



**HAL**  
open science

# Premières propositions pour évaluer la robustesse, aux risques, de plannings de tournées de transport routier de marchandises

Antoine Clément, Didier Gourc, François Marmier, Daouda Kamissoko

## ► To cite this version:

Antoine Clément, Didier Gourc, François Marmier, Daouda Kamissoko. Premières propositions pour évaluer la robustesse, aux risques, de plannings de tournées de transport routier de marchandises. CIGI 2017 - 12ème Congrès International de Génie Industriel, May 2017, Compiègne, France. 9 p. hal-01620434

**HAL Id: hal-01620434**

**<https://hal.science/hal-01620434v1>**

Submitted on 20 Oct 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Article soumis à CIGI 2017

## Premières propositions pour évaluer la robustesse aux risques de plannings de tournées de transport routier de marchandises

ANTOINE CLEMENT<sup>1</sup>, DIDIER GOURC<sup>1</sup>, FRANÇOIS MARMIER<sup>1,2</sup>, DAOUDA KAMISSOKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UNIVERSITE DE TOULOUSE, MINES ALBI, Campus Jarlard, Route de Teillet, 81000 Albi, France  
{prenom.nom}@mines-albi.fr

<sup>2</sup> STRASBOURG UNIVERSITY, BETA, 61 avenue de la Forêt Noire, 67085 STRASBOURG Cedex, France

---

**Résumé** - Actuellement, plus de 90% de la marchandise sont acheminés selon le mode terrestre routier. Pour progresser, les entreprises du secteur du Transport Routier de Marchandise (TRM) sont soumises à de nombreux enjeux, qu'ils soient économiques, réglementaires, environnementaux, sociétal, santé-sécurité au travail... Le métier de conducteur, ie de planificateur, a un rôle crucial dans la réalisation de ces enjeux, c'est lui qui engage, par la méthode de construction des tournées, le devenir de l'entreprise. C'est ainsi qu'il porte une lourde responsabilité sur ses épaules. Sa capacité à intégrer les enjeux de l'entreprise et à maîtriser les compromis entre ces enjeux dans la construction des tournées est vitale et à la fois extrêmement difficile au jour le jour. C'est ainsi que nous proposons dans cet article quelques premières pistes pour aider à qualifier les tournées générées au regard des enjeux cités mais également au regard d'éventuels aléas qui pourraient venir altérer la qualité des tournées. Dans cet article, nous proposons une démarche d'évaluation des tournées de transport routier de marchandises et un indicateur permettant de mesurer la robustesse des tournées.

**Abstract** - Currently, over 90% of goods are transported by road terrestrial mode. To progress, companies of Road Freight Transport sector (RFT) are subject to a number of issues, whether economic, regulatory, environmental, societal, occupational health and safety ... The driver's profession, ie planner, has a crucial role in achieving these challenges, it is he who undertakes the construction method of the tours, the future of the company. Thus he bears a heavy responsibility on his shoulders. Its ability to integrate the company's challenges and to master the balance between these issues in the construction of touring is vital, both extremely difficult day by day. Thus we propose in this article some first tracks to help qualify the tours generated in relation to the issues mentioned but also in terms of potential hazards that could come impair the quality of tours. In this article, we propose an evaluation process of road transport of goods tours and an indicator to measure the robustness of touring.

**Mots clés** - risque, évaluation, décision, tournée de transport, robustesse.

**Keywords** – risk, assessment, decision, tour, robustness.

---

### 1 INTRODUCTION

Actuellement, plus de 90% de la marchandise sont acheminés selon le mode terrestre routier. Dès lors, les entreprises de Transport Routier de Marchandises (TRM) forment un secteur capital pour l'économie française ; elles représentent un chiffre d'affaires annuel de 44 milliards d'euro et regroupent plus de 37 200 entreprises (plus de 90% des entreprises de ce secteur sont des TPE/PME et ont moins de 50 salariés) et environ 420 000 salariés. Ce secteur est soumis à une forte concurrence, et à une pression croissante des clients et des fournisseurs, délais serrés, flexibilité exacerbée, etc. (enjeux *économiques*). Les entreprises du TRM doivent également faire face à des normes et des réglementations spécifiques tant nationales que communautaires (enjeux réglementaires et *environnementaux*). En parallèle, des obligations de résultats en termes de prévention des risques accidents du travail et des maladies professionnelles les engagent (Article L4121-1 du code du travail) (enjeux *santé-sécurité* au travail). La prise en

