

État de l'art sur les risques et les indicateurs

Introduction

Après avoir présenté, dans le chapitre précédent, le contexte de la planification du transport routier de marchandises, nous allons dresser un bref état de l'art de plusieurs thèmes en lien avec notre problématique : « Comment aider le planificateur à choisir un planning dans un contexte risqué ? »

Précédemment, nous avons formulé le constat que les plannings de transport sont régulièrement perturbés au cours de leur réalisation par des aléas ou risques venant impacter ces différentes activités. L'ensemble de ces risques représente le contexte incertain de la planification. Nous allons présenter, dans ce chapitre, la notion de risque et décrire le processus de management de risques permettant de les identifier, les évaluer et les traiter. Plusieurs méthodes et outils permettant de prendre en compte les risques seront également présentés et discutés. Cette première partie permet de prendre en compte le contexte incertain lié à la planification.

Un des objectifs de ces travaux de thèse est de faciliter l'identification et l'évaluation des risques sur un ensemble de planning se réalisant dans un même contexte. Du fait de contraintes de délai fortes pour réaliser ces activités et du nombre potentiellement élevé de plannings différents à évaluer, nous souhaitons automatiser ces étapes d'identification et d'évaluation des risques. Ainsi, le planificateur pourra se concentrer sur la sélection du ou des plannings les plus adaptés à ses objectifs. Pour cela et afin d'aider le planificateur, nous présentons une analyse des indicateurs permettant de qualifier un planning dans un contexte incertain.

Cette étude des indicateurs sera réalisée dans l'optique de proposer des indicateurs adaptés au domaine du transport routier de marchandises. Une attention particulière sera portée à la capacité de ces indicateurs à prendre en compte une évaluation a-priori des risques pouvant impacter un planning.

2.1 La notion de risque

Le planning d'une tournée est une représentation des différentes activités à mener pour effectuer les livraisons répondant aux commandes passées par les clients. Les ressources mobilisées (véhicule, conducteur) pour réaliser ces activités sont également représentées sur le planning journalier. Un projet tel que défini par ISO 10006 *est un processus unique, qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques.*

C'est ainsi que la représentation d'un planning de tournée peut utiliser des formalismes similaires à ceux utilisés pour représenter un planning d'un projet. Pour définir la notion de risque dans un planning de tournée nous allons nous intéresser à la notion de risque en projet et plus spécifiquement à la modélisation des risques en lien avec les plannings de projet.

2.1.1 Définitions

Aujourd'hui, de plus en plus de termes visent à être normalisés. Cela permet d'assurer une communauté de langage entre les différents acteurs qui utilisent ces termes, qu'ils soient issus du monde industriel ou du monde académique. Ces standards sont exprimés sous la forme de normes. Dans le domaine du management des risques, la norme ISO31000 (2018) propose, entre autres, une définition du terme risque. La définition du risque proposée dans cette norme est la suivante : « effet de l'incertitude sur les objectifs ». L'effet est considéré comme : « un écart par rapport à un attendu. Il peut être positif, négatif ou les deux à la fois, et traiter, créer ou entraîner des opportunités et des menaces. »

Au cours de l'histoire, de nombreux auteurs ont proposé des définitions du terme risque. Selon Lowrance (1976), le risque est caractérisé par la mesure de la probabilité et le poids des conséquences indésirables. Pour Kaplan et al. (1981), le risque est caractérisé par un triplet (si, pi, ci) , où si correspond à un des scénarios du risque, pi à la probabilité de ce scénario, et ci est la conséquence du scénario si . Le risque est l'expression d'influence et la possibilité d'un accident au sens de la gravité de l'accident potentiel et de la probabilité de l'événement (MIL-STD-882D, 2000). Le bilan de ces définitions est que quelque soit la définition, les auteurs cherchent à caractériser la probabilité d'apparition de l'événement ainsi que les conséquences de celui-ci soit en parlant de gravité, de poids, d'impact...

Gourc (2006) fait référence à la performance et présente le risque comme : « la possibilité que survienne un événement dont l'occurrence entraînerait des conséquences (positives ou négatives) sur la performance du système. Un risque est caractérisé par au moins deux dimensions : sa probabilité et la mesure de ses effets potentiels ». Cette vision du risque est reprise par Rongier (2012) qui l'applique à la gestion de la réponse à une crise permettant de proposer un système d'aide à la décision basé sur la performance.

Cette vision du risque avec deux dimensions peut également être observée dans l'ouvrage « La gestion des risques » (Desroches, 2015). Pour l'auteur, le risque est

« une grandeur à deux dimensions ». La première dimension est la probabilité qui donne une mesure de l'incertitude que l'on a sur la deuxième dimension, nommée la gravité, qui donne les conséquences, en termes de quantité de dommages de l'événement redouté.

Selon Sotic et al. (2015), qui font une revue de la littérature des définitions d'un risque, les définitions de risques couramment utilisées dans la pratique peuvent être classées en plusieurs groupes, dans lesquels le risque est exprimé. Les trois groupes proposés par Sotic et al. (2015) sont :

- par moyenne d'incertitudes et de valeurs attendues ;
- événements / conséquences et incertitudes ;
- en relation avec les objectifs.

Le premier groupe fait référence au risque d'incertitude et à la notion que les valeurs prévisionnelles des impacts ne sont pas forcément celles qui sont mesurées lors de la réalisation d'un projet. Le deuxième groupe fait référence au risque événement, c'est à dire qu'un événement vient perturber le projet et va donc avoir un impact sur celui-ci. Le dernier groupe est une restriction de la partie objectif des deux premiers groupes. La différence est que l'intérêt de l'étude du risque porte uniquement sur l'objectif du projet. Si la valeur estimée n'est pas la bonne et que cela n'a aucune conséquence sur l'objectif, alors ce n'est pas pris en compte par ce dernier groupe. De la même manière, si un événement impacte un projet mais que l'impact ne modifie pas l'objectif observé, alors ce risque n'est pas présent dans ce groupe.

