

Sécurité et sûreté des transports

État de l'art

Synthèse INRETS N° 58

Contrat DRI/INRETS n° 07 MTE048
Contrat DGITM/INRETS n° 07 MTE048

Groupe opérationnel n° 2 du PREDIT



L'auteur :

Philippe Légé, chargé d'étude à l'INRETS-DEST.
lege@inrets.fr

L'unité de recherche :

INRETS, département d'économie et de sociologie des transports (DEST)
Champs-sur-Marne
F-77447 Marne-la-Vallée cedex 02, France

Ce travail post-doctoral a été encadré par Ariane Dupont (INRETS-DEST), Laurent Carnis (INRETS-DEST) et François Coudon (INRETS-DG). Il s'est achevé en décembre 2008.

Cette synthèse a bénéficié des commentaires et remarques des référés suivants :

- Fleur Breuillin,
- Xavier Delache,
- Ludovic Maréchal,
- Louis Moreau de Saint-Martin,
- André Peny.

Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS)

Direction scientifique / politique éditoriale – Aude Lauby
25 avenue François Mitterrand, Case 24, 69675 BRON CEDEX, France.
Tél. : +33 (0)4 72 14 26 46 – www.inrets.fr

© Les collections de l'INRETS

N° ISBN 978-2-85782-670-5 – N° ISSN 0769-0274

En application du code de la propriété intellectuelle, l'INRETS interdit toute reproduction intégrale ou partielle du présent ouvrage par quelque procédé que ce soit, sous réserve des exceptions légales.

Fiche bibliographique

UR (1^{er} auteur) DEST	Projet n°	INRETS n° 58
Titre : Sécurité et sûreté des transports		
Sous-titre: État de l'art		Langue : français
Auteur(s) : Philippe Légé		Rattachement ext.
Nom adresse financeur, coéditeur : DRI et DGITM		N° contrat, conv. : 07 MTE048
		Date de publication : décembre 2008
Remarques		
Résumé Cet état de l'art est une synthèse de connaissances sur la sûreté (dommage provoqué intentionnellement) et la sécurité (dommage qui ne découle pas d'un acte malveillant) dans les différents modes de transport. La première partie porte sur les méthodes et moyens d'évaluer les risques. La deuxième partie est consacrée aux mesures de prévention (permettant d'éviter la réalisation du risque) et aux mesures de protection (permettant d'en limiter les conséquences). La dernière partie porte sur les méthodes de gestion de crise qui permettent de secourir, sauvegarder et restaurer.		
Mots clés : gestion de crise, risque, sécurité, sûreté, transport		
Nombre de pages XX	Prix : 15,24 euros	Bibliographie

Publication data form

UR (1st author) DEST	Projet n°	INRETS synthesis N° 58
Title: Safety and security of transport		
Subtitle: State of the art		Language: French
Author(s): Philippe Légé		Affiliation
Sponsor, co-editor, name and address: DRI and DGITM		Contract, conv. n° 07 MTE048
		Publication date : December 2008
Notes		
<p>Summary</p> <p>This survey is a synthesis on security (intentional harm) and safety (harm which is not caused by a malicious act) across the different transport modes. The first section deals with the means and methods of risk assessment. The second section concerns prevention measures (in order to avoid the realization of risk) and protection measures (in order to reduce the consequences). The last section deals with crisis management methods, which provide relief, safeguard and restoration measures.</p>		
Keywords: crisis management, risk, safety, security, transport		
Number of pages XX	Price: 15.24 euros	Bibliography

Table des matières

Remerciements	9
Synthèse	10
Introduction	16
Chapitre 1	17
Analyse du risque	17
1.1. <i>Définition du risque</i>	17
a/ Définition générale	17
b/ Typologies des risques	17
1.2. <i>Évaluations de la sécurité dans les transports</i>	18
a/ Évaluation de la sécurité dans le mode routier	19
b/ Évaluation de la sécurité dans le mode maritime	23
c/ Évaluation de la sécurité dans le mode aérien	25
d/ Évaluation de la sécurité des transports guidés et urbains	27
1.3. <i>Évaluation de la sûreté dans les transports</i>	29
1.4. <i>Perception du risque</i>	31
a/ Décision, risque et incertitude	32
b/ Psychologie expérimentale et approche psychométrique	33
c/ Perception du risque dans les transports	33
Chapitre 2	35
Mesures de prévention et de protection	35
2.1. <i>Mode routier</i>	35
2.2. <i>Transports guidés et urbains</i>	38
2.3. <i>Mode aérien</i>	40
2.4. <i>Mode maritime</i>	42
Chapitre 3	46
Méthodes et ressources pour la gestion de crise	46
3.1. <i>Définition de la crise</i>	46
a/ Définitions générales	46
b/ Cas du transport	47
3.2. <i>Systèmes d'alerte d'urgence</i>	48
Synthèse INRETS n°58	7

<i>3.3. Évacuation et coordination</i>	<i>49</i>
Conclusion	51
Principales bases et ressources utilisées	53
Bibliographie	54

Remerciements

Je tiens à remercier Ariane Dupont (INRETS-DEST), Laurent Carnis (INRETS-DEST) et François Coudon (INRETS-DG) pour l'encadrement scientifique de ce travail.

Je suis reconnaissant envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cet État de l'art, notamment :

- Thomas Degré (INRETS-GRETIA), et Rémi Fondacci (INRETS-LICIT/ENTPE) pour leurs explications respectives sur les recherches concernant la sécurité dans les modes maritimes et aériens ;
- Marie-Claire de Franclieu (MEEDDAT-DISR) et Ruth Bergel (INRETS-GRETIA) pour leurs explications sur les recherches relatives à la sécurité routière ;
- Thierry Madika (DGAC-STAC) et Pierre Deroi (Capitainerie du port autonome de Marseille) pour m'avoir exposé les enjeux opérationnels des recherches sur la sûreté.

Synthèse

Un risque est une combinaison de la probabilité d'apparition d'un dommage et de la gravité de ce dommage. Lorsque ce dernier est provoqué intentionnellement, on parlera de risque de sûreté. Lorsque le dommage ne découle pas d'un acte malveillant, on parlera de risque de sécurité.

La première partie de cet État de l'art porte sur les méthodes et moyens d'évaluer la sécurité et la sûreté des transports. La deuxième partie est consacrée aux mesures de prévention (permettant d'éviter la réalisation du risque) et aux mesures de protection (permettant d'en limiter les conséquences). La dernière partie porte sur les méthodes de gestion de crise, qui permettent de secourir, sauvegarder et restaurer.

1/ Évaluation de la sécurité et de la sûreté des transports

Une étude du risque peut consister à expliquer la relation entre fréquence et gravité. Cette approche est pertinente lorsque l'on s'intéresse à un mode de transport pour lequel il y a beaucoup d'observations d'accidents (mode routier). Mais lorsque cette condition n'est pas satisfaite, on doit surtout rechercher une mesure latente, un signe précurseur d'accident. L'analyse porte alors sur les incidents ou sur des méthodes de simulation.

Chaque année, environ 1,2 million de personnes sont tuées et 50 millions blessées dans le monde dans des accidents de la route. Au niveau européen, de nombreux projets s'inscrivent dans une approche systémique de la sécurité routière. En outre, il existe un protocole d'homogénéisation de la collecte des données accident dans plusieurs pays européens. En France, le système statistique national a été rendu comparable à ceux des autres pays de l'Union européenne (UE) : l'Observatoire national interministériel de sécurité routière (ONISR) a mis en œuvre, depuis 2005, de nouvelles définitions concernant les personnes tuées et blessées. Une fois ces notions définies, le risque d'être victime peut être exprimé par le nombre de tués et/ou de blessés par kilomètre ou par véhicule. Le risque d'accident peut être exprimé par le nombre d'accidents par kilomètre ou par véhicule. En outre, il faut noter que ces deux types de risque sont dépendants du type de réseau emprunté. En France, le réseau urbain concentre les accidents, tandis que les routes nationales et départementales concentrent la gravité (74 % des tués en 2007).

La connaissance de la distribution des accidents et des victimes permet d'évaluer le risque. Mais pour être efficace, le ciblage des actions de prévention nécessite l'identification des groupes (conducteurs, véhicules ou aménagements) à haut risque. De nombreux travaux désagrègent donc le risque par catégorie. Ainsi, pour les conducteurs, l'état de santé constitue un facteur essentiel de risque (sommolence, inattention). En 2030, environ 21 % de la population européenne aura plus de 65 ans. C'est pourquoi, l'évaluation des effets du vieillissement de la population est actuellement un axe de recherche important, tant pour les comportements de mobilité que pour les comportements de conduite. Comment garantir la sécurité des déplacements des seniors ? Quel arbitrage entre mobilité et sécurité ? D'autres programmes étudient les risques spécifiques aux jeunes. En 2007, les 15–24 ans représentent 13 % de la population française, mais 27 % des tués sur la route. Dans cette tranche d'âge, les accidents de la route demeurent la première cause de mortalité. Cette situation est due à la fois au manque d'expérience des jeunes conducteurs et à une prise de risque spécifique. Le Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (PREDIT) a financé plusieurs études sur le rôle de la formation, notamment sur la compréhension des processus de construction des compétences de conduite chez les conducteurs novices, sur leurs prises de risque et leurs rapports à la règle, sur la modélisation des comportements du conducteur ou sur la compréhension de l'effet de l'environnement social et du rôle du genre.

L'origine sociale, le niveau d'éducation ou la zone de résidence sont à l'origine de véritables inégalités face au risque routier. Des travaux ont montré que les caractéristiques propres au quartier influencent le risque routier indépendamment des caractéristiques individuelles des résidents de ces quartiers.

Outre l'âge du conducteur, le ciblage des actions de prévention nécessite de considérer le mode de transport. Les deux-roues sont particulièrement exposés, non seulement en nombre de tués, mais aussi en nombre de blessés. Le risque d'être tué au kilomètre parcouru est vingt fois supérieur en deux-roues qu'en voiture. Il existe donc des marges de progression pour la prévention et la protection. D'autant que la croissance du parc des deux-roues semble s'accélérer, et que les politiques actuelles de transport peuvent contribuer involontairement à un report modal sur les véhicules deux-roues. Les connaissances sur les deux-roues ont beaucoup progressé récemment, grâce aux nombreuses recherches financées par le PREDIT et, au niveau européen, par le 6^e PCRD (Programme cadre de recherche et de développement). Pour évaluer les risques liés aux deux-roues, des données d'accidents sont recueillies par des techniciens et sont ensuite couplées avec des études quantitatives. Les statistiques donnent l'importance relative des différents scénarios, tandis que les études détaillées permettent de comprendre pourquoi et comment ces scénarios arrivent. Ces travaux mettent notamment en évidence le rôle de la vitesse. En 2005, 40 % des motocyclistes impliqués dans un accident roulaient au-dessus de la vitesse autorisée (contre 20 % des automobilistes).

Le transport routier de marchandises emploie plus du quart des effectifs salariés des industries de transport et de manutention, mais représente un tiers des accidents et deux tiers des décès. En outre, les conducteurs de camions de marchandises subissent des risques plus élevés que la moyenne des actifs pour les pathologies cardiovasculaires et dorsales, et la succession des opérations de conduite, de négociation et de transaction créent chez eux un état de tension souvent extrême. Enfin, la mise en concurrence des services de transport routier européens est parfois accusée de provoquer une dégradation des conditions de travail et donc de la sécurité.

Un autre axe de recherche important concerne le transport des matières dangereuses. Près de 80 % de celles-ci sont transportées par la route, pourtant généralement moins sécurisée pour les transports de matières dangereuses que la voie ferroviaire.

Dans le mode maritime, la notion de sécurité recouvre différents types d'objectifs : la sauvegarde de la vie humaine, des navires et des marchandises en mer, ainsi que la protection des milieux maritimes et côtiers. Des modèles ont été élaborés depuis les années 1970 afin d'évaluer le niveau de sécurité d'une zone maritime en fonction des données concernant le trafic, la géographie et la météorologie. Sur un plan pratique, ils permettent de préconiser des mesures de gestion du trafic. Ces modèles sont à présent fondés sur les directives *Formal safety assessment* (FSA) formulées par l'Organisation maritime internationale (OMI). Établies sur la base de déclarations volontaires, les bases de données concernant les accidents maritimes ne sont pas exhaustives. Ce qui fausse les probabilités utilisées dans ces modèles. En France, on a privilégié une méthode de simulation fondée sur les « presque accidents » ou les « situations dangereuses ». Cela permet de remédier au problème de la non-exhaustivité des bases de données accident. Mais cela reste de la simulation : la méthode n'est pertinente que pour des raisonnements en termes relatifs (comparaison de différents projets). Un autre axe de recherche pour évaluer les risques consiste à affecter en temps réel un indice d'alerte à un navire, en tenant compte des conditions environnementales (météo, trafic). L'objectif est d'établir une présomption de risque permettant une action préventive. Précisons toutefois qu'à l'heure actuelle les opérateurs ne peuvent intervenir au titre de la convention de Bruxelles de 1969 (OMI) qu'en cas d'accident.

La sécurité du transport aérien repose notamment sur la collaboration des États membres de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). En France, le Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la Sécurité de l'aviation civile (BEA) réalise des statistiques d'accidents sur tous les aéronefs civils. Au sein de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), la Direction du contrôle de la sécurité (DCS) assure la surveillance et la certification des acteurs de l'aviation civile. La DGAC est soutenue par le Service technique de l'aviation civile (SFAC), organisme déconcentré chargé des aspects techniques de la sécurité. Enfin, le Groupement pour la sécurité de l'aviation civile (GSAC) surveille la production des aéronefs et leur entretien. Avec moins d'un accident par million de départs (0,75 pour un million en 2007, selon International air transport association), le transport aérien est le mode le plus sûr. Les facteurs de risque sont multiples. Les erreurs de pilotage (vitesse, pente) peuvent avoir de graves conséquences. Les mauvaises conditions de visibilité (nuages, nuit) sont particulièrement dangereuses lorsque l'équipement n'est pas adapté ou que le pilote n'est pas assez qualifié. Les turbulences associées aux orages peuvent altérer la structure de l'appareil. Les vents

traversiers, le cisaillement de vent, la grêle, la foudre, le givre, les oiseaux (risque pour le moteur et le pare-brise) sont également des facteurs d'accident. Pour un accident, il y a plusieurs centaines d'incidents et plusieurs milliers de rapports d'irrégularité. Les différents acteurs de l'aéronautique sont tenus de déclarer et d'analyser leurs propres incidents. Ils doivent en informer le BEA, qui peut éventuellement décider d'ouvrir une enquête. Il existe des bases de données sur les incursions de pistes, c'est-à-dire sur les événements produisant un risque de collision entre les aéronefs et d'autres véhicules. La classification se fait à la fois en fonction de la gravité et en fonction du genre d'erreur.

Des recherches soulignent que dans le mode ferroviaire, la baisse de la vigilance de l'opérateur figure parmi les principales causes d'accidents. Or, la conduite des trains et des métros implique fréquemment des horaires irréguliers de travail et un environnement monotone. Par ailleurs, des études épidémiologiques ont mis en évidence des risques accrus pour certaines pathologies chez les conducteurs d'autobus, et des travaux en ergonomie ont montré l'importance des facteurs de stress sur ces conducteurs. Parmi les recherches sur l'évaluation de la sécurité du transport ferroviaire et urbain, on peut citer les travaux sur les systèmes de signalisation, sur la conception des transports guidés, sur l'évaluation des performances des rails et des phénomènes liés à l'usure. La surveillance « intelligente » du fonctionnement de l'infrastructure ferroviaire et l'analyse des inspections permettent de diagnostiquer les défaillances et de déclencher des actions de maintenance. Plusieurs travaux portent aussi sur les effets de la mise en concurrence sur la sécurité.

Concernant la sûreté, le transport terrestre de marchandises est confronté aux actes de prédation. Le nombre de vols déclarés est en constante diminution depuis 2002. Cela demeure toutefois un problème important : les agressions contre les conducteurs demeurent nombreuses (7 % des vols), tandis que le préjudice financier semble en légère augmentation, car les vols ciblent de mieux en mieux les marchandises à haute valeur ajoutée. Alors même que le transport routier de marchandise est transnational, on ne dispose pas de données sur ces vols au niveau européen en raison de l'hétérogénéité des définitions juridiques.

Des évaluations des risques criminels dans les transports publics sont effectuées par des criminologues et par des organismes publics disposant des moyens légaux et financiers de mener des études statistiques. L'évaluation de la menace terroriste est la prérogative des services spécialisés. La nécessité d'assurer la protection des informations sensibles rend parfois les recherches difficiles.

La théorie économique néoclassique a inspiré des modèles de la criminalité ou du terrorisme, mais on peut s'interroger sur leur portée pragmatique. Des criminologues ont tenté d'appliquer la théorie du choix rationnel à la délinquance routière, à l'aide de questionnaires et d'entretiens réalisés auprès de conducteurs inculpés ou de consommateurs d'alcool. Parmi les autres approches, on peut signaler des théories socio-psychologiques, des études du discours ou du « label politique » des terroristes, ainsi que des approches sociologiques. Il existe des rapports sur l'évaluation des risques terroristes dans un mode de transport spécifique. Enfin, l'évaluation du coût économique des actions terroristes a fait l'objet de plusieurs travaux.

Le risque perçu diffère souvent du risque objectif. Différentes recherches ont tenté d'expliquer le jugement sur lequel les individus fondent leurs décisions en environnement risqué (probabilisable) ou incertain (non probabilisable). Dans le secteur des transports, le principal intérêt des analyses de la perception du risque réside dans une meilleure compréhension du choix modal. Les conséquences du report modal induit par un « pessimisme » concernant la sûreté d'un mode de transport peuvent être très importantes. Des recherches ont montré que durant les trois mois ayant suivi les attentats du 11 septembre, le nombre d'Américains tués sur la route en évitant le risque aérien était plus élevé que le nombre total de passagers tués dans les quatre vols mortels. Des approches comparatives permettent aussi de mettre en évidence l'influence des institutions et des histoires nationales dans la perception du risque. Enfin, la compréhension des facteurs influençant la perception du risque permet également de favoriser la prévention des paniques. Le nombre d'études sur ce sujet demeure toutefois relativement faible.

2/ Mesure de prévention et de protection

La sécurité est être prise en compte dans la conception des projets d'infrastructure et dans la planification urbaine. L'équipement de la route permet de guider la trajectoire des véhicules, de signaler la route à suivre, de protéger des obstacles, d'informer des éventuels incidents, etc. Des

recherches ont mis en évidence les relations entre formes urbaines et insécurité routière. D'autres travaux mettent en œuvre une démarche participative afin de mieux faire connaître les dispositions du Code de la route qui s'appliquent en milieu urbain et faire évoluer la réglementation en l'adaptant aux pratiques des usagers.

Les systèmes de détection des altérations du comportement liées à l'attention et à la vigilance sont dorénavant développés pour le transport routier. L'enjeu est important : un tiers des accidents sur autoroute sont liés à la somnolence. En 2007, cinquante-sept d'entre eux furent mortels. Il existe de nombreux projets de recherche sur les aides à la conduite : capteurs infrarouges coopératifs, limiteurs de vitesse avec système embarqué de localisation par satellite, système anticollision, etc. D'autres systèmes, incluant parfois des caméras, permettent au conducteur de mieux maîtriser la trajectoire de son véhicule. Enfin, des systèmes d'enregistrement, les boîtes noires, ont été développés afin de tirer tous les enseignements des accidents.

Une question importante est celle de la réaction des conducteurs face à de tels systèmes. Il convient de bien l'évaluer afin de limiter les effets pervers potentiels des systèmes d'aide à la conduite : difficultés d'apprentissage, confiance excessive, prise de risques, multiplication des informations pouvant conduire à une mauvaise hiérarchisation de celles-ci, etc.

Certains systèmes de prévention ou de protection sont dédiés spécifiquement aux usagers vulnérables, par exemple les piétons (détection) et les motocyclistes (gilets airbag, casques).

Dans le transport routier de marchandises, la prévention des accidents nécessite notamment une amélioration des conditions de travail. Le contrôle du respect des législations relatives aux conditions de travail est de la compétence des États. Mais la fréquence des contrôles des poids lourds varie beaucoup selon les pays. Des recherches mettent en évidence le fait qu'un contrôle efficace nécessite de reconstituer la cohérence de l'emploi du temps du conducteur sur plusieurs semaines. Les contrôles ont toutefois été facilités par l'instauration — en 2002 — d'une attestation communautaire uniforme.

Concernant le transport de marchandise, la formation des personnels est un élément clef de la prévention et de la protection contre le vol. Les recherches portent également sur le recours à des remorques dont l'aspect ne fournit pas d'indice quant à la nature de la marchandise transportée, sur l'utilisation de parkings sécurisés et de capteurs de chocs permettant de détecter les effractions. Enfin, des travaux ont permis d'assurer la traçabilité du fret durant le transport grâce à une liaison par GPS, et des « étiquettes » ou des boîtiers insérés dans les colis. Le coût de ces mesures demeure toutefois élevé.

De nombreux projets visent à améliorer la prévention et la protection ferroviaires. On peut citer notamment : l'amélioration des performances du système de freinage, la compatibilité électromagnétique entre l'infrastructure d'alimentation du système ferroviaire et les systèmes de communication de sécurité, la conception de l'infrastructure tenant compte des risques liés aux vents traversiers, la formation des personnels à l'aide de simulateurs d'incendie à bord, la prise en compte des pratiques des agents pour la rédaction des règles de sécurité, etc.

Concernant la sûreté, l'inspection des passagers dans les transports publics utilise une grande variété de moyens, depuis l'utilisation de chiens jusqu'aux techniques biométriques en passant par les rayons X. La vidéosurveillance a d'abord été défendue comme moyen de lutte contre la délinquance et la criminalité. S'il existe peu d'études françaises sur le sujet, les travaux réalisés en Grande-Bretagne et au Québec se révèlent pour le moins circonspects au sujet de l'efficacité des dispositifs étudiés. Depuis quelques années, la vidéosurveillance est aussi présentée comme une aide à la lutte contre le terrorisme. Il existe plusieurs travaux sur la notion « d'acceptabilité » de ces dispositifs. Les recherches portent aussi sur l'augmentation du niveau de confiance dans les alarmes grâce à la fusion des informations reçues par des capteurs différents (vidéo, audio) ou à des systèmes « intelligents » d'aide à la surveillance.

La prévention des accidents aériens repose notamment sur la réglementation, sur la ségrégation des espaces aériens, sur l'information (notamment météorologique) et sur la gestion du trafic. ATFM (*Air traffic Flow Management*) est une gestion anticipée des flux de trafic. Chaque aéroport et chaque secteur aérien a une capacité maximale. Des mesures de réduction du trafic sont prises afin d'éviter d'atteindre ce seuil. En Europe, cette gestion est assurée par le Central flow management unit (CFMU) à l'aide d'un système géré par Eurocontrol. Tous les avions commerciaux doivent déposer des plans de vol et utiliser des espaces aériens contrôlés. Le contrôle doit permettre de prévenir les collisions avec le sol ou entre aéronefs, de fournir les renseignements utiles à l'exécution sûre du vol, et de fournir un service d'alerte des secours. Le contrôle aérien est une tâche très complexe qui peut

être facilitée par des assistances informatiques, mais qui n'a jamais pu être automatisée. Il existe de nombreux travaux sur la complexité du contrôle aérien. Face à la saturation de l'espace aérien, et à la complexité du contrôle, des chercheurs sont allés jusqu'à proposer la suppression du contrôle aérien et l'instauration du *Free flight* pour les vols commerciaux. Dans cette perspective, le pilote ne recevrait pas d'ordre d'un contrôleur au sol et utiliserait uniquement un système embarqué de type ACAS/TCAS (*Airborne collision avoidance system*). Ce projet de *Free flight* a fait l'objet de nombreuses critiques. Et même en admettant la possibilité d'un tel système, on serait confronté au problème de la transition (nécessitant un basculement total qui apparaît très risqué) et au problème de la déqualification (rendant impossible tout retour en arrière, alors même que le mode aérien est actuellement le plus sûr).

Le risque de panne à bord est extrêmement faible grâce à la mise en place de systèmes redondants. Les avions disposent de nombreux instruments techniques pour assurer la sécurité : radars, E-GPWS, TDWR, calculateur de bord interdisant les manœuvres dangereuses, etc.

La prévention de l'intrusion à bord d'objets illicites fait appel à des postes d'inspection et de filtrage des passagers avant embarquement. Les techniques actuelles d'inspection-filtrage des passagers ralentissent considérablement les flux, et il faut donc continuer à chercher le moyen de concilier les inspections et de grands débits de passagers. En outre, de nombreuses techniques, notamment parmi celles permettant la détection des matières dangereuses, ne sont pas opérationnelles en raison des contraintes environnementales propres aux aéroports (poussières, perturbations électromagnétiques, etc.). La détection d'objets interdits repose actuellement sur des appareils radioscopiques, des portiques magnétiques et des magnétomètres. Un dispositif d'imagerie par ondes millimétrique est en cours d'expérimentation à l'aéroport de Nice. D'autres pistes de recherche concernent la détection d'explosifs dans les bagages de cabine et l'imposition de bagages identifiés par puce électronique. Enfin, la technique à rayon infrarouge de détection et de destruction des missiles tirés à l'épaule (MANPADS) n'est pas très adaptée à l'aviation civile, en raison de son coût prohibitif et des difficultés de maintenance.

La sécurité maritime ne devant pas souffrir d'une concurrence entre les armateurs, ceux-ci sont tenus de se conformer à des réglementations internationales. Mais il existe une double difficulté : certains navires font rarement escale dans l'état du pavillon, et certains États disposent de peu de ressources pour effectuer les contrôles. D'où la nécessité des inspections des navires par l'autorité du port. Plusieurs recherches récentes visent à améliorer les critères utilisés pour le ciblage de ces inspections. Ces contrôles ne portent que sur des normes techniques. Or, le facteur humain est à l'origine de 80 à 90 % des accidents. D'où l'importance des travaux sur les conditions de vie et de travail à bord des navires, notamment les rythmes de travail et de repos.

