application qui est responsable de la gestion des données, de la logique métier, et de la communication avec la base de données et d'autres services. Contrairement au front-end, qui est l'interface utilisateur visible et avec laquelle les utilisateurs interagissent, le back-end fonctionne en coulisses pour traiter les requêtes, exécuter des scripts, gérer les authentifications et les autorisations, et fournir des données au front-end.[41] Les composants principaux du back-end incluent :

Serveur

L'ordinateur ou le service qui héberge l'application et traite les requêtes des utilisateurs.

Base de Données

Où les données de l'application sont stockées et récupérées. Les bases de données peuvent être relationnelles (comme MySQL, PostgreSQL) ou non relationnelles (comme MongoDB).

API (Interface de Programmation d'Application)

Un ensemble de définitions et de protocoles pour permettre à un logiciel de communiquer avec un autre. Les API sont souvent utilisées pour permettre la communication entre le front-end et le back-end.

Langages de Programmation et Frameworks

Les outils utilisés pour développer le back-end, tels que Java, Python, Ruby, PHP, Node.js, et des frameworks comme Django, Ruby on Rails, Express.js. . .

3.2.6.1 Back-end site web

Sur la page d'accueil, le client envoie une requête au backend de connexion en entrant les informations nécessaires pour accéder à l'application. Cette authentification compare les versions hachées (sécurisées) du mot de passe entré par l'utilisateur et du mot de passe stocké dans le backend. Ce processus garantit que les informations de connexion restent confidentielles et protégées contre les accès non autorisés. La sécurité des données est primordiale, et ce mécanisme empêche les tentatives d'intrusion en vérifiant uniquement les versions chiffrées des mots de passe. Ensuite, deux fonctions entrent en jeu :

Ajout d'un camion

Le client saisit les informations du camion telles que le modèle, l'année de fabrication et le numéro de carte grise. Dans le backend, le numéro de carte grise est hashé pour sécuriser le processus et générer le code QR spécifique au camion, qui est ensuite envoyé au client pour être utilisé à des fins de repérage et de gestion. Toutes les informations du camion sont stockées dans la base de données, garantissant ainsi une traçabilité et une gestion efficace des véhicules.

Ajout d'un trajet

Le client entre les informations des chauffeurs, telles que le nom, le permis de conduire et les heures de disponibilité, ainsi que les informations des matières dangereuses transportées, comme le type de matière, la quantité et les consignes de sécurité. Le serveur supprime les anciennes informations similaires de la base de données avant de stocker les nouvelles. Ce processus de mise à jour assure que les données sont toujours actuelles et précises, ce qui est essentiel pour la gestion logistique et la sécurité des opérations de transport.

3.2.6.2 Back-end Application

Sur la page d'accueil, le client envoie une requête au backend de connexion en entrant les informations nécessaires pour accéder à l'application. Cette authentification compare les versions hachées (sécurisées) du mot de passe entré par l'utilisateur et du mot de passe stocké dans le backend. Ce processus garantit que les informations de connexion restent confidentielles et protégées contre les accès non autorisés.

Lorsqu'un code QR déjà enregistré est scanné, une requête est envoyée au backend pour afficher les informations nécessaires lors d'un contrôle par les gendarmes. Le système de scan vérifie l'authenticité du code QR et récupère les données associées, assurant ainsi une vérification rapide et efficace des documents ou des informations requises par les forces de l'ordre.

Pour ajouter un accident, l'utilisateur indique la gravité de l'accident, sa date et son heure, puis enregistre ces informations dans la base de données, en identifiant le point de contrôle lié à l'accident. Le système calcule tous les accidents produits dans le même barrage et met à jour ces informations dans la base de données. Ce processus inclut également la classification des accidents en fonction de leur gravité et de leur impact sur la circulation, ce qui permet de générer des rapports détaillés et d'améliorer les mesures de

sécurité routière.

La solution présentée est parfaitement adaptée aux besoins de la GN, en facilitant le contrôle du TMD. Elle propose un outil d'évaluation en temps réel, offrant des fonctionnalités complètes d'aide à la prise de décision. Toutefois, le contrôle ne se limite pas uniquement à la GN. Il concerne également la police, les services de douane, les responsables HSE des entreprises. De plus, le contrôle n'est pas exclusivement destiné aux TMD, le contrôle est une action fondamentale et essentielle dans de nombreux domaines, garantissant la sécurité, la conformité et l'efficacité des opérations.

La prévention dans le TMD est essentielle pour garantir la sécurité publique, protéger l'environnement et maintenir la continuité des activités économiques. Les procédures d'examen technique des citernes jouent un rôle important dans cette prévention, en s'assurant que toutes les citernes utilisées respectent des normes strictes de sécurité et de fiabilité.

La gestion et le contrôle des TMD exigent l'utilisation d'outils performants et novateurs afin d'assurer la sécurité et la conformité réglementaire. Dans ce contexte, l'importance des solutions numériques robustes est primordiale. C'est là que notre startup, TRANSPORTI, intervient. Spécialisée dans la digitalisation des données liées au transport des marchandises et dans l'amélioration de leur contrôle, TRANSPORTI se positionne comme un acteur essentiel pour optimiser les processus logistiques et renforcer la sécurité. Le nom "TRANSPORTI" découle d'une combinaison ingénieuse de termes qui capture à la fois notre domaine d'expertise et notre approche innovante.