Pour l'application au transport routier de marchandises, en accord avec la norme ISO31000 (2018), nous pensons que le risque peut être considéré comme l'effet de l'incertitude sur les objectifs. La conservation des deux dimensions est primordiale pour décrire un risque. Car il faut avoir la possibilité de caractériser l'événement potentiel ainsi que les conséquences de celui-ci. Nous utiliserons donc la probabilité comme étant la mesure d'occurrence d'un risque ou de l'événement associé et l'impact comme étant la mesure des effets potentiels du risque.

Connaître les risques est un atout pour l'élaboration d'un projet car il permet d'identifier les différents événements pouvant le perturber. Il est donc primordial d'anticiper les risques. Cela nous amène à la notion de management des risques.

2.1.2 Processus de management des risques

Le management des risques peut apporter une aide précieuse à la gestion de projet. Cela doit permettre au décideur de prendre les bonnes décisions. Aujourd'hui, selon ISO31000 (2018), le processus de management des risques est défini comme « les activités coordonnées dans le but de diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque ». Pour cela, le management des risques se base sur un processus. Dans la littérature, aussi bien dans le domaine industriel que dans le domaine académique, les méthodes de gestion des risques se réfèrent à un processus standard présentant des étapes bien connues (BSI, 2000 ; I. ISO31000, 2009 ; PMBOK, 2013) :

- identification des risques ;

-
- évaluation des risques ;
 - traitement des risques ;
 - suivi des risques.

Au sein du processus de management des risques, l'étape d'identification des risques a pour objectif d'élaborer une liste ou une base de données des risques liés aux projets d'une entreprise. Pour que cette base de données soit la plus complète possible, il est conseillé de solliciter la plus grande diversité d'acteurs possibles, compétences et expertises complémentaires, afin de couvrir l'ensemble des aspects de l'activité.

L'étape d'évaluation des risques a pour objectif de caractériser chacun des risques précédemment identifiés. Cela consiste à estimer l'occurrence d'apparition d'un risque ainsi que son niveau d'impact. Cette évaluation peut utiliser des échelles de valeur quantitative ou qualitative (symbolique). Une évaluation quantitative revient à donner une valeur numérique à chacune des dimensions du risque : par exemple l'impact peut être évalué en nombre de jours de retard. Une évaluation qualitative s'appuie sur une échelle (par exemple Faible, Moyen, Fort, Très fort) pour l'évaluation de la gravité et de l'occurrence. A partir de ces évaluations, il est possible de construire une matrice de gravité/occurrence dans laquelle l'ensemble des risques sont répertoriés selon ces deux dimensions. Pour illustrer cela, prenons deux échelles de valeurs à quatre dimensions, la matrice résultante contient seize cases par la combinatoire des quatre possibilités pour la gravité et des quatre possibilités pour l'occurrence. Il est également possible de calculer un niveau de criticité, attribué à chaque case, pour déterminer la hiérarchisation des risques.

L'étape de traitement des risques a pour objectif de définir les actions pour diminuer l'occurrence et/ou l'effet qui se produit sur le projet. Généralement, comme il est rarement possible de traiter l'ensemble des risques identifiés, la hiérarchisation permet de sélectionner les risques les plus critiques, pour lesquels il est primordial d'identifier des actions de traitement. Dans cette phase, les traitements correspondent à la mise en place d'actions préventives et d'actions correctives.

La dernière étape correspond au suivi des risques. Son objectif consiste à observer quel risque impacte le projet en temps réel et d'assurer un suivi des actions de traitement programmées en vérifiant leur pertinence et leur efficacité. Lors de cette phase, des actions de traitements correctifs peuvent également être appliquées pour diminuer l'impact des risques.

Ces étapes génériques d'un processus de management des risques font appel à diverses méthodes ou outils pour être réalisées. Dans la section suivante, nous allons nous intéresser à quelques-unes d'entre elles.

2.1.3 Exemples de méthodes pour outiller le processus de management des risques

Dans cette section, nous allons présenter quelques exemples de méthodes dédiées principalement aux phases d'identification et d'évaluation des risques dans le processus de management des risques.

Concernant la phase d'identification des risques, la plupart des méthodes développées s'appuient sur le retour d'expérience des experts, l'analyse des cas passés et la réalisation d'interviews. Voici quatre grandes méthodes connues pour l'identification des risques :

- QQQQCPC ;
- Brainstorming ;
- Delphi ;
- Nominal Group Technique (NGT).

Selon Canonne et al. (2013), la méthode QQQQCPC permet de récupérer l'ensemble des informations d'un sujet étudié. Bertoluci (2001) qualifie cette méthode de « technique de recherche d'informations sur un problème et ses causes » permettant de bâtir un plan d'action par la suite. Cette méthode consiste à poser les questions : Quoi ?, Qui ?, Où ?, Quand ?, Comment ?, Pourquoi ? et Combien ? La méthode permet, par sa structure détaillée de questions, d'aborder les différents aspects d'un sujet à traiter. Toutefois cette méthode est consommatrice de temps pour pouvoir traiter l'ensemble des sujets et des risques pouvant impacter un planning.

La méthode de Brainstorming a pour objectif de tirer parti de la créativité des participants (Isaksen, 1998). Cette méthode consiste en un partage massif d'idées par chaque participant sans qu'il n'y ait de critique formulée par les autres participants. Les trois phases sont la définition du sujet, l'animation pour la création des idées et l'exploitation des idées. L'étape ultime est la sélection d'idées que l'on souhaite conserver pour le projet. Selon Litcanu et al. (2015), cette méthode a de nombreux avantages comme la rapidité d'action, le développement de la créativité, l'adaptation au travail en équipe mais également le fait que cette méthode est applicable dans tous les domaines. Cooper et al. (2005) précisent que l'ensemble des parties prenantes peut participer à cette méthode car cela permet de traiter le problème selon plusieurs visions.