compte simultanée de ces trois exigences dans l'organisation et la planification des tournées de TRM est un point crucial et difficile pour le planificateur. Nous employons la terminologie de « transports durables » pour désigner la prise en compte de ces trois types d'exigences.

Pour soulager le planificateur, des outils d'aide à la gestion du transport ou TMS (Transport Management System) existent mais n'intègrent que partiellement la problématique des transports durables. Ils constituent des solutions génériques, essentiellement à destination des transporteurs ayant des clients avec des livraisons régulières. Ces solutions sont inadaptées à l'intégration des spécificités et à la diversité des demandes des clients, auxquelles le transporteur est contraint de répondre sous peine de perdre le marché. Ces solutions ne permettent pas la gestion des flottes mixtes de véhicules (optimisation du choix de véhicule selon son autonomie énergétique et/ou selon les localisations des clients en centre-ville, périphérie ou régional). L'affectation des conducteurs

aux tournées n'est pas systématiquement intégrée dans les solutions de TMS alors qu'elle est centrale pour limiter les heures supplémentaires des conducteurs et répartir de façon équilibrée la charge de travail entre ceux-ci. En définitive, les aspects santé et sécurité ainsi que la prise en compte des différentes énergies combinées sont absents de ces outils d'aide. De plus, ces outils sont relativement coûteux puisqu'ils sont généralement décomposés en modules ou systèmes ; chaque module, fonction, équipement nécessite un achat ou un abonnement (le coût moyen d'un module en location est de 30 euros par mois et par camion et un module n'est pas fonctionnel isolément, la solution de base nécessite la location de plusieurs modules constituant le socle minimum au bon fonctionnement du système). Or, le coût est une contrainte importante et ce, particulièrement pour les TPE/PME. Ainsi, l'ensemble de ces freins (inadaptation à la diversité des clients, inadaptation aux flottes mixtes, absence de gestion des heures supplémentaires, coût des systèmes) amènent de nombreuses TPE/PME à réaliser leur planification à l'aide d'un tableur, d'un traitement de texte ou encore, au papier-crayon.

De nouvelles propositions pour la planification de transports durables doivent être faites qui prennent en compte les enjeux économiques, environnementaux et sociaux.

Outre la prise en compte de critères nouveaux pour l'évaluation de qualité des tournées générées, nous souhaitons également proposer des solutions pour intégrer la mesure de la robustesse de la solution aux éventuels risques qui pourraient venir altérer la planification effectuée. Face à la complexité de sa tâche, il convient de pouvoir proposer au planificateur des indicateurs lui facilitant la sélection et le choix de la meilleure solution de planning. Parmi ces indicateurs, nous proposons de construire un indicateur représentatif de la confiance que l'on peut attribuer à une solution. Par confiance, nous entendons la capacité de cette solution à respecter les engagements pris par exemple avec le client ou le respect du temps maximal de travail (amplitude horaire de la tournée).

Cet article est structuré en 5 sections. Après cette introduction, nous faisons un bref focus sur le projet de recherche collaborative SMART PLANNING qui adresse ces problématiques de transports durables et retenons une problématique particulière, objet de cet article. Dans la section 3, nous présentons un premier état de l'art servant la problématique retenue. La section 4 permet de développer des premières pistes de travail pour répondre à la problématique. La section 5 comporte un exemple pour illustrer les propositions effectuées. Enfin une conclusion vient dresser un bilan et apporter des pistes pour la suite.