Chapitre 4

Startup : “Transport”

L'outil proposé pour la GN illustre parfaitement la qualité de nos services, la maturité de nos objectifs et le dévouement de notre startup. "TRANSPORTI", une startup algérienne déjà prête à prendre son envol. Spécialisée dans la numérisation des données liées au transport des marchandises et la facilitation de son contrôle.

Le nom "TRANSPORTI" trouve son origine dans une combinaison astucieuse de termes qui reflètent à la fois notre domaine d'activité et notre approche innovante.

- **"Transport"** : Le mot "Transport" est central à notre activité, représentant notre engagement à améliorer le contrôle et la gestion du transport de marchandises.
- **"Innovatif et dialecte algérien"** : La terminaison "I" n'est pas seulement une référence à l'innovation, mais elle résonne également avec le dialecte algérien où les verbes français sont souvent modifiés et conjugués pour donner une touche locale et familière.

Ainsi, "TRANSPORTI" n'est pas seulement un nom évocateur de notre mission et de notre vision, mais il intègre également une touche de familiarité et de proximité avec la culture algérienne.

Dans ce chapitre nous allons évoquer les visions et missions de notre startup, établir la matrice SWOT et notre Business Model Canva et ensuite finir par fixer nos objectifs stratégiques.

4.1 Vision et missions

Notre vision est de devenir le leader dans la numérisation et la gestion intelligente du transport de marchandises en Algérie et au-delà. Nous visons à créer un écosystème où les données de transport sont intégrées, accessibles et utilisées de manière optimale pour améliorer l'efficacité et la sécurité des opérations de transport. Notre mission se décline en plusieurs objectifs clés :

- **Numérisation des données** : transformer les données de transport physiques en données numériques facilement exploitables.
- **Facilitation du contrôle** : développer des outils de contrôle qui simplifient et améliorent la gestion des flux de marchandises.
- **Innovation continue** : rester à la pointe de la technologie pour offrir des solutions toujours plus performantes et adaptées aux besoins de nos clients.
- **Approche centrée sur le client** : garantir une expérience utilisateur optimale en comprenant et en répondant aux besoins spécifiques de chaque client.

4.2 Analyse SWOT

L'analyse SWOT est un outil stratégique utilisé pour identifier et évaluer les Forces (Strengths), les Faiblesses (Weaknesses), les Opportunités (Opportunities) et les Menaces (Threats) auxquelles une organisation est confrontée. Cet acronyme représente un cadre de réflexion structuré qui aide les entreprises à comprendre leur position actuelle et à planifier leur stratégie future. La Figure 4.1 représente l'application de l'analyse SWOT sur notre startup.[42]

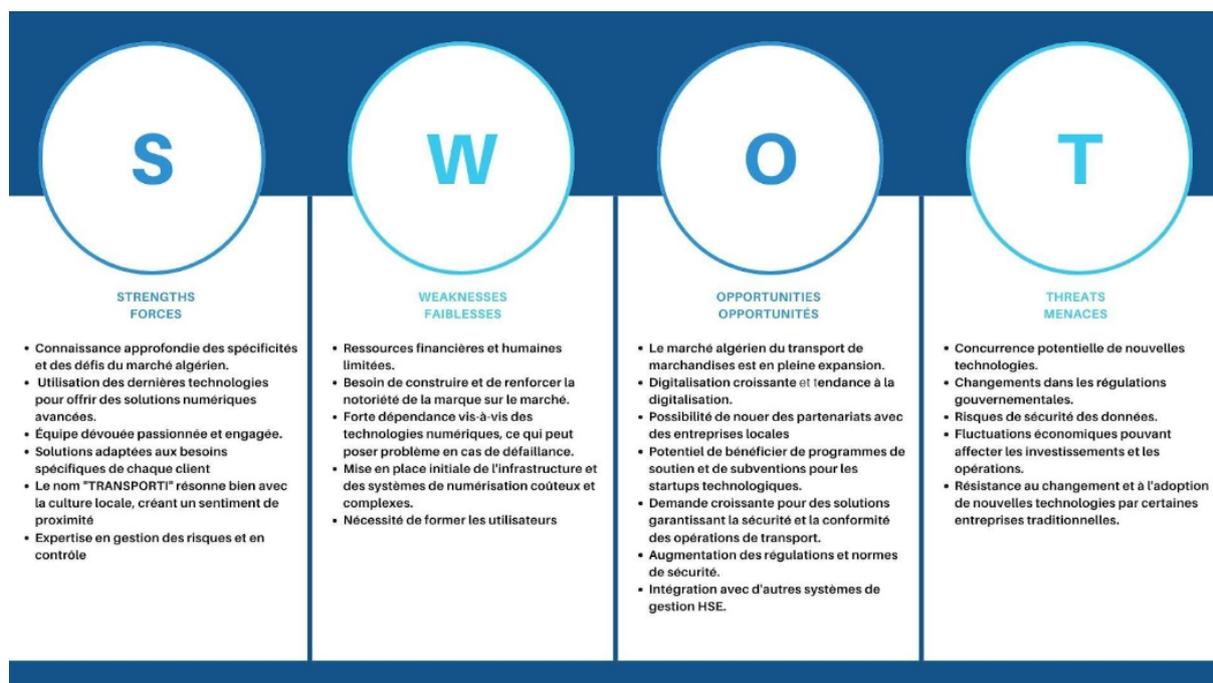


Figure 4.1: Analyse SWOT sur notre startup

4.2.1 Business Model Canva

Le Business Model Canvas (BMC) est un outil stratégique permettant de visualiser et de structurer les éléments clés d'une entreprise. Dans ce qui suit le BMC complet pour "TRANSPORTI".