La méthode Delphi consiste à rassembler un certain nombre d'avis d'experts sur un sujet précis. Elle permet d'effectuer la phase d'identification mais également la phase d'évaluation des risques. Cette méthode consiste à demander aux experts de renseigner un questionnaire anonyme sans qu'ils puissent se concerter entre eux. L'objectif est de présenter les résultats aux experts après une première analyse pour exposer les opinions qui divergent et leur permettre de justifier leurs points de vue sur la question. Après plusieurs itérations, les arguments doivent permettre de converger vers un accord commun entre les différents experts. Woudenberg (1991) explique que la limite de cette méthode porte sur le fait que la discussion entre les participants est restreinte. Quant à eux, Kea et al. (2015) expliquent que la méthode Delphi se focalise uniquement sur la vision globale et ne permet pas un travail détaillé sur un sujet.

La méthode NGT est un processus de groupe impliquant l'identification des problèmes, la production de solution, et la prise de décision. La méthode est composée de cinq étapes : introduction et explication du but et de la procédure de la réunion, imagination silencieuse d'idées, partage des idées, discussion de groupe, vote et classement. L'application à l'identification des risques conduit chacun des participants :

à produire une réflexion personnelle permettant d'exposer les risques et à partager les risques identifiés où l'animateur expose l'ensemble des propositions. Sur cette base, une discussion de groupe permettant les échanges et une clarification des idées est réalisée pour arriver à un vote et classement des idées pour converger vers une priorisation des risques. Murphy et al. (1998) exposent que cette méthode présente un avantage par rapport à la méthode Delphi résidant dans la discussion qui permet d'enrichir la réflexion et de croiser les avis. Cette méthode nécessite un nombre de participants important.

Le contexte industriel étant complexe, de nombreuses méthodes ont été créées pour répondre aux besoins des entreprises dans le management des risques. Tixier et al. (2002) proposent une classification de 62 approches existantes. La classification distingue les méthodes déterministes et/ou probabilistes, mais également les méthodes qualitatives ou quantitatives. Par la suite, il classifie également ces différentes méthodes en fonction des données d'entrées nécessaires à la méthode. A partir de cette étude, il en conclut sept classes de données d'entrées présentées ci-dessous :

- Les plans ou schémas sont liés à la description du site, de l'installation, des unités, des réseaux de fluides, des barrières de sécurité et des stockages ;
- Le processus et les réactions sont liés à la description des opérations et des tâches, aux caractéristiques physiques et chimiques du processus, aux paramètres cinétiques et calorimétriques, aux conditions de fonctionnement et aux conditions de fonctionnement normales ;
- Les substances sont liées au type de substance, aux propriétés physiques et chimiques, aux quantités et aux données toxicologiques ;
- La probabilité et la fréquence sont liées au type de défaillance, à la probabilité et à la fréquence de défaillance, à la défaillance humaine, au taux de défaillance et à la probabilité d'exposition ;
- La politique et la gestion concernent la maintenance, l'organisation, la politique de sécurité, le système de gestion de la sécurité, la gestion des transports et le coût des équipements ;
- L'environnement est lié à l'environnement du site, aux données topographiques et à la densité de population ;
- Le texte et les connaissances historiques sont liés aux normes et règlements, ainsi qu'aux connaissances historiques.

Gourc (2006) propose une grille de lecture différente, classifiant les approches de gestion des risques suivant qu'elles soient symptomatiques ou analytiques. Le premier groupe d'approches, aussi appelées risque-incertitude, est associé à des approches où la gestion des risques du projet se transforme en gestion des incertitudes (Ward et al., 2003). Le second groupe d'approches considère le risque comme un événement pouvant influencer sur la réalisation des objectifs du projet (Carter et al., 1996).

Parmi les nombreuses méthodes prenant en charge la totalité du processus de management des risques, nous avons décidé de présenter quatre des méthodes les plus connues :

- APR ;

- AMDEC;
- HAZID;
- HAZOP.

Les présentations des méthodes sont inspirées des travaux de Cooper et al. (2005), Desroches (2015) et Ventroux (2016).

APR (Analyse Préliminaire des Risques) est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases en amont de la conception pour identifier les dangers et évaluer leur criticité.

L'AMDEC (Failure Modes, Effect and Criticality Analysis) est utilisée dans la démarche qualité et dans le cadre de la sûreté de fonctionnement. Elle identifie les modes de défaillance, les causes et les conséquences éventuelles de chaque mode et aide à l'évaluation de la criticité.

L'HAZID (Hazard identification) est une démarche de recherche des risques de tous types et de vérification que des mesures de maîtrise des risques ont bien été prises. Cette méthode est orientée sur la maîtrise des risques identifiés à partir d'indicateurs.

L'HAZOP (Hazard and operability) consiste à s'intéresser aux déviations des divers paramètres physiques comme la température, la pression, la concentration ... C'est une méthode particulièrement utilisée dans l'analyse de la sécurité des industries de process (chimique, pharmaceutique, pétrolière...). L'objectif est de présenter les causes et les conséquences des risques mais également de proposer des moyens de détection et de protection.