La prévention des risques est prise en compte dès la conception des navires. À la suite de plusieurs catastrophes, la « double coque » a été imposée à tous les pétroliers abordant un port des États-Unis. Le Parlement européen a voté l'introduction progressive de doubles coques. Certains travaux affirment que les doubles coques accroissent les risques de corrosion. En outre, l'âge du navire reste déterminant. Cette modification réglementaire ne semble donc pas suffisante et doit être accompagnée d'un renforcement des contrôles par l'État du port et des sociétés de classification.

Le transport maritime de conteneurs est un enjeu majeur. Le cadre réglementaire du contrôle du fret évolue rapidement. Adoptée en 2007, la Loi HR-1 stipule qu'au 1^{er} juillet 2012, tout conteneur à destination des États-Unis (ou en transit) devra avoir été préalablement scanné dans le port étranger d'embarquement. Cette évolution ne devrait pas manquer de susciter des travaux de recherche, notamment sur l'évaluation et la répartition du coût du scanner à 100 %.

3/ Gestion de crise

La recherche française est davantage centrée sur la notion de risque que sur la notion de crise. De fait, la majorité des travaux sur la gestion de crise sont d'origine anglo-saxonne. Ces recherches portent sur des sujets aussi divers que les crises internationales, les effets socioéconomiques des grandes catastrophes naturelles, les accidents industriels ou nucléaires. On distingue généralement la situation « normale », la situation « perturbée » et la « crise » proprement dite. Les frontières entre ces concepts ne sont pas toujours clairement établies, mais on définit souvent l'apparition de la crise comme le moment où les moyens habituels ne permettent plus de gérer la situation, le moment où le système devient incapable d'éviter qu'un événement ne se traduise par des impacts catastrophiques.

La crise est insolite par définition et nécessite une intervention nouvelle, exceptionnelle. On emploie souvent les expressions « dynamique de crise » ou « déferlement » pour signifier que les difficultés débordent le cadre prévu. La situation de crise entraîne une perte de repères, c'est-à-dire un manque de base d'interprétation, ce qui provoque souvent l'angoisse ou la panique. Bien que suscités en partie par des facteurs subjectifs, ces comportements sont susceptibles d'aggraver ou de prolonger la crise et deviennent donc des facteurs objectifs de la dynamique de crise.

La littérature sur la gestion de crise comporte de nombreuses études de cas, dont une grande partie concerne les crises survenant dans le secteur des transports. Ce secteur est particulièrement sensible, les opérateurs de transport étant parfois des « opérateurs d'importance vitale ». On peut donc distinguer deux types de crises dans les transports. Une première possibilité est qu'un événement survienne en dehors du réseau mais crée un engorgement de celui-ci en raison d'une modification des comportements de mobilité : évacuation et/ou phénomènes de panique. Dans ce cas, les transports sont affectés de façon indirecte. Une autre possibilité est une crise dont l'origine même est située dans le réseau (carambolage sur l'autoroute, attentat dans le RER, etc.).

La nature de l'origine de la crise (naturelle ou criminelle) est rarement prise en compte dans la littérature sur la gestion de crise. Les crises causées par les catastrophes naturelles ont aussi une influence sur la sûreté. Cet effet complexe a fait l'objet de nombreux travaux.

En cas d'accident, la première phase de réaction est essentielle. L'appel d'urgence est défini comme l'appel émis par un usager en direction des secours. Il détermine en partie l'efficacité de l'intervention et l'information des usagers (« alerte » proprement dite). L'alerte permet à son tour de réduire les conséquences en chaîne, par exemple les sur-accidents (qui ont fait l'objet de recherches spécifiques). Des recherches ont été effectuées sur l'utilisation conjointe du réseau d'appel d'urgence existant et du radiotéléphone GSM, sur la mise au point d'une balise radio-embarquée par un véhicule patrouilleur et activée lorsque celui-ci se retrouve en amont d'un accident, sur un système « intelligent » appelant le numéro d'urgence européen en cas de collision, etc.

Pour alléger la gestion de crise, les autorités préparent des plans d'évacuation à différents niveaux. Dans le domaine des transports, les autorités disposent également de plans de gestion du trafic (PGT). Afin de préparer les évacuations, des chercheurs ont mis au point des modèles « macro » qui utilisent des courbes débit-vitesse pour estimer le temps maximum d'évacuation en fonction des capacités des grandes artères routières. Certains de ces modèles sont multimodaux, mais les temps de réaction des individus et les trafics sur les routes secondaires ne sont généralement pas pris en considération. Quelques modèles tiennent compte de la génération du trafic et du rôle des voies secondaires. Des hypothèses portent sur les comportements spontanés et les trafics sont modélisés sur tout le réseau urbain. Enfin, des modèles « micro » permettent d'étudier l'évacuation de voisinage. Ils sont fondés sur des distributions aléatoires de comportements individuels (choix de l'heure de départ, du véhicule, de l'itinéraire, etc.).

Lors d'une crise, une conséquence du « déferlement » est la multiplication des intervenants. D'où un problème de coordination entre les différents services. Ce problème a été étudié de deux façons : soit en cherchant à expliquer l'influence des facteurs institutionnels sur l'organisation des services d'intervention, soit en considérant l'organisation de ces services comme une donnée (exogène) et en cherchant à optimiser le résultat de leurs actions (méthodes de simulation multi-agents permettant de tester des plans d'intervention, méthodes de programmation linéaire permettant de déterminer l'allocation optimale des véhicules de secours, etc.).

Introduction

Cette recherche s'inscrit dans la coopération franco-norvégienne ENT13 *Safety and Security across modes*, dans le cadre du groupe de travail européen Era-net Transport.

Elle consiste en un état de l'art des travaux relatifs à la sécurité et la sûreté des transports. Conformément à l'objectif du contrat avec la Direction de la recherche et de l'innovation (DRI) et la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), cet état de l'art porte sur une bibliographie internationale des connaissances existantes, mais indique aussi les principales ressources intellectuelles sur ce thème en France (laboratoires, instituts, programmes, etc.). L'approche est pluridisciplinaire afin de favoriser une meilleure compréhension des facteurs psychologiques, sociaux, politiques, techniques et économiques influençant la sécurité et la sûreté des transports, et de contribuer à la connaissance des interactions entre ces facteurs.

Comme son nom le suggère, un état de l'art est une synthèse de connaissances préexistantes. Dans le cas présent, les connaissances portent sur un champ très large, à la fois pluridisciplinaire et multimodal. Tous les modes de transport sont considérés, à l'exception du fluvial¹. Nous avons cependant accordé une attention particulière au mode routier.

La méthode repose sur des recherches bibliographiques internationales par mots clés dans les bases CASSIS (INRETS), ITRD (OCDE) et TRIS (TRB)² et sur la réalisation d'entretiens avec des spécialistes du secteur. Nous avons aussi utilisé la cartographie des unités de recherche du Réseau scientifique et technique (RST) en matière de « sécurité-défense » réalisée par le Centre d'études techniques de l'équipement (CETE) de Lyon pour le Service de défense, de sécurité et d'intelligence économique (SDSIE), et la cartographie des unités de recherche en matière de sécurité routière réalisée par Cédric Loescher (2007) pour la DRI.

¹ On peut consulter à ce sujet les travaux du CETMEF : <http://www.cetmef.equipement.gouv.fr/>

Une étude en cours (CETMEF-INRETS), entreprise par O. Norotte, porte sur la sûreté de la navigation fluviale.

² Une description de ces bases bibliographiques figure en annexe.

Chapitre 1

Analyse du risque

1.1. Définition du risque

L'objet de cette section est de préciser le sens de quelques termes employés dans ce rapport.

a/ Définition générale

Un risque est une combinaison de la probabilité d'apparition d'un dommage et de la gravité de ce dommage.

La probabilité d'occurrence intervient elle-même dans l'espérance associée à l'exposition. Le risque peut donc être décomposé en trois éléments : nombre d'exposition, taux moyen et gravité.

On peut classer les risques dans un tableau gravité–fréquence :

Gravité/fréquence	Fréquent	Rare	Improbable	Très improbable
Catastrophique				
Critique				
Significatif				
Mineur				

Ce tableau, aussi connu sous le nom de « matrice d'acceptabilité », est utilisé pour prescrire une norme : plus un danger est grave, et plus il doit être rare. Les cases grisées représentent des couples gravité/fréquence « inacceptables », car ne respectant pas cette norme.

On voit ici que la gravité peut constituer une façon de classer les risques. La définition même des différentes catégories de gravité engage toutefois un jugement subjectif et des représentations sociales, sur lesquelles nous reviendrons. Une possibilité pour distinguer le « mineur » du « catastrophique » est de se fonder sur la valorisation sociale effective de ces dommages. Les victimes reçoivent des indemnités des sociétés d'assurance et, dans une moindre mesure, de la Sécurité sociale. Mais, concernant le mode routier, « nous n'avons pas les moyens de vérifier si les indemnités couvrent tous les coûts induits par les accidents » (Johansson, 2007, p. 19). À ces coûts subis par les ménages, il faut ajouter ceux que supportent les entreprises³ et la collectivité (perte d'impôts, dommages causés à l'environnement, etc.).

b/ Typologies des risques

On peut élaborer une typologie des risques selon le type d'informations dont on dispose. Lorsque la valeur de la probabilité d'occurrence et les événements possibles (ici : les dommages possibles) sont connus, on parle de « risque » au sens propre. Si l'on connaît seulement l'intervalle dans lequel est située la probabilité, on parle de « risque imprécis ». Si l'on ne connaît pas du tout cette probabilité, mais que l'on connaît les événements possibles, on parle d'« incertain total ». Enfin, lorsque l'on ne connaît ni cette probabilité ni les événements possibles, on parle d'« incertain radical ». Une piste de recherche concerne le rapport entre cette typologie des risques, l'implication éventuelle d'un principe de précaution et la prise de décision (acteurs et niveaux de responsabilité).

³ Sur les coûts pour les entreprises, cf. Mouvement, PREDIT, 1992.

On peut aussi élaborer une typologie des risques selon la nature de la cause du dommage. Lorsque ce dernier est provoqué intentionnellement, on parlera de risque de *sûreté*. On circonscrit ainsi un domaine particulier : les conséquences des actes malveillants. Lorsque le dommage ne découle pas d'un acte malveillant, on parlera de risque de *sécurité*. Ce terme sera donc réservé aux conséquences des phénomènes naturels et aux conséquences involontaires des actions humaines⁴.

S'il n'existe pas de relation univoque entre ces deux typologies, on constate bien souvent que la sûreté relève de l'incertain : en général, les actes malveillants ne sont pas probabilisables. La sécurité comprend, en revanche, à la fois du risque (les accidents) et de l'incertain (les grandes catastrophes naturelles). D'où la tentation — mais ce n'est pas l'option retenue ici — de placer les catastrophes naturelles dans le champ de la sûreté (qui serait alors définie comme l'étude de l'ensemble des dommages graves et incertains : ce sont les « *événements extrêmes* »).

Notre définition isole le résultat volontaire des actes (la sûreté), ce qui est conforme à la tradition juridique qui distingue d'abord les actes volontaires et involontaires. « Il n'y a point de crime ou de délit sans intention de le commettre » (article 121-3, Alinéa 1 du code pénal). Pour que la responsabilité pénale soit engagée, il faut donc que l'auteur ait eu l'intention de commettre un crime ou un délit. Le code pénal mentionne immédiatement des exceptions liées à l'imprudence ou à la négligence. Il suffit alors que l'on puisse imputer une faute d'imprudence à quelqu'un pour que sa responsabilité pénale soit engagée. Dans tous les cas, l'élément moral, qui désigne la volonté de commettre l'acte, « est nécessaire pour que l'infraction existe, tant pour les infractions intentionnelles (crimes et majorité des délits) que pour les délits d'imprudence et les contraventions. Dans les premières, l'élément moral est l'intention criminelle (dol pénal) : l'acte et ses conséquences ont été voulus ; dans les seconds, c'est une faute : l'acte a été voulu mais non le résultat »⁵.

Si les délits d'imprudence ne sont pas nouveaux, puisque le droit romain les prévoyait déjà, ils se sont toutefois multipliés avec le développement des techniques et à la suite de certaines catastrophes. En outre, la philosophie du droit a évolué dans les années 1970 avec la criminalisation de la prise d'alcool par les conducteurs même en l'absence d'accident. On parle de « crimes sans victimes ». Cette remise en cause de la philosophie classique du droit se poursuit dans d'autres domaines⁶, et ne constitue pas une spécificité française⁷.

Mais comment la jurisprudence définit-elle le partage des responsabilités ? Le conducteur est-il seul responsable ? Comment apprécier les comportements, et en fonction de quels critères ? On trouvera des réponses à ces questions dans les travaux sur les récentes évolutions juridiques liées à la sécurité routière (Guilbot, 2008). Il semble que les progrès en sécurité atteindront un palier si tous les acteurs de l'insécurité routière ne sont pas responsabilisés à hauteur de leurs fautes (Guilbot et Ferrand, 2004).

1.2. Évaluations de la sécurité dans les transports

Une étude du risque peut consister à expliquer la pyramide fréquence/gravité. Cette approche est pertinente lorsque l'on s'intéresse à un mode de transport pour lequel il y a beaucoup d'observations d'accidents (mode routier). Mais lorsque cette condition n'est pas satisfaite, on doit surtout rechercher une mesure latente, un signe précurseur d'accident. L'analyse porte alors sur les incidents. Par exemple, les « cartons rouges » enregistrés automatiquement dans le transport ferroviaire ou bien les rapports d'incidents établis par les personnels dans le secteur aérien. De façon générale, moins il y a d'accidents observables et plus on a recours à de la simulation.

⁴ Attention, en anglais, *security* et *safety* désignent respectivement la sûreté et la sécurité.

⁵ Cf. Encyclopedia Universalis, corpus 17, entrée « Pénal (droit) ».

⁶ Par exemple, avec la possibilité d'enfermer des criminels ayant purgé leur peine si l'on démontre leur « particulière dangerosité » (projet de loi Dati approuvé par l'Assemblée nationale le 10 janvier 2008).

⁷ Par exemple, au Québec, la Cour ne juge plus de la culpabilité mais des compensations : causer un accident mortel n'est pas criminel. En revanche, conduire sous l'emprise de l'alcool est criminel, même en l'absence d'accident.

On exposera successivement les méthodes d'évaluation dans les modes routier⁸, maritime, aérien et guidé.

a/ Évaluation de la sécurité dans le mode routier

Au niveau international, l'OMS et la Banque mondiale ont publié conjointement un rapport sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la route, incluant une prévision du nombre de personnes tuées ou blessées sur la route (OMS, 2004)⁹. Ces organismes estiment que chaque année 1,2 million de personnes sont tuées, et 50 millions blessées dans le monde dans des accidents de la route. Selon leurs projections, ces chiffres augmenteront d'environ 65 % au cours des 20 prochaines années s'il n'y a pas un nouvel engagement en faveur de la prévention. Sur un plan méthodologique, le rapport se réfère explicitement à l'approche systémique formulée par Haddon (1968)¹⁰.

Au niveau européen, en 2001, EUCAR (*European council for automotive research*) a lancé une initiative pour développer une approche systémique de la sécurité routière intitulée *integrated safety*. Elle a donné lieu à de nombreux programmes de recherche (AIDE, PREVENT, EASIS, APROSYS, GST). Dans le cadre du 6^e PCRD, l'Union européenne a financé le programme TRACE (*Traffic accident causation in Europe*)¹¹. La Commission (DG-TrEn) a financé le programme SUPREME recensant les « meilleures pratiques » en matière de sécurité routière¹² et a lancé le projet SafetyNet qui développe un protocole d'homogénéisation de la collecte des données accident dans plusieurs pays européens, et constitue une base de données sur le sujet (*The European road safety observatory*)¹³.

Au niveau national, un rapport de la commission des finances du Sénat (Miquel, 2002)¹⁴ a dressé un état des lieux des acteurs et des enjeux de la recherche en sécurité routière. Ce rapport préconisait de modifier le système statistique national pour le rendre comparable à ceux des autres pays de l'UE. L'Observatoire national interministériel de sécurité routière¹⁵ a par conséquent mis en œuvre, depuis 2005, de nouvelles définitions concernant les personnes tuées et blessées¹⁶. Sont désormais comptabilisées les personnes décédées sur le coup ou dans les 30 jours qui suivent l'accident, contre six jours auparavant. De même, on ne parle plus de blessés graves (blessure nécessitant au moins six jours d'hospitalisation) mais de blessés hospitalisés (dont l'état a nécessité au moins 24 heures d'hospitalisation).

Une fois ces notions définies, le *risque d'être victime* peut être exprimé par le nombre de tués et/ou de blessés par kilomètre ou par véhicule. Le *risque d'accident* peut être exprimé par le nombre d'accident par kilomètre ou par véhicule. S'agissant de la mesure du dénominateur, un état de l'art des mesures d'exposition au risque en Europe a été produit dans le cadre du projet *Safetynet*¹⁷. En outre, il faut noter que ces deux types de risque sont dépendants du type de réseau emprunté. En France, le réseau urbain concentre les accidents. Exprimé en kilomètre parcouru, le risque d'y être blessé est cinq fois supérieur à celui d'être blessé sur les routes nationales ou départementales. En revanche, ces dernières concentrent la gravité (selon l'Observatoire national interministériel de sécurité routière [ONISR], en 2007, 74 % des tués). Les autoroutes représentent 6,6 % des accidents

⁸ La sécurité des tunnels ne sera pas traitée dans ce rapport. On peut consulter à ce sujet le rapport Kert (2000) : <http://www.assemblee-nationale.fr/rap-oecest/tunnels/r2388.asp>

⁹ Sur les différents facteurs de risque, voir par exemple le 3^e chapitre du rapport de l'OMS sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de circulation : http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/fr.

¹⁰ La matrice de Haddon représente l'interaction entre trois facteurs – facteur humain, véhicule et environnement – durant trois phases : avant, pendant et après le choc. Pour réduire les traumatismes causés par un accident de la circulation, on peut agir sur chacun des éléments décrits dans les neuf cellules.

¹¹ www.trace-project.org

¹² http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/supreme_c_fr.pdf

¹³ <http://www.erso.eu/>

¹⁴ Disponible en ligne : http://www.senat.fr/rap/r02-029/r02-029_mono.html

¹⁵ Organisme dépendant de la Délégation interministérielle à la sécurité routière.

¹⁶ http://www.securiteroutiere.gouv.fr/cnsr/2_documents_page_travaux/306_chang_definition.pdf

¹⁷ <http://www.erso.eu/safetynet/content/safetynet.htm>

et 5,9 % des tués, alors qu'elles accueillent 22,9 % du trafic. On peut évaluer l'influence des caractéristiques des routes sur la sécurité. Gaudry et Vernier (2000) ont, par exemple, développé un modèle de comportement à structure simultanée afin d'analyser l'effet du tracé et de l'état des routes nationales sur la vitesse et la sécurité.

Exprimer le risque par kilomètre ou par véhicule est utile pour mener des politiques de transport. Si l'on veut simplement connaître le risque pour un habitant de décéder dans un accident de la route, il faut rapporter le nombre de tués à la population du pays. Il y a environ 50 tués pour un million d'habitants dans les pays du Nord de l'Europe, ce ratio est près de trois fois plus élevé dans des pays comme la Grèce ou la Pologne¹⁸.

La connaissance de la distribution des accidents et des victimes permet d'évaluer le risque. Mais pour être efficace, le ciblage des actions de prévention nécessite l'identification des groupes (conducteurs, véhicules ou aménagements) à haut risque. L'idée directrice est donc de désagréger le risque par catégorie d'usagers. Ainsi, pour les conducteurs, *l'état de santé* constitue un facteur essentiel de risque. Le réseau RESAT regroupe les recherches nationales sur le sujet (projets DACOTA, MEDICO, PRIVASOM et VIGISIM). Le réseau compte environ 100 chercheurs répartis dans une vingtaine de villes françaises et regroupés selon deux pôles, l'un consacré à la somnolence et l'autre à l'attention. Ces pôles ont rédigé un livre blanc dressant l'état des connaissances. ERANET-15 coordonne au niveau européen les travaux sur la somnolence au volant.

Les facteurs démographiques et socioéconomiques ont une grande influence sur le risque d'accident. En 2030, environ 21 % de la population européenne aura plus de 65 ans. C'est pourquoi, l'évaluation des effets du vieillissement de la population est actuellement un axe de recherche important tant pour les comportements de mobilité que pour les comportements de conduite. L'OCDE a montré que les seniors arrêtent d'utiliser les transports en commun avant de cesser la conduite automobile (OCDE, 2001). Comment garantir la sécurité des déplacements des seniors ? Quel arbitrage entre mobilité et sécurité ? Il existe une grande variété de réponses en termes de politiques publiques : développement de nouveaux transports individuels adaptés aux personnes âgées, amélioration de l'accessibilité des transports collectifs permettant un report modal, restriction du droit de circulation à partir d'un certain âge (ce qui pose un problème démocratique), etc. Mais dans tous les cas, les décideurs doivent disposer en amont de données sur les risques spécifiques. On trouvera des études récentes sur les effets du vieillissement parmi les travaux du LESCOT (INRETS) sur la conduite et les capacités visuelles et attentionnelles : Gabaude, 2003 ; Marin-Lamellet et al., 2003 ; Gabaude et Paire-Ficout, 2005). Les recherches de l'Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance transport travail environnement (UMRESTTE) ont notamment montré que la nature et la localisation des blessures diffèrent selon l'âge des victimes, et que la *léthalité* (taux de mortalité parmi les blessés) est maximale chez les personnes âgées (Lafont et Laumon, 2003). On peut également consulter les travaux de l'action-recherche n° 3 du programme DACOTA (Défauts d'attention et conduite automobile objectifs). En revanche, il existe peu d'études sur la demande de transport des personnes âgées (voir, toutefois, Espinasse, 2005) sur « le deuil de l'objet voiture chez les personnes âgées ». L'analyse des déterminants sociaux et économiques des choix de transport des seniors (entretiens et étude quantitative) constituerait donc une piste prometteuse.

D'autres programmes étudient les risques spécifiques aux jeunes. Pour la tranche d'âge de 0–14 ans, les résultats du bilan de l'année 2007 affichent une augmentation de 25 % de tués (risque piéton). Les 15–24 ans représentent, quant à eux, 13 % de la population française, mais 27 % des tués sur la route. Dans cette tranche d'âge, les accidents de la route demeurent la première cause de mortalité. Cette situation est due à la fois au manque d'expérience des jeunes conducteurs et à une prise de risque spécifique. Une récente étude, « Jeunes, sorties et conduite », réalisée pour l'association prévention routière et les assureurs de la FFSA, met en évidence le fait que, lors de leurs sorties, les jeunes consomment souvent au moins trois verres d'alcool et parcourent généralement d'importantes distances¹⁹.

¹⁸ Avec 4 620 morts (bilan 2007 définitif de la sécurité routière) pour une population de 64,5 millions de personnes (Insee, bilan démographique 2007), la France a un ratio de 71,6 tués par million d'habitants en 2007.

¹⁹ http://www.preventionroutiere.asso.fr/shared/ugo_content_imageview.aspx?cid=bf56ddc6-7f8b-44ce-9803-0379b8dc35ee&fid=fichier

Tout conducteur novice n'est pas nécessairement jeune. Le Code de la route se réfère implicitement aux conducteurs novices dans la définition du « permis probatoire » s'appliquant aux nouveaux titulaires du permis pendant une durée de deux ou trois ans selon les cas. Le droit communautaire définit les « conducteurs inexpérimentés » comme les élèves conducteurs et les titulaires d'un permis depuis moins de deux ans.

Le PREDIT a financé plusieurs études²⁰ sur le rôle de la formation, notamment sur la compréhension des processus de construction des compétences de conduite chez les conducteurs novices (projet ACRRCN), sur leurs prises de risque et leurs rapports à la règle, sur la modélisation des comportements du conducteur (projet ACC), ou sur la compréhension de l'effet de l'environnement social et du rôle du genre (projet GENRES).

L'origine sociale, le niveau d'éducation ou la zone de résidence sont à l'origine de véritables « inégalités face au risque routier » (Johansson et al., 2007 pp. 42-9). Si l'existence de ces corrélations est reconnue par tous, « il faut s'interroger sur les causes du “surrisque” d'accidents qui concerne les personnes issues d'un milieu socioéconomique défavorisé et ceux ayant un faible niveau d'éducation. S'agit-il réellement du comportement des personnes ? [...] Le surrisque vient-il plutôt de la situation économique et sociale de la personne ? » (*ibid.*, p. 43). Quant au rôle de la ségrégation spatiale dans le risque d'accident, on peut se demander s'il est seulement induit par les caractéristiques des individus vivant dans des quartiers défavorisés ? Une étude a montré que les caractéristiques propres au quartier influencent le risque routier indépendamment des caractéristiques individuelles des résidents de ces quartiers (Cubbin et al., 2000).

Pour le ciblage des actions de prévention, l'étude des usagers vulnérables mérite d'être approfondie. Outre l'âge du conducteur, le mode de transport est à considérer. Les deux-roues sont particulièrement exposés, non seulement en nombre de tués, mais aussi en nombre de blessés. Depuis 2003, « le nombre des blessés graves parmi les utilisateurs de deux-roues motorisés dépasse celui des automobilistes » (Guyot et al., 2008, p. 35). Le risque d'être tué au kilomètre parcouru est de 20 fois supérieur en deux-roues qu'en voiture²¹. Ce risque est particulièrement élevé en France (plus de deux fois supérieur à celui de l'Allemagne). Il existe donc des marges de progression pour la prévention et la protection. D'autant que la croissance du parc de deux-roues semble s'accélérer et que les politiques actuelles de transport peuvent contribuer involontairement à un report modal sur les véhicules deux-roues. Un report de grande ampleur poserait d'ailleurs de nouvelles questions en termes d'accroissement des accidents avec les piétons.