Segment de client

Les segments de clients représentent les différents groupes de personnes ou d'organisations que notre startup cherche à atteindre et à servir. Identifier ces segments est crucial pour adapter notre offre et nos stratégies de marketing afin de répondre aux besoins spécifiques de chaque groupe cible. Les informations se trouvent dans le Tableau 4.1.

Segment	Description
Entreprises de transport	Entreprises locales spécialisées dans le transport de marchandises.
Grandes industries	Secteurs industriels nécessitant une gestion optimisée de leurs flux de transport par leurs HSE Managers et ingénieurs prévention (pétrochimie, agroalimentaire. . .).
PME	Petites et moyennes entreprises cherchant à améliorer leur gestion logistique.
Institutions gouvernementales	Organismes publics intéressés par la numérisation et le contrôle des transports de marchandises.
Autorités	Organisme de sécurité publique et de maintien de l'ordre.

Tableau 4.1: Représentation des segments de client

Proposition de valeur

La proposition de valeur décrit les avantages distinctifs que "TRANSPORTI" offre à ses clients. Elle exprime comment nos produits et services résolvent les problèmes des clients ou améliorent leur situation, créant ainsi une valeur perçue qui justifie leur choix de nos solutions par rapport à celles de la concurrence. Les informations se trouvent dans le Tableau 4.2.

Proposition	Description
Digitalisation des données	Transformation des documents papier en données numériques pour une gestion plus efficace.
Outils de gestion intelligente	Solutions de suivi en temps réel, optimisation des trajets, et réduction des coûts.
Sécurité et conformité	Garantir que les opérations de transport respectent les normes de sécurité et de conformité.
Interface utilisateur optimale	Développement d'une interface intuitive et facile à utiliser pour les clients.
Efficacité opérationnelle	Simplifier et améliorer les processus de contrôle et d'intervention en cas d'accidents.

Tableau 4.2: Représentation des propositions de valeur

Canaux de distribution

Les canaux de distribution sont les moyens par lesquels "TRANSPORTI" atteint ses segments de clients et leur livre la proposition de valeur. Il s'agit de comprendre comment nos clients préfèrent recevoir nos produits et services, et de développer des moyens efficaces

pour interagir avec eux à chaque étape du parcours client. Les informations se trouvent dans le Tableau 4.3.

Canal	Description
Site Web	Plateforme en ligne pour la présentation des services et la gestion des clients.
Application mobile	Application pour le suivi en temps réel des marchandises et l'accès aux outils de gestion.
Réseaux sociaux	Utilisation de plateformes comme LinkedIn, Facebook, et Twitter pour le marketing et la communication.
Partenariats stratégiques	Collaboration avec des entreprises de transport et des institutions pour promouvoir les services.

Tableau 4.3: Représentation des canaux de distribution

Relation avec les clients

Les relations avec les clients décrivent les types de relations que "TRANSPORTI" établit avec ses différents segments de clients. Il est essentiel de définir comment nous allons attirer, fidéliser et augmenter notre base de clients, tout en assurant qu'ils restent satisfaits et engagés avec notre marque. Les informations se trouvent dans le Tableau 4.4.

Relation	Description
Support client personnalisé	Assistance dédiée pour répondre aux besoins spécifiques de chaque client.
Formation et assistance	Programmes de formation pour aider les clients à utiliser les outils numériques efficacement.
Newsletter et mises à jour	Communication régulière sur les nouvelles fonctionnalités et les améliorations des services.

Tableau 4.4: Représentation des relations avec les clients

Flux de revenu

Les flux de revenus expliquent comment "TRANSPORTI" génère de l'argent grâce à chaque segment de clients. Il s'agit des différentes façons dont les clients paient pour notre proposition de valeur, que ce soit par abonnement, par transaction ou par des services additionnels. Les informations se trouvent dans le Tableau 4.5.

Source	Description
Abonnements	Modèle d'abonnement annuel pour l'utilisation continue de l'application et du site web.
Tarification de la numérisation	Frais par volume de données numérisées et gérées.
Services additionnels	Revenus provenant de services complémentaires comme des formations spécifiques et du consulting.
Service de maintenance	Abonnement mensuel
Frais de licence pour les autorités	Pour l'utilisation de l'application par les forces de l'ordre.

Tableau 4.5: Représentation des flux de revenue

Ressources clés

Les ressources clés sont les actifs indispensables pour que "TRANSPORTI" puisse offrir sa proposition de valeur, atteindre ses segments de clients, maintenir ses relations et générer des revenus. Ces ressources peuvent être physiques, intellectuelles, humaines ou financières. Les informations se trouvent dans le Tableau 4.6.