Depuis plusieurs années, le laboratoire du Centre de Génie industriel à IMT Mines Albi réalise des travaux relevant de la thématique de l'analyse et maîtrise des risques dans le management des projets et processus. Ces travaux ont conduit au développement de propositions originales basées sur le modèle ProRisk (Marmier et al., 2014; Marmier et al., 2013; Nguyen et al., 2013). Ces travaux s'appuient sur le constat que l'évaluation indépendante des risques ne permet pas de refléter la réalité. Ils visent à prendre en compte l'ensemble des combinaisons de survenue des risques et leur influence sur les plannings, considérant qu'un processus ou projet sera généralement impacté par plusieurs risques au cours de sa réalisation. Chaque combinaison de risques correspond à un scénario de risque. Ces scénarios ainsi générés sont évalués selon plusieurs critères comme leur probabilité d'occurrence, la durée, le coût, mais encore la possibilité d'ajouter un critère spécifique au type de planning évalué.

Les représentations d'un planning de projet et d'un planning de tournées sont très similaires, ils peuvent tous les deux être modélisés par des réseaux d'activités. Les concepts et les outils logiciels développés par le laboratoire de recherche (Centre de Génie industriel à IMT Mines Albi) depuis quelques années sur la gestion des risques des projets sont tout à fait pertinents pour évaluer les risques dans les plannings de transport.

L'ensemble des travaux de cette thèse va s'intéresser aux risques événements. La représentation des risques impactant un planning peut être assimilée à un événement

perturbant la planification dans le contexte du transport routier de marchandises. Dans l'objectif d'aider le planificateur à choisir un planning, notre intérêt porte sur les deux premières phases du processus de management des risques : l'identification et l'évaluation des risques. Ces deux phases interviennent en amont de la réalisation du projet ou de la tournée, cela permet de donner une vision prévisionnelle des différents risques et de leurs impacts sur le planning. Un premier constat est que la réalisation des phases d'identification et d'évaluation des risques sur un projet nécessitent un laps de temps assez long. Or, dans le contexte du transport routier de marchandises, le planificateur ne dispose que de très peu de temps pour construire et sélectionner un planning pour la journée du lendemain. Le planificateur peut hésiter entre plusieurs plannings, l'application des méthodes nécessiterait d'effectuer plusieurs fois l'identification et l'évaluation des risques alors que le contexte dans lequel se trouvent les différents plannings est le même. C'est ainsi, que plutôt que d'effectuer ces phases de manière manuelle, nous souhaitons proposer une automatisation de l'identification et de l'évaluation des risques à partir des éléments connus du contexte dans lequel les tournées sont effectuées.

Cette réflexion sur le contexte nous amène à nous intéresser aux différents types de risques impactant un planning dans le transport routier de marchandises.

2.1.4 Les risques dans le transport routier de marchandises

Les systèmes de transport sont constamment soumis à des perturbations (Andersson et al., 2017) qui peuvent avoir un impact négatif sur les différentes activités du système de transport. Comme indiqué dans plusieurs articles (Andersson et al., 2017 ; Leobons et al., 2019 ; Mattsson et al., 2015 ; Rodrigue, 2017 ; Rodrigue et al., 2016), de nombreuses perturbations peuvent se produire dans le domaine du transport comme par exemple la défaillance de certains équipements (véhicule, moyen de manutention) ou la saturation du réseau routier. Mattsson et al. (2015) proposent une distinction utile entre les causes internes et externes des perturbations et entre les événements accidentels et les interférences intentionnelles. Nous reprenons cette classification pour structurer la table 2.1. Dans cette table, nous illustrons quelques exemples de causes de perturbations à partir des travaux de plusieurs auteurs (Andersson et al., 2017 ; Mattsson et al., 2015 ; Rodrigue, 2017 ; Rodrigue et al., 2016).

Cette section a permis, en fonction du contexte du transport routier de marchandises, de nous positionner sur les risques événements venant de la catégorisation de Gourc (2006). La définition d'un risque comme étant « un effet de l'incertitude sur les objectifs » correspond bien au risque du transport routier de marchandises. Nous utiliserons les dimensions de probabilité et d'impact pour décrire les risques impactant le planning.

La problématique de cette thèse : Comment aider le planificateur à choisir un planning dans un contexte d'incertitude ? nous a permis à l'aide de la revue de littérature des risques d'en extraire une première question de recherche. La question de recherche que nous allons traiter est donc :

Table 2.1 – Catégorisation des causes de perturbation d'un système de transport selon Mattsson et al. (2015)

	Événement accidentel	Interférence intentionnelle
Interne	Accidents causés par le personnel	
	Échecs techniques, Composants cassés	
	Constructions défectueuses	
	Surcharge	Conflit du marché du travail
	Accident de conducteur	Sabotage
	Perte d'objet	Erreur de planification
	Indisponibilité des équipements de maintenance	
	Personnel non disponible	
	Entrepôt saturé	
	Zone de déchargement occupée	
Externe		Farces, Sabotage, Vol
	Catastrophes naturelles	Actions terroristes
	Accidents de la route	Embouteillage
	Défaillance des infrastructures	Congestion
	Maintenance des infrastructures	Évènements sportifs, culturels
	Émeutes	

« Comment identifier automatiquement les risques associés à un planning journalier et comment évaluer automatiquement leurs impacts sur le planning? »

Maintenant nous allons nous intéresser à la notion d'indicateur pour aider le choix du planificateur.

2.2 Évaluation de la résistance d'un planning

Un autre aspect de nos travaux de thèse porte sur la capacité d'évaluer et de comparer plusieurs plannings journaliers possibles. Cette évaluation doit permettre de donner au planificateur des indications sur les caractéristiques intrinsèques du planning mais également sur sa capacité à maintenir un bon niveau de qualité vis-à-vis des clients malgré la survenue de perturbations.