## 2 LE PROJET ANR SMART PLANNING

L'objectif principal du projet SMART PLANNING est de produire un corpus de connaissances fondamentales sur le domaine de la planification humaine en situation complexe et incertaine.

Plusieurs objectifs scientifiques sont identifiés :

- (#1) Modélisation des contraintes et des compromis,
- (#2) Conception d'un algorithme robuste de planification des tournées pour des flottes de véhicules en énergie combinée,

- (#3) Conception et validation d'interfaces pour la sélection de tournées,

Un objectif technologique, développement d'un prototype informatique d'aide à la planification pour des transports durables, permet de valider les contributions scientifiques.

Dans cet article, nous nous intéresserons particulièrement à l'explicitation d'une partie de l'objectif scientifique (#2) et présentons quelques pistes de développement pour atteindre cet objectif.

## 3 ETAT DE L'ART

Plusieurs projets de recherche et travaux traitent de sujets proches. Toutefois, nous adressons, dans ce projet, quelques spécificités non traitées ailleurs.

Deux projets récemment sélectionnés par l'ANR, campagne 2015, traitent des problématiques d'optimisation des tournées de véhicules électriques (e-VRO) ou d'ordonnancement et routage des véhicules électriques (EVERS). Par rapport à ces deux projets, nos contributions se distinguent par (1) la gestion de flottes de véhicules mixtes, doté de véhicules en énergie fossile et de véhicules avec énergie verte (gaz ou électrique) et par (2) le fait que notre objectif n'est pas de fournir une solution optimale à l'exploitant mais bien de lui proposer un ensemble de solutions satisfaisants ses contraintes et de l'aider à sélectionner par des interfaces ergonomiques et intelligentes la solution qui répond à ses objectifs sur plusieurs dimensions (santé, sécurité, environnemental et économique).

### 3.1 Métriques pour évaluer la robustesse des plannings

Une planification robuste est définie comme une planification qui est insensible aux perturbations qui pourraient intervenir pendant la réalisation des activités planifiées. La définition d'une métrique de robustesse vise à permettre de mesurer le degré de sensibilité/insensibilité du planning aux perturbations éventuelles.

Cette métrique doit permettre de refléter a-priori la capacité du planning de la tournée à respecter les objectifs ou exigences que nous définirons comme l'espace contractuel. Ainsi, dans notre contexte l'espace contractuel sera défini, par exemple, par l'amplitude horaire maximale d'une tournée, le temps maximal de chaque période de conduite, etc.

Les graphes orientés acycliques peuvent être utilisés pour modéliser des plannings et par extension des plannings de tournées de transport. Dans le contexte de la planification de graphes orientés acycliques (Directed Graph Acyclic), [Shi et al., 2006] proposent deux définitions de la robustesse et proposent deux expressions de la robustesse. La première est exprimée selon l'inverse de l'espérance de retard relatif (« relative schedule tardiness »). La seconde est calculée comme l'inverse du taux d'échec (« schedule miss rate »).

Ces travaux s'intéressent essentiellement à des graphes déterministes. Pour notre problématique, nous sommes amenés à considérer les probabilités d'occurrence des aléas au cours de la tournée. Ces aléas peuvent avoir comme effet de modifier certaines caractéristiques des graphes (durée d'activités, modifications de certains liens).

[Canon et Jeannot, 2007 ; Canon et Jeannot, 2008] proposent une analyse comparative de plusieurs métriques de robustesse. Les métriques sont :

- « makespan standard deviation » ;

- « makespan differential entropy » ;
- « slack mean » ;
- « probabilistic metric » ;
- « lateness likelihood » ;
- « makespan 0,99-quantile ».

[Smith et al., 2007; Shestak et al., 2006] proposent également des métriques prenant en compte le caractère dynamique de l'environnement pour lequel les plannings sont générés.

La robustesse est exprimée comme la probabilité que la tâche exécutée, ie la tournée, soit terminée conformément à un cadre de contraintes, par exemple la dure totale.