Ressource	Description
Ressources humaines	Ingénieur QHSE, trois développeurs, responsable communication et marketing, agent commercial, infographe.
Ressources matérielles	Loyer à prix raisonnable pour deux ans, fournitures bureau et accès à internet.
Infrastructure IT	Serveurs, réseaux et sécurité pour assurer la disponibilité et la sécurité des données.
Base de données sécurisée	Pour stocker les informations sur les produits, les transports et les transporteurs.

Tableau 4.6: Représentation des ressources clés

Activités clés

Les activités clés sont les actions essentielles que "TRANSPORTI" doit entreprendre pour réussir. Elles incluent toutes les opérations nécessaires pour concevoir, promouvoir, vendre et livrer notre proposition de valeur ainsi que pour gérer les relations avec les clients. Les informations se trouvent dans le Tableau 4.7.

Activité	Description
Développement de logiciels	Création et amélioration continue des outils numériques pour la gestion du transport.
Marketing et ventes	Stratégies de marketing pour attirer et fidéliser les clients.
Support client	Fournir une assistance personnalisée et des solutions aux problèmes des clients.
Formation des utilisateurs	La formation continue des utilisateur en prenant compte des développements continus.
Recherche et développement	Innover et intégrer les dernières technologies pour rester compétitif.

Tableau 4.7: Représentation des activités clés

Partenaires clés

Les partenaires clés sont les réseaux de fournisseurs et de partenaires qui aident notre startup à fonctionner. Ces partenariats peuvent inclure des alliances stratégiques, des joint-ventures ou des relations avec des fournisseurs spécialisés, et sont essentiels pour optimiser les opérations et réduire les risques. Les informations se trouvent dans le Tableau 4.8.

Partenaire	Description
Gendarmerie Nationale	Utilisation de l’application pour contrôler le TMD.
Entreprises de transport	Collaborations pour intégrer les outils de gestion dans leurs opérations.
Fournisseurs de technologie	Partenariats avec des fournisseurs de solutions technologiques et de cloud.
Institutions gouvernementales	Coopération pour garantir la conformité et la sécurité des opérations de transport.
Programmes de soutien aux startups	Participation à des incubateurs et des accélérateurs pour le soutien et le financement.
HSE Managers et experts en gestion de supply-chain	Conseils et retours pour l’amélioration de l’application.

Tableau 4.8: Représentation des partenaires clés

Structure de coûts

La structure de coûts décrit tous les coûts encourus pour opérer le modèle économique de "TRANSPORTI". Il est crucial d'identifier et de comprendre les coûts les plus importants liés à la création et à la livraison de notre proposition de valeur, ainsi qu'aux activités et aux ressources clés nécessaires pour fonctionner efficacement. Les informations se trouvent dans le Tableau 4.9.

Coût	Description
Développement de logiciels	Coûts liés à la conception, au développement et à la maintenance des outils numériques et des applications.
Infrastructure technologique	Frais d'hébergement, de serveurs, de bases de données et de solutions de cloud.
Salaires et compensations	Rémunération de l'équipe technique, des commerciaux, du support client, etc.
Marketing et publicité	Dépenses pour les campagnes de marketing, la publicité en ligne et les événements promotionnels.
Support client	Coûts associés à la fourniture de support client, y compris les centres d'appel et l'assistance en ligne.
Recherche et développement	Investissements dans l'innovation et l'amélioration continue des produits et services.

Tableau 4.9: Représentation de la structure de coûts

5.4. Objectifs stratégiques

Pour assurer le succès et la croissance de notre startup sur le marché algérien, il est crucial de définir des objectifs stratégiques clairs. Ces objectifs guideront nos actions et décisions, et permettront de mesurer notre progression. Nos objectifs stratégiques sont divisés en trois horizons temporels : à court terme, à moyen terme et à long terme. Chaque horizon est conçu pour répondre à des besoins spécifiques et positionner l'entreprise pour une croissance durable. Les trois horizons sont illustrés dans le Tableau 4.10.

Objectifs stratégiques	Actions
À Court Terme (0-6 mois)	<p>Visibilité Initiale :</p> <ul style="list-style-type: none"> — Lancer des campagnes de marketing digital pour accroître la notoriété de la marque. — Participer à des événements et salons professionnels pour présenter nos activités. — Effectuer des sorties vers des entreprises pour présenter nos services. <p>Support et Formation :</p> <ul style="list-style-type: none"> — Offrir des webinaires de formation gratuits pour les nouveaux utilisateurs. — Développer une base de connaissances en ligne et un système de tickets pour le support technique.
À Moyen Terme (6-12 mois)	<p>Expansion et Acquisition :</p> <ul style="list-style-type: none"> — Augmenter la visibilité à travers des partenariats avec des associations professionnelles. — Proposer des démonstrations gratuites et des témoignages de clients satisfaits pour attirer de nouveaux utilisateurs. <p>Amélioration Continue :</p> <ul style="list-style-type: none"> — Recueillir régulièrement les retours des utilisateurs pour guider les améliorations. — Proposer des mises à jour régulières et des nouvelles fonctionnalités basées sur les besoins des utilisateurs.
À Long Terme (12 mois et plus)	<p>Positionnement de Leader : Devenir la solution de référence pour la gestion du transport de matières dangereuses.</p> <p>Diversification :</p> <ul style="list-style-type: none"> — Explorer de nouveaux marchés et secteurs d'activité. — Développer des solutions complémentaires pour la gestion de la sécurité de l'application et du site.