Pour évaluer la résistance d'un planning dans le transport routier de marchandises, nous allons dans un premier temps nous intéresser aux systèmes classiques utilisés pour l'évaluation d'un planning. Ces systèmes sont généralement basés sur la construction de fonctions objectives axées sur certains critères. La deuxième partie est consacrée à une présentation de différents indicateurs utilisés pour caractériser les systèmes de livraison dernier kilomètre. Une fois ces différents critères présentés, nous allons présenter quelques indicateurs pour caractériser la résistance d'un planning dans un contexte risqué. Nous nous intéresserons en particulier à l'indicateur de robustesse.

2.2.1 Système classique d'évaluation

A l'origine, dans le problème de tournée de véhicule tel que décrit par Dantzig et al. (1959) « truck dispatching problem », l'objectif visé est de trouver une solution. Cette solution correspond à un planning permettant de définir les différents trajets à réaliser pour livrer l'ensemble des clients. Ensuite, les auteurs se sont intéressés à chercher des solutions optimales au regard de différents critères comme le temps de réalisation, le nombre de véhicules... Avec les évolutions des travaux de recherche, les critères sont devenus de plus en plus nombreux (Kovacs et al., 2015). Le critère économique n'étant plus le seul intérêt, on peut observer dans la littérature des travaux de recherche s'intéressant à répondre à deux objectifs en même temps. Demir et al. (2014) proposent une résolution bi-objective du problème de tournée de véhicule en utilisant un critère économique (le temps de conduite) et un critère environnemental (la consommation de carburant).

Le nombre de critères que les auteurs cherche à satisfaire est de plus en plus nombreux : les approches de résolution du problème de tournée de véhicule se sont orientées vers des optimisations multi-objectives (Bahri et al., 2016 ; Chebbi et al., 2015). L'ensemble des optimisations multi-objectives cherche une solution sur le front de Pareto. Pour cela, chaque critère est représenté sous la forme d'une fonction $f_i(x)$ dont l'objectif est de la minimiser. A chaque fonction est associé un poids w_i . Ce poids correspond à l'importance du critère par rapport à la solution finale. Plus un poids est élevé, plus l'objectif est important. Une fois que tous les objectifs sont traduits sous la forme d'une fonction avec un poids associé, l'objectif est donc de minimiser la globalité c'est-à-dire de trouver le minimum de la fonction objective globale tel que présentée dans l'équation 2.1.

$$FonctionObjective = \sum w_i * f_i(x) \quad (2.1)$$

Nous allons nous intéresser maintenant aux indicateurs qui peuvent être utilisés dans les fonctions objectives pour l'évaluation d'un planning.

2.2.2 Indicateurs dans le domaine du transport

Dans la logistique, selon Chow et al. (1994), « la performance peut être vue comme un sous-élément de la notion élargie de la performance de la firme ou de l'organisation ». Il décompose la performance en 12 catégories complémentaires pour une meilleure analyse :

- la croissance des ventes ;
- le rapport coût-efficacité ;
- tenir ses promesses ;
- les faibles pertes et dégâts ;
- la rentabilité ;
- la responsabilité sociale ;

- le "juste" prix des intrants ;
- la flexibilité ;
- les délais de livraison respectés ;
- la sécurité d'emploi et les conditions de travail ;
- la satisfaction client ;
- la disponibilité des produits.

Pour le transport routier de marchandises, Patier et al. (2010) proposent une liste d'indicateurs globaux :

- Ratio de livraisons/enlèvements ;
- Densité de livraisons/enlèvements dans une zone ;
- Intensité de livraisons/enlèvements d'un secteur d'activité dans une zone ;
- Durée de livraisons/ enlèvements en double file pour livrer ou enlever un secteur d'activité dans une zone ;
- Distance moyenne parcourue pour livrer ou enlever un secteur d'activité avec un type de véhicule ;
- Longueur de la marche d'approche de la plate-forme au lieu de livraison ;
- Distance moyenne nécessaire pour livrer/enlever ;
- Distance totale parcourue dans l'aire urbaine par les véhicules de marchandises ;
- Durée moyenne d'une livraison/enlèvement (par secteur d'activité, type de véhicule, mode de gestion) ;
- Vitesse moyenne par tournée (comprenant ou excluant les arrêts pour livrer) ;
- Poids transporté au kilomètre par trajet selon le secteur d'activité, le type de véhicule, le mode de gestion ;
- Consommation d'énergie, pollution, effet de serre selon la zone, le véhicule, l'activité, le mode de gestion (totale ou par mouvement).

Les indicateurs proposés par Patier et al. (2010) s'appliquent au domaine du transport pris dans son acception la plus large. De ce fait, ils ne permettent pas d'adresser les spécificités du transport routier de marchandises dernier kilomètre. Meier et al. (2013) proposent une liste d'indicateurs complémentaires permettant l'évaluation d'indicateurs de la livraison du dernier kilomètre. Ces indicateurs ont pour finalité l'évaluation de la performance d'un planning. Ceux de Meier et al. (2013) sont présentés dans la table 2.2.

Cette section a permis de voir que de nombreux indicateurs sont utilisés pour l'évaluation d'un planning. Les indicateurs dépendent de l'utilisation que souhaitent en faire les auteurs. Une grande partie est des indicateurs économiques, mais l'indicateur de satisfaction client n'est pas négligé dans la littérature. Certains auteurs comme (Fan, 2011 ; Meier et al., 2013 ; Zhang et al., 2012) considèrent l'indicateur de la satisfaction client comme un élément déterminant pour sélectionner une solution. En revanche, d'autres auteurs (Geetha et al., 2013 ; Goel et al., 2013 ; Vidal, 2013) considèrent que satisfaire un client est une contrainte forte à respecter dans la planification, une solution proposée correspondra à une satisfaction client de 100%.

Maintenant que les indicateurs du transport routier de marchandises sont présentés, il faut s'intéresser aux indicateurs qui se préoccupent de l'impact des risques sur un planning dans l'objectif de mesurer des modifications potentielles. Lorsque ces modifications sont connues, elles peuvent impacter le choix du planificateur lors de la sélection d'un planning. L'objectif est donc de trouver un indicateur permettant d'être représentatif du planning qu'il souhaite sélectionner lors de perturbations.