### 3.2 Travaux relevant de l'analyse des risques

De manière complémentaire et afin de fixer les critères d'évaluation des tournées, il est nécessaire de s'intéresser aux travaux relevant de la prévention des risques professionnels [Newman et Goode, 2015 ; Reiman et al, 2014 ; Romano-Woodward, 2014 ; Kaneko, 2014].

Ces travaux nous orientent en particulier sur la prise en compte de facteurs liés à la sécurité et la santé des acteurs (chauffeurs). Ce volet sécurité n'est pas abordé dans le cadre de ce papier mais fera l'objet de développements ultérieurs.

Depuis plusieurs années, nous menons dans notre laboratoire 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., 2013 ; Marmier et al., 2014 ; Nguyen et al., 2013]. Ces travaux visent à prendre en compte l'ensemble des combinaisons de survenue des risques et leur influence sur les plannings. Les scénarios de plannings ainsi générés sont évalués selon plusieurs critères : leur probabilité d'occurrence, la durée, le coût, et tout autre critère spécifique au type de planning évalué.

Dans la littérature, les méthodes de gestion des risques se réfèrent à un processus standard présentant des étapes bien connues : identification, évaluation, quantification, traitement et suivi des risques [Bsi, 2000], [Iso31000, 2009], [Pmbok, 2009]. Tixier et al. proposent une classification de 62 approches existantes [Tixier, 2002]. Les méthodes sont triées suivant le fait qu'elles soient déterministes et/ou probabilistes, mais aussi qualitatives ou quantitatives. Gourc et al. proposent une grille de lecture différente, classifiant les approches de gestion des risques suivant qu'elles soient symptomatiques ou analytiques [Gourc, 2006]. 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, 2003]. Le second groupe d'approches considère le risque comme événement pouvant influencer sur la réalisation des objectifs du projet [Carter, 1996].

Deux thèmes sont bien connus pour leur référence à l'innovation et par l'omniprésence du risque : (1) la gestion de projets de développement de nouveaux produits (NPD) à un niveau opérationnel. Elle consiste à choisir une orientation exclusive comme stratégie de développement. Elle tient compte d'un niveau de tolérance global du risque. (2) la gestion du portefeuille de NPD à un niveau tactique. Une première définition de la gestion du portefeuille est donnée par [Cooper, 1999] : une dynamique de prise de décision qui permet à la liste des projets d'être toujours à jour. Dans ce

processus, de nouveaux projets sont évalués, sélectionnés et triés. Les projets antérieurs peuvent être accélérés, arrêtés ou mis en veille et les affectations de ressources peuvent être changées afin de construire un portefeuille équilibré en projets novateurs, suivant une balance risque/rentabilité.

## 4 PROPOSITIONS

S'appuyant sur les résultats que nous avons obtenus précédemment, notamment dans le cadre du projet ANR PLAS'O'SOINS [Bastide et al., 2014] relatif à la planification de tournées de personnels de santé pour le maintien de patients à domicile [Gourc et al., 2014] et de nos travaux sur ProRisk, nous proposons d'évaluer la qualité des plannings générés en nous appuyant sur la mesure des scénarios possibles induits par la survenue possible des aléas identifiés. Pour cela, nous mettons en œuvre le modèle ProRisk sur le planning des tâches relatives à une tournée.

### 4.1 Modèle proposé

Une tournée, mobilisant un véhicule et un chauffeur, correspond à un processus comportant une succession d'activités alternant :

- des activités de chargement, à un entrepôt ou bien sur un des points de livraison ;
- des activités de déchargement, à un entrepôt ou bien sur un des points de livraison ;
- des activités de conduite, permettant de relier deux points, entrepôt ou point de livraison ;
- des activités de mise en route ou clôture de la tournée : vérifications sécurité du véhicule, remplissage réservoir, etc.

Une tournée est considérée faisable ou acceptable si elle respecte un certain nombre de contraintes  $\mathcal{C}$ . Parmi les contraintes, citons pour exemple le respect d'une durée maximale de la tournée, le respect d'un horaire de passage chez un client, etc.