Tableau 4.10: Représentation des objectifs stratégiques

Le développement stratégique de "TRANSPORTI" repose sur un ensemble bien défini d'objectifs à court, moyen et long terme. En intégrant des actions ciblées pour augmenter la notoriété de la marque, améliorer continuellement les produits et services, et optimiser les opérations, notre startup est bien positionnée pour s'imposer comme un acteur clé dans le secteur du transport de marchandises en Algérie.

À court terme, la priorité est de rendre la marque visible et d'assurer un support efficace aux nouveaux utilisateurs. À moyen terme, l'accent est mis sur l'expansion de la base de clients et l'amélioration continue des offres, guidée par les retours des utilisateurs.

À long terme, "TRANSPORTI" vise à se positionner en tant que leader de l'industrie et à diversifier ses solutions pour répondre aux besoins évolutifs du marché.

En suivant cette feuille de route stratégique, "TRANSPORTI" peut non seulement réaliser une croissance durable mais aussi offrir une valeur exceptionnelle à ses clients, tout en explorant de nouvelles opportunités de marché. Le BMC et les objectifs stratégiques présentés fournissent un cadre robuste pour guider les décisions et les actions de l'entreprise, assurant ainsi son succès à long terme.

Ce chapitre a approfondi les détails concernant "TRANSPORTI", une start up novatrice spécialisée dans la gestion du transport de marchandises en Algérie. Nous avons dressé un tableau clair de son fonctionnement et de ses perspectives prometteuses. Les objectifs stratégiques à court, moyen et long terme illustrent l'ambition de "TRANSPORTI" de se positionner en leader de son secteur tout en répondant aux exigences changeantes du marché. En suivant cette feuille de route, "TRANSPORTI" est bien positionné pour connaître une croissance soutenue et pour apporter une valeur ajoutée exceptionnelle à sa clientèle.

Conclusion Générale

Dans cette étude, nous avons adapté l'approche par conséquence en étudiant un cas de transport d'essence d'un point de départ à une destination à l'aide d'un camion-citerne. Nous avons décomposé le trajet en trois segments et simulé une explosion dans chaque segment à travers PHAST. Cela nous a permis d'avoir une idée sur les conséquences de l'explosion ainsi que le développement de la surpression par rapport à la distance. Après avoir fixé les conséquences, nous avons appliqué MADS-MOSAR pour déduire les causes.

Nous avons décomposé le TMD en quatre systèmes, dont trois dynamiques, et en sept sous-systèmes. Cette décomposition nous a permis d'analyser chaque sous-système individuellement puis en relation avec les autres sous-systèmes. Nous avons identifié les boîtes noires d'où nous avons extrait les scénarios probables. Il existe des scénarios courts et longs, ce qui prouve l'interdépendance entre les sous-systèmes. Nous avons ensuite tracé l'ADD pour l'explosion, ce qui a engendré trois événements redoutés : la source d'ignition, la fuite de gaz et la surpression. En termes de maîtrise des risques, nous avons déduit des arbres de défaillances l'importance des prescriptions techniques pour les citernes. Ces prescriptions incluent des critères stricts de conception et de fabrication ainsi qu'à la conformité aux normes telles que l'ADR. Les examens techniques des citernes eux aussi sont conçus pour maintenir des normes élevées de sécurité et de conformité. Ils comprennent des étapes détaillées telles que des inspections visuelles, des tests de pression rigoureux et des contrôles d'étanchéité pour détecter les défauts potentiels. Ces examens sont très importants pour identifier et corriger les problèmes avant qu'ils ne compromettent la sécurité des opérations de transport.

Nous avons aussi conçu une application qui permet au gendarme de connaître les documents à demander lors de son contrôle, de vérifier les informations du véhicule et du chauffeur, et de vérifier la conformité de la signalisation. Nous avons également intégré la formule d'évaluation dans l'outil afin d'aider à prendre des décisions basées sur des données réelles. De plus, nous avons proposé une startup dont la vision est la numérisation et la gestion intelligente du transport de marchandises en Algérie.