Les connaissances sur les deux-roues ont récemment beaucoup progressé. En effet, le Conseil national de la sécurité routière (CNSR, créé en 2001) comporte une commission deux-roues qui a publié ses premières recommandations en mai 2007²². Et l'ONISR a produit un rapport sur les motocyclettes²³. À l'INRETS, il existe une plateforme intégratrice « deux-roues motorisés »²⁴. Au sein du PREDIT, de nombreux projets de recherche ont été réalisés sur les risques liés aux deux-roues : comme RIDER (Recherche sur les accidents impliquant un deux-roues motorisé) ou SUMOTORI (Sûreté de l'ensemble moto-motard contre les risques liés à son environnement) pour lequel des scénarios d'accident ont été rejoués sur la piste du LCPC de Nantes par un cascadeur sur un scooter munis de capteurs. L'analyse des données permet l'évaluation des situations de conduite²⁵. D'autres projets du PREDIT sont actuellement en cours : AUR2RM (Accidentologie, usage et représentation des deux-roues motorisés), SIMACOM (Simulateur pour l'apprentissage de la conduite de deux-roues motorisés) et VIVRE (Véhicules industriels et usagers vulnérables de la route). Au niveau européen, le

²⁰ Voir, par exemple, les Actes du séminaire continuum éducatif en sécurité routière (17 octobre 2007) :

http://www.inserr.org/infos/documents/Actes_seminaire_PREDITGO3_171007.pdf

²¹ En 2005, les utilisateurs de deux roues motorisés représentaient 23,3 % des tués (Guyot et al., 2008, p. 13). Le cyclomoteur tue 2,5 fois moins que la moto. Il s'avère « seulement » deux fois plus dangereux que la voiture (241 tués pour un million, contre 107 pour l'automobile) selon le bilan 2004 de l'ONISR. En revanche, le nombre de blessés à cyclomoteur est très élevé (15 776 en 2004). Par ailleurs, des études ont montré que les scooters ne sont pas plus dangereux que les cyclomoteurs classiques (Perrin, 2002).

²² http://www.securiteroutiere.equipement.gouv.fr/cnsr/2_documents_page_travaux/2-recommandations_deux_roues.pdf

²³ www.pas-de-calais.pref.gouv.fr/upload/1%20-%20moto%20-31%2005%2007.ppt

²⁴ <http://pfi-2rm.inrets.fr/>

²⁵ SUMOTORI comporte aussi un volet prévention et protection (*infra*, chap. 2). Pour un descriptif du projet, voir aussi (Guyot et al., 2008, pp. 247-8).

6^e PCRD a notamment financé le programme MYMOSA (*Towards integrated safety for powered two wheelers*)²⁶.

Pour évaluer les risques liés aux deux-roues, des données d'accidents sont recueillies par des techniciens (informations sur les véhicules et l'infrastructure) et par des psychologues (entretiens « à chaud »). Il s'agit d'une approche « système » permettant d'analyser les phénomènes d'interaction entre les composants du risque (Van Elslande, 2003). Ces études détaillées d'accidents sont pratiquées par l'INRETS et par le LAB (PSA-Renault). Mais pour savoir si les cas d'accident analysés sont représentatifs, il faut ensuite les coupler avec des études quantitatives. On distingue quatre principaux types d'accidents. « Les conflits en intersection ou à proximité : 55,7 % des accidents corporels, 49,2 % des accidents mortels [...] les accidents hors intersection entre véhicules circulant dans le même sens : 18,2 % des accidents corporels et 8,3 % des accidents mortels [...] les accidents hors intersection entre véhicules circulant en sens opposés : 18,4 % des accidents corporels et 34,7 % des accidents mortels [...] les manœuvres dangereuses : 7,7 % des accidents corporels et 7,8 % des accidents mortels ; dans 84 %, la manœuvre est le fait de l'automobiliste qui n'intègre pas le motard dans son information » (Guyot et al., 2008, p. 45). Les statistiques donnent l'importance relative des différents scénarios, tandis que les études détaillées permettent de comprendre pourquoi et comment ces scénarios arrivent.

Ces études mettent en évidence le rôle de la vitesse. En 2005, 40 % des motocyclistes impliqués dans un accident roulaient au-dessus de la vitesse autorisée (contre 20 % des automobilistes). Ces travaux soulignent souvent la défaillance perceptive de la part des automobilistes et la défaillance de pronostic et/ou de contrôle de la part des conducteurs de deux-roues. Elles concluent aussi que dans deux tiers des accidents, les deux-roues sont confrontés à une perturbation qu'ils ne peuvent pas compenser en raison de l'absence de marge de régulation. Ces études préconisent généralement des mesures de prévention et de formation visant à une meilleure perception réciproque des différentes parties et à l'acceptation par les deux-roues de marges plus importantes (manœuvrabilité).

Quelques travaux, comme l'analyse de 921 accidents dans le cadre du programme MAIDS (*Motorcycle accident in depth study*), tendent à relativiser le rôle de la vitesse dans les accidents impliquant des deux-roues²⁷. MAIDS est financé par un consortium industriel européen, l'ACEM.

Concernant les autres usagers vulnérables, les risques pour les piétons sont notamment étudiés dans le cadre du programme APPA²⁸ (INRETS), qui analyse les atteintes lésionnelles des piétons en fonction des caractéristiques de la victime (âge, sexe) et du type de véhicule l'ayant heurtée.

Le transport routier de marchandises emploie plus du quart des effectifs salariés des industries de transport et de manutention, mais représente un tiers des accidents et deux tiers des décès²⁹. En France, 100 à 120 conducteurs professionnels décèdent chaque année dans des accidents de la circulation³⁰. Les conducteurs de camions de marchandises subissent des risques plus élevés que la moyenne des actifs pour les pathologies cardiovasculaires et dorsales, ils sont « continuellement dans une situation de rattrapage du temps », et la succession des opérations de conduite, de négociation et de transaction crée chez eux « un état de tension parfois extrême » (Hamelin, 2001, p. 47).

En outre, la mise en concurrence des services de transport routier européens est parfois accusée de provoquer une dégradation des conditions de travail et donc de la sécurité (Hamelin, 2001 ; Hilal, 2006). La CEMT (Conférence européenne des ministres des Transports) a défini le dumping social comme la pratique « consistant, pour un État ou une entreprise, à violer, à contourner ou à dégrader, de façon plus ou moins délibérée, le droit social en vigueur — qu'il soit national, communautaire ou international — afin d'en tirer un avantage économique, notamment en termes de compétitivité » (2002).

²⁶ <http://www.mymosa.eu/>

²⁷ http://www.maids-study.eu/maids_report.html (inscription requise)

²⁸ <http://www.inrets.fr/ur/umrestte/themes/APPA.htm>

²⁹ Lire le rapport de l'INRS :

[http://www.inrs.fr/inrs/pub/inrs01.nsf/inrs01_search_view/B2BDD5F30D159333C12572C900380F6A/\\$File/ed6006.pdf](http://www.inrs.fr/inrs/pub/inrs01.nsf/inrs01_search_view/B2BDD5F30D159333C12572C900380F6A/$File/ed6006.pdf).

³⁰ En janvier 2004, l'État et les professionnels du transport routier de marchandises ont défini un programme d'actions de prévention du risque spécifique à ce secteur (Charte de partenariat sécurité routière). Une nouvelle charte a été signée en février 2008 : http://www.developpement-durable.gouv.fr/article.php3?id_article=2896.

Un autre axe important est le transport des matières dangereuses. Près de 80 % de celles-ci sont transportées par la route, pourtant généralement moins sécurisée pour les transports de matières dangereuses que la voie ferroviaire³¹. En France, le nombre annuel d'accidents varie de cent à deux cent. Une vingtaine de décès et des dommages environnementaux en résultent. Des exemples de catastrophes survenues dans d'autres pays viennent toutefois rappeler que les conséquences des accidents impliquant les matières dangereuses peuvent être extrêmement lourdes. Ainsi, en 1978, en Espagne, un camion de propylène avait causé 216 morts et des centaines de brûlés.

La diversité des substances et la dispersion des responsabilités³² rendent nécessaire des évaluations des risques et une analyse de la chaîne et des règles de responsabilité. Des chercheurs norvégiens travaillent sur ce thème dans le cadre du programme RISIT. (Blanchet et Maillat, 2006) ont réalisé un état de l'art sur la gestion concertée du transport des matières dangereuses au niveau régional et local³³. Il est à noter que les transports de matières dangereuses entrent également dans le domaine de la sûreté. Une réponse possible aux risques de détournement de ces cargaisons est la géo-localisation.

b/ Évaluation de la sécurité dans le mode maritime

Dans le transport maritime, la notion de « sécurité » recouvre différents types d'objectifs : la sauvegarde de la vie humaine, des navires et des marchandises en mer, ainsi que la préservation des milieux maritimes et côtiers. L'évaluation des risques peut porter sur une zone maritime ou sur un mobile donné.

Des modèles ont été élaborés depuis les années 1970 afin d'évaluer le niveau de sécurité d'une zone maritime (risque récurrent) en fonction des données concernant le trafic, la géographie et la météorologie. Sur un plan pratique, ils permettent de préconiser des mesures de gestion du trafic (surveillance, etc.). Ces modèles sont à présent fondés sur les directives FSA (2001) formulées par l'Organisation maritime internationale (OMI).

Le premier modèle du genre est SAMSON (*Safety assessment models for shipping and offshore in the North Sea*), développé depuis 1975 par MSCN/MARIN (Pays-Bas). On peut aussi citer comme exemple le modèle MARCS (*Maritime accident risk calculation system*) développé depuis 1990 par une équipe norvégienne (Fowler and Sørgaard, 2000).

Pour estimer le nombre d'accidents à partir d'un modèle de ce type (Degré, 2003), on doit disposer de trois types de données :

- des données sur l'environnement naturel (géographie et météorologie) ;
- des données concernant le trafic. La constitution de l'image du trafic se décompose alors en trois phases : définition des routes (liste ordonnée de « tronçons »), affectation des flux annuels des navires de commerce³⁴ sur ces routes, affinage (correction des routes et ajout des autres navires) par enquêtes dans les ports ;
- des données sur les différents types d'accident.

Établies sur la base de déclarations volontaires, les bases de données concernant les accidents maritimes ne sont pas exhaustives. Un sous-comité de l'OMI, The Sub-Committee on Flag State

³¹ Rappelons toutefois que l'accident ferroviaire survenu en 1979 à Mississauga-Toronto (Canada) avait conduit à une évacuation de plusieurs jours pour plus de 200 000 personnes.

³² Le décret français du 12 avril 1992 et l'accord européen ADR (révisé en 2001) ne règlent pas tous les problèmes.

³³ http://portail.documentation.equipement.gouv.fr/documents/drast/RMT06-018_FICHER_1.pdf.

³⁴ Une partie de ces flux : les navires de moins de 300 GT ne sont pas pris en compte.

Implementation, publiée des recommandations et des statistiques au sujet des déclarations d'accidents par l'État du pavillon³⁵.

Mais comme les déclarations ne sont pas impératives, toutes les bases de données accidents sont incomplètes. Celles de la Lloyd's maritime intelligent unit et de la Lloyd's register of fairplay sont probablement les mieux renseignées³⁶.

Par ailleurs, la réglementation sur les enquêtes dans le transport maritime manque d'harmonisation. Le paquet « Erika-III » (voté en 2007 par le Parlement européen) tente d'y remédier.

Depuis le traité de Maastricht (1992), l'Union européenne est compétente en matière de sécurité maritime. Une agence européenne pour la sécurité maritime a été créée en 2002 (règlement CE n° 1406). Elle est mandatée par la Commission européenne pour créer une base de données avec les rapports d'enquêtes sur les accidents maritimes. L'analyse de ces données doit permettre à l'Agence d'établir une méthodologie pour permettre une amélioration des enquêtes sur les incidents et accidents. L'Agence fait la promotion des installations de type VDR (*voyage data recorders*) qui permettent l'enregistrement des données.

Le groupe de travail CTG-CMAI (*Consultative technical group for cooperation in marine accident investigation*), constitué par les représentants des bureaux d'investigations des États de l'UE et piloté par l'Agence, travaille et communique ses réflexions sur ces enquêtes.

En dépit de ces différents efforts, les bases de données demeurent incomplètes. Ce qui fausse les probabilités utilisées dans ces modèles³⁷.

En France, on a privilégié une méthode différente pour atteindre les mêmes objectifs. À la fin des années soixante-dix, plusieurs accidents maritimes survenus dans la Manche avaient engendré des pollutions des côtes (Amoco Cadiz en mars 1978, Gino en avril 1979, Tanio en mars 1980, etc.). Ces sinistres ont conduit la France à définir et à mettre en œuvre des mesures à partir d'une méthode de simulation fondée sur les « presque accidents » ou les « situations dangereuses » (modèle MARIN). Dans une zone donnée, on étudie les croisements de navire (risques d'abordage avec un seuil de 1 mille marin), et les manœuvres d'évitement (les « manœuvres raisonnables ») sont définies par un angle maximal.

On raisonne donc sur des indicateurs et non sur des accidents. Cela permet de remédier au problème de la non-exhaustivité des bases de données accident. Mais cela reste de la simulation : la méthode n'est pertinente que pour des raisonnements en termes relatifs (comparaison de différents projets). Ces travaux ont conduit à une modification des « rails » de la Manche³⁸ et du Pas-de-Calais, à la création du CROSS (Centre régional opérationnel de surveillance et de sauvetage) de Ouessant, ainsi qu'à l'implémentation de la mission surveillance et information du trafic dans les CROSS existants.

L'évaluation des risques nécessite des données très précises sur l'environnement, en particulier le long des côtes (circulation hydrodynamique, transport sédimentaire, état biogéochimique, etc.). En France, le projet PREVIMER (2006–2012) — financé par le CPER Bretagne (Contrat de projet Etat-Région) et coordonné par l'IFREMER — vise à construire un système d'information et de prévision (à 48 heures) de l'environnement côtier sur la base de mesures et de simulations numériques. Une application pratique est la réduction des risques d'exposition à des pollutions accidentelles, notamment par l'information du public (baignade, pêche, plongée, nautisme). La première phase (2006–2008) a permis la production de modèles sur des zones pilotes³⁹. La seconde phase du projet

³⁵ On trouvera un schéma synthétique du traitement des accidents par l'OMI sur le site de cette organisation : <http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/dataid%3D21438/casualtyanalysis.pdf>. Lire aussi les FSI Casualty Circulars: http://www.imo.org/home.asp?topic_id=799.

³⁶ Pour une description des bases de données sur les accidents, cf. (Degré et Benabbou, 2005, section 2.1).

³⁷ Dans le modèle MARCS, la valeur de la probabilité de chaque type d'accident est issue « d'une analyse directe dans les bases de données sur les accidents », tandis que dans SAMSON, le taux d'accident de base « est utilisé pour redistribuer les statistiques d'accidents recueillies dans une zone de référence vers une zone particulière, en fonction du nombre d'expositions au danger calculé pour cette zone particulière et de ses conditions locales » (Degré, 2003, p. 28).

³⁸ Aménagement d'une troisième voie, plus loin des côtes, pour les navires dangereux. En 2003, on est revenu à un système à deux voies.

³⁹ Consulter le site <http://www.previmer.org>

(2008–2012) permettra de généraliser les zooms géographiques et de synthétiser les résultats sous forme d'indicateurs pouvant être reliés à des systèmes d'alerte.

PREVIMER répond à des besoins de prévision à court terme. Les décideurs publics ont aussi besoin d'informations scientifiques pour effectuer des choix concernant un horizon plus lointain (infrastructures et organisation socioéconomique dans les zones côtières). L'impact du changement climatique sur l'environnement côtier a été étudié dans le cadre des programmes GICC⁴⁰ (1999–2007) et DISCOBOLE (2004–2008)⁴¹.

Un autre axe de recherche pour évaluer les risques consiste à affecter en temps réel un indice d'alerte (*alert value*) à un navire, en tenant compte des conditions environnementales (météo, trafic). Il s'agit donc d'établir un indice dynamique de risque d'accident tenant compte à la fois des caractéristiques du mobile et de la zone où il se trouve. Ces travaux ont été menés notamment dans le cadre des projets EMBARC (5^e PCRD) et aujourd'hui dans le projet MARNIS⁴² (6^e PCRD).

L'objectif est d'établir une « présomption de risque » permettant une action préventive (Degré et Benabbou, 2005). En effet, une information scientifique fiable est requise pour établir cette présomption. À partir de l'indice d'alerte, un opérateur pourrait décider, ou non, de classer un navire comme étant « à haut risque ». Des recherches portent spécifiquement sur certains types de navires, par exemple les pétroliers afin de prévenir les marées noires (Eide et al., 2007).

Précisons toutefois, qu'à l'heure actuelle, les opérateurs ne peuvent intervenir au titre de la convention de Bruxelles de 1969 (OMI) qu'en cas d'accident (naufrage, collision, contact, échouement ou avarie). L'action préventive présuppose donc une évolution du droit. Est-il souhaitable et possible de mettre en œuvre un principe de précaution dans ce domaine ? La dimension très politique de la définition des standards mondiaux et l'évolution récente du droit européen (paquets Erika-I, II, III) plaident en faveur d'approches intégrant l'analyse des logiques institutionnelles.

c/ Évaluation de la sécurité dans le mode aérien

L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a pour objectif « le développement sûr, sécuritaire et durable de l'aviation civile grâce à la coopération entre ses États membres »⁴³. La *Commercial aviation safety team* (CAST), constituée de représentants du gouvernement américain et de leaders de l'industrie aéronautique, a formé avec l'OACI une Équipe de taxonomie commune (ETCCO). Cette équipe a été chargée d'élaborer des taxonomies et des définitions communes pour les systèmes de compte rendu d'accidents et d'incidents. Elle a publié un rapport sur les catégories d'événements⁴⁴ et un rapport sur les phases de vol⁴⁵. Sur l'élaboration des standards internationaux en matière de sécurité aérienne, on peut consulter (Stephens et al., 2008)⁴⁶.

En France, le Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA) réalise des statistiques d'accidents⁴⁷ sur tous les aéronefs civils immatriculés ou identifiés, c'est-à-dire les avions, les hélicoptères, les planeurs, les ballons et les ULM.

⁴⁰ Sur le programme GICC: <http://medias.obs-mip.fr/gicc/interface/programme.php>

⁴¹ Les partenaires du programme DISCOBOLE sont : EDF R&D, le CETMEF, Géomer (université de Bretagne Occidentale) et le LGP (CNRS).

Résumé : <http://discobole.cetmef.equipement.gouv.fr/discobole/?q=node/4>

Les différents travaux sur l'évolution possible des houles et des surcôtes extrêmes à long terme (un siècle) ont été présentés lors de l'édition 2006 des Journées scientifiques et techniques du CETMEF (sur la toile : http://www.cetmef.equipement.gouv.fr/publications/jt/2006/jst06_SESSION3.pdf)

⁴² Maritime Navigation and Information Services (2004–2008). La coordination est assurée par AVV Transport Research Centre. Les recherches évoquées ici sont intégrées au « cluster 1 ». Textes disponibles sur le site : <http://www.marnis.org/documents.asp>

⁴³ http://www.icao.int/icao/en/strategic_objectives_2005_2010_fr.pdf

⁴⁴ <http://www.intlaviationstandards.org/Documents/French/CICTTOccurrenceCategoryDefinitions.doc>

⁴⁵ <http://www.intlaviationstandards.org/Documents/French/PhaseofFlightDefinitions.doc>

⁴⁶ <http://intlaviationstandards.org/Documents/ISASI%20Forum%20CICTT%20article.pdf>

⁴⁷ Un accident est défini comme l'événement, lié à l'utilisation d'un aéronef, et au cours duquel une personne est mortellement ou grièvement blessée du fait qu'elle se trouve dans l'aéronef, ou en contact direct avec une partie quelconque de celui-ci (sauf s'il s'agit des lésions dues à des causes naturelles, de blessures infligées à la personne par elle-même ou par d'autres), et/ou

Au sein de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), la Direction du contrôle de la sécurité (DCS) assure la surveillance et la certification des acteurs de l'aviation civile⁴⁸. La DGAC est soutenue par le Service technique de l'aviation civile (STAC). C'est un organisme déconcentré, chargé notamment des aspects techniques de la sécurité (infrastructures, navigation, balisage, risque incendie, risque d'incursion de pistes).

Enfin, le Groupement pour la sécurité de l'aviation civile (GSAC) est un groupement d'intérêt économique associant l'État, le bureau Véritas et Sofreavia. Il surveille la production des aéronefs et leur entretien.

Un accident est défini comme l'événement lié à l'utilisation d'un aéronef, et au cours duquel une personne est mortellement ou grièvement blessée du fait qu'elle se trouve dans l'aéronef ou en contact direct avec une partie quelconque de celui-ci (sauf s'il s'agit des lésions dues à des causes naturelles, de blessures infligées à la personne par elle-même ou par d'autres), et/ou l'aéronef subit des dommages qui altèrent ses caractéristiques de résistance structurelle, de performance ou de vol, et qui devraient nécessiter une réparation importante ou le remplacement de l'élément endommagé.

Avec moins d'un accident par million de départs (0,75 pour un million en 2007 selon IATA), le transport aérien est le mode le plus sûr. À titre d'exemple, en France, 41 accidents aériens mortels ont eu lieu en 2006, provoquant 63 décès et 43 blessés. Cette année-là, sur l'ensemble des accidents (273), les causes les plus fréquentes sont : les contacts anormaux avec la piste (71), la perte de contrôle en vol (67), la défaillance moteur (43) et la sortie de piste (39).

Le BEA a publié en 2006 un rapport sur les sorties de piste⁴⁹, et l'Agence européenne de la sécurité aérienne produit un rapport annuel sur la sécurité⁵⁰.

Les facteurs de risque sont multiples. Les erreurs de pilotage peuvent avoir de graves conséquences. Par exemple, lors de l'atterrissage, une vitesse excessive risque de provoquer l'arrachement du train d'atterrissage ou des volets. À l'inverse, une vitesse trop faible expose l'avion au risque de décrochage. En effet, un avion se maintient en vol grâce à une force de portance. Celle-ci est liée à la vitesse d'écoulement de l'air autour de sa voilure. Au-dessous d'une certaine vitesse, qualifiée pour cette raison de vitesse de décrochage, l'avion chute. S'il survient lors d'un virage, le décrochage prend la forme d'une vrille (décrochage dissymétrique). Certaines erreurs peuvent être provoquées par une mauvaise utilisation de l'avionique (une erreur de pente fut à l'origine de la catastrophe du Mont-Saint-Odile qui fit 82 morts en 1992). Le GSAC a publié un rapport sur le rôle du facteur humain dans les accidents et les incidents (disponible en ligne : http://www.gsac.fr/php/P_Fichierpublic.php).⁵¹

Les mauvaises conditions de visibilité (nuages, nuit) sont particulièrement dangereuses lorsque l'équipement n'est pas adapté ou que le pilote n'est pas assez qualifié. Les vents traversiers peuvent provoquer une sortie de piste lors de l'atterrissage. Le cisaillement de vent (*windshear*) est un phénomène de brusque chute du vent. Il peut être lié soit à la présence de cumulo-nimbus, soit à des « micro-rafales » ne s'accompagnant d'aucune manifestation météorologique visible. Le cisaillement de vent est dangereux au décollage et à l'atterrissage, car il risque de provoquer un décrochage. Définies par Météo France comme « des mouvements aléatoires de l'air se superposant au mouvement moyen », les turbulences engendrent des accélérations verticales ou horizontales non compensées par des méthodes normales de pilotage. Les turbulences peuvent provoquer des accidents corporels parmi les équipages et, plus rarement, parmi les passagers. Les turbulences associées aux orages peuvent altérer la structure de l'appareil. La grêle, la foudre (il est interdit de traverser un *cumulo nimbus*), le givre (qui diminue la portance tout en augmentant le poids), les oiseaux (risque pour le moteur et le pare-brise) sont également des facteurs d'accident.

l'aéronef subit des dommages ou une rupture structurelle qui altèrent ses caractéristiques de résistance structurelle, de performances ou de vol, et qui devraient nécessiter une réparation importante ou le remplacement de l'élément endommagé.

⁴⁸ Rapport 2006 de la DCS : http://www.dgac.fr/html/publicat/rapports/dcs/rapport_dcs_2006.pdf

⁴⁹ <http://www.bea-fr.org/etudes/etudesortiesdepiste/etudesortiesdepiste.pdf>

⁵⁰ http://www.easa.europa.eu/doc/COMMS/RZ_EASA_FR_Annual_low_071107.pdf

⁵¹ Rapport disponible en ligne : http://www.gsac.fr/php/P_Fichierpublic.php

Pour un accident, il y a plusieurs centaines d'incidents et plusieurs milliers de rapports d'irrégularité. Les différents acteurs de l'aéronautique sont tenus de déclarer et d'analyser leurs propres incidents. Ils doivent en informer le BEA, qui peut éventuellement décider d'ouvrir une enquête. Les textes nationaux et internationaux distinguent deux types d'incidents en fonction de leurs conséquences potentielles (et non en fonction de leurs causes) : un *incident* est un événement autre qu'un accident, lié à l'utilisation d'un aéronef qui compromet ou pourrait compromettre la sécurité de l'exploitation, un *incident grave* est un incident dont les circonstances indiquent qu'un accident a failli se produire.

Il existe des bases de données sur les incursions de pistes, c'est-à-dire sur les événements produisant un risque de collision entre les aéronefs et d'autres véhicules. La classification se fait à la fois en fonction de la gravité (vitesse, distance, etc.) et en fonction du genre d'erreur (erreur opérationnelle du contrôleur, écart par le pilote ou écart par un tiers). La majeure partie des incursions de pistes est due à un manque de « repérage », c'est-à-dire de balisage. De nombreux travaux tentent de décrire les pratiques (ACRP, 2007), ou de produire des indicateurs (Cardoso et al., 2008) en matière de sécurité aéroportuaire.