Une tournée est représentée sous la forme d'un processus  $P$  décrit par ses tâches  $Tt$  ( $t = 1 \dots T$ ),  $T$  étant le nombre de tâches. Le processus de planification donne une planification initiale  $Pi$  qui n'intègre pas les risques. Un ensemble de ressources critiques (ERC) est requis pour traiter certaines tâches.

Un processus est également décrit par son ensemble  $ER$  de risques identifiés  $Ri$  ( $i = 0 \dots n$ ),  $n$  étant le nombre de risques. Chaque  $Ri$  est caractérisé par l'intermédiaire du processus de gestion des risques. Un risque  $Ri$  est également caractérisé par sa période d'occurrence, à savoir les tâches au cours desquelles le risque peut se produire. Sa probabilité  $proba(Ri)$  est la probabilité que l'événement lié à  $Ri$  se produise. Ses impacts sur les coûts sont notés  $CI(Ri)$  et sur la durée projet  $DI(Ri)$ . Les impacts peuvent affecter par effet domino une tâche différente de celle caractérisant la période d'occurrence. Ces probabilités et impacts sont également appelés probabilité initiale et impact initial.

Un scénario de risque  $ScR$  correspond à la combinaison de  $S$  risques qui se produisent au cours d'un processus  $P$ . Un processus présentant  $n$  risques conduit à  $2^n$  scénarios.  $ScR_s$  ( $s=1, \dots, 2^n$ ) est une réalisation possible présentant  $k$  risques ( $0 \leq k \leq n$ ). Le nombre total de scénarios de risque, présentant  $k$  risques est égale à  $n!/k(n-k)!$ . Sa probabilité est notée  $proba(ScRs)$  (la probabilité que les événements liés à ce scénario de risque se produisent et que les autres risques ne se produisent pas).

Selon le type des tâches composant le processus, certains risques génériques peuvent être identifiés.

**Tableau 1. Exemples de risques génériques selon le type des activités**

Type d'activité	Exemple de risques génériques	Cause(s) possible(s)
Chargement	Accident/blessure du chauffeur	Absence de l'opérateur en charge de la manutention Equipement de manutention non disponible
	Erreur	Absence du client Equipement de manutention non disponible
Déchargement	Accident/blessure du chauffeur	Absence de l'opérateur en charge de la manutention Equipement de manutention non disponible
Conduite	Baisse de vigilance du chauffeur	Chargements/déchargements réalisés par le chauffeur plus nombreux qu'estimés Période de conduite longue
	Autonomie insuffisante du véhicule, notamment pour les véhicules à énergie verte (électrique seul, gaz seul).	Allongement de certains délais (bouchon, baisse de performance de la source d'énergie, par exemple batterie)
	Accident/blessure du chauffeur	Fatigue du chauffeur Problème technique Accident causé par un tiers

Sur la base de ces hypothèses, nous mettons en œuvre un processus d'analyse ProRisk permettant de générer l'ensemble des scénarios possibles et de calculer les indicateurs caractérisant chaque scénario. Il s'agit, dans un premier temps, de déterminer la probabilité d'occurrence du scénario de risque  $proba(ScR_s)$ . Cette probabilité du scénario est dépendante de la combinaison des risques dans ce scénario (voir Équation 1).

$$proba(ScR_s) = \sum_{i=1}^n \begin{cases} proba(R_i) & \text{if } (R_i \in ScR_s) \\ 1 - proba(R_i) & \text{if } (R_i \notin ScR_s) \end{cases}$$

**Équation 1. Calcul de la probabilité d'occurrence d'un scénario de risque**

Outre la probabilité d'occurrence d'un scénario, nous caractérisons chaque scénario par d'autres indicateurs. Très classiquement, les indicateurs de délai et de coûts sont mobilisés pour effectuer cette caractérisation. Ainsi, pour chaque scénario identifié, sa durée et son coût sont évalués. L'expression de calcul du coût est présentée dans l'Équation 2.