Bibliographie

- [1] Département MRIE Ecole Nationale Polytechnique. Cours de transport des matières dangereuses, 2019. Dr Benmokhtar Amine.
- [2] P. Périllon. Eléments méthodiques. *Phoebus*, 12(janvier-février-mars) :31–49, 2000.
- [3] L. Gardes. Méthodologie d’analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les pme : application au secteur du traitement de surface, 2001.
- [4] A. et al. Di Graziano. Application of a decision support tool for the risk management of a metro system. *International Journal of Rail Transportation*, 10(3) :352–374, 2022.
- [5] Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR). ADR, 2019.
- [6] EDF and P. Périllon. Prévention active, l’analyse des risques : méthode mosar, 1998. fascicule édité par Prévention Active en 1998, 42 p.
- [7] Gouvernement de l’Oise. Feuillet n1, 2024. [Accessed : Jul. 04, 2024].
- [8] Vingt55. Train, déraillement, tragédie de lac-mégantique du 6 juillet 2013 : Le québec se souvient 10 ans plus tard, July 2023. [Accessed : Jul. 04, 2024].
- [9] TSA Algérie. Explosion d’un camion-citerne sur l’autoroute est-ouest : Naftal réagit, July 2023. [Accessed : Jul. 04, 2024].
- [10] Algérie Eco. Constantine : Six morts dans un accident de la route à aïn abid, June 2024. [Accessed : Jul. 04, 2024].
- [11] Algérie 360. Un camion-citerne se renverse : près de 30 000 litres de mazout déversés dans la nature, July 2024. [Accessed : Jul. 04, 2024].
- [12] Ministère de la Défense Nationale. Historique, 2024. [Accessed : April. 25, 2024].
- [13] World Health Organization. *Road traffic injuries*. World Health Organization, Geneva, 2024.
- [14] World Health Organization. *Global status report on road safety*. World Health Organization, Geneva, 2023.

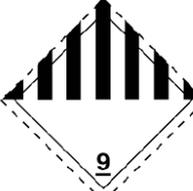
- [15] Economic Commission for Europe. Presentation on road safety, September 2018. [Accessed : April, 17, 2024].
- [16] L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS). Le transport de matières dangereuses, l'adr en question, 2024.
- [17] Memento du Maire. Risques technologiques - rt 3 : Tmd, 2024. [Accessed : June 7, 2024].
- [18] Gendarmerie Nationale. Document interne de la gendarmerie nationale, 2024.
- [19] Journal Officiel de la République Algérienne. Arrêté interministériel du 13 safar 1437 correspondant au 25 novembre 2015 fixant la liste et la classification des matières et produits chimiques dangereux, 2015.
- [20] International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission. Iso/iec guide 51 :1999, "safety aspects - guidelines for their inclusion in standards", 1999.
- [21] Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (JORADP). No 84, no 04-20, 2006.
- [22] Bernuchon E. and Salvi O. Elements importants pour la sécurité (eips), in formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (dra-35), 2003.
- [23] M.F.D.L.É.E.D.D. Durable. Évaluation des performances des barrières techniques de prévention et de protection pour réduire les risques majeurs résumé, in ineris-dra, 2002.
- [24] Université des Frères Mentouri Constantine, Faculté des sciences de technologie, Département Génie de transport. Cours de transport des matières dangereuses, 2024. Licence 3.
- [25] International Organization for Standardization (ISO). Iso 31000 : Management du risque-principes et lignes directrices, July 2009. Edition original.
- [26] B. Robert and L. Morabito. *Réduire la vulnérabilité des infrastructures essentielles, Guide méthodologique*. Éditions Tec Doc (Lavoisier), Paris, 2009.
- [27] Editions législatives. Cd permanent sécurité et conditions de travail, June 2000.
- [28] O. IDDIR. Études des dangers : arbre de défaillances (méthode d'analyse détaillée des risques adr), 2014.
- [29] Vertic. Dz decret executif 90-79.
- [30] Journal Officiel de la République Algérienne. Décret exécutif n 18-05 du 27 rabie ethani 1439 correspondant au 15 janvier 2018 fixant l'organisation de contrôle de conformité de véhicules et les modalités de son exercice, January 2018.
- [31] ActiveBarcode. Le code qr. [Accessed : Juillet, 2,2024].

Annexes

Numéro de la classe		Pictogramme	
Classe 1: Matières et objets explosibles	Classe 1.1	Matières ou objets présentant un risque d'explosion en masse.	
	Classe 1.2	Matières ou objets présentant un risque de projection, sans risque d'explosion en masse.	
	Classe 1.3	Matières ou objets présentant un risque d'incendie avec risque léger de souffle ou de projection ou des deux, sans risque d'explosion en masse.	
	Classe 1.4	Matières ou objets ne présentant pas de risque notable à l'extérieur de l'emballage en cas d'allumage ou d'amorçage durant le transport.	
	Classe 1.5	Matières très peu sensibles avec risque d'explosion en masse.	
	Classe 1.6	Objets extrêmement peu sensibles sans risque d'explosion en masse.	

Classe 2: Gaz	Classe 2.1	Gaz inflammables.	
	Classe 2.2	Gaz ininflammables, non toxiques.	
	Comburant	<ul style="list-style-type: none"> • l'oxygène comprimé (UN1072) • l'oxygène liquide réfrigéré (UN1073) • le gaz comprimé comburant, (UN3156) • le gaz liquéfié comburant, (UN3157) 	
	Classe 2.3	Gaz toxiques.	
Classe 3: Liquides inflammables			
Classe 4: Solides inflammables, matières sujettes à l'inflammation spontanée et matières hydro réactives	Classe 4.1	Matières solides inflammables, matières autoréactives et matières explosibles désensibilisées solides	