2.2.3 Indicateur pour exprimer la résistance aux perturbations : la robustesse

Les entreprises de production de biens ainsi que les entreprises de production de services sont exposées à des perturbations plus ou moins imprévisibles, comme des changements de la demande client, des problèmes de disponibilité des matières premières ou des ressources. Pour faire face à ces perturbations, les décideurs / managers doivent anticiper l'impact des perturbations, dans le respect de la performance et de la rentabilité. Pour cela, ils doivent mettre en place des procédures ou des systèmes capables d'anticiper les perturbations. Lorsqu'il s'agit d'indicateurs permettant de mesurer l'impact de la perturbation sur un système, deux indicateurs sont souvent utilisés : la résilience et la robustesse.

La mesure du respect des exigences demandées à un système et de l'efficacité des mesures de performances prises en compte nécessite de mettre en place et de suivre des indicateurs spécifiques. De nombreux travaux de recherche (Ibanez et al., 2016 ; Pavard et al., 2009 ; Urruty et al., 2016) traitent de ce sujet et proposent divers indicateurs comme ceux permettant de mesurer la robustesse, la résilience, la stabilité du système. Pavard et al. (2009) indiquent que ces notions sont devenues centrales dans de nombreux domaines scientifiques allant de l'informatique à la biologie en passant par l'écologie ou la finance. Dans le domaine de l'agriculture, Urruty et al. (2016) présentent une revue de la littérature des termes de stabilité, robustesse, vulnérabilité et résilience. Cette revue de la littérature permet de clarifier l'utilisation du mot robustesse dans l'agriculture. Il conclut en précisant que la robustesse est un concept qui va au-delà de la stabilité grâce à une description plus précise des interactions entre les systèmes agricoles (et leurs différentes composantes) et des modifications des conditions environnementales. Dans Urruty et al. (2016), les auteurs définissent la robustesse comme la « capacité à maintenir les niveaux souhaités de production agricole malgré la survenue de perturbations ». Selon Urruty et al. (2016) la résilience est la « capacité à absorber les changements et à anticiper les perturbations futures grâce à la capacité d'adaptation ».

Au regard de ces deux premières définitions, un travail, présenté dans Clément et al. (2018), a permis de comparer les définitions de robustesse et de résilience. L'article propose une comparaison des définitions relevées dans des articles référencés dans la base de données scientifique Web of Science (WOS) et utilisant les mots résilience et robustesse dans leur titre. Il est relevé que certains auteurs mélangent les définitions de robustesse et de résilience. D'un point de vue général, la notion de robustesse fait référence à la capacité d'un système à résister, à maintenir un état malgré un

ensemble de perturbations, tandis que la notion de résilience fait référence à la capacité d'un système à absorber et à s'adapter après la perturbation.

Pour le contexte du transport routier de marchandises et à la vue de ces premières analyses, notre choix est d'étudier la robustesse d'un planning car l'objectif est d'observer si les risques impactant un planning vont le modifier et quelles en sont les conséquences.

Selon Bradley (1978), le terme robustesse a été utilisé dans les années 1950 dans le domaine des mathématiques où de nombreux auteurs l'utilisent pour évaluer leur système selon différents tests effectués. Selon Bradley (1978), « la généralisation excessive, la sous-qualification ou l'utilisation d'un langage trop exubérant des auteurs de la littérature dans la proclamation de la robustesse tendrait davantage à donner l'impression que la robustesse est un phénomène très général », la définition de la robustesse est souvent utilisée qualitativement et les auteurs l'adaptent comme bon leur semble.

Pour compléter le travail présenté dans Clément et al. (2018), un travail complémentaire s'est intéressé aux auteurs utilisant les termes robustesse et résilience en élargissant la recherche à d'autres bases de données (WOS, Science Direct, Taylor and Francis, Springer, Wiley et PsycArticles). Ce travail propose l'analyse de 113 articles et montre que le terme robustesse est utilisé dans de nombreux domaines comme l'ingénierie, l'informatique mais également la biologie, les sciences sociales ou la psychologie. Ce travail a permis d'identifier trois types de robustesse permettant de catégoriser l'ensemble des définitions utilisées pour la robustesse.

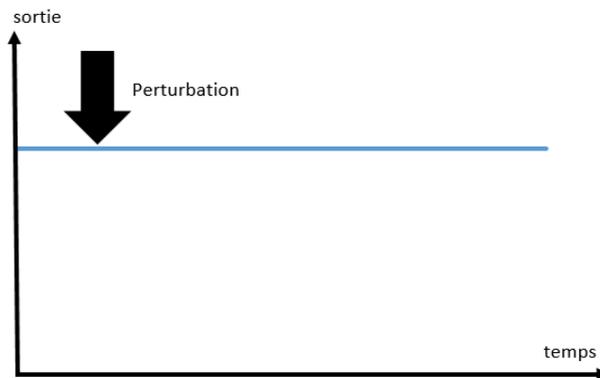


Figure 2.1 – Robustesse Type 1

Le premier type de robustesse (figure 2.1) montre une invariance totale face aux perturbations, le second type de robustesse (figure 2.2) montre que le système est robuste s'il reste dans une zone acceptable après une perturbation et le troisième type de robustesse (figure 2.3) fait une différence sur l'étude du système. Le système est décomposé en fonction principale et en fonctions secondaires. Lors de la perturbation, le système est considéré comme robuste s'il y a une invariance de la fonction principale.

Maintenant que la robustesse est présentée de façon globale, c'est-à-dire dans l'ensemble des domaines, nous allons présenter la robustesse dans la planification et plus précisément dans le transport routier de marchandises.