Un autre risque concerne les émissions polluantes à proximité des aéroports (oxydes d'azote, composés organiques volatils, monoxyde de carbone et particules fines). Le STAC a aussi lancé un programme d'études sur la pollution des sols aéroportuaires. Les premières applications (Toulouse–Blagnac et Paris–Le Bourget) témoignent d'une pollution proche de celle du fonds géochimique.

d/ Évaluation de la sécurité des transports guidés et urbains

On trouvera une description des réglementations européennes en matière de sécurité dans (Hadj-Mabrouk et Triki, 2003). L'harmonisation européenne de la sécurité ferroviaire et les programmes de recherche SAMNET (5^e PCRD) et EURNEX (6^e PCRD) sont décrits dans (El Kourssi, 2006).

La sécurité du réseau ferré national a fait récemment l'objet d'un rapport de l'Établissement public de sécurité ferroviaire (EPSF, 2006).

L'évaluation des performances des rails et des phénomènes liés à l'usure au regard des sollicitations et de l'exploitation est l'objet du programme NOVUM, mené par la SNCF, CORUS, la RATP, l'INRETS, LMS, INSA, DB–AG, BAM et GKSS.

Le bon fonctionnement de l'infrastructure ferroviaire nécessite une surveillance intelligente. L'analyse des inspections permet de diagnostiquer les défaillances et de déclencher des actions de maintenance. Le projet DIAGHIST (Diagnostic de composants de l'infrastructure ferroviaire par suivi de point de fonctionnement)⁵² a pour objet l'élaboration d'outils logiciels permettant notamment la comparaison des inspections successives. Pour cela, des outils de reconnaissance des formes⁵³ et de fusion seront développés afin d'assurer le suivi de point de fonctionnement de l'organe surveillé et estimer ainsi la dynamique du phénomène de dégradation. L'objectif est d'élaborer une aide au diagnostic simple et précise, permettant une nouvelle approche de la maintenance de l'infrastructure ferroviaire, anticipant les défaillances et estimant le vieillissement des circuits de voie (maintenance conditionnelle plutôt que cyclique et systématique). Les retombées concernent les économies liées à l'amélioration de l'exploitation, enjeu important compte tenu de l'accroissement des circulations sur lignes à grande vitesse et des nouvelles spécifications d'interopérabilité du trafic inter-européen. La réduction des coûts de maintenance est la seconde retombée économique de ce projet.

⁵² Projet financé par le PREDIT et coordonné par la SNCF. Partenaires : INRETS et CNRS–HEUDIASYC.

⁵³ La méthode de reconnaissance des formes ne suppose pas l'existence d'un modèle du système à diagnostiquer, elle « ne repose que sur l'analyse de mesures issues des chaînes d'instrumentation mises en place sur le système ». Lire l'état de l'art sur la toile : <http://diagln.inrets.fr/lib/exe/fetch.php?id=cdv%3Aetatdelartrdf&cache=cache&media=cdv:documents:livrable12.pdf>

Un programme d'analyse de risque global (ROSA, Rail Optimisation Safety Analysis) a été développé par Deutsche Bahn AG, la SNCF, RFF, l'université de Dresde et l'INRETS à partir des cas de l'Allemagne et de la France⁵⁴. Il vise notamment à une meilleure compréhension respective des systèmes de sécurité de DB-AG et de la SNCF dans le cadre du développement du trafic transfrontalier.

Le projet PROOFER⁵⁵ (2006–2008), financé par le PREDIT et conduit par Verimag, la RATP, Alcatel et Prover Technology, a élaboré un modèle de l'environnement du système de signalisation (incluant les comportements). Le projet SECUGUIDE (2005–2008) a mis au point une méthode de conception des transports guidés répondant à l'introduction des nouvelles techniques d'information dans la réalisation des fonctions de contrôle et de commande.

On peut s'interroger au sujet des effets de la mise en concurrence sur la sécurité. En 1988, les chemins de fer de l'État suédois ont été divisés en deux parties, *Banverket* pour la gestion de l'infrastructure et *Statens Jarnvager* pour l'exploitation des trains nationaux. Pour la première fois, une Compagnie nationale de chemin de fer était scindée de façon à ce que les collectivités locales puissent mettre aux enchères les services régionaux de voyageurs intéressant de nouveaux exploitants. Ce système apparut d'abord comme une réussite, mais certains exploitants ont fait faillite par la suite⁵⁶. Cette expérience fut observée avec intérêt dans d'autres pays et d'autres modes de transport.

Un point essentiel du cahier des charges est le respect des normes de sécurité. Pour certains, les opérateurs privés risquent de privilégier la rentabilité au détriment de la sécurité. Le cas britannique est souvent cité pour étayer cette thèse (Wolmar, 2001). Le gouvernement Thatcher avait préparé la privatisation du British railway board (BRB) dès les années 1980. En 1993, le *Railways Act* la rendit effective : l'entreprise fut divisée en une centaine d'entités entretenant des relations contractuelles. La propriété et la gestion du réseau furent confiées à la société Railtrack, introduite en bourse en 1996. L'activité ferroviaire fut contrôlée par trois autorités : le directeur des franchises (responsable de l'octroi et du suivi des franchises), le régulateur (s'assurant de l'application des mesures relatives à l'accès aux voies et à la concurrence) et une autorité spécifique veillant à la réglementation de la sécurité. Les sociétés franchisées tiraient l'essentiel de leurs revenus des recettes tarifaires.

Au fil des ans, la baisse de la qualité de service, et surtout une série d'accidents, ont mis en évidence le sous-investissement dont a souffert le réseau britannique malgré les bénéfices réalisés par Railtrack. Celle-ci due finalement être placée sous le contrôle de l'administration et remplacée par une société à but non lucratif, Network Rail. Les partisans de la libéralisation estiment toutefois que le cas britannique signe seulement l'échec de modalités particulières de privatisation et de mise en concurrence.

Les privatisations dans le secteur ferroviaire britannique, puis les délégations de service public dans les transports urbains français ont été étudiées suivant la méthodologie propre à « l'économie des contrats » (Ménard et Yvrande, 2005), mais sans analyse spécifique des questions de sécurité et de sûreté. On pourrait employer la même approche pour étudier les effets des changements institutionnels (mise en concurrence) sur la sécurité et la sûreté. Des chercheurs norvégiens travaillent sur ce thème dans le cadre de RISIT-2.

Rune Elvik a publié une synthèse des travaux sur l'effet de la dérégulation sur la sécurité des transports (Elvik, 2006). Après avoir recensé 464 études sur ce sujet, l'auteur a privilégié celles qui mettent en œuvre des méthodes quantitatives. Il a sélectionné 25 travaux dans lesquels « l'effet de la dérégulation sur la sécurité a été estimé en calibrant une fonction exponentielle avec les données de la période précédant la dérégulation, en extrapolant cette fonction pour la période postérieure à la dérégulation et en comparant le nombre effectif d'accidents de cette période aux estimations fondées sur cette fonction extrapolée » (*ibid.*, p. 680). Les résultats diffèrent selon les modes de transport : la dérégulation « n'est pas associée à des changements importants au niveau de la sécurité routière » (légère baisse « non significative »), « la dérégulation aérienne aux États-Unis n'est pas associée à des changements dans la sécurité aérienne » et « les estimations des effets de la dérégulation ferroviaire indiquent que la sécurité a été améliorée. Il n'y a toutefois que deux études, et elles sont

⁵⁴ Projet financé par le PREDIT et le programme allemand *Mobilität und Verkehr*.

⁵⁵ <http://www-verimag.imag.fr/SYNCHRON/index.php?page=fiche-proofer>

⁵⁶ Sur le cas suédois, cf. (Nilson, 2003) et (Quinet, 1998, pp. 330–1).

empiriques [...] c'est une association statistique et pas nécessairement une relation causale » (*ibid.*, pp. 683–4).

Selon Malene Tunglund « on ne peut pas prouver que la dérégulation cause des accidents, pas plus que l'on ne peut prouver qu'elle permet directement de les prévenir » (Tungland, 2004, p. 60), mais « la dérégulation peut améliorer la sécurité » dans la mesure où « elle offre la plupart du temps une opportunité d'augmenter la culture de la sécurité au-delà du niveau bureaucratique fondé sur des règles » (*ibid.*, p. 66). N'arrivant pas à mettre en évidence de causalité directe, l'auteur suppose une « opportunité » liée à une évolution des mentalités ; ce à quoi on pourrait rétorquer — de façon tout aussi subjective — qu'il existe aussi un « sens du service public » ... La concurrence produit des effets contraires et l'effet net global sur la sécurité demeure, comme on le voit, très difficile à évaluer.

Dans le mode ferroviaire, la baisse de la vigilance de l'opérateur figure parmi les principales causes d'accidents. Or, la conduite des trains et des métros implique fréquemment des horaires irréguliers de travail et un environnement monotone, ce qui peut susciter des périodes de somnolence ou une diminution de l'attention incompatibles avec les exigences de sécurité. Par conséquent, l'adaptation des horaires du travail aux variations circadiennes des capacités fonctionnelles de l'opérateur humain peut améliorer la sécurité (Hadj-Mabrouk et *al.*, 2002).

Deux études épidémiologiques, réalisées en 1986 et 1988 par le ministère français chargé des Transports, ont mis en évidence des risques accrus pour certaines pathologies (maladies cardiovasculaires et douleurs dorsales) chez les conducteurs d'autobus des réseaux urbains, tandis que des travaux en ergonomie ont montré l'importance des facteurs de stress sur ces conducteurs (Caruso, 2000)⁵⁷.

1.3. Évaluation de la sûreté dans les transports

Le transport terrestre de marchandises doit faire face aux actes de prédation, ainsi il y a eu 1 491 vols déclarés durant l'année 2007 en France (OCLDI, 2008b). Ce nombre est en constante diminution depuis 2002, année où 3 403 vols étaient déclarés (OCLDI, 2008a)⁵⁸. Cela demeure toutefois un problème important : les agressions contre les conducteurs demeurent nombreuses (7 % des vols) tandis que le préjudice financier — difficile à évaluer⁵⁹ — semble en légère augmentation, car les vols ciblent de mieux en mieux les marchandises à haute valeur ajoutée. Quarante-quatre pour cent des vols ont lieu sur les aires de stationnement autoroutier, 36 % sur les aires de repos du réseau autoroutier.

Alors même que le transport routier de marchandise est transnational⁶⁰, on ne dispose pas de données sur ces vols au niveau européen en raison de l'hétérogénéité des définitions juridiques⁶¹. Une piste de recherche pourrait donc consister dans la constitution d'une comparaison des vols de fret routier en Europe. Par ailleurs, l'évaluation de ces risques nécessite aussi l'étude de l'utilisation des NTICs par les délinquants et criminels.

Concernant les risques criminels dans les transports publics, des évaluations sont effectuées par des criminologues (Ouimet et Tremblay, 2001) et par des organismes publics disposant des moyens légaux et financiers de mener des études statistiques (rapports OND, 2005 et 2006)⁶². De nouvelles monographies sur les crimes et délits dans les transports pourraient être réalisées.

⁵⁷ En 1980, ces risques avaient conduit à la création du régime de prestations complémentaires IPRIAC.

⁵⁸ Ces chiffres ne peuvent pas être comparés à ceux des années 1990, en raison d'un changement de méthode.

⁵⁹ Pour l'année 2007, l'Observatoire central de lutte contre la délinquance Itinérante avance le chiffre de 40 millions d'euros (OCLDI, 2008b).

⁶⁰ 29 % du transport de marchandise sur les routes françaises est effectué par des entreprises étrangères.

⁶¹ Les instances mises en place au niveau européen pour le partage d'informations concernant la criminalité (Europol et Eurojust) ne permettent pas de résoudre le problème des données sur le vol des camions et de fret. L'Association pour la protection des biens techniques (TAPA), fondée en 1997 aux États-Unis, dispose d'une antenne européenne (TAPA-EMEA) qui collecte des données sur les vols (nature de la marchandise, lieu, date, heure et mode opératoire).

⁶² Rapports portant sur la délinquance dans les transports en commun (2005) et sur les atteintes aux personnels dans les transports publics (2006). Consulter aussi *La Vie du rail*, n° 2691, 1999-04-07, pp. 27–31.

L'évaluation de la menace terroriste est la prérogative des services spécialisés. La nécessité d'assurer la protection des informations sensibles rend parfois les recherches difficiles.

La théorie économique néoclassique a inspiré des modèles de la criminalité (Becker, 1968 ; Ehrlich 1973) ou du terrorisme (Becker et Rubinstein, 2004 ; Enders et Sandler, 2006), mais on peut s'interroger sur leur portée pragmatique (Lericolais, 2008).

L'*économie des actes illégaux*, improprement appelée « économie du crime », fut fondée par Gary Becker (1968) et Gordon Tullock (1969). Cette approche s'intéresse aux actes commis par un individu ou un groupe d'individus qui désirent s'approprier une ressource détenue par la victime. L'acte illégal est défini par le code pénal (positivisme juridique). Dans le domaine des transports, l'économie des actes illégaux peut concerner l'étude de la fraude dans les transports publics, les agressions physiques, la dégradation des équipements des opérateurs, le vol de marchandises dans les camions, la délinquance itinérante ou la violation volontaire des dispositions du code de la route.

Cette approche se focalise sur les incitations à commettre ou non l'action illégale. Les autorités peuvent intervenir sur ces incitations en définissant des sanctions (amende, peine de prison...) et des mesures de surveillance (utilisation de caméras, création d'unités de surveillance...). Les victimes peuvent également se prémunir en modifiant leurs habitudes de déplacement (lieux et heures) et en s'équipant de mesures de protection (alarme, traçabilité des marchandises...). Dans cette perspective, un usager des transports en commun effectue un arbitrage entre sûreté et mobilité : il peut maîtriser en partie ses risques d'être agressé en refusant de sortir à certaines heures, mais au détriment de la satisfaction de certaines activités.

Dans son allocution pour le Prix de la banque de Suède en mémoire d'Alfred Nobel, Gary Becker revient sur l'origine de la théorie économique du crime : « J'ai commencé à réfléchir sur le crime dans les années 1960, après m'être rendu en voiture à l'université de Columbia pour l'oral d'un étudiant en théorie économique. J'étais en retard et avais à décider rapidement si je garais ma voiture à un emplacement autorisé ou risquais une contravention en la garant illégalement dans la rue. J'ai calculé la probabilité d'avoir une contravention, l'importance de l'amende et le coût d'un parking autorisé. J'ai alors décidé qu'il était opportun de prendre le risque et de me garer dans la rue. En me rendant à la salle d'examen je me suis alors dit que les autorités avaient vraisemblablement fait la même analyse que moi » (1993, pp. 389–90). L'économie des actes illégaux est fondée sur l'hypothèse que chaque agent se comporte ainsi.

Les critiques ont fait valoir que l'on peut ainsi expliquer tout et son contraire : dans ce type de théorie, les intérêts d'une personne sont définis de sorte que, quoi qu'elle fasse, on puisse considérer qu'elle poursuit ses propres intérêts dans chaque action.⁶³ C'est la démarche de Becker lorsqu'il suppose que la maximisation de l'utilité sous contrainte permet d'expliquer l'ensemble des comportements humains⁶⁴. Des criminologues ont aussi tenté d'appliquer la théorie du choix rationnel à la délinquance routière, à l'aide de questionnaires et d'entretiens réalisés auprès de conducteurs inculpés ou de consommateurs d'alcool (Corbett et Simon, 1992).

Les tenants de *l'économie du terrorisme* définissent le terrorisme comme « l'usage, ou la menace de l'usage, de la violence par des individus ou des groupes sous-nationaux (*subnational groups*) afin d'atteindre un but politique ou social par l'intimidation d'un large public allant au-delà des victimes immédiates. Deux éléments essentiels caractérisent toute définition moderne du terrorisme : la présence ou la menace de violence et un motif politique ou social » (Enders et Sandler, 2006, p. 3)⁶⁵. Les prises d'otages, le détournement d'avions civils pour atteindre des objectifs civils, politiques ou militaires, la destruction d'avions ou de navires (civils ou militaires), mais aussi les atteintes portées aux transports collectifs (gare, métro...) constituent des exemples aux conséquences très graves.

Le terrorisme vise aussi des organisations politiques, sociales et économiques. La déstabilisation peut être obtenue en créant des situations d'incertitudes radicales, en s'attaquant à la mobilité des

⁶³ Le caractère tautologique de la « théorie ordinaire de l'utilité » — sur laquelle est fondée la théorie Becker — a été souligné par un autre « prix Nobel », Paul Samuelson : « Souvent, la seule conclusion est que les individus se comportent comme ils se comportent, conclusion qui n'a pas d'implications empiriques, puisqu'elle ne contient aucune hypothèse et reste cohérente avec tous les comportements concevables, tandis qu'elle n'est réfutable par aucun » (1947, pp. 91–2).

⁶⁴ Cette démarche a par conséquent été qualifiée d'« impérialisme économique » d'abord par ses détracteurs, puis par Becker lui-même : http://www.acton.org/publications/randl/rl_interview_76.php.

⁶⁵ En réalité, un troisième élément apparaît dans cette définition : les terroristes sont soit des individus, soit des subnational groups, ce qui exclut l'existence de « terrorisme d'État ».

individus ou aux moyens de transport cruciaux pour une économie (avions, trains, tankers, gazoducs). La protection contre de tels actes s'avère souvent très coûteuse (cellule antiterroriste, contrôles scrupuleux des passagers et délais d'attente...). Le coût s'avère ne pas être seulement d'ordre monétaire, mais aussi psychique (peur des passagers, stress occasionné) et politique (arbitrage entre libertés individuelles et sécurité par l'intermédiaire des mesures de fichage des données biométriques des passagers par exemple).

Quand il s'agit de prendre en compte le comportement des terroristes, on retrouve toutefois le problème évoqué au sujet de la théorie économique du crime. Comme le résume Marine Lericolais « confrontée à son incapacité à prédire le terrorisme, la théorie économique a été contestée par une littérature s'opposant parfois à un comportement *d'homo oeconomicus* des terroristes ou dans une plus large mesure des criminels » (Lericolais, 2008, p. 2).

Parmi les autres approches, on peut signaler des théories sociopsychologiques (Simmel, 1908), des études du discours (Salama et Wheeler, 2007) ou du « label politique » (Crenshaw, 1995) des terroristes, ainsi que des approches sociologiques (Black, 2004). Enfin, Robert Pape analyse la genèse et les causes du développement des attentats suicides (Pape, 2005).

Il existe des rapports sur l'évaluation des risques terroristes dans un mode de transport spécifique. Dans *Maritim Terrorism : Risk and Liability*, le RAND⁶⁶ présente une synthèse concernant l'évaluation des différentes menaces terroristes (Greenberg et al., 2006, pp. 1–28), de leurs conséquences (pp. 29–38) et des responsabilités (pp. 39–72), avant de décrire plus en détail les risques propres aux bateaux de croisière (pp. 73–92), aux ferrys⁶⁷ (pp. 93–110) et aux conteneurs (pp. 111–32).

L'évaluation de la sûreté du transport ferroviaire doit prendre en compte l'influence de la dérégulation de ce secteur. Le rapport Benattar (2006) porte sur la sûreté du fret ferroviaire dans le cadre de la libéralisation européenne (effective depuis le 30 mars 2006), en particulier sur la question des prérogatives des services de police.

Une autre possibilité est d'évaluer la vulnérabilité d'un réseau de transport donné en cas d'attaque terroriste (Murray-Tuite, 2008). Enfin, l'évaluation du coût économique des actions terroristes a fait l'objet de plusieurs travaux, par exemple (Gordon et Richardson, 2005). L'évaluation porte souvent sur l'impact économique de scénarios imaginaires, par exemple une attaque contre les deux ports de Los Angeles (*ibid.*, pp. 262–86).

1.4. Perception du risque

On désigne généralement par « perception » les processus par lesquels l'organisme prend connaissance de son environnement à partir des informations élaborées par les sens. Dans le domaine des transports, des études sur la perception permettent de comprendre le traitement d'informations sensorielles par le conducteur (rôle de la vision dans l'acquisition des informations à distance, etc.) ou d'autres usagers (spécificités perceptives des piétons enfants) ainsi que les erreurs perceptives contribuant aux accidents (non-détection d'obstacles, surestimation de la distance inter-véhiculaire, etc.). Ces erreurs sont liées au conducteur (vieillesse, état de vigilance...)⁶⁸ et à son environnement (brouillard, infrastructures...).

⁶⁶ RAND Corporation a été créée en 1945 par l'US Air Force et la compagnie Douglas Aircraft afin de mener des recherches concernant la sûreté nationale. En 1948, elle devient une « institution indépendante à but non lucratif ». Elle a progressivement étendu son domaine d'étude.

⁶⁷ L'exemple de l'attaque contre le « Superferry 14 », aux Philippines en 2004, montre bien à quel point les dommages peuvent être élevés pour un investissement minimal : « ne coûtant que de 300 à 400\$ et impliquant moins de 5 kg de TNT, la bombe a tué 116 personnes, en a blessé plus de 300 » (Greenberg et al., 2006, p. 95).

⁶⁸ Voir en particulier les recherches du réseau national RESAT (programmes DACOTA, MEDICO, PRIVASOM et VIGISIM) sur l'influence de l'état de santé du conducteur sur la sécurité (Supra, 1.2).

La méthode la plus appropriée pour étudier les phénomènes perceptifs est l'expérimentation, car la verbalisation permet seulement d'atteindre les niveaux du processus perceptif qui sont accessibles à la conscience. La simple description d'une perception sensorielle implique déjà un classement. Ce classement est une première opération cognitive ; la « perception du risque » en exige d'autres, plus complexes telles que la comparaison et l'abstraction. La perception du risque n'est donc pas une simple perception sensorielle. Elle implique toujours, outre le traitement d'informations sensorielles, un jugement. Différentes recherches scientifiques ont tenté d'expliquer ce jugement sur lequel les individus fondent leurs décisions en environnement risqué (probabilisable) ou incertain (non probabilisable). Dans le secteur des transports, le principal intérêt des analyses de la perception du risque est une meilleure compréhension du choix modal.

a/ Décision, risque et incertitude

De nombreux travaux ont cherché à analyser les représentations du risque. Au XVIII^e siècle, Daniel Bernoulli essayait, dans sa *Théorie sur la mesure du risque*, d'expliquer les choix des joueurs. Constatant que les individus ne se déterminent pas toujours en fonction de l'espérance mathématique de gain, Bernoulli proposait d'expliquer leurs choix à l'aide de l'espérance d'utilité. Les joueurs prennent leur décision en fonction, non pas des gains attendus, mais de l'utilité de ces gains. « L'aversion pour le risque » correspond alors à l'hypothèse de l'utilité marginale décroissante.

Les jeux de hasard à un seul joueur peuvent être considérés comme des « jeux contre la nature ». Née dans les années 1920, la *Théorie des jeux* vise à étudier l'interaction des comportements de plusieurs joueurs. Il s'agit d'une approche axiomatique postulant que les individus cherchent à maximiser leur gain ou leur utilité, et permettant d'explicitier le cadre dans lequel les individus prennent leurs décisions.

La théorie des jeux coopératifs — dans lesquels les joueurs peuvent former des coalitions — a été formalisée par Von Neumann et Morgenstern en 1944, dans *Theory of Games and Economic Behavior*. À partir des années 1980, la théorie des jeux a intéressé de nombreux économistes, qui ont privilégié l'étude des jeux non coopératifs. Tout modèle économique supposant des agents rationnels prenant leurs décisions dans un cadre institutionnel précis peut être mis sous la forme d'un jeu.

Les hypothèses, notamment celles concernant l'information, ne correspondent pas à des situations observées. On peut toutefois considérer que la théorie réalise des prédictions sur ce que feront des personnes placées dans des situations de même type. Il faut toutefois préciser que, d'une part, ces prédictions sont généralement infirmées (Eber et Willinger, 2005) et que, d'autre part, la Théorie des jeux ne peut produire de prédiction que lorsqu'il n'existe qu'une « stratégie » (domaine de choix) par joueur⁶⁹.

En théorie des jeux, l'espérance est définie avec des probabilités qui sont considérées comme données, objectives. Or, de nombreux phénomènes sont incertains. Par conséquent, les individus disposent rarement de probabilités objectives sur lesquelles ils pourraient appuyer leurs décisions. En 1954, Leonard J. Savage a étendu le critère de l'utilité espérée aux situations d'incertitude en posant l'hypothèse que, lorsque la distribution des probabilités ne constitue pas une donnée objective, les individus vont attribuer des probabilités subjectives aux événements. Les probabilités subjectives, et l'espérance d'utilité fondée sur elles, représentent les croyances de l'agent (ce qu'il pense qu'il va arriver). Ainsi, toute situation d'incertitude est réduite à une situation de risque pour laquelle on peut appliquer les principes fondamentaux de la *Théorie de l'utilité espérée*.

Le problème est que de multiples expériences, réalisées à partir des années 1950, ont montré que les individus ne se conduisent pas comme la Théorie de l'utilité espérée le prévoit, aussi bien en environnement risqué (Allais, 1953) qu'en environnement incertain (Ellsberg, 1961). Si le modèle de l'utilité espérée ne décrit pas le comportement effectif des individus, est-ce parce que ceux-ci perçoivent le risque de façon relative et par rapport à des points de référence subjectifs ?