	Classe 4.2	Matières sujettes à l'inflammation spontanée	
	Classe 4.3	Matières hydro réactives.	
Classe 5: Matières comburantes et peroxydes organiques	Classe 5.1	Matières comburantes	
	Classe 5.2	Peroxydes organiques	
Classe 6: Matières toxiques et matières infectieuses	Classe 6.1	Matières toxiques	
	Classe 6.2	Matières infectieuses	

Classe 7: Matières radioactives	
Classe 8: Matières corrosives	
Classe 9: Matières et objets dangereux divers	

MISSIONS	INTERVENANTS						
	Fabricant	Emballeur	Expéditeur	Chargeur	Transporteur	Déchargeur	Destinataire
Identification des marchandises soumises à l'ADR							
Fourniture des documents de transport							
Contrôle des documents de transport							
Conditionnement des matières dangereuses dans des emballages homologués							
Contrôle du bon état des emballages							
Étiquetage des emballages							
Signalisation des véhicules							
Équipement des véhicules							
Respect des prescriptions de chargement/déchargement et de manutention							
Calage et arrimage							
Formation du personnel à la connaissance des matières dangereuses							
Désignation d'un conseiller à la sécurité							

A	Systèmes sources de dangers d'origine mécanique
A1	Systèmes sous pression Gaz Vapeur mixte Hydraulique
A2	Systèmes sous contraintes mécaniques
A3	Systèmes en mouvement Solides Liquides Gaz
A4	Systèmes nécessitant une manutention Manuelle Mécanique
A5	Systèmes sources d'explosions d'origine physique autres que A1
A6	Systèmes sources de chute de hauteur
A7	Systèmes sources de chute de plain-pied
A8	Autres systèmes sources de blessures
A9	Systèmes sources de bruit et de vibrations
B	Systèmes sources de danger d'origine chimique
B1	Systèmes sources de réactions chimiques
B2	Systèmes sources d'explosions En milieu condensé En phase gazeuse
B3	Systèmes sources de toxicité et d'agressivité
B4	Systèmes sources de pollution et d'odeurs
B5	Systèmes sources de manque d'oxygène
C	Systèmes sources de danger d'origine électrique
C1	Électricité à courant continu ou alternatif
C2	Electricité statique
C3	Condenseurs de puissance
C4	Hautes fréquences
D	Systèmes sources de dangers d'incendie
E	Systèmes sources de dangers thermiques et de rayonnement
E1	Ionisants E1.1 : Alpha, Bêta, Gamma X E1.2 : Neutrons E1.3 : Contamination E1.4 : Criticité (domaine nucléaire)
E2	Sources thermiques

	E2.1 : Conduction thermique E2.2 : Rayonnement UV – IR – visible
E3	Lasers
E4	Micro-ondes
E5	Champs magnétiques
F	Systèmes sources de dangers biologiques
F1	Virus – bactérie
F2	Toxines
G	L'homme source de dangers
G1	Situation normale
G2	Malveillance
H	Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif
H1	Inondations
H2	Foudre
H3	Circulation aérienne
H4	Autres industries environnantes
H5	Séismes
H6	Autres sources de dangers naturels : gel, glissement de terrain, chutes diverses
I	Systèmes sources de dangers d'origine économique et sociale
	Finances Migration Conflits Criminalité – violence Grands rassemblements

Type de système source de danger		Phase de transport	Évènement initial		Evènement initiateur		Évènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
Système du contenant de la matière	Véhicule de transport	Transport	Usure des composants de frein		Conditions météorologiques	Entretien inadéquat	Défaillance des freins
		Transport	Dommages au pneu		Débris sur la route	Pression des pneus incorrecte	Pneu éclaté, Perte de stabilité
		Transport	Non arrêt du contenant		Ignorance du chauffeur du contenant	Mal utilisation du ralentisseur électromagnétique TELMA	Accident de la route, perte de contrôle du véhicule, renversement
		Transport	Rupture du réservoir	Déperdition de matière dangereuse	Collision avec un objet pointu	Fissure due à l'usure	Dispersion de matières dangereuses
		Transport	Défaillance du moteur		Mauvaise qualité du carburant	Défaut de fabrication	Panne moteur, Immobilisation du véhicule
		Transport	Accident de route	Déperdition de matière dangereuse	Mauvaise maintenance	défaillance mécanique	Perte de contrôle du véhicule, renversement, collision

Type de système source de danger		Phase de transport	Évènement initial		Evènement initiateur		Évènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
Système du contenant de la matière	Matières dangereuses	Transport / Chargement / Déchargement		Déperdition de matière dangereuse	Accident de la route	Défaut d'emballage	Dispersion de matières dangereuses
		Chargement		Déperdition de matière dangereuse	Erreur lors du chargement	Dysfonctionnement du limiteur	Dispersion de matières dangereuses
		Transport / Chargement / Déchargement		Interaction avec d'autres substances	Erreur lors du chargement	Défaillance des équipements ou emballage	Contamination croisée
		Transport / Chargement / Déchargement		Déperdition de matière dangereuse	Mauvaise maintenance	Rupture ou usure du matériel	Dispersion de matières dangereuses
		Transport / Chargement / Déchargement	Défaillance de l'étanchéité du contenant	réaction chimique incontrôlée	Choc externe sur le contenant	surpression	Explosion
		Transport	étincelle ou flamme nue	Déperdition de matière dangereuse	Défaillance de la vanne	surpression	Incendie et explosion