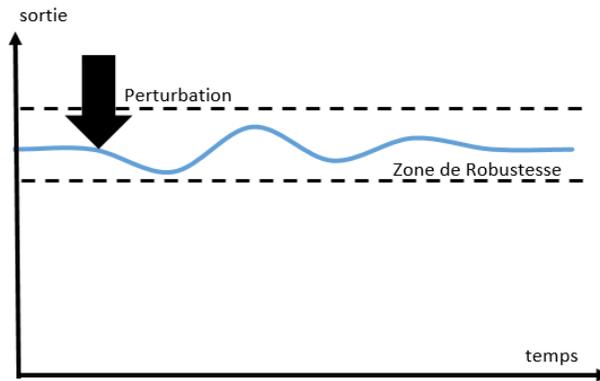


Figure 2.2 – Robustesse Type 2

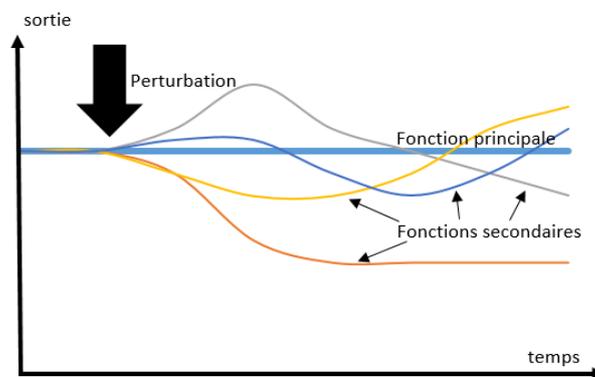


Figure 2.3 – Robustesse Type 3

Dans le domaine de la planification, la robustesse est souvent utilisée. Cependant l'utilisation n'est pas faite pour l'évaluation du planning mais en majorité pour l'évaluation de l'algorithme qui a généré la solution. Chen et al. (2019), Dunlop et al. (2019) et Thaman et al. (2017) parlent d'optimisation robuste ou d'algorithme de planification robuste. Cela signifie que pour un jeu de données, l'algorithme doit proposer la même solution.

Pour le domaine du transport routier de marchandises ou du VRP (Vehicle Routing Problem), la littérature se positionne majoritairement sur la robustesse des algorithmes également. Cependant pour Agra et al. (2013) et Wu et al. (2017) la robustesse de leur algorithme cherche à résoudre les VRP avec fenêtre de temps donc ils se placent dans l'incertitude des temps de trajet. Sungur et al. (2008) s'intéressent au VRP à capacité limitée donc ils cherchent à être robuste en fonction de l'incertitude des quantités de marchandises à livrer.

D'autres auteurs (Iris et al., 2019 ; Liebchen et al., 2009) proposent une autre vision de la robustesse qu'ils appellent robustesse récupérable. Liebchen et al. (2009) parlent de la robustesse récupérable correspondant à une nouvelle approche de la robustesse qui, brièvement, « considère un problème nominal avec des scénarios et des possibilités de récupération. Une solution au problème nominal est récupérable de manière robuste si, quel que soit le scénario, elle peut être restaurée aux données initiales ».

Dans le transport routier de marchandises, plusieurs sens donnés au terme de robustesse sont utilisés. La robustesse sur la prise en compte des risques pouvant impacter un planning n'est pas présente dans ce domaine. Pour la mise en place d'indicateurs de robustesse, il faut s'intéresser à comment construire un indicateur de robustesse.

McPhail et al. (2017) proposent une méthode pour le calcul de différentes métriques de robustesse. Pour lui, la robustesse peut être introduite en effectuant la transformation globale de la métrique de performance $f(x_i, S)$ jusqu'à une métrique de robustesse $R(x_i, S')$ par trois transformations distinctes

- La valeur de performance de la transformation (Trans1) ;
- La sélection de sous-ensembles de scénarios (Trans2) ;
- Le calcul de la métrique de robustesse (Trans3).

La figure 2.4 représente la schématisation des différentes transformations pour obtenir des métriques de robustesse selon McPhail et al. (2017). Le haut de la figure représente les différentes décisions alternatives x_i possibles. L'ensemble de ces décisions va donc présenter des scénarios différents notés selon McPhail et al. (2017) s_i . Pour chaque scénario, des indicateurs de performance peuvent être calculés, ils sont notés $f(x_i, s_i)$. La performance de tous les scénarios va subir les différentes transformations (Trans1, Trans2 et Trans3) pour enfin obtenir des métriques de robustesse.

Cette section a permis d'exposer les différents indicateurs présents dans le transport de marchandises, puis de s'intéresser aux indicateurs prenant en compte les risques perturbant un planning. Notre choix s'est focalisé sur la robustesse. Au vu de la littérature sur la robustesse, la définition retenue est : la capacité d'un système à maintenir les niveaux souhaités des indicateurs. Au vue du contexte de transport routier de marchandises, l'indicateur de satisfaction client sera celui utilisé dans la suite de la thèse. Au vu de la revue de littérature sur les indicateurs, la question de recherche à laquelle nous cherchons à répondre par la suite est : « Quels indicateurs permettent de caractériser la capacité d'un planning à résister aux perturbations ? »

Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de positionner ces travaux par rapport à la notion de risques événements au regard de la difficulté du planificateur à prendre en compte les conséquences possibles d'aléas.

La première partie de ce chapitre est un état de l'art sur les risques. Il nous a permis de nous positionner sur les risques événements permettant de représenter le contexte du transport routier de marchandises. Le processus de management des risques, constitué de quatre étapes, s'avère trop long à dérouler dans le faible temps laissé au planificateur pour produire son planning journalier. La revue de littérature permet d'extraire notre première question de recherche : « Comment identifier automatiquement les risques associés à un planning journalier et comment évaluer leurs impacts sur le planning ? » Pour observer de nombreux plannings proposés pour la même journée, il est nécessaire d'être en mesure d'identifier et d'évaluer les risques.