⁶⁹ Soit parce qu'il existe une stratégie dominante par joueur (cas du dilemme des prisonniers), soit parce qu'il y a des stratégies dominées pouvant être éliminées par itération (raisonnement à rebours sur des jeux répétés).

b/ Psychologie expérimentale et approche psychométrique

La Théorie de l'utilité espérée et son extension aux situations d'incertitude ont fait l'objet de remises en question. Plusieurs travaux de psychologie expérimentale montrent que les individus transgressent les principes normatifs retenus par cette théorie. Mais comment les individus attribuent-ils une probabilité à un événement incertain ou une valeur à une quantité incertaine ? Selon Kahneman et Tversky (1974), ils emploient quelques principes heuristiques afin de réduire les tâches d'évaluations des probabilités et de prédictions de valeurs à des opérations cognitives plus simples. Kahneman et Tversky décrivent ainsi une dizaine de *biais cognitifs* ou heuristiques qui structurent le traitement subjectif de l'information statistique. Les principaux biais cognitifs sont le biais de représentativité, le biais de disponibilité et le biais de présentation. Par exemple, les gains et les pertes n'ont pas la même valeur subjective, ces dernières étant survalorisées. Les individus ont également tendance à se fonder sur les événements qui leur viennent facilement à l'esprit, attribuant ainsi un poids supérieur à une information récente ou facilement mémorisable. Il existe de nombreux travaux dont l'objectif est d'aménager les modèles classiques de l'utilité espérée afin de les rendre compatibles avec ces observations⁷⁰.

L'*approche psychométrique* est apparue à la fin des années 1970 autour de Paul Slovic à l'université d'Oregon. Il s'agissait de comprendre pourquoi certaines activités à risque, auxquelles on ne pouvait objectivement attribuer que peu ou pas de victimes, étaient pourtant très anxiogènes, tandis que d'autres, qui pouvaient être considérées comme des problèmes majeurs de santé publique, comme l'alcoolisme ou le tabagisme, ne retenaient guère l'attention du public. Ces travaux ont isolé un petit nombre de facteurs déterminant la perception et « l'acceptation » du risque : bénéfices que l'activité procure à la collectivité, nombre annuel moyen de victimes lié à cette activité, nombre de victimes en cas de catastrophes liées à cette activité et un ensemble de critères qualitatifs, notamment le degré de « contrôle » et la dimension « volontaire » du risque. L'approche psychométrique tente donc d'élaborer une « carte cognitive » des risques et de mieux comprendre les réactions du public face à certaines activités. Cette méthodologie a commencé à être appliquée aux « événements extrêmes » (Slovic et Weber, 2002).

Slovic met aussi en évidence d'importantes divergences de perception du risque entre les échantillons « profanes » et les échantillons d'experts. Il estime que les experts se fondent avant tout sur des critères objectifs, tels que la mortalité moyenne, tandis que les profanes emploieraient davantage des critères spéculatifs et/ou qualitatifs (Slovic, 1988).

c/ Perception du risque dans les transports

La façon dont les usagers perçoivent le risque influence le choix modal. C'est à la suite d'événements marquants et médiatisés qu'il est le plus facile de mettre cet effet en évidence. Ainsi, dans une enquête réalisée à New York deux ans après les attentats du *World Trade Center*, on a demandé à des usagers de classer les différentes possibilités de transport (méthode des préférences déclarées) pour réaliser certains trajets. Ils devaient également répondre à plusieurs questions, notamment sur les risques liés aux services de transport. L'étude révèle que les individus ayant une opinion positive concernant les mesures de sûreté (« efficaces » ou « très efficaces ») expriment une préférence pour le mode aérien plus importante que les autres individus (Srinivasan et al., 2006).

Les conséquences du report modal induit par un « pessimisme » concernant la sûreté d'un mode de transport peuvent être très importantes. Ainsi, durant les trois mois ayant suivi les attentats du 11 septembre, « le nombre d'Américains tués sur la route en évitant le risque aérien était plus élevé que le nombre total de passagers tués dans les quatre vols mortels » (Gigerenzer, 2004). À plus long

⁷⁰ Lire la synthèse de M. Cohen et J-M. Tallon (2000) : <http://eurequa.univ-paris1.fr/membres/tallon/bilan7.pdf>

terme, on peut imaginer qu'une importante variation de la perception des risques viendrait amplifier les désincitations liées au coût (monétaire et temporel) de la sûreté aérienne.

Les *approches comparatives* permettent de mettre en évidence l'influence des institutions et des histoires nationales dans la perception du risque. L'Union internationale des chemins de fer a publié une étude sur la perception du public et les attitudes vis-à-vis de la criminalité, de la sûreté et de la sécurité dans trois gares internationales : Waterloo, la Gare de Lyon et Roma Termini (Uzell et al., 2000). On peut aussi étudier la perception du risque par les opérateurs eux-mêmes. Boyer (2000) a recueilli les témoignages de contrôleurs de la SNCF, qui sont les personnels de cette entreprise les plus exposés aux agressions, afin de comprendre comment ils perçoivent ces risques.

Enfin, la compréhension des facteurs influençant la perception du risque permet également de favoriser la prévention des paniques. Pour toutes ces raisons, il est important de disposer d'instruments permettant d'évaluer la perception des risques liés aux services de transport. Le nombre d'études sur ce sujet demeure toutefois relativement faible.

Chapitre 2

Mesures de prévention et de protection

On désigne ici par « prévention » l'ensemble des méthodes et moyens permettant d'éviter la réalisation du risque, et par « protection » celles qui limitent ses conséquences. Ces mesures seront successivement examinées pour le mode routier (2.1.), guidé (2.2.), aérien (2.3.) et maritime (2.4.).

2.1. Mode routier

La sécurité doit être prise en compte dans la conception des projets d'infrastructure et dans la planification urbaine. Le projet MISTRAL⁷¹ porte sur l'intégration de la sécurité dans la gestion territoriale et repose sur une approche systémique du rôle de l'infrastructure. L'un des enjeux concerne la péri-urbanisation, qui suscite un développement des déplacements sur des axes secondaires qui n'avaient pas été prévus à cet effet.

L'équipement de la route permet de guider la trajectoire des véhicules, de signaler la route à suivre, de protéger des obstacles, d'informer des éventuels incidents, etc. On trouvera une description des équipements de la route, de leur évolution et de leur certification dans le n° 188 de la revue *Transport, Environnement, Circulation* (janvier 2006, pp. 1–39), il comprend notamment un panorama des équipements de la voirie réalisé par le CERTU⁷². Sur les relations complexes entre formes urbaines et insécurité routière, cf. (Millot, 2003).

Inspirée d'une expérience belge, la démarche participative du « code de la rue » vise à mieux faire connaître les dispositions du Code de la route qui s'appliquent en milieu urbain et, lorsque c'est nécessaire, à faire évoluer la réglementation en l'adaptant aux pratiques des usagers. Cette réflexion, pilotée par la Direction de la sécurité et de la circulation routière (DSCR) avec l'appui du CERTU, a débouché sur une évolution du code de la route, avec la parution du décret 2008-754 introduisant un principe de prudence du plus fort par rapport au plus faible, une modification de la réglementation des aires piétonnes et des zones limitées à 30 km/h, et la généralisation du double sens cyclable en zone de rencontre et en zone 30. Cela a notamment permis de supprimer des incohérences entre les aménagements et les types de zone.

Le CERTU, qui participe au programme partenarial d'actions « Une voirie pour tous »⁷³, a, par exemple, développé une étude de la sécurité des déplacements dans quatre quartiers en « Grand Projet de Ville » (GPV), à Grenoble, Metz, Nantes et Toulouse⁷⁴. L'étude met en évidence des risques liés à la conception des axes structurants. Ces axes, souvent de larges gabarits et conçus comme isolés de leur environnement, favorisent des vitesses élevées de circulation et des ruptures dans l'aménagement des quartiers. Ils suscitent donc des problèmes pour les traversées piétonnes. De fait, la part des accidents impliquant au moins un piéton est plus élevée dans le quartier GPV que dans le reste de la ville. Cette étude a permis de relever d'autres inadéquations entre la voirie et son usage, comme la proximité entre des voies à circulation élevée et les espaces publics où jouent les enfants, et l'absence de cheminement sécurisé pour accéder aux arrêts des transports collectifs. L'étude met aussi en évidence un lien entre sûreté et sécurité : afin de réduire les risques de vol ou de dégradation de leur véhicule, de nombreux conducteurs préfèrent stationner leur véhicule le long des axes très

⁷¹ MISTRAL est un programme (2006–2009) mené par le département mécanismes d'accidents (MA) de l'INRETS.

⁷² http://www.certu.fr/fr/_Securite_et_circulation_routieres-n28/Amenagement_pour_la_securite-n119/IMG/pdf/07-HIRON-TEC188.pdf

⁷³ <http://www.cnt.fr/UserFiles/File/rapports/UVT/UVTTome1/Tome1interactif.pdf> ET

<http://www.cnt.fr/UserFiles/File/rapports/UVT/UVTTome2/Tome2interactif.pdf>

⁷⁴ http://www.certu.fr/fr/_Projets_transversaux-n206/Une_voirie_pour_tous-n210/IMG/pdf/synthese_securite_gpv_a4.pdf

fréquentés plutôt que sur des parkings. Cela nuit à la sécurité en diminuant la visibilité des piétons s'apprêtant à traverser.

Longtemps réservés au mode ferroviaire, les systèmes de détection des altérations du comportement liées à l'attention et à la vigilance sont dorénavant développés pour le transport routier. L'enjeu est important : un tiers des accidents sur autoroute sont liés à la somnolence. En 2007, 57 d'entre eux furent mortels. Sur le reste du réseau routier, la somnolence est responsable de 20 % des accidents. Le projet VIGISIM, mené par l'INRETS et financé par l'ANR et le PREDIT, porte sur un simulateur qualifié, permettant la détection des altérations du comportement liées à l'attention et à la vigilance. Les premières expérimentations sont prévues fin 2008.

Il existe de nombreux projets de recherche sur les aides à la conduite : ARCOS⁷⁵, Do30⁷⁶, Prevensor⁷⁷, Safemap⁷⁸, SARI⁷⁹, Prevent, Unotech. Certains systèmes aident le conducteur à respecter le code de la route ou l'assistent dans des conditions de conduite particulières. C'est le cas des capteurs infrarouges coopératifs, développés depuis 2006 au sein du projet TRACKSS⁸⁰, qui permettent d'identifier des panneaux routiers à une distance de 300 mètres, de jour comme de nuit. C'est également le cas des limiteurs de vitesse avec système embarqué de localisation par satellite (expérience LAVIA : limiteur s'adaptant à la vitesse autorisée). Ce dispositif présuppose toutefois une localisation permanente (le *Global Positioning System* ne passe pas partout). Une autre possibilité est d'assurer la transmission des informations par un système en bord de voie plutôt que par un système embarqué. Dans les deux cas, il est nécessaire de construire une cartographie des vitesses réglementaires sur une grande échelle, ce qui est difficile en raison des nombreux arrêtés municipaux concernant la vitesse (Giblin, 2005)⁸¹. Le projet BALI (Base de données des limitations de vitesse), lancé par la DSCR et le SETRA, vise à mettre en œuvre une opération de démonstration à l'échelle d'un département pilote (Yvelines) préfigurant une base de données nationale.

Des systèmes d'enregistrement, les boîtes noires (ou EDR : *Event data recorder*), permettent de tirer tous les enseignements des accidents. Les boîtes noires ont déjà été testées aux États-Unis et sont étudiées dans le cadre du projet européen VERONICA (*Vehicles event recording based on intelligent crash assessment*)⁸². Il existe également des applications à la lutte contre les actes intentionnels, ce qui pose des problèmes juridiques (Schmidt-Cotta et al., 2006, p. 37).

D'autres systèmes permettent au conducteur de mieux maîtriser la trajectoire de son véhicule. Ils incluent parfois des caméras. Le projet SARI/RADARR (Recherche des attributs pour le diagnostic avancé des ruptures de la route) vise à mettre en place un système d'information alertant les conducteurs d'un risque de perte de contrôle de leur véhicule. L'identification des « trajectoires limites » repose sur l'usage de la vidéo et d'un télémètre laser. Le risque ainsi évalué est ensuite utilisé pour définir une typologie de messages ou de signaux destinés à capter l'attention du conducteur. Cette information est ensuite incorporée dans des dispositifs de signalisation qui sont testés sur un site d'expérimentation⁸³. L'un des objectifs du projet est de mesurer la trajectoire des véhicules circulant en virage, en rase campagne. Le système de mesure est une coopération de trois caméras numériques orientées selon trois angles : véhicules vus de face, de fuite et de dessus. Le système est équipé d'un télémètre laser nappe qui fournit des informations complémentaires sur un demi-plan de la scène.

⁷⁵ Action de recherche pour une conduite sécurisée, projet achevé en 2004 : <http://www.arcos2004.com/>.

⁷⁶ Do30 est un projet (2006–2009) visant à permettre la détection d'obstacle à 30 mètres par stéréovision pour réduire l'énergie du choc avant impact par l'actionnement du système de freinage et le déclenchement de systèmes de protection (LCPC, INRETS, CEA, PSA, Renault, Valéo).

⁷⁷ Coopération homme/machine pour la prévention des sorties de voie <http://www.prevensor.fr/>.

⁷⁸ *Socio-economic assessment of a dedicated digital map for road safety application*.

⁷⁹ Suivi automatisé de l'état des routes en vue de l'Information des conducteurs et des gestionnaires d'Infrastructure : www.sari.prd.fr et www.sari.prd.fr/AniSci_ERDYN_05_ER2_V3.pdf.

⁸⁰ Brevet déposé en 2007 par l'INRETS et le LPC. Des applications de freinage d'urgence ont été initiées grâce à un partenariat avec Bosch. L'application de détection de panneaux routiers a fait l'objet d'un partenariat avec l'université de Newcastle. Une démonstration peut être visionnée sur le site : www.trackss.net/demos.html.

⁸¹ http://www2.equipement.gouv.fr/rapports/themes_rapports/administration/2004-0185-01-4.pdf.

⁸² <http://www.vdo.com/aboutus/projects/veronica/documentation/documentation.htm>.

⁸³ <http://www.lasmea.univ-bpclermont.fr/spip.php?rubrique123>.

Le programme PRIMA CARE, financé par l'ANR et dirigé par le LEOST (INRETS) dans le cadre du pôle de compétitivité I-TRANS, porte sur la prévention de la collision routière par association de capteurs multiples, avec gestion dynamique d'alertes sonores en fonction du risque encouru. Il s'agit d'un système anticollision reposant sur l'exploitation des données issues des capteurs proprioceptifs (angle de volant, tour de roue), sur l'association des données de navigation GPS et sur l'utilisation de plusieurs capteurs bas coût, embarqués autour du véhicule (avant, arrière, côtés, angle mort). Le projet européen PREVENT a également développé, entre autres, un système anticollision.

Une question importante est celle de la réaction des conducteurs face à de tels systèmes. Il convient de bien l'évaluer afin de limiter les effets pervers potentiels des systèmes d'aide à la conduite : difficultés d'apprentissage, confiance excessive, prise de risques, multiplication des informations pouvant conduire à une mauvaise hiérarchisation de celles-ci, etc. En outre, l'efficacité et l'acceptation des systèmes d'aide à la conduite varient en fonction des utilisateurs ; les pratiques sont orientées par des représentations sociales (Abric et al., 2006). Ces recherches sont encore peu nombreuses, car les systèmes d'aide à la conduite sont récents. Dans le cadre du projet AIDE⁸⁴ (6^e PCRD), le LESCOT (INRETS) a mis au point un outil de diagnostic permettant d'évaluer en temps réel la charge mentale du conducteur. Le *Driver availability estimator* (DAE) estime la capacité du conducteur à recevoir et traiter des informations en fonction des exigences de la conduite. Sur un plan méthodologique, les adaptations comportementales sont étudiées en situation réelle de conduite et par enquête.

Certains systèmes de protection sont dédiés spécifiquement aux usagers vulnérables, comme le projet PROMOTO visant à l'amélioration de la protection des motocyclistes à l'aide de gilets airbag, ou les projets BIOCASQ (casques optimisés sur critères biomécaniques) et PROTEUS (protection de la tête des usagers vulnérables à partir d'un outil numérique de prédiction des lésions crâniocéphaliques)⁸⁵. Le projet SUMOTORI (sûreté moto risques), déjà évoqué dans le chapitre précédent, ne vise pas seulement la reconnaissance et l'évaluation de situations de conduite, comme les virages des deux-roues. Les données recueillies doivent aussi permettre de détecter l'instant précédant la chute et de déclencher un gilet gonflable ou de reprendre le contrôle du véhicule.

Les piétons représentent 62 % des usagers vulnérables, victimes d'accident mortel avec un camion en milieu urbain. Un système d'assistance à la conduite destiné aux véhicules industriels en milieu urbain est notamment développé dans le cadre de la seconde phase du programme VIVRE2⁸⁶. Le programme PUVAME⁸⁷, financé par le PREDIT, a élaboré une méthode pour fusionner les données de divers capteurs embarqués et de capteurs extérieurs (caméras localisées aux carrefours dangereux) pour détecter les risques d'accident avec des piétons, cyclistes ou motocyclistes, et en alerter le conducteur d'un bus ou d'un tramway, ainsi que les usagers par avertisseur sonore. Un système actif optoélectronique de protection des piétons pour les véhicules a été développé par le programme SOVE (2003-2005) du Groupe opérationnel n°4 du PREDIT.

Plusieurs de ces projets sur les moyens de prévention et de protection des risques routiers bénéficient de l'aide des collectivités locales. Ainsi, le Conseil général des Côtes-d'Armor met-il à disposition des sites dont il est gestionnaire pour l'expérimentation des systèmes développés dans le cadre du projet SARI.

Dans le transport routier de marchandises, la prévention des accidents nécessite, notamment une amélioration des conditions de travail. « Le procès de travail des conducteurs se caractérise par une adaptation constante de leurs emplois du temps » du fait des aléas retardant la progression du camion dans la circulation ou vers l'opération suivante (Hamelin, 2001, p. 43). Or, l'implication des conducteurs de camions dans les accidents est liée à leur durée de travail élevée. « Avec des journées de travail de 11 heures, les durées hebdomadaires de travail sont d'au moins 55 heures, ce qui est loin devant la plupart des pratiques et, a fortiori, de toutes les règles et conventions concernant les autres secteurs » (*ibid.*, p. 44). En outre, « les conducteurs » salariés des entreprises de transport

⁸⁴ Cf. (Saad et al., 2005).

⁸⁵ http://www.securiteroutiere.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/RR2_predit_proteus_synthese_2006_oct.pdf.

⁸⁶ « Véhicules industriels et usagers vulnérables de la route », projet subventionné en 2005 par l'ANR au titre du GO4 du PREDIT. Il associe les universités Lyon-I et II, l'INRETS, le CEESAR, Lyon Urban Trucks and Bus, Renault Trucks, INGELUX et l'ENTPE.

⁸⁷ <http://emotion.inrialpes.fr/puvame/>.

travaillent davantage que ceux des entreprises industrielles et commerciales transportant leurs propres produits » (*ibid.*, p. 44). Les systèmes d'informatique embarquée peuvent améliorer la sécurité et les conditions de travail. Ils permettent de mettre à disposition du conducteur et de l'exploitant, en temps réel, des informations provenant des enregistrements de chronotachygraphie et d'émettre des alertes permettant d'anticiper le dépassement des temps de conduite. Dans le transport routier, ces dispositifs fournissent aussi une assistance technique : vérification de la compatibilité entre matériels roulants, enregistrement de données relatives à la conduite, suivi du kilométrage associé à l'entretien, etc. L'effet de ces systèmes peut toutefois être ambivalent dans la mesure où, tout en améliorant les conditions de travail, ils instaurent une surveillance qui peut engendrer du stress supplémentaire pour les salariés⁸⁸.

Le contrôle du respect des législations relatives aux conditions de travail est de la compétence des États. Mais la fréquence des contrôles des poids lourds varie beaucoup selon les pays. « En France, la probabilité pour une entreprise de transport routier d'être contrôlée est extrêmement faible. Les moyens affectés à cette tâche restent dérisoires. Un règlement européen sur le temps de travail des routiers, adopté en 1985, le 3820, prévoyait que chaque État membre devait contrôler au moins 1 % des poids lourds circulant sur ses routes. Ce pourcentage est rarement respecté, notamment en France, en Italie, en Grèce ou en Espagne » (Hilal, 2006). En outre, un contrôle efficace nécessite de reconstituer la cohérence de l'emploi du temps du conducteur sur plusieurs semaines⁸⁹. Le règlement européen n°484/2002 du 1^{er} mars 2002 (JO L76 du 19 mars 2002) tente cependant de faciliter les contrôles en instaurant une attestation communautaire uniforme permettant de vérifier que les ressortissants des pays tiers sont employés de façon régulière, et qu'ils respectent les règlements européens.

Concernant le transport de marchandise, la formation des personnels est un élément clef de la prévention et de la protection contre le vol (Adam, 2006). On peut noter également le recours à des remorques dont l'aspect ne fournit pas d'indice quant à la nature de la marchandise transportée, et l'utilisation de parkings sécurisés (il en existe 25 en France : Sanef, Park+, Vinci Truck Etape, etc.). Ils comprennent généralement un portail coulissant sous vidéosurveillance, un accès piéton par tourniquet sous vidéosurveillance et des détecteurs de présence infrarouge.

Les promoteurs des parkings sécurisés affirment l'existence d'un lien entre sûreté et sécurité : ces lieux permettraient aux conducteurs de profiter au mieux de leur temps de repos, et ainsi de conduire dans de meilleures conditions et de réduire les risques d'accidents routiers (dans lesquels les poids lourds sont impliqués à hauteur de 3,8 % des accidents corporels et de 9,6 % des accidents mortels).

Une autre piste concerne la traçabilité du fret durant le transport grâce à une liaison par GPS, et des « étiquettes » ou des boîtiers insérés dans les colis⁹⁰. Initialement prévue pour lutter contre le vol de voiture, cette technique est désormais employée contre le vol de fret de marchandises sensibles. Des capteurs de choc peuvent également détecter l'effraction du véhicule. Le coût de ces mesures demeure assez élevé.

2.2. Transports guidés et urbains

Face aux risques d'accidents, la SNCF développe de nombreux projets relatifs à la prévention et à la protection. L'entreprise a lancé en 2004 un programme visant à améliorer les performances du système de freinage pneumatique UIC actuel. Il s'agit de développer un prototype entièrement pneumatique s'adaptant automatiquement à la pression du freinage. L'objectif est une répartition plus homogène des efforts de freinage le long du train⁹¹. L'étude de faisabilité est achevée, l'homologation nécessite encore une étude de sécurité et des essais dynamiques en ligne.

⁸⁸ Le salarié doit être prévenu individuellement de la présence du dispositif. Le fichier doit être déclaré à la CNIL et ne peut faire apparaître de données relatives à des infractions (seule la vitesse moyenne peut y figurer).

⁸⁹ Mais « il suffit de parler avec les agents de contrôles pour s'apercevoir qu'il est, en fait, extrêmement fréquent qu'une attestation de congés couvrant la semaine antérieure soit produite » (Hamelin 2001, p. 49).

⁹⁰ Lire le rapport de (Schlumberger, Perillat et Valle) sur les techniques permettant de tracer des marchandises : <http://www.predit.prd.fr/predit3/synthesePublication.fo?inCde=17414>.

⁹¹ L'allongement, l'augmentation de la masse ou de la vitesse des trains de fret nécessitent une diminution du délai de propagation de l'onde pneumatique.

Les renversements de trains, notamment au Japon, ont conduit au développement d'un programme d'étude des risques liés aux vents traversiers (AOA-VT)⁹². L'objectif est de prendre en compte ce risque dans la conception de l'infrastructure, comme cela a été le cas pour la ligne du TGV-Méditerranée.

Le programme CEMRAIL, commencé en 2007, financé par l'ANR et coordonné par Alstom Transport, vise à assurer la compatibilité électromagnétique entre l'infrastructure d'alimentation du système ferroviaire et les systèmes de communication de sécurité, grâce à une modélisation du comportement de l'infrastructure d'alimentation dans la gamme de fréquence 10–30 MHz.

En 2002, l'incendie d'un train de la ligne Paris–Munich a montré la nécessité de former les personnels pour leur permettre d'utiliser au mieux leurs compétences techniques, organisationnelles et relationnelles dans un contexte de crise (fumée, panique, ...). Depuis 2004, un *simulateur d'incendie à bord*, intitulé *Profession ASCT*, est utilisé dans la formation (initiale et continue) des agents du service commercial train (ASCT).

Depuis 2004, la SNCF développe aussi une nouvelle approche organisationnelle pour la rédaction des règles de sécurité (projet NAOS). Une première étude avait démontré que la philosophie de sécurité de la SNCF, et les documents métiers remis aux opérateurs présentent des incompatibilités. Afin de comprendre comment celles-ci étaient gérées sur le terrain, des ergonomes ont mené des entretiens avec des agents de maintenance de la voie et ont observé l'usage qu'ils font des consignes de protection. La méthodologie NAOS, qui a d'abord été appliquée à l'homogénéisation des règles de départ des trains, vise à formaliser les « bonnes pratiques » de gestion des écarts entre les règles et la pratique.

Concernant la sûreté, l'inspection des passagers dans les transports publics utilise une grande variété de moyens, depuis l'utilisation de chiens jusqu'aux techniques biométriques en passant par les rayons X (voir par exemple *TCRP report n°86*). On peut évaluer les avantages et inconvénients (en termes de coût, d'efficacité et de protection des droits) de chacune de ces techniques.

La vidéosurveillance a d'abord été défendue comme moyen de lutte contre la délinquance et la criminalité (Loi Pasqua de 1995). S'il existe peu d'études françaises sur le sujet⁹³, les travaux réalisés en Grande-Bretagne⁹⁴ et au Québec⁹⁵ se révèlent pour le moins circonspects au sujet de l'efficacité des dispositifs étudiés.

Depuis quelques années, la vidéosurveillance est aussi présentée comme une aide à la lutte contre le terrorisme. Le pouvoir politique annonce une multiplication des caméras de surveillance en rappelant que le niveau d'équipement de la France n'est pas comparable à celui de la Grande-Bretagne⁹⁶, et que c'est en regardant des images de vidéosurveillance que la police britannique a pu, en 2005, identifier rapidement les auteurs des attentats de Londres. À l'inverse, les opposants font valoir que l'effet dissuasif est douteux puisque cela n'avait pas empêché les attentats.