Le coût d'un scénario de projet est noté  $C(ScR_s)$ . Il comprend le coût des tâches  $C(T_t)$  qui constituent la planification initiale du processus, les impacts des risques occurrents, c'est à dire les risques présents dans le  $ScR_s$ , sur les tâches du processus ainsi que le coût global  $GC^{initial}(R_i)$  des risques survenant.  $GC^{initial}(R_i)$  correspond à l'agrégation des impacts des risques sur le critère coût. Celui-ci comprend une partie fixe du coût total (matériaux, des outils, des pièces, etc.) et un coût indirect

dépendant de la durée de l'action, de chaque impact délais du risque.

$$C(ScR_s) = \sum_{t=1}^T C(T_t) + \sum_{R_i \in ScR_s} GC^{initial}(R_i)$$

**Équation 2. Calcul de l'indicateur coût**

Pour compléter la réponse à la problématique citée ci-dessus, d'autres critères seront proposés, dans le cadre du projet, afin d'adresser l'évaluation des scénarios au regard des enjeux santé-sécurité critère de sécurité), environnementaux (critère d'émission carbone).

Des expressions similaires seront établies afin d'agréger les valeurs sur ces différents critères.

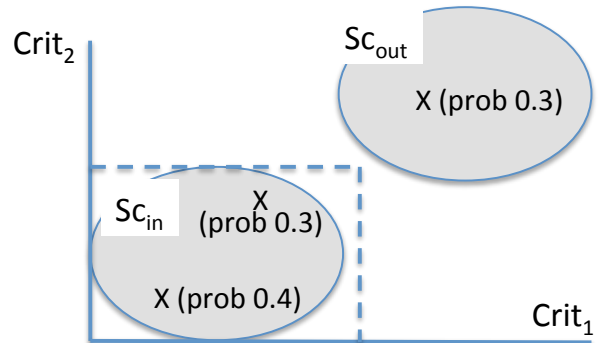
#### 4.2 Expression du degré de robustesse

En première approche, nous proposons de définir un indicateur de robustesse de chaque planning de tournée comme la mesure de la capacité à respecter l'espace contractuel exprimé par les contraintes définies.

Ainsi, la robustesse  $R(i)$  de la tournée  $i$ , représentera la probabilité de respecter cet ensemble de contraintes  $\mathcal{C}$ . Elle sera obtenue à partir des probabilités d'occurrence des scénarios de risques  $ScR_s$  qui respectent les contraintes  $\mathcal{C}$ . Cet ensemble de scénarios sera désigné par  $Sc_{in}$

$$R(i) = \sum_{ScR_s \in Sc_{in}} proba(ScR_s)$$

**Équation 3. Expression de la robustesse**



**Figure 1. Illustration des ensembles  $Sc_{in}$  et  $Sc_{out}$**

A ce stade, cette expression représente une première formulation d'un indicateur de robustesse. Nous envisageons de proposer un indicateur plus fin permettant de pondérer l'importance des scénarios qui ne respectent pas les contraintes.

#### 4.3 Démarche proposée

La démarche proposée (Figure 2) est composée de 5 étapes. La première étape consiste à construire les plannings des tournées permettant de servir les ordres identifiés. Ainsi, sur la base des ordres reçus, cette étape permet de produire un ensemble de planning de tournées représentés par des processus  $P$  décrit par leurs tâches  $T_t$  ( $t = 1 \dots T$ ). Sur la base des risques génériques identifiés et des activités planifiées dans ces processus, l'étape 2 permet de produire une liste de risques spécifiques pour chaque tournée. L'étape 3

génère l'ensemble des possibilités de scénarios de risques et évalue chacun de ces scénarios au regard des critères retenus. Au cours de l'étape 4, des indicateurs agrégés sont calculés pour déterminer un indicateur de robustesse, probabilité de respect des engagements, de chaque tournée initialement générée par l'étape 1. Enfin, l'étape 5, menée par le planificateur, a pour objectif de sélectionner la tournée qui répond le mieux à ces exigences.