Type de système source de danger		Phase de transport	Évènement initial		Evènement initiateur		Évènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
Système du contenant de la matière	Electricité du véhicule contenant	Transport / Chargement / Déchargement	Déperdition de matière dangereuse	étincelle	Corrosion	court-circuit	Incendie Mortel explosion
		Transport / Chargement / Déchargement	Température élevée	Surpression		incendie électrique	Incendie
		Transport	Déperdition de matière dangereuse	étincelle	Maladresse et mauvaise maintenance	court-circuit	Incendie et explosion

Type de système source de danger		Phase de transport	Évènement initial		Evènement initiateur		Évènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
Système d'infrastructure	Réseau de transport	Transport		Obstacles externes dérangeant la conduite	Erreur de conduite du chauffeur du contenant	Obstacles	Perte de contrôle du véhicule, renversement
		Transport		Collision avec une voiture externe	Erreur de conduite du chauffeur du contenant	Bouchon dans la route	Collision
		Transport		Collision avec une voiture externe	Conduite normale du chauffeur du contenant	Voiture externe faisant des manoeuvres dangereuses	Collision
		Transport	Pneu éclaté		Présence d'obstacles externes susceptibles de crever les pneus	Erreur de conception routière	Perte de contrôle du véhicule, renversement
Système humain	Conducteur	Transport	Non maîtrise de la conduction du contenant	Perte de contrôle du véhicule		fatigue, erreurs de conduite, non-respect des consignes de sécurité, maladresse	Perte de contrôle du véhicule, accident de la route, collision

Type de système source de danger		Phase de transport	Évènement initial		Evènement initiateur		Évènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
Système environnemental	Conditions météorologiques	Transport	Visibilité réduite	Perte de contrôle du véhicule	Foudre	Perturbation du chauffeur du contenant	Renversement, collision
		Transport	Perte de contrôle du véhicule	Perte de contrôle du véhicule	Vent fort	Perturbation du chauffeur du contenant	Renversement, collision
		Transport	Visibilité réduite	Perte de contrôle du véhicule	Précipitations intenses	Perturbation du chauffeur du contenant	Renversement, collision
		Transport	Canicule	Supression	réaction chimique incontrôlée	Température élevée	Explosion
	Topographie du terrain (pentes abruptes, zones inondables)	Transport		Perte de contrôle du véhicule	Pente et abrupte	Non-respect des consignes de sécurité, maladresse	Renversement, collision
		Transport	Déperdition de matière dangereuse	Perte de contrôle du véhicule	Zone inondable	Accident	Dispersion de matières dangereuses dans l'eau

Critères	Pondération	Sous-critères	Pondération		Notation				
Danger lié à la matière	30	Nature du danger	30	Classe 1	Classe 1.1	5			
					Classe 1.2				
					Classe 1.3				
					Classe 1.4				
					Classe 1.5				
					Classe 1.6				
				Classe 2	Classe 2.1	5			
					Classe 2.2				
					Comburant				
					Classe 2.3				
				Classe 3					4
				Classe 4	Classe 4.1	4			
					Classe 4.2	4			
					Classe 4.3	3			
		Classe 5	Classe 5.1	4					
			Classe 5.2	4					
		Classe 6	Classe 6.1	5					
			Classe 6.2	2					
		Classe 7					5		
		Classe 8					3		
		Classe 9					1		
Type d'emballage	50	Type 1	5						
		Type 2	3						
		Type 3	2						
Quantité	20	le tier	1						
		deux tiers	3						
		complet	5						

Probabilité des accidents	20	Fréquence des accidents	60	Fréquente	5	
				Moyenne	3	
				Faible	1	
	Gravité des accidents	40			Blessure mineure	1
					Blessure modérée	2
					Blessure grave	3
					Blessure très grave	4
Blessure critique					4	
Décès					5	
Trajet	25	Type de route	50	Autoroute	1	
				Nationale	2	
				Wilayal	3	
				Communal	4	
				Rural	5	
	Météo	30			Ensoleillé	1
					Pluvieux	4
					Nuageux	2
					Venteux	3
					Neigeux	5
	Etat de la route	20			Bon	1
					Moyen	3
					Mauvais	5
Vulnérabilité des zones traversées	25	Densité d'habitation	50	Forte	5	
				Moyenne	3	
				Faible	1	
	Présence des infrastructures critiques et sites sensibles	30			Forte	5
					Moyenne	3
					Faible	1
	Types de zones environnementales critiques	20			Zones Humides	2
					Forets	3
					Zones fertiles agricoles	4
					Zones montagneuses	5

	Notation			Evaluation du risque	
Danger lié à la matière	Classe 1	-	5		
	Type 1	-	5		
	complet	-	5		
Probabilité des accidents	Fréquente	-	5		Exposition et trajet 5
	Déjà	-	5		
Trajet et exposition	Rural	-	5		
	Nageux	-	5		
	Marais	-	5		
Vulnérabilité des zones traversées	Forte	-	5		
	Forte	-	5		
	Zones montagneuses	-	5		

Activer Windows

BIBLIOGRAPHIE