Ces débats sur l'efficacité de la vidéosurveillance se doublent de controverses au sujet de son encadrement démocratique. Depuis 1995, l'usage de la vidéosurveillance est contrôlé par la Commission nationale de l'information et des libertés (CNIL) dans les lieux privés et par la Préfecture dans les lieux publics ou ouverts au public⁹⁷. Un arrêté du 3 août 2007 définit les normes techniques de vidéosurveillance.

⁹² (2005–2008) Partenaires : SNCF Recherche, Alstom, DB, Siemens, Bombardier.

⁹³ On peut signaler l'étude menée par l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Île-de-France (IAURIF, 2004). Elle tend à relativiser l'efficacité des caméras dans les transports parisiens : « D'un point de vue strictement quantitatif, la vidéosurveillance ne traduit pas une baisse significative de la délinquance stricto sensu dans les réseaux ferrés et routiers franciliens, ni de changement de nature des faits ». Lire la synthèse :

http://www.iaurif.org/fr/ressources_doc/publications/publicationsrecentes/notesrapides/pdf/securite_comport/nr_366.pdf.

⁹⁴ Pour une synthèse des travaux britanniques sur l'impact de la vidéosurveillance sur la criminalité, cf. (Heilmann, 2003) et (Heilmann et Mornet, 2003).

⁹⁵ Voir l'enquête réalisée dans le métro de Montréal (Grandmaison et Tremblay, 1997).

⁹⁶ La ville de Londres compte quatre millions de CCTV. En France, le nombre d'installations n'est pas connu avec précision, car de nombreuses caméras ne sont pas déclarées : on estime qu'il y a deux à trois millions de caméras de vidéosurveillance sur l'ensemble du territoire. En Île-de-France, le réseau RATP–SNCF comporte environ 11 000 caméras.

⁹⁷ <http://www.cnil.fr/index.php?id=1302>.

Concernant la perception des dispositifs de vidéosurveillance par l'opinion et la notion « d'acceptabilité » de ces dispositifs, on peut consulter le travail mené par Stéphane Callens selon un cahier des charges du Centre de prospective de la Gendarmerie nationale (CGPN)⁹⁸.

Plusieurs travaux de recherche portent sur l'augmentation du niveau de confiance dans les alarmes grâce à la fusion des informations reçues par des capteurs différents (programme SERKET⁹⁹) ou à des systèmes « intelligents » d'aide à la surveillance (programme EVAS¹⁰⁰, in Ambellouis et Berbineau, 2007). La combinaison de l'audio et de la vidéo permet de détecter des situations telles que des bagarres ou des dégradations des matériels. La SNCF développe avec l'INRETS (LEOST), le groupe MARTEC et le CEA, le programme SURTRAIN (Surveillance des transports par analyse de l'image et du son) afin de détecter des « situations anormales » pouvant mettre en danger les passagers.

Le développement de ces dispositifs est partiellement assuré par les collectivités locales. Entre 2003 et 2007, plus de 70 % du budget alloué par la région Île-de-France à la sécurisation des transports en commun a été consacré à la vidéosurveillance.

Une récente proposition d'étude de la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) a fait apparaître le manque de connaissances sur la surveillance et la protection des infrastructures linéaires. Ce sujet est d'autant plus sensible que les dégradations contre les voies ferrées se multiplient.

2.3. Mode aérien

La prévention des accidents aériens repose notamment sur la réglementation (Convention de Chicago, règlement ciel unique européen, ESARR¹⁰¹, etc.), sur la ségrégation (circulations générale et militaire disposent d'espaces séparés), sur l'information (notamment météorologique) et sur la gestion du trafic. ATFM (*Air traffic flow management*) est une gestion anticipée des flux de trafic. Chaque aéroport et chaque secteur aérien a une capacité maximale. Des mesures de réduction du trafic sont prises afin d'éviter d'atteindre ce seuil. En Europe, cette gestion est assurée par le CFMU (*Central flow management unit*) à l'aide d'un système géré par Eurocontrol¹⁰².

Tous les avions commerciaux doivent déposer des plans de vol et utiliser des espaces aériens contrôlés. La responsabilité est partagée entre le contrôleur et le pilote (qui peut prendre une initiative en cas de force majeure). Le contrôle doit permettre de prévenir les collisions avec le sol ou entre aéronefs, de fournir les renseignements utiles à l'exécution sûre du vol, et de fournir un service d'alerte des secours. Le contrôle aérien est une tâche très complexe qui peut être facilité par des assistances informatiques, mais qui n'a jamais pu être automatisée. Le contrôleur utilise notamment des bandes de papier représentant les avions au départ et à l'arrivée. Il existe de nombreux travaux sur la complexité du contrôle aérien¹⁰³.

Outre les instructions du contrôleur aérien, le pilote dispose d'un système anticollision embarqué ACAS/TCAS (*Airborne collision avoidance system*). L'ACAS est à la fois le dernier recours en cas de perte momentanée de capacité du système de contrôle et l'indication prioritaire que doit suivre le pilote en cas de divergence avec l'information fournie par le contrôle au sol.

Face à la saturation de l'espace aérien, et à la complexité du contrôle, des chercheurs ont posé la question de savoir si l'organisation du trafic par le contrôle ne génère pas elle-même de l'incertitude... qu'il faut alors contrôler. Certains sont allés jusqu'à proposer la suppression du contrôle aérien et l'instauration du *Free flight*¹⁰⁴ pour les vols commerciaux. Dans cette perspective, le pilote ne recevrait pas d'ordre d'un contrôleur au sol et utiliserait uniquement un système embarqué de type

⁹⁸ http://www.marsouin.org/IMG/pdf/Callens_papier.pdf.

⁹⁹ Démarré en 2005, SERKET rassemble des partenaires d'Espagne, de France (Thalès, INRIA, EADS, Police Nationale, Bull, CEA), de Belgique et de Finlande.

¹⁰⁰ <http://www.inrets.fr/ur/leost/projets/evas.htm>.

¹⁰¹ *Eurocontrol Safety Regulatory Requirements*.

¹⁰² http://www.eurocontrol.int/corporate/public/standard_page/biz_safety.html.

¹⁰³ <http://www.atmseminar.org/past-seminars/7th-seminar-barcelona-spain-july-2007/papers>.

¹⁰⁴ <http://www.recherche.enac.fr/opti/papers/articles/larecherche.pdf>.

ACAS/TCAS. Ce projet de *Free flight* a fait l'objet de nombreuses critiques. Et même en admettant la possibilité d'un tel système, on serait confronté au problème de la transition (nécessitant un basculement total qui apparaît très risqué) et au problème de la déqualification (rendant impossible tout retour en arrière, alors même que le mode aérien est actuellement le plus sûr).

Le risque de panne à bord est extrêmement faible grâce à la mise en place de systèmes redondants (plusieurs moteurs, plusieurs calculateurs, etc.). Les aéronefs disposent en outre de nombreux instruments techniques pour assurer la sécurité :

La localisation des aéronefs peut être assurée par un radar primaire (l'avion est passif) ou un radar secondaire (l'avion est actif). Dans les deux cas, la précision est faible (respectivement de 1° et 2°) et nécessite donc des marges de navigation importantes. Les systèmes GPS et GNSS (Galileo), grâce auxquels l'avion transmet sa propre position, sont bien plus précis. Il est interdit d'utiliser le GPS comme unique système de navigation, car il ne couvre pas toutes les zones. Le GNSS doit corriger ce défaut.

Le GPWS (*Ground proximity warning system*) est un système radio-altimétrique embarqué permettant de détecter le risque de percuter le relief. Le système E-GPWS dispose d'une base de données géographiques lui permettant de tenir compte de l'état du terrain et plus, seulement de la distance du sol à la verticale de l'avion.

Différentes techniques permettent la détection des turbulences. Dans les aéroports, les LLWSAS (*Low-level wind shear alert system*) sont à présent remplacés par les TDWR (*Terminal doppler weather radar*). Les systèmes embarqués sont multiples : infrarouge, radar micro-ondes, lidar Doppler¹⁰⁵ (seul instrument capable de mesurer le vent à une altitude comprise entre 2 et 65 km). Le calculateur de bord détecte et refuse les manœuvres dangereuses. Enfin, des dispositifs mécaniques et chimiques sont utilisés pour empêcher le givrage des aéronefs.

Aux États-Unis¹⁰⁶, la Federal Aviation Administration (FAA) utilise une méthode de « consensus volontaire » avec le secteur privé pour élaborer certains standards de sécurité. La *Public Law* n° 104-113 stipule en effet que les agences publiques doivent consulter le secteur privé « lorsqu'une telle participation est dans l'intérêt public ». Il existe par exemple un partenariat public-privé entre la FAA et le comité F39 de l'American Society for Testing and Material (ASTM) au sujet des systèmes de câblage électrique (Ballenger, 2007).

La prévention de l'intrusion à bord d'objets illicites fait appel à des postes d'inspection et de filtrage des passagers avant embarquement. Leur fonctionnement est régi par les arrêtés interministériels du 1^{er} septembre et du 12 novembre 2003.

La sûreté aérienne est très contrainte par les conditions de mise en œuvre des mesures de protection. D'une part, les techniques actuelles d'inspection/filtrage des passagers ralentissent considérablement les flux, et il faut donc continuer à chercher le moyen de concilier les inspections et de grands débits de passagers¹⁰⁷. D'autre part, de nombreuses techniques, notamment parmi celles permettant la détection des matières dangereuses, ne sont pas opérationnelles en raison des contraintes environnementales propres aux aéroports (poussières, perturbations électromagnétiques, etc.). Il faudrait donc effectuer des recherches permettant de mieux caractériser ces conditions aéroportuaires. Un dispositif d'imagerie par ondes millimétrique (ProVision) est en cours d'expérimentation à l'aéroport de Nice¹⁰⁸. La détection d'objets interdits repose actuellement sur des appareils radioscopiques, des portiques magnétiques et des magnétomètres.

D'autres pistes de recherche concernent le contrôle à distance des passagers (détection des matières par ondes Terahertz), les détections d'explosifs dans les bagages de cabine et l'imposition de bagages identifiés par puce électronique.

¹⁰⁵ Lidar (« Light Detection and Ranging ») atmosphérique qui mesure l'effet-Doppler sur le faisceau laser rétrodiffusé par des particules ou des molécules.

¹⁰⁶ Sur l'évolution des aspects institutionnels du secteur aérien aux États-Unis, cf. (Button and McDougall, 2006).

¹⁰⁷ Sur ce point, cf. (Demetsky et Rountree, 2004).

¹⁰⁸ http://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/surete/ifpax_onde.php.

Le double tir manqué de missiles SA-7 sur un Boeing 757 israélien en novembre 2002, et un an plus tard, l'attaque d'un Airbus cargo A300 de DHL à proximité de l'aéroport international de Bagdad ont ravivé les inquiétudes au sujet des *Man portable air defence systems* (MANPADS). Comment protéger les aéronefs contre ces missiles tirés à l'épaule¹⁰⁹ ? La RAND Corporation a produit un rapport sur le sujet (Chow et al., 2005)¹¹⁰. Le *Directed infra-red counter measure* (DIRCM) est un système à infrarouge permettant de détecter le MANPAD tiré et de diriger un laser sur sa tête chercheuse. Mais la technique n'est pas très adaptée à l'aviation civile en raison de son coût prohibitif et des difficultés de maintenance lorsque les infrastructures n'ont pas été prévues pour cela. Aux États-Unis, l'Office of Homeland Security a toutefois accordé deux contrats de 45 millions de dollars à BAe Systems et Northrop Grumman pour adapter le DIRCM à l'aviation civile.

2.4. Mode maritime

Le transport maritime est essentiellement international. L'Organisation maritime internationale (OMI) a été créée par une convention internationale adoptée le 6 mars 1948 à Genève et est entrée en vigueur en mars 1958¹¹¹. La première conférence organisée par l'OMI eu lieu en 1960. Elle s'acheva par l'adoption de la Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS). Celle-ci est entrée en vigueur en 1965 et fut modifiée à plusieurs reprises¹¹².

Pour un armateur, les opérations d'entretien et de réparation représentent le second poste de dépense des coûts d'exploitation, après la main-d'œuvre. La sécurité maritime ne devant pas souffrir d'une concurrence entre les armateurs, ceux-ci sont tenus de se conformer à des réglementations internationales (SOLAS mais aussi MARPOL, STCW&LL, etc.)¹¹³. Il est de la responsabilité de l'État du pavillon de vérifier leur respect. Mais il existe une double difficulté : certains navires font rarement escale dans l'État du pavillon, et certains États disposent de peu de ressources pour effectuer les contrôles. D'où la nécessité des inspections des navires par l'autorité du port (Port State Control).

Dans l'UE, l'Agence européenne pour la sécurité maritime (*supra*, section 1.2.b) a la responsabilité technique de l'application du contrôle par l'autorité du port. Le paquet Erika-I contient des mesures relatives au Port State Control (dir. 2001/106 du 19 décembre 2001, en vigueur depuis juillet 2003).

Le contrôle vise à vérifier la conformité des navires avec les standards mondiaux. La difficulté est alors d'atteindre à moindre coût le niveau de sécurité défini comme « acceptable »¹¹⁴. Pour cela, il faut non seulement parvenir à une coordination évitant des contrôles inutiles (inspections successives d'un même navire dans différents ports), mais également définir le « bon » ciblage des navires (élaboration de critères pertinents). Ces tâches sont définies au sein d'une zone géographique par un *memorandum of understanding* (MoU). Il existe plusieurs MoU. Par exemple, chacun des 27 États

¹⁰⁹ On estime à 700 000 le nombre de ces missiles produits des années 1970 à nos jours, et à 100 000 le nombre d'unités complètes (missile + lanceur) disponibles. Les pays du G8 ont convenu, en juin 2003, de mettre en œuvre des mesures pour prévenir l'acquisition de MANPADS par des terroristes. La même année, l'ONU les a ajoutés à son registre des armes classiques. <http://www.unidir.org/pdf/articles/pdf-art2608.pdf>.

¹¹⁰ http://rand.org/pubs/occasional_papers/2005/RAND_OP106.pdf.

¹¹¹ L'OMI compte actuellement 166 États membres.

¹¹² Voir la page internet consacrée à une description détaillée de la Convention SOLAS et de ses modifications : http://www.imo.org/Conventions/contents.asp?topic_id=257&doc_id=647#description.

¹¹³ Voir le rapport de l'OCDE sur les mesures permettant d'améliorer la transparence concernant la propriété des navires (OCDE, 2004). Par ailleurs, l'OCDE quantifie l'intérêt financier du navire sous-norme en définissant cinq niveaux de qualité de l'exploitation d'un navire (plafond, bonne exploitation, exploitation courante, exploitation standard, plancher). Pour un pétrolier de 130 000 tpl construit en 1985, choisir l'option « courante » plutôt que « bonne » permettrait une économie journalière de 583 dollars, soit 9,4 % du coût d'exploitation du navire. En France, une étude financée par la DRI et réalisée par le GESTIC (université de Bretagne Sud) a montré que dans le secteur de la pêche la rentabilité est généralement privilégiée au détriment de la sécurité, sauf pour les entreprises individuelles et pour la pêche côtière (Morel, 2007).

¹¹⁴ Selon l'OCDE, un inspecteur coûte en moyenne 50 000 euros/an. Le coût total annuel du Paris MoU est d'environ 11 millions d'euros. Pour l'armateur, le coût du Port State Control est toutefois bien moindre que celui des autres contrôles.

membres du *Paris MoU* doit inspecter 25 % des navires étrangers faisant escale dans ses ports. Résultat : environ 5 % des navires inspectés en 2006 dans cette zone ont été mis en détention¹¹⁵.

Les critères utilisés pour le ciblage sont actuellement remis en question. En juin 2007, lors du dernier OMI-FSI, la Turquie contestait son inscription sur la liste des pavillons noirs en faisant valoir que ses navires ne sont pas particulièrement impliqués dans des accidents. Knapp et Frances (2007) ont montré que la corrélation entre les détentions et les accidents est très faible¹¹⁶. Faut-il dès lors intégrer les données concernant les accidents dans les critères de sélection des navires ? Le programme européen MARNIS élabore actuellement une méthode générale pour produire des listes noires de catégories de navires à partir des accidents (Degré, 2008). Mais on retrouve alors le problème de la non-exhaustivité de ces bases de données.

Ces contrôles ne portent que sur des normes techniques. Or, le facteur humain est à l'origine de 80 à 90 % des accidents. D'où l'importance des conditions de vie et de travail à bord des navires, notamment concernant les rythmes de travail et de repos (Sanquist et al., 1997). C'est la raison pour laquelle, dès sa création (1919), l'Organisation internationale du travail (OIT) a traité le travail des gens de mer de façon spécifique (Tokatlian, 2002, p. 9). Il existe de nombreux travaux sur les améliorations des protections réglementaires. On peut consulter à ce sujet le code ISM, les conventions 107, 134, 147 et 280 de l'OIT et la synthèse réalisée par Celik et Er (2005)¹¹⁷.

La sécurité des systèmes de pêche maritime est régulée par trois organisations internationales (OIT-BIT¹¹⁸, OMI et FAO¹¹⁹) mais « l'impact de leurs travaux sur la sécurité des marins pêcheurs est très faible dans la mesure où la grande majorité des conventions et des recommandations ratifiées ou dans l'attente de l'être ne s'appliquent pas aux navires de pêche de moins de 24 m (à l'exception du règlement international pour prévenir les abordages en mer et de quelques chapitres issus de conventions) qui représentent pourtant la quasi-totalité de la flotte de pêche internationale », environ 95 % (Morel, 2007, p. 20). En outre, dans la petite pêche côtière, le taux d'accidents est relativement élevé en raison du manque de moyens pour assurer la sécurité¹²⁰. En 2005, 62 % des accidents du travail survenus en Bretagne Sud concernaient des chalutiers (qui représentent 32 % de la flotte). Et 14,6 % de ces accidents ont eu lieu sur des chalutiers récents (moins de dix ans), qui ne représentent pourtant que 5,1 % de la flotte (*ibid.*, pp. 36–7).

Concernant les normes de travail dans les ports, on peut consulter le *Recueil des directives* du BIT¹²¹, le *Manuel d'audit de sécurité et de santé dans le secteur portuaire*, publié également par le BIT¹²², et le site britannique www.saferports.org.uk.

La prévention des risques est prise en compte dès la conception des navires. Après la catastrophe de l'Exxon Valdez (1989), les États-Unis ont adopté le *Oil Pollution Act* (1990) qui tente de fixer les responsabilités des différents intervenants et impose de manière unilatérale la « double coque »¹²³ à tous les pétroliers abordant un port des États-Unis.

Suite à la catastrophe de l'Erika de décembre 1999, des mesures de sécurité ont été votées par le Parlement européen, notamment l'accélération de l'introduction des doubles coques¹²⁴. L'Europe est concernée par les marées noires parce qu'elle est l'un des principaux importateurs de pétrole et en raison des difficultés de navigation dans ses zones côtières (fréquence des tempêtes et densité du

¹¹⁵ 8,7 % de mi-2004 à mi-2005 (Yilmazel et Asyali, 2005). Il est à noter que si ces auteurs se focalisent dans l'introduction sur la contribution du Port State Control à la lutte contre le terrorisme, leur texte porte en réalité uniquement sur la prévention des accidents.

¹¹⁶ Sur ce sujet, voir aussi (Cariou et al., 2007).

¹¹⁷ Voir également (Tokatlian, 2002).

¹¹⁸ Un des rapports de la 93^e Conférence Internationale du travail (2005) est consacré à la question du travail dans le secteur de la pêche : <http://www.ilo.org/public/french/standards/relm/ilc/ilc93/pdf/rep-v-1.pdf>.

¹¹⁹ Voir (FAO, 2001).

¹²⁰ Source : http://internet.mtas.es/Insht/ntp/ntp_624.htm.

¹²¹ http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cops/french/download/f_ports.pdf.

¹²² <http://www.ilo.org/public/english/dialogue/sector/papers/maritime/ports-safety-health-manual.pdf>.

¹²³ Structure extérieure englobant la première coque et qui isole donc la cargaison de la mer par un espace vacant d'environ 1 m 50.

¹²⁴ Règlement 417/2002 (18 février 2002) applicable depuis le 1^{er} septembre 2002.

trafic). Des critiques font valoir que, depuis le naufrage de l'Erika, le levoli Sun a coulé dans l'Atlantique malgré un équipement récent, un équipage européen et une double coque. Les double coques sont parfois accusées d'accroître les risques de corrosion : l'espace ainsi créé sert de ballast, et la pose des revêtements antirouille y est plus difficile. En outre, l'âge du navire reste déterminant. Cette modification réglementaire ne semble donc pas suffisante et doit être accompagnée d'un renforcement des contrôles par l'État du port et des sociétés de classification.

Concernant la sûreté, la protection des ports a fait l'objet d'un rapport conjoint du BIT et de l'OMI¹²⁵. Il propose des principes directeurs pour réduire le risque que la menace d'actes illicites fait peser sur les ports. Les mesures indiquées s'appliquent à tous les secteurs et à toutes les activités du port. La procédure d'évaluation de la sûreté portuaire est expliquée, et un plan de sécurité portuaire est également proposé.

Le transport maritime de conteneurs est un enjeu majeur (Van de Voort et al., 2003 ; Villegas et al., 2006 ; US GAO, 2008). Environ 80 % du commerce est assuré par voie maritime. « Entre 2 et 5 % des conteneurs sont inspectés dans les ports du monde entier » (Greenberg et al., 2006, p. 113). Le cadre réglementaire du contrôle du fret évolue rapidement. La CSI (*Container Security Initiative*) lancée en janvier 2002 par l'US Customs Service (service des douanes) concerne les ports qui chargent des conteneurs à destination des États-Unis. Son objet officiel est de détecter les armes de destruction massive. « La réalisation des objectifs de la CSI suppose la participation des principaux ports étrangers d'exportation vers les États-Unis et implique la coopération étroite des douanes du pays exportateur et des US Customs. Dans la pratique, la présence physique continue de douaniers américains sur le port étranger est imposée (équipe de quatre ou cinq membres), au moins jusqu'à ce qu'ils considèrent que le système d'inspection est au point. Le port qui adhère à la CSI bénéficie d'un traitement plus rapide à l'entrée aux États-Unis des conteneurs qui sont embarqués dans ses installations »¹²⁶.

Un récent rapport du Government Accountability Office des États-Unis affirme que 58 ports étrangers appliquent la CSI, et qu'environ 86 % des conteneurs des cargos à destination des États-Unis en 2007 sont passés par un port appliquant la CSI (US GAO, 2008, p. 5). Ce rapport souligne toutefois que des limites demeurent au niveau de l'évaluation du processus et de l'exhaustivité des données, car le *Customs and Border Protection* « n'a pas collecté d'information systématique sur les équipements, les personnes et les processus des pays impliqués dans la mise en œuvre du CSI » (*ibid.*, p. 39).

La France a adhéré à la CSI. Des inspecteurs américains du *Naval Criminal Investigative Service* (NCIS)¹²⁷ sont par exemple présents dans le port de Marseille. La France compte trois ports d'exportation vers les États-Unis : Le Havre et, dans une moindre mesure, Marseille et Bordeaux.

En 2006, la loi américaine *SAFE Port Act* a initié un programme expérimental de *scanning* intégral des conteneurs provenant de trois ports étrangers (Southampton au Royaume-Uni, Puerto Cortes au Honduras et Port Qasim au Pakistan)¹²⁸. En août 2007, le Président des États-Unis a signé la *Loi House Resolution 1 Implementing Recommendations of the 9/11 Act* (HR-1), initié par la majorité parlementaire Démocrate. HR-1 institue qu'au 1^{er} juillet 2012, tout conteneur à destination des États-Unis (ou en transit) devra avoir été préalablement scanné dans le port étranger d'embarquement¹²⁹.

Cette évolution soulève deux types de problèmes. D'abord, l'importance de l'investissement. Le prix des scanners nécessaires aux inspections est élevé (3,5 M€ l'unité). Actuellement, le coût est parfois assumé par l'État (cas du Havre), parfois par le port autonome (cas de Marseille). Ensuite, on

¹²⁵ <http://www.ilo.org/public/french/dialogue/sector/techmeet/messhp03/messhp-cp-a.pdf>.

¹²⁶ Source : *La Revue Maritime* n° 470. <http://ifm.free.fr/htmlpages/pdf/2005/470-3suiteportage.pdf>.

¹²⁷ *United States Department of the Navy*.

¹²⁸ Le 12 juin 2008, le *Customs Border Protection* et la *National Nuclear Security Administration* ont présenté au Sénat un rapport d'évaluation de cette expérimentation.

¹²⁹ Pour plus de détails, cf. (Petitfaux, 2008). Voir également le rapport du RAND sur le scan à 100 % : http://www.rand.org/pubs/reprints/2006/RAND_RP1220.pdf.

peut se demander si ces nouvelles réglementations américaines ne sont pas des mesures protectionnistes sous couvert de lutte contre la menace terroriste ?

Un autre changement important est du au *Customs-Trade Partnership Against Terrorism* (C-TPAT). Ce partenariat, lancé en 2002 entre les douanes américaines et les entreprises, vise toute la chaîne de transport privé à destination des États-Unis. Aucun standard n'est imposé à l'entreprise mais, au vu de son dossier, les douanes américaines peuvent décider de faire bénéficier l'importateur de procédures de dédouanement allégées, ainsi que d'une réduction du nombre de contrôles.

Ces évolutions ont suscité des modifications réglementaires au niveau international (code ISPS et titre 11-2 de la convention SOLAS) et au niveau européen (règlement 725/2004/CE et directive 65-2005 étendant les mesures de sûreté à l'ensemble de la zone portuaire)¹³⁰.