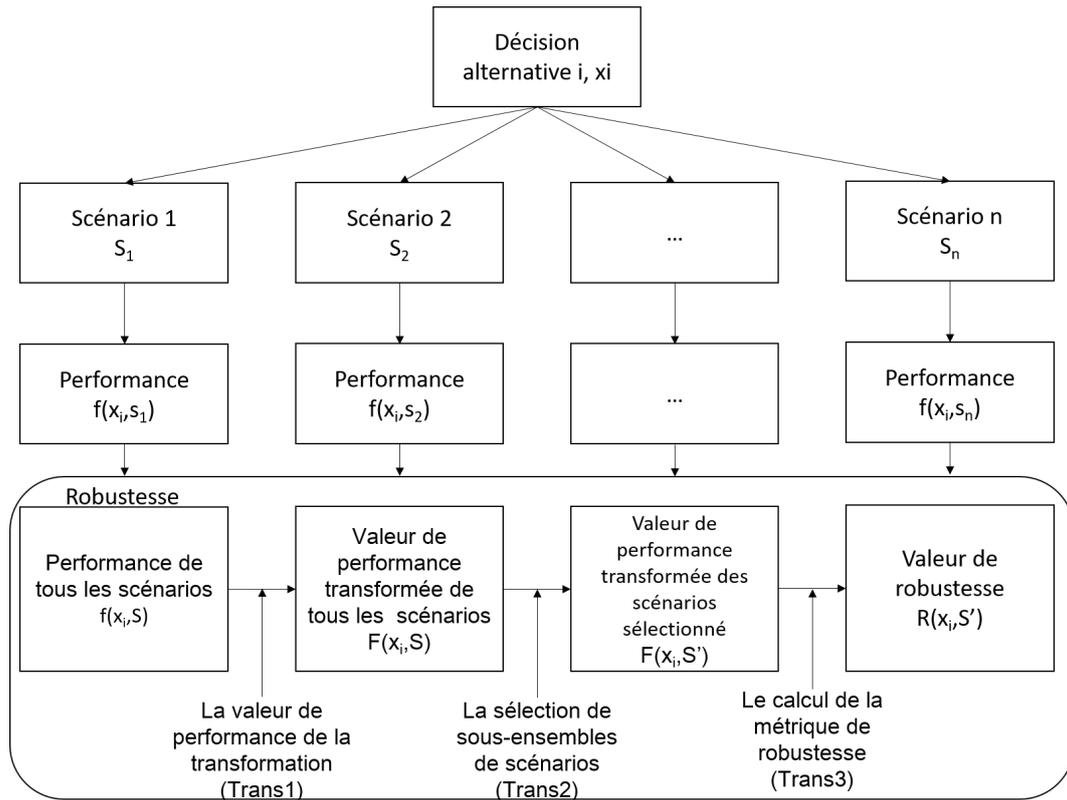


Figure 2.4 – Différentes transformations des métriques de robustesse selon McPhail et al. (2017)

(CC BY-NC-ND 4.0)

La deuxième partie du chapitre s'intéresse aux indicateurs du transport routier de marchandises ainsi qu'aux indicateurs permettant d'évaluer les impacts des risques. La revue de littérature présente les indicateurs de robustesse ainsi qu'une méthode de construction d'indicateurs de robustesse. La notion de robustesse est utilisée dans le transport routier de marchandises. Cependant ils ne s'intéressent pas aux risques pouvant impacter un planning mais plutôt à la notion d'incertitudes de temps ou de quantité. Pour donner une représentation au planificateur dans l'aptitude du planning à être réalisé conformément, il s'agit de définir des indicateurs pertinents. Cette partie clarifie notre deuxième question de recherche : « Quels indicateurs permettent de caractériser la capacité d'un planning à résister aux perturbations ? »

La suite de cette thèse répond aux deux questions de recherche que nous venons de formuler. Le chapitre 3 présente le modèle de données structurant nos propositions qui sont quant à elles présentées dans les chapitre 4 et 5.

Table 2.2 – Indicateurs du transport de marchandises selon Meier et al. (2013)

Indicateur	Signification
Livraison ponctuelle [%]	Proportion de processus de livraison, qui pourraient être terminés dans les délais promis au client.
Délai moyen de résolution du problème [heures]	Uniquement pertinent pour les activités de réparation à délai critique : Délai moyen à compter du moment de la réception du rapport de défaut jusqu'au moment de la validation de la fonction.
Coûts [€]	Coûts globaux encourus pour la prestation de services.
Chiffre d'affaires [€]	Chiffre d'affaires réalisé par prestation de services.
Délai moyen entre les défaillances [jours]	Délai moyen entre les défaillances.
Temps moyen d'immobilisation [jours]	Temps moyen de panne de l'équipement au cours d'une période donnée, par ex. une année.
Proportion de la durée du trajet [%]	Durée moyenne des déplacements par rapport à la durée totale du travail (temps d'exploitation et de déplacement compris).
Utilisation des ressources [%]	Temps de travail des ressources par rapport au temps de disponibilité global de la ressource.
Quota de réacheminement [%]	Nombre de processus de livraison réorganisés après que le client a été averti ou après que les ressources requises ont été réservées par rapport au nombre total de processus de livraison.
Réactivité [heures]	Uniquement pertinent pour les activités de réparation à délai critique : Délai moyen entre le moment de la notification de la panne et le début prévu des activités de réparation.
Taux d'acceptation [%]	Nombre de fois que la date souhaitée par le client pour le processus de livraison a pu être acceptée, en fonction du nombre total de processus de livraison.