Sur les mesures de protection et de prévention contre les actes de piraterie, on peut consulter la notice de l'Agence britannique des gardes-côtes¹³¹ et le rapport que le RAND a consacré à ce sujet (Greenberg et al., 2006). Face à la recrudescence des actes de piraterie dans le golfe d'Aden, le Conseil de sécurité de l'ONU a autorisé les pays tiers à entrer dans les eaux territoriales somaliennes, et à utiliser « tous les moyens nécessaires » pour déjouer les actes de piraterie en mer. Avant d'agir, ils devront toutefois obtenir l'accord du gouvernement somalien. La force d'intervention de l'OTAN est présente dans les eaux du golfe d'Aden depuis octobre 2008. La mobilisation navale n'a pas empêché de nouvelles actions spectaculaires, par exemple le 16 novembre 2008 : un superpétrolier saoudien, un chalutier chinois, un cargo hongkongais, un bateau de pêche thaïlandais et un vraquier grec sont tombés aux mains de pirates. Svitzer, le numéro un mondial des remorqueurs, a été le premier à annoncer que ses bâtiments passaient désormais par le Cap de Bonne-Espérance. Depuis, l'Organisation internationale des vraciers secs, Intercargo, a indiqué que plusieurs de ses membres faisaient de même. Une flottille de l'Union européenne, composée de six navires de guerre et trois avions de surveillance, a été mise en place le 8 décembre 2008 pour lutter contre les actes de piraterie au large des côtes de la Somalie. En France, le ministère des Affaires étrangères déconseille aux navires dont la vitesse est inférieure à 15 nœuds et dont le franc-bord est bas sur l'eau de pénétrer dans le golfe d'Aden et recommande de naviguer le plus loin possible des côtes somaliennes, au-delà de 200 milles nautiques.

¹³⁰ Voir aussi : http://www.transports.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=7764.

¹³¹ <http://www.mcga.gov.uk/c4mca/mcga-mlc-page.htm?textobjid=6B11C41CA46FF069>.

Chapitre 3

Méthodes et ressources pour la gestion de crise

Dans le chapitre précédent, nous avons fait le tour des mesures de prévention grâce auxquelles on peut réduire *ex-ante* la probabilité d'occurrence des dommages, et des mesures de protection grâce auxquelles on peut diminuer la gravité des dommages.

Il est aussi possible d'intervenir *ex-post*, pour secourir et sauvegarder, d'une part, réparer et restaurer, d'autre part.

En France, un Groupement de recherche (GDR) du CNRS a été consacré aux risques et aux crises. Un programme du CNRS — dirigé par Claude Gilbert — s'intitule « Risques collectifs et situations de crise ». Ces travaux ont donné lieu à la publication d'un ouvrage collectif, sous la direction de Claude Gilbert : *Risques collectifs et situations de crise. Apports de la recherche en sciences humaines et sociales* (2003). Dans un chapitre de cet ouvrage, « La recherche confrontée à la question des crises »¹³², Patrick Lagadec explique que la recherche française est davantage centrée sur la notion de risque que sur la notion de crise (pp. 297–8). De fait, la majorité des travaux sur la gestion de crise sont d'origine anglo-saxonne. Commençons par déterminer ce que l'on entend par « crise ».

3.1. Définition de la crise

Les recherches sur la « gestion de crise » portent sur des sujets aussi divers que les crises internationales (les missiles de Cuba), les effets socioéconomiques des grandes catastrophes naturelles, les accidents industriels (Seveso, Bhopal) ou nucléaires (Three Miles Island, Tchernobyl). Avant d'examiner la gestion de crise dans les transports, on commencera par s'interroger sur la signification même du terme « crise ».

a/ Définitions générales

L'*International Encyclopedia for Social Sciences* souligne l'absence de définition scientifique acceptée de la « crise » (Robinson, 1968, p. 510). Dans la pratique, on a pourtant l'habitude de distinguer la situation « normale », la situation « perturbée » et la « crise » proprement dite. Les frontières entre ces concepts ne sont pas toujours très nettes :

- la *situation normale* correspond à un fonctionnement « régulé » ou « équilibré » du système étudié ;
- la *situation perturbée* correspond à un dysfonctionnement qui peut être maîtrisé par des procédures ordinaires et demeure circonscrit. Les conséquences ne sont ni graves ni durables ;

¹³² http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/P_Lagadec_Recherche-crise.pdf

- la *crise* proprement dite est une situation difficile à gérer, même par les services d'urgence. Ses conséquences sont graves et durables. Elle implique une véritable « rupture » qui menace le système dans son ensemble. Celui-ci est « déréglé ».

Cette définition de la crise a deux implications importantes.

Premièrement, si on définit l'apparition de la crise comme le moment où les moyens habituels ne permettent plus de gérer la situation, le moment où le système devient incapable d'éviter qu'un événement ne se traduise par des impacts catastrophiques, alors la définition d'une crise dépend des mesures mises en place pour la prévenir ou en gérer les impacts. Plus ces mesures sont efficaces, plus faible est la probabilité qu'un événement donné ne se transforme en crise.

Deuxièmement, la crise est insolite par définition et nécessite une intervention nouvelle, exceptionnelle¹³³. Les outils habituels semblent inadéquats, voire contre-productifs (aggravation de la situation). On emploie souvent les expressions « dynamique de crise » ou « déferlement » pour signifier que les difficultés débordent le cadre prévu. La situation de crise entraîne une perte de repères, c'est-à-dire un manque de base d'interprétation, ce qui provoque souvent l'angoisse ou la panique. Bien que suscités en partie par des facteurs subjectifs, ces comportements sont susceptibles d'aggraver ou de prolonger la crise et deviennent donc des facteurs objectifs de la dynamique de crise. D'autant que « l'événement prend des allures d'audit brutal et cruel. En un instant, tout ce qui n'a pas été préparé va donner lieu à un problème difficile, tout point faible va avoir tendance à ressortir sur-le-champ. » (Lagadec, 1991, p. 67). Cela est vrai sur un plan technique, organisationnel et individuel.

Ainsi, « le facteur déterminant des situations de crise n'est pas l'ampleur des événements, mais le fait qu'il y ait une grave perturbation dans les représentations, les modèles d'interprétation et d'action. » (Lagadec, 2003, p. 300)¹³⁴.

Une autre façon de définir et de distinguer la situation perturbée et la crise est de préciser, dans chaque cas, les conditions permettant le retour à la normale. La situation perturbée nécessite seulement de disposer des informations quant à la nature de la perturbation et d'appliquer les procédures prévues pour résoudre le problème.

b/ Cas du transport

La littérature sur la gestion de crise comporte de nombreuses études de cas, dont une grande partie concerne les crises survenant dans le secteur des transports¹³⁵. Ce secteur est particulièrement sensible. Les opérateurs de transport sont parfois des « opérateurs d'importance vitale » gérant ou utilisant un établissement, un ouvrage ou une installation « dont le dommage ou l'indisponibilité, ou la destruction par suite d'un acte de malveillance, de sabotage ou de terrorisme, risquerait, directement ou indirectement :

- d'obérer gravement le potentiel de guerre ou économique, la sécurité ou la capacité de survie de la nation ;
- ou de mettre gravement en cause la santé ou la vie de la population »¹³⁶.

¹³³ L'étymologie grecque du terme « crise » signifie « décision ». Le terme a ensuite été employé pour désigner — en grec comme en latin — la « phase grave d'une maladie », puis le désordre ou le déséquilibre. Le registre médical (crise de nerfs, crise cardiaque, etc.) a perduré.

¹³⁴ Il nous semble toutefois que Lagadec surestime l'aspect novateur des crises (2003, pp. 300-1). N'est-il pas quelque peu exagéré d'affirmer que l'on pouvait auparavant « partir d'un ensemble de quadrillages stabilisants » ? N'est-il pas artificiel d'opposer la représentation d'un « monde construit relativement dominé » à une récente « interrogation sur l'extrême et l'aberrant » ? Enfin, les « ensembles globalisés et enchevêtrés » ou la « découverte des interdépendances » sont-ils réellement nouveaux ?

¹³⁵ Par exemple, la crise de Tenerife est souvent considérée comme l'archétype de la crise d'un système due à des problèmes de communication et à une succession de « petites » erreurs. Le 23 mars 1977, la collision de deux boeing 747 (KLM et Pan Am) sur la piste d'aéroport de Tenerife a causé 583 morts.

¹³⁶ Ce décret n° 2006-212 (du 23 février 2006) a été abrogé par le décret 2007-585 (du 23 avril 2007). Le nouveau décret n'est pas encore paru.

Dans le secteur des transports, le port de Marseille qui comprend un terrain de 350 hectares (site de Marseille) et un terrain de 10 000 hectares (site de Fos-sur-Mer) est un bon exemple. Avec deux usines classées Ceveso-2 à Fos-sur-Mer (en « zone contiguë terrestre »), d'importants terminaux GDF (25 % des arrivées de gaz liquéfié), un terminal pétrolier (40 % des imports de pétrole brut) et des appointements Arcelor-Mittal, le Port autonome de Marseille est un opérateur d'importance vitale.

L'origine d'une perturbation ou d'une crise peut être endogène (produite par le système) ou exogène (indépendante du système)¹³⁷. On peut donc distinguer deux types de crises dans les transports :

- une première possibilité est qu'un événement survienne en dehors du réseau mais crée un engorgement de celui-ci en raison d'une modification des comportements de mobilité : évacuation et/ou phénomènes de panique. Dans ce cas, les transports sont donc affectés de façon indirecte ;
- une autre possibilité est une crise dont l'origine même est située dans le réseau (carambolage sur l'autoroute, attentat dans le RER, etc.).

La nature même de l'origine de la crise (naturelle ou criminelle) est rarement prise en compte dans la littérature sur la gestion de crise.

Les crises causées par les catastrophes naturelles ont aussi une influence sur la sûreté. Cet effet est complexe. En cas de cause naturelle, « plusieurs études menées par le Centre de recherche américain, Disasters Research Center (DRC) montrent que les occasions de violence ou de pillage sont rarissimes [...] d'autres recherches indiquent une baisse générale des activités criminelles habituelles, mais nous informent que d'autres types de crimes s'imposent, tels que la fraude, l'inflation prohibitive des prix, les crimes commis par des étrangers [...] Quant aux études consacrées à la panne majeure d'électricité qui s'est produite à New York en 1977, elles démontrent, au contraire, des désordres divers, des pillages et du vandalisme » (Lemieux, 2003, p. 60).

Les conséquences dépendent notamment de la vitesse d'intervention des secours, du contexte social et de l'effet de dissuasion. Lors de la panne d'électricité de 1977 à New York, dans « une période socialement tumultueuse », « la défaillance technologique est devenue ce que les chercheurs du DRC appellent une émeute civile » (*ibid.*, p. 61). À l'inverse, la tempête du verglas survenue en janvier 1998 au Québec a suscité un déploiement de policiers et une distribution de chèques d'aide financière aux sinistrés qui ont toutes deux contribué à réduire de façon significative les crimes contre les biens et les personnes (*ibid.*).

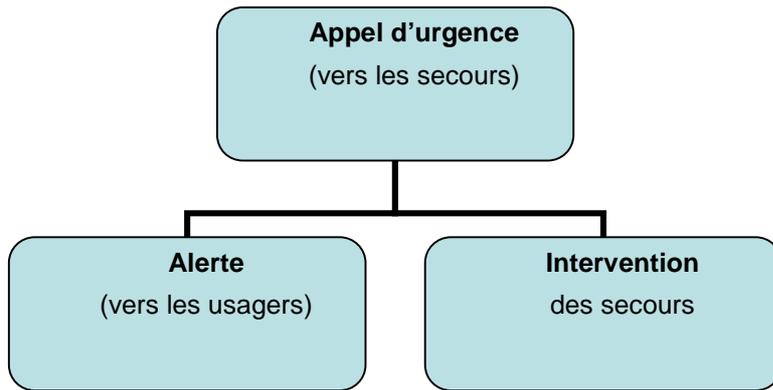
3.2. Systèmes d'alerte d'urgence

En cas d'accident, la première phase de réaction est essentielle. L'information détenue par la puissance publique dépend des efforts de veille, des dispositifs d'alarme disponibles et de la réactivité de tous les acteurs.

L'appel d'urgence est défini comme l'appel émis par un usager en direction des secours. Il détermine en partie l'efficacité de l'intervention¹³⁸ et l'information des usagers (« alerte » proprement dite). L'alerte permet à son tour de réduire les conséquences en chaîne, par exemple les sur-accidents. Ce sujet a été étudié, pour le mode routier, par le CERTU (Malbrunot et Costa Helias, 2000).

¹³⁷ Il convient par conséquent de faire attention à l'usage du terme « perturbation », qui a tendance à dénoter un choc extérieur.

¹³⁸ « Pour donner un ordre d'idée, sur le boulevard périphérique de Paris, à partir de l'appel d'urgence, les arrivées sur les lieux de l'accident se situent entre 3 et 20 min avec une durée moyenne de 10 min 30 s » (Cuvelier 2001, p. 6).



L'INRETS (LEOST) a réalisé un état de l'art sur les systèmes d'alerte d'urgence des usagers de la route en Europe, dans le cadre du projet SAURRAU fondé sur l'utilisation conjointe du réseau d'appel d'urgence existant et du radiotéléphone GSM (Cuvelier, 2001).

Concernant l'alerte, le LEOST a mis au point une balise radio (107,7 MHz de diffusion FM-RDS) embarquée par un véhicule patrouilleur et activée lorsque celui-ci se retrouve en amont d'un accident. Cela permet notamment d'éviter les sur-accidents durant le temps de mise en place de la signalisation. Le signal radio est suffisamment puissant pour qu'il soit seul perçu par les usagers approchant. En outre, l'utilisation d'une antenne « delta-loop » permet d'éviter que le signal ne soit reçu par les véhicules circulant dans l'autre sens (Heddebaut et al., 2007).

Le projet européen *e-call*¹³⁹ porte sur un système « intelligent » appelant le numéro d'urgence européen (112) en cas de collision. Ce système devra équiper tous les véhicules fabriqués en Europe à partir de 2009. Le projet *InfraCall* (infrastructure communicante pour une route sécurisée) développe — dans le cadre du pôle de compétitivité Moveo — un dispositif capable de détecter un impact sur une infrastructure et d'émettre un message contenant des informations contextuelles à destination du gestionnaire.

Concernant le mode maritime, on peut par exemple consulter l'étude de (Castelo Tario et al., 2004), qui analyse les interventions d'urgence en milieu aquatique au cours de l'année 2002, dans la communauté autonome du Pays Basque espagnol.

3.3. Évacuation et coordination

Pour alléger la gestion de crise, les autorités préparent des plans d'évacuation à différents niveaux, du plan ORSEC (départemental, zonal, ou maritime) à la « sécurité incendie » des ERP (établissements recevant du public). Dans le domaine des transports, les autorités disposent également de plans de gestion du trafic (PGT).

Afin de préparer les évacuations, des chercheurs mis au point des modèles « macro » qui utilisent des courbes débit–vitesse pour estimer le temps maximum d'évacuation en fonction des capacités des grandes artères routières. Certains de ces modèles sont multimodaux, comme le modèle TEVACS (1990) conçu pour l'évacuation des grandes agglomérations taïwanaises. Mais les temps de réaction des individus et les trafics sur les routes secondaires ne sont généralement pas pris en considération.

Quelques modèles – comme DYNEV (1984) ou OREMS (1998) – tiennent compte de la génération du trafic et du rôle des voies secondaires. Des hypothèses portent sur les comportements spontanés, et les trafics sont modélisés sur tout le réseau urbain.

Des modèles « micro » permettent d'étudier l'évacuation de voisinage. Ils sont fondés sur des distributions aléatoires de comportements individuels (choix de l'heure de départ, du véhicule, de l'itinéraire, etc.).

¹³⁹ <http://europa.eu/scadplus/leg/fr/lvb/l31103a.htm>

Lors d'une crise, une conséquence du « déferlement » (*supra*, 3.1.) est la multiplication des intervenants. « Alors que, pour la défaillance classique, l'intervention de quelques services spécialisés pouvait suffire, il faut ici faire appel à un grand nombre d'organismes : 65 dans le cas de Gander¹⁴⁰, tous nécessaires ; le même nombre dans l'affaire de l'incendie de millions de pneus au Canada en 1990 » (Lagadec, 1991, p. 33). D'où un problème de coordination entre les différents services.

Ce problème peut être étudié de deux façons. Soit l'on cherche à expliquer l'influence des facteurs institutionnels sur l'organisation des services d'intervention. Soit l'on considère l'organisation de ces services comme une donnée (exogène) et l'on essaie d'optimiser le résultat de leurs actions.

Dans la première perspective, on trouve par exemple des travaux historiques et politiques sur les différents acteurs de la sûreté, notamment sur les différents services de police (Hamelin et al., 2007). Ces recherches analysent le contexte de prise en charge de la sécurité et de la sûreté, les rapports entre les différents services, leurs stratégies, leur spécialisation (police de la route, police ferroviaire), etc. Ces travaux ne portent pas sur la gestion de crise à proprement parler.

Dans la seconde perspective, on trouve des méthodes de simulation multi-agents permettant de tester des plans d'intervention (Badeig, 2007). « Les simulateurs en temps réel sont utilisés lors de situation de crise pour permettre de faire de l'aide à la décision », tandis que les simulateurs en temps différé « visent davantage l'analyse de situation de crise, la planification de plans d'intervention ou pour la majorité l'entraînement des intervenants » (*ibid.*, p. 3)¹⁴¹. Parmi les paramètres des modèles, chaque unité est dotée d'un seuil de tolérance à l'information, au-delà duquel sa capacité de traitement est saturée. On peut également citer les méthodes de programmation linéaire permettant de déterminer l'allocation optimale des véhicules de secours (Huang, 2007).

¹⁴⁰ Le 12 décembre 1985, le crash d'un avion à Gander (Terre-Neuve) a suscité une contamination des eaux de la ville.

¹⁴¹ Le groupe opérationnel N°4 du PREDIT a lancé en 2003 la création d'un simulateur destiné à l'entraînement des opérateurs de tunnels. Sur la réglementation concernant la formation de ces personnels, lire la circulaire française N° 2000-63 et la directive européenne du 29 avril 2004.

Conclusion

Dans cet état de l'art, nous avons synthétisé des travaux recensés dans des bases de données bibliographiques (décrites dans la section suivante) ou conseillés par des spécialistes du sujet (chercheurs et opérateurs). La méthode de recherche par mot-clés dans des bases de données bibliographiques présente toutefois des limites. Les résultats risquent d'être nombreux et peu précis. De fait, les références sur la sécurité et la sûreté des transports se sont avérées extrêmement nombreuses et hétérogènes. En raison de l'étendue du sujet étudié, cet état de l'art ne pouvait prétendre à l'exhaustivité. La recherche par mots clés a cependant permis d'identifier quelques pistes de recherches et d'effectuer quelques constats, que nous avons signalés tout au long de cet état de l'art : la plupart des travaux relèvent de l'expertise à vocation opérationnelle, les publications posant des problèmes théoriques sont plus rares, la gestion de crise demeure moins étudiée que l'évaluation et la prévention des risques, la littérature sur la sécurité des transports est bien plus importante que celle sur leur sûreté, etc.

Le nombre de recherches sur la sûreté des transports a toutefois considérablement augmenté ces dernières années, notamment aux États-Unis. Cet accroissement résulte de l'orientation récente d'une part importante des financements publics et privés de la recherche vers les thématiques liées à la sûreté¹⁴². Cette orientation répond elle-même à trois évolutions. Premièrement, l'interdépendance croissante des activités économiques et la transformation des systèmes productifs rendent particulièrement sensible la question de la vulnérabilité des grands réseaux. Deuxièmement, les attentats survenus à New York (2001), Madrid (2004) ou Londres (2005), ont suscité des inquiétudes concernant la sûreté des voyageurs. Troisièmement, les crimes et délits ont fait l'objet d'une médiatisation accrue. Pour toutes ces raisons, la question de la sûreté des transports occupe une place de plus en plus importante dans la société.

En France, les recherches sur la sûreté des transports sont essentiellement menées par le Réseau scientifique et technique du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT), par les laboratoires du ministère de la Défense, et par les entreprises concernées. Depuis 2005, ces dernières participent généralement à des pôles de compétitivité. Des projets européens sont lancés via l'ANR, les Eranet et PERS par exemple.

Ces recherches sur la sûreté portent notamment sur des innovations techniques concernant par exemple la géolocalisation, la vidéosurveillance embarquée, la détection de produits NRBC, l'inspection des marchandises et des passagers, etc. Elles comprennent également des travaux en sciences sociales, mais ceux-ci demeurent confrontés à une difficulté essentielle : la sûreté est souvent caractérisée par l'incertitude. On peut évaluer des « risques » concernant la délinquance et la criminalité. Ainsi, plusieurs organisations établissent des statistiques sur les différents types d'actes illicites enregistrés dans les différents modes de transport. En revanche, les dommages résultant de certains actes, comme ceux que l'on classe dans la catégorie du terrorisme, ne peuvent pas faire l'objet d'une modélisation du risque.

Dans un tel contexte, le chercheur comme le décideur, a tendance à rechercher des repères, des ressemblances avec des situations connues. Cela explique les nombreux recours aux analogies dans les travaux sur la sûreté. Par exemple, des niveaux de gravité potentiellement élevés et l'absence de probabilité ont pu conduire à l'idée d'une analogie avec certaines catastrophes environnementales ou industrielles, d'où l'utilisation de l'expression « événements extrêmes » pour désigner à la fois des actions terroristes, des accidents résultants de négligences et des catastrophes naturelles purement exogènes.

Concernant la sécurité des transports, certains thèmes de recherche nous sont apparus particulièrement importants. En matière de sécurité routière, de nombreux travaux tendent aujourd'hui à résorber le manque de connaissance sur les usagers vulnérables. C'est un axe essentiel puisque

¹⁴² Aux États-Unis, à partir de 2001, l'accroissement des dépenses de recherche et développement du budget fédéral est presque entièrement consacré aux recherches liées à la défense ou à la sûreté.

ces recherches permettent de comprendre pourquoi ces usagers n'ont pas, ou peu, bénéficié des récents progrès de la sécurité routière. Ces travaux contribuent à y remédier.

On peut également insister sur l'idée « qu'ignorer la dimension santé publique de la mortalité routière n'est pas sans conséquences sur sa prévention » (Gilbert et *al.*, 2006, p. 82). Considérer le « traumatisme routier » comme un enjeu de santé publique suppose de ne pas se focaliser sur le seul rôle du conducteur, mais d'étudier l'ensemble des facteurs influençant sa capacité de conduite ainsi que les interactions homme-véhicule-infrastructure. D'autant que la prise en compte de ces interactions permet d'améliorer non seulement la prévention, mais aussi la protection.

Un autre thème important, concernant tous les modes de transport, est celui des relations entre sécurité et travail. Dans tous les secteurs, les conditions de travail ont une grande influence sur la sécurité des salariés. En France, le Code du travail et plusieurs décisions de justice consacrent une obligation de sécurité au travail. On a vu dans cet état de l'art que de nombreux travaux mettent en évidence les risques particulièrement élevés encourus par les salariés des services de transport. Outre les sur-risques de diverses pathologies, il faut rappeler « qu'un accident du travail mortel sur deux est consécutif à un accident de la circulation routière » (Gilbert et *al.*, 2006, p. 23). Une autre raison de s'intéresser aux conditions de travail dans les transports est qu'elles influencent la sécurité de l'ensemble des usagers. Bien que rares, les catastrophes aériennes ou ferroviaires impliquent un grand nombre de victimes simultanées. Et la mortalité des usagers de la route impliqués dans les accidents de poids lourds est près de dix fois supérieure à la mortalité « interne » au camion.

Les recherches sur les conditions de travail contribuent à prévenir ces accidents. Dans la mesure où la baisse de la vigilance de l'opérateur et la somnolence figurent parmi les principales causes d'accidents, les recherches sur les rythmes et les horaires de travail semblent particulièrement essentielles. En outre, dans le contexte actuel d'intensification de la concurrence, les enjeux soulevés par les travaux sur les normes internationales – et sur les moyens de les faire respecter – paraissent considérables. Quant aux recherches sur les accidents impliquant des professionnels dont le métier n'est pas la conduite, elles sont relativement récentes (Charbotel, 2000), et il serait intéressant de disposer d'une étude sur les effets économiques d'une obligation de prise en charge de la prévention des accidents « de trajet » par l'employeur.

Enfin, il existe relativement peu de travaux sur les relations, et les éventuelles contradictions, entre la sécurité et la sûreté des transports. Plusieurs exemples ont été abordés dans cet état de l'art : celui du transport des matières dangereuses nécessitant à la fois transparence – pour la sécurité – et confidentialité – pour la sûreté –, celui du stationnement dangereux induit par les risques de vol ou de dégradation sur les parkings, etc. Par ailleurs, la mutualisation des procédures et des moyens matériels dévolus aux objectifs de sécurité et de sûreté peut constituer une source d'économies d'échelles. Mais elle peut aussi poser des problèmes, tant au niveau de la protection des libertés individuelles qu'au niveau de la vulnérabilité d'un système où sécurité et sûreté seraient intégrées.

Principales bases et ressources utilisées

CASSIS (Capitalisation, Système de sauvegarde de l'information scientifique) est une base bibliographique créée en 2005 par l'INRETS. En janvier 2008, elle contient 1 583 références avec le mot « sécurité » dans le titre. En revanche, les références à la « sûreté » sont très rares et portent généralement sur la « sûreté de fonctionnement ».

TRIS (Transportation Research Information Services) est la base bibliographique éditée par le Transportation Research Board et la National Transportation Library (dépendant du Bureau of Transportation Statistics). La base contient environ 700 000 références (dont 45 000 en accès plein texte) sur les transports. TRIS exclut notamment les travaux en cours et les travaux répertoriés dans la base de l'ITRD. Une recherche « *safety OR security* » donne une liste d'environ 90 000 références.

ITRD (International Transport Research Documentation) est une base bibliographique créée en 1972 par l'OCDE. Elle est alimentée par 30 institutions de 23 pays. Les recherches sont effectuées simultanément dans quatre langues (allemand, anglais, espagnol, français) à l'aide d'un thesaurus. D'abord spécialisée en transport routier, l'ITRD répertorie à présent des travaux concernant tous les modes de transport. Elle contient 400 000 références, y compris des travaux en cours. Une recherche « *safety OR security* » donne une liste d'environ 64 000 références.

Nous avons également consulté ISIDORE (Informations scientifiques et documentation sur la recherche et l'écologie), base bibliographique de la DRI (Direction de la recherche et de l'innovation) :

<http://portail.documentation.equipement.gouv.fr/drast/recherche.xsp>

Bibliographie

- Abric, Saad et Pianelli. Les représentations sociales de la vitesse, de la limitation de vitesse et du LAVIA chez les conducteurs : contenus, structures et relations. Actes INRETS n°105, pp. 169–85, 2006.
- ACRP. ACRP Synthesis 3: General Aviation Safety and Security Practices, a Synthesis of Airport Practice. Transport Research Board, 2007.
- J. Adam. Le management de la sûreté du fret ou comment faire face aux vols de marchandises, CELSE, 2006.
- M. Allais. « Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : une critique des postulats de l'école américaine ». *Econometrica*, 21: 503–46, 1953.
- S. Ambellouis et M. Berbineau. Étude d'un système de vidéo et d'audio surveillance sans fil. Rapport INRETS n° 275, 2007.
- F. Badeig. Gestion de crise : de la simulation à la prise de décision. Rapport d'avancement de thèse (université Paris-Dauphine/INRETS), 2007.
- B. Ballenger. « A Public–private Partnership: FAA and Committee F39 Work Together to Enhance Aircraft Safety ». *ASTM Standardization News*, 35(8), 2007.
- G. Becker. « Crime an Punishment: an Economic Approach ». *Journal of Political Economy*, March–April, 78: 169–217, 1968.
- G. Becker. « Nobel Lecture: The Economic Way of Looking at Behavior ». *Journal of Political Economy*, 101(3), 1993.
- G. Becker and Y. Rubinstein. « Fear and the Response to Terrorism: an Economic Analysis », Working Paper, 2004.
- G. Benattar, J.-Y. Chauviere et J.-L. Picquand. Sécurité des transports de fret ferroviaire et avenir de la surveillance générale SNCF à la suite de la libéralisation européenne. Rapport du Conseil général des Ponts et Chaussées n° 2005-0065-01, 2006.
- D. Black. « The Geometry of Terrorism ». *Sociological Theory*, 22(1): 14–25, 2004.
- E. Blais et M. Ouimet. « L'effet des interventions légales sur les accidents mortels et associés à la conduite avec facultés affaiblies au Québec entre 1980 et 2001 ». *Canadian Journal of Criminology*, 47(3), juillet 2005, 2005.
- P. Blancher et S. Mailet. État de l'art de la gestion concertée des transports de matières dangereuses aux niveaux régional et local. PREDIT 2002–2006, GO3, 2006¹⁴³.
- O. Boyer. « Comment les contrôleurs vivent l'insécurité », *La Vie du Rail et des transports*, n° 2746, 2000-05, 2000.
- K. Button and G. McDougall. « Institutional and Structure Changes in Air Navigation Service-providing Organizations ». *Journal of Air Transport Management*, 12: 236–52, 2006.

¹⁴³ http://portail.documentation.equipement.gouv.fr/documents/drast/RMT06-018_FICHIER_1.pdf.

- S. H. Cardoso, D. Maurino and J. Fernandez . « Methodology to Estimate Individual and Overall Performance Indicators for Airport Safety Management Systems ». Presentation at the TRB 87th Annual Meeting, 2008.
- P. Cariou, M. Meija, F. Wolff. « An Econometric Analysis of Deficiencies Noted in Port State Control Inspections ». *Maritime Policy and Management*, 34(3), 2007.
- I. Castelo Tario, B. De la Flor Magdaleno, F.J. Gil Martín, N. Peláez Corres, A. Castaños Urkullu, R. García Bercedo. « Coordination of Emergency Services in Aquatic Environments ». *Medicina Marítima*, juin 2004, 4(1): 63–70, 2004.
- M. Caruso. « Le kaléidoscope des états de stress professionnel dans le secteur des transports urbains de voyageur ». In: Bernard Gangloff (ed.), *Satisfactions et souffrances au travail*, Paris : L'Harmattan, pp. 91–100, 2000.
- C. Caubet, S. Chambon, N. Guillaud, M. Graff, P. Lahoz, J-C. Morizot, A. Rigaud. *Gestion des appels d'urgence routiers – Contexte et perspectives d'évolution*, Collection du CERTU, 2001.
- M. Celik and Z. ER. « Definitions of Human Factor Analysis for Maritime Safety Management Process ». In: Detlef Nielsen (ed.), *Proceedings of the 6th IAMU Annual General Assembly « Maritime Security and MET »*, Witt Press: Southampton, pp. 235–244, 2005.
- B. Charbotel. « Les accidents de la route liés à une activité professionnelle », *Le véritable enjeu de l'insécurité routière : la victime*. Actes INRETS n° 81, 2001, pp. 69–74, 2000.
- J. Chow, J. Chiesa, P. Dreyer, M. Eisman, T. Karasik, J. Kvitky, S. Lingel, D. Ochmanek, C. Shirley. *Protecting Commercial Aviation Against the Shoulder-fired Missile Threat*, RAND Corporation¹⁴⁴, 2005.
- Commission européenne. *Rapport de la Commission au Conseil et au Parlement européen concernant la sûreté des transports et son financement*, Bruxelles ; 1.8.2006 COM (2006) 431 final, 2006.
- C. Corbett and F. Simon. « Decisions to Break or Adhere to the Rules of the Road, Viewed From the Rational Choice Perspective ». *British Journal of Criminology, Delinquency and Deviant Social Behaviour*, 32: 537, 1992.
- M. Crenshaw. *Terrorism in Context*. Pennsylvania State University Press, 1995.
- C. Cubbin, F. LeClere, and G. Smith. « Socioeconomic Status and Injury Mortality: Individual and Neighbourhood Determinants ». *Journal of Epidemiology and Community Health*, 54: 517–24, 2000.
- M. Cuvelier. *État de l'art des systèmes d'alerte d'urgence en France et en Europe*. Rapport de synthèse INRETS, 2001.
- M. Cuvelier. *Sécurité ferroviaire, bases de données–incidents. État de l'art dans les domaines aérien, maritime, routier et ferroviaire*. Rapport INRETS, 2004.
- T. Degré. « L'importance d'une approche de la sécurité maritime fondée sur les modèles d'évaluation des risques ». *Recherche Transports Sécurité*, 78: 21–32, 2003.
- T. Degré et Z. Benabbou. « Vers une automatisation de la détection des navires à haut risque avec IRIS, un indicateur de risque individuel de navires pour la sécurité en mer ». *Recherche Transports Sécurité*, 86: 1–15, 2005.

¹⁴⁴ http://rand.org/pubs/occasional_papers/2005/RAND_OP106.pdf.

- T. Degré. « From Black–Grey–White Detention Based Lists of Flags to Black–Grey–White Casualty Based Lists of Categories of Vessels, Using a Multivariate Approach? ». *The Journal of Navigation*, 63: 1–13, 2008.
- M.J. Demetsky and C.D. Rountree. Development of Counter Measures to Security Risks From Air Cargo Transport. Center for transportation studies, University of Virginia, Report¹⁴⁵, 2004.
- J.E. Dutton. « The Processing of Crisis and Non-crisis Strategic Issues ». *Journal of Management Studies*, 23: 510–7, 1986.
- N. Eber et M. Willinger. *L'économie expérimentale*, Paris : La Découverte, 2005.
- I. Ehrlich. « Participation in Illegitimate Activities: a Theoretical and Empirical Investigation ». *Journal of Political Economy*, 81(3): 521–65, May–June, 1973.
- M. S. Eide, O. Endresen, P.O. Brett, J.L. Ervik, K. Roang. « Intelligent Ship Traffic Monitoring for Oil Spill Prevention: Risk Based Decision Support Building on AIS ». *Marine Pollution Bulletin*, 54(2): 145–8, 2007.
- E. El Kourssi. « Développement et harmonisation de la sécurité ferroviaire », *Workshop International: Logistique and Transport 2006*, Hammamet, Tunisie, 2006.
- D. Ellsberg. « Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms ». *Quarterly Journal of Economics*, 75: 643–69, 1961.
- R. Elvik. « Economic Deregulation and Transport Safety: a Synthesis of Evidence from Evaluation Studies ». *Accident Analysis and Prevention*, 38: 678–86, 2006.
- W. Enders and T. Sandler. *The Political Economy of Terrorism*. Cambridge University Press, 2006.
- EPSF. *Rapport sur la sécurité du réseau ferré national*, 2006.
- C. Espinasse. *Le deuil de l'objet voiture chez les personnes âgées*. Rapport final, PREDIT, 2005.¹⁴⁶
- FAO. *Safety at Sea as an Integral Part of Fisheries Management*, circ. n°996, 2001.
- T. Fowler and E. Sørsgard. « Modelling Ship Transportation Risk ». *Risk Analysis*, 20(2): 225–44, 2000.
- C. Gabaude. « Exploration des capacités visuelles et attentionnelles des conducteurs âgés : intérêts et techniques ». *Revue RTS*, n°81, 2003.
- C. Gabaude et L. Paire-Ficout. « Toward a Driving Competency Assessment Encouraging Elderly's Automobility: a French Point of View ». *Proceedings of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 2005.
- M. Gaudry et K. Vernier. *Effets du tracé et de l'état des routes sur la vitesse et la sécurité*. Rapport INRETS n°224, Paris : Les Collections de l'INRETS, 2000.
- J.-P. Giblin (dir). *Constitution d'une base de données nationale des limites de vitesses : opportunité et propositions*. Rapport du Conseil Général des Ponts et Chaussées n°2004-0185-01, 2005.
- G. Gigerenzer. « Dread Risk, September 11, and Fatal Traffic Accidents », *Psychological Science*, 15(4): 286–7, 2004.
- C. Gilbert. *Risques collectifs et situations de crise*. Apports de la recherche en sciences humaines et sociales, Paris : L'Harmattan, 2003.

¹⁴⁵ <http://www.cts.virginia.edu/docs/JVACTS-5-14-63.pdf>.

¹⁴⁶ <http://urbamet.documentation.equipement.gouv.fr/documents/Urbamet/0268/Urbamet-0268911/CETTEXST005785.pdf>.

- C. Gilbert (dir.). Recherche et sécurité routière, pour une action publique renouvelée. Cahiers de la MSH-Alpes n°6, PREDIT¹⁴⁷, 2006.
- P. Gordon and H.W. Richardson (dir.). The Economic Impacts of Terrorist Attacks, Cheltenham: Edward Elgar, 2005.
- R. Grandmaison et P. Tremblay. « Évaluation des effets de la télésurveillance sur la criminalité commise dans 13 stations du métro de Montréal », *Criminologie*, vol 30, n°1¹⁴⁸, 1997.
- M.D. Greenberg, P. Chalk, H. Willis, I. Khilko, D.S. Ortiz. Maritime Terrorism: Risk and Liability, RAND Center for Terrorism Risk Management Policy, 2006.
- M. Guilbot et V. Ferrant. « L'insécurité routière : quel(s) coupable(s) devant le juge pénal ? ». *Espaces et Société* n°118, Les savoirs et l'action, la sécurité routière, pp. 149–67, 2004.
- M. Guilbot. Accidents de la route, infrastructure et responsabilités, La Documentation française, collection « synthèses » — Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (PREDIT), 2008.
- R. Guyot (dir.). Gisements de sécurité routière : les deux-roues motorisés, La Documentation française¹⁴⁹, 2008.
- W. Haddon Jr (1968), « The Changing Approach to the Epidemiology, Prevention, and Amelioration of Trauma: the Transition to Approaches Etiologically Rather than Descriptively Based ». *American Journal of Public Health*, 58: 1431–8.
- H. Hadj-Mabrouk, A. Hadj-Mabrouk, et M. Dogui. Sécurité ferroviaire et facteurs humains : Apport de la chronobiologie de la vigilance. Synthèse INRETS n°38, 2002.
- H. Hadj-Mabrouk et I. Triki. « La réglementation européenne en matière de sécurité ferroviaire ». *Revue Générale des Chemins de fer*, avril 2003, 4: 5–19, 2003.
- F. Hamelin, V. Spenlehauer, J. Aust et A. Purenne. La police des chemins de fer. Leçons d'une analyse comparée France–Angleterre. Rapport INRETS, convention F05-54, 2007.
- P. Hamelin. « La durée du travail des conducteurs professionnels comme enjeu de la flexibilité et de la compétitivité des transports routiers de marchandise », *BTS Newsletter*, 15–16: 42–51¹⁵⁰, 2001.
- M. Heddebaut, J-P. Ghys, J. Rioult, F. Boukour. « Balise d'information FM-RDS pour patrouilleur destinée à limiter le risque de sur-accident sur voies de circulation ». *Transport Environnement Circulation*, septembre, n°195, 2007.
- E. Heilmann. « La vidéosurveillance, une réponse à la criminalité ? », *Criminologie*, 1: 89–102, 2003.
- E. Heilmann et M.-N. Mornet. Vidéosurveillance et prévention de la criminalité : l'impact des dispositifs dans les espaces urbains en Grande-Bretagne, Paris : IHESI, collection Études et Recherches, 2003.
- N. Hilal. « Effets pervers des déréglementations européennes : le cas du transport routier de marchandises ». *Sociologie du Travail*, 48(2): 175–87, 2006.
- Y. Huang, Y. Fan, R.L. Cheu. « Optimal Allocation of Multiple Emergency Service Resources for Protection of Critical Transportation Infrastructure ». *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2022: 1–8¹⁵¹, 2007.

¹⁴⁷ <http://portail.documentation.equipement.gouv.fr/documents/dri/PREDIT0071.pdf>.

¹⁴⁸ <http://www.erudit.org/revue/CRIMINO/1997/v30/n1/017399ar.pdf>.

¹⁴⁹ <http://developpementdurable.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Urbamet/0286/Urbamet-0286194/PREDIT0109.pdf>.

¹⁵⁰ <http://hesa.etui-rehs.org/fr/newsletter/files/2001-15p42-51.pdf>.

¹⁵¹ http://pubs.its.ucdavis.edu/download_pdf.php?id=1141.

- IAURIF. Évaluation de l'impact de la vidéosurveillance sur la sécurisation des transports en commun en Île-de-France. Note Rapide Sécurité et Comportement n°366, 2004.
- F. Johansson, M. Gaudry, M. de Lapparent, M. Lericolais, D. Mignot, D. Schwartz. Économie de la sécurité routière : enjeux, état des lieux et réflexions prospectives, Synthèses PREDIT. La Documentation française, 2007.
- S.O. Johnsen. « Deregulation and Transport safety in Rail – What is Best Practice in EU? ». Proceedings of Presentations from the Workshop arranged 16/10 2003 in Brussels, 2003.
- D. Kahneman and A. Tversky (1974), « Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases ». Science, NS, 185(4157): 1124–31.
- S. Knapp et P.H. Frances. « A Global View on Port State Control: Econometric Analysis of the Differences across Port State Control Regimes ». Maritime Policy and Management, 34(5) 2007.
- S. Lafont, B. Laumon. « Vieillesse et gravité des atteintes lésionnelles des victimes d'accident de la circulation routière ». Revue RTS, n°79–80, 2003.
- P. Lagadec. La gestion des crises, Paris : McGraw-Hill, 1991.
- P. Lagadec. « La recherche confrontée à la question des crises. Pour des ruptures créatrices ». In: Claude Gilbert (dir.). Risques collectifs et situations de crise. Apports de la recherche en sciences humaines et sociales, Paris, L'Harmattan, Collection Risques collectifs et situations de crise, 2003, pp. 297–316, 2003.
- F. Lemieux. « Évaluation des impacts d'une "gestion de crise" : une étude de cas ». Criminologie, 36(1)¹⁵², 2003.
- M. Lericolais. « Modélisation des comportements terroristes : apports et limites de la théorie économique », Workshop Interdisciplinaire sur la sécurité globale, université de Technologie de Troyes, 29/01/08, 2008.
- T. Libaert. La communication de crise, Paris : Dunod, 2005, 2001.
- C. Loescher. La recherche française en sécurité routière, Rapport pour la DRI, 2007.
- F. Malbrunot et H. Costa Helias. Traitement des appels d'urgence sur le réseau routier en Europe – Rapport de synthèse, Collection du CERTU, 2000.
- C. Marin-Lamellet, L. Paire-Ficout, S. Lafont, H. Amevia, B. Laurent, C. Thomasanterior, S. Dirson, C. Fabrigoule. « Mise en place d'un outil d'évaluation des déficits d'attention en lien avec les capacités de conduite et le risque d'accident dans le vieillissement normal et pathologique : l'approche pluridisciplinaire de SEROVIE ». Revue RTS, n°81, 2003.
- C. Menard et A. Yvrande-Billon. « Institutional Constraints and Organizational Changes: the Case of the British Rail Reform ». Journal of Economic Behaviour and Organization, 56 (4), pp. 675-99, 2005.
- M. Millot. Étude des liens complexes entre formes urbaines et insécurité routière. Rapport d'étude, CERTU, 2004.
- G. Miquel. Rapport de la commission des Finances, du contrôle budgétaire et des comptes économiques de la Nation sur la recherche en sécurité routière. Rapport du Sénat n°29¹⁵³, 2002.
- G. Morel. Étude des abordages impliquant des navires de pêche : deuxième phase. Rapport final pour la DRI (ex-DRAST), 2007.

¹⁵² <http://www.erudit.org/revue/crimino/2003/v36/n1/006553ar.pdf>.

¹⁵³ <http://www.senat.fr/rap/r02-029/r02-0291.pdf>.

- MOUVEMENT, PREDIT. La gestion du risque routier dans l'entreprise, Paris : Cabinet Mouvement, 1992.
- P. Murray-Tuite. « Transportation Network Risk Profile for an Origin-destination Pair: Security Measures, Terrorism, and Target and Attack Method Substitution ». Presentation at the 87th Annual Meeting of the TRB, 2008.
- J. Nilson. Restructuring Sweden's Railways: the Unintentional Deregulation. Swedish National Road and Transport Research Institute, VTI särtryck 356 A, 2003.
- OCDE. Vieillesse et transports : concilier mobilité et sécurité. Paris, 2001.
- OCDE. Maritime Security – Options to Improve Transparency in the Ownership and Control of Ships¹⁵⁴, 2004.
- OCLDI. Évolution des vols de fret depuis 2002. Rapport de l'Office central de lutte contre la délinquance itinérante, 2008a.
- OCLDI. Les vols de fret en 2007. Rapport de l'Office central de lutte contre la délinquance itinérante, 2008b.
- OMS. Rapport mondial sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la circulation¹⁵⁵, 2004.
- OND. 1^{er} Rapport annuel de l'observatoire national de la délinquance¹⁵⁶, 2005.
- OND. 2^e Rapport annuel de l'observatoire national de la délinquance¹⁵⁷, 2006.
- M. Ouimet et P. Tremblay. « Trajets urbains et risques de victimisation : les sites de transit et le cas du métro de Montréal ». Criminologie 34(1)¹⁵⁸, 2001.
- R. Pape. Dying to Win: The Strategic Logic of Suicide Terrorism, New York: Random House, 2005.
- T.C. Pauchant, N. Roux-Dufort. « La gestion des crises et de la contre-production. Votre entreprise est-elle apprenante ? ». Revue Internationale de Gestion, n°19, 4: 35–47, 1994.
- C. Perrin. « Classic Scooter Mopeds, Comparison of Dynamic Capacities ». Small Engine Technology Conférence 2002 Kyoto Japan, JSAE paper n°20024324, SAE paper 2002-32-1831, 2002.
- C. Perrow. « The Limits of Safety: the Enhancement of a Theory of Accidents ». Journal of Contingencies and Crisis Management, n°2, 4: 212–20, 1994.
- A. Petitfaux. Rapport de mission d'étude sur la typologie des impacts socioéconomiques des évolutions récentes de la réglementation sûretaire en matière de fret maritime conteneurisé. DGITM-DST-Mission Sûreté Défense, 2008.
- E. Quinet. Principes d'économie des transports, Paris : Economica, 1998.
- J.A. Robinson. « Crisis », In: Sills (dir.) International Encyclopedia for Social Sciences, New York, 3: 510–4, 1968.
- C. Roux-Dufort. La gestion de crise, Paris : De Boeck Université, 2003, 2000.

¹⁵⁴ <http://www.oecd.org/dataoecd/62/39/32049167.pdf>.

¹⁵⁵ http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/fr.

¹⁵⁶ <http://www.inhes.interieur.gouv.fr/fichiers/RapportComplet2.pdf>.

¹⁵⁷ http://www.inhes.interieur.gouv.fr/fichiers/rapport_OND2006_complet.pdf.

¹⁵⁸ <http://www.erudit.org/revue/crimino/2001/v34/n1/004759ar.pdf>.

- F. Saad, A. Bekiaris, O. Carsten, M. Hjalmdahl, M. Hoedemaker, L. Ojeda, V. Papakostopoulos, F. Nathan, B. Vezier. General Experimental Plan for Short and Long-term Behavioural Assessment. Rapport pour le programme AIDE, 2005.
- S. Salama and D. Wheeler. « From the Horse's Mouth: Unravelling Al-Qa'ida's Target Selection Calculus ». Center for non-proliferation studies¹⁵⁹, 2007.
- P.A. Samuelson. Foundations of Economic Analysis, Cambridge, Harvard University Press, 1947.
- T. Sanquist, M. Raby, A. Forsythe et A. Carvalhais. « Work Hours, Sleep Patterns and Fatigue among Merchant Marine Personnel ». Journal of Sleep Research, 6: 245–51, 1997.
- V. Sartre. La communication de crise, Paris : Demos, 2003.
- R. Schmidt-Cotta, H. Steffan, A. Kast, S. Labbett, M. Brenner. VERONICA Vehicles Event Recording based on Intelligent Crash Assessment: Final Report¹⁶⁰, 2006.
- G. Simmel « The Secret Society ». In: K.H. Wolff (ed.). The Sociology of Georg Simmel, New York: Free Press, 1908.
- P. Slovic. « Perception of Risk ». Science, 236: 280–5, 1987.
- P. Slovic and E. Weber. « Perception of Risk posed by Extreme Events ». Conference on risk management strategies in an uncertain World, New York, April 12–13, 2002.
- S. Srinivasan, C. Bhat, J. Holguin-Veras. « Empirical Analysis of the Impact of Security Perception on Intercity Mode Choice ». Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1942: 9–15, 2006.
- C. Stephens, O. Ferrante, K. Olsen and V. Sood. « Standardizing International Taxonomies ». ISASI Forum, January–March, pp. 8–13¹⁶¹, 2008.
- TCRP. TCRP Report n°86, Public Transportation Security vol. 13, Public Transportation Passenger Security Inspections: a Guide for Policy Decision Makers, Washington: Transportation Research Board, 2007.
- A. Tokatlian. La protection internationale des marins. Mémoire de droit maritime et des transports, université d'Aix-Marseille¹⁶², 2002.
- G. Tullock. « An Economic Approach to Crime ». Social Science Quarterly, June, 1: 59–71, 1969.
- M. Tunland. Deregulation and Transport Safety, Master thesis in safety, health and the environment, SINTEF and Norwegian university of science and technology, 2004.
- US GAO. Port Risk Management, Additional Federal Guidance Would Aid Ports in Disaster Planning and Recovery. Report to Congressional Committees, GAO-07-412¹⁶³, 2007.
- US GAO. Supply Chain Security. Examinations of High-risk Cargo at Foreign Seaports Have Increased, but Improved Data Collection and Performance Measures are Needed. Report to Congressional Requesters, GAO-08-187¹⁶⁴, 2008.
- D. Uzzell, J. Brown and G. Breakwell. Public Perceptions and Attitudes Towards Crime, Safety and Security in Three International Railway Stations: Waterloo, la Gare de Lyon and Roma Termini. Rapport de l'Union internationale des chemins de fer, 2000.

¹⁵⁹ <http://cns.miis.edu/stories/070417.htm>.

¹⁶⁰ http://www.vdo.com/NR/rdonlyres/3E81300F-7BE6-493B-89AE-194CEACD2F8F/0/final_report_29112006.pdf.

¹⁶¹ <http://intlaviationstandards.org/Documents/ISASI%20Forum%20CICTT%20article.pdf>.

¹⁶² <http://www.cdm.t.droit.u-3mrs.fr/memoires/2002/m02toau.doc>.

¹⁶³ <http://www.gao.gov/new.items/d07412.pdf>

¹⁶⁴ <http://www.gao.gov/new.items/d08187.pdf>

- M. Van de Voort, K. O'Brien, A. Rahman, L. Valeri. « Seacurity », Improving the Security of the Global Sea-container Shipping System. RAND Center for Terrorism Risk Management Policy, 2003.
- P. Van Elslande. « Scénarios d'accidents impliquant des deux-roues à moteur : une question d'interaction ». Actes des deuxièmes Journées d'étude en psychologie ergonomique, Boulogne-Billancourt : Société française de psychologie, 2003.
- H. Villegas, P L. Gurian, J. M. Heyman, A. Mata, R. Falcone, E. Ostapowicz, S. Wilrigs, M. Petragani, E. Eisele. « Trade-offs between Security and Inspection Capacity: Policy Options for Land Border Ports of Entry », Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 1942, 2006.
- K.E. Weick. « The Vulnerable System. an Analysis of the Tenerife Air Disaster ». Journal of Management, 16: 571–93, 1990.
- C. Wolmar. Broken Rails. How Privatisation Wrecked Britain's Railways, London: Aurum press Ltd, 2001.
- M. Yilmazel and E. Asyali. « An Analysis of Port State Control Inspections Related to the ISPS Code ». In: Detlef Nielsen (ed.). Proceedings of the 6th IAMU Annual General Assembly « Maritime Security and MET ». Witt Press: Southampton, pp. 169–78¹⁶⁵, 2005.

¹⁶⁵ <http://www.iamu-edu.org/generalassembly/aga6/pdf/s2-yilmazel.pdf>.