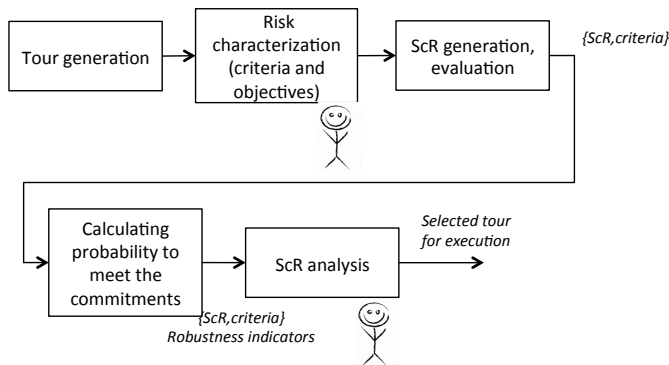


Figure 2. Démarche proposée

## 5 APPLICATION NUMERIQUE

### 5.1 Description de l'exemple

Afin d'illustrer nos propositions, considérons un exemple simple visant à visiter 4 points de livraison ( $Pli_j$ ) avec un couple véhicule, chauffeur. Ces quatre points de livraison sont répartis sur une zone géographique compatible avec l'autonomie du véhicule. Le véhicule est remis dans un entrepôt ( $E_p$ ), qui permet également de stocker une partie des pièces à transporter. Chaque point, entrepôt et point de livraison, peut potentiellement être un lieu où des actions de chargement, de déchargement du véhicule seront à réaliser.

La liste des ordres à traiter est présentée dans le tableau (Tableau 2).

Tableau 2. Liste des ordres

	Orig.	Dest.	Temps de chargement	Temps de déchargement
O <sub>1</sub>	W <sub>1</sub>	Pli <sub>1</sub>		00:10
O <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	Pli <sub>2</sub>		00:15
O <sub>3</sub>	W <sub>1</sub>	Pli <sub>3</sub>		00:10
O <sub>4</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>4</sub>	00:05	00:05

Tableau 3. Liste des risques génériques

Risk	Libellé	Zone à risque	Type de concept concerné/impacté	Probabilité	Type impact
R <sub>1</sub>	Bouchon en zone urbaine à une heure de pointe	Accès/départ à Pli <sub>3</sub>	Tâche de la tournée de type Trajet	70%	Délai + 150 %
R <sub>2</sub>	Manutentionnaire indisponible	Chargement / déchargement chez Pli <sub>2</sub> entre 10h00 et 10h30.	Tâche de la tournée de type chargement/déchargement	80%	Délai + 20 mn Chauffeur assure le chargement/déchargement -> fatigue supplémentaire du chauffeur

Pour chaque ordre sont décrits :

- le lieu de chargement des objets à transporter (Orig.) ;
- le lieu de déchargement des objets à transporter (Dest.) ;
- temps de chargement et de déchargement calculé sur la base des quantités.

D'autres informations pourront être mobilisées comme par exemple :

- les caractéristiques des objets à transporter : volume en litre (Vol.), masse en kg, nombre d'objets à transporter (Qté) par unité carton/palette ;
- d'éventuelles exigences horaire concernant l'heure souhaité par le client pour le chargement ou le déchargement.

Deux risques génériques sont considérés, tels que décrits dans le tableau (Tableau 3). Le risque R<sub>1</sub> exprime les effets d'un risque de bouchon lors de l'accès à Pli<sub>3</sub>. Le risque R<sub>2</sub> fait état d'une absence possible du manutentionnaire de son poste de travail si la livraison intervient entre 10h et 10h30. Il est fréquent, mais pas systématique, que le manutentionnaire, en charge du chargement/déchargement du camion, prenne sa pause à ce moment là.

De manière complémentaire, les contraintes de la société de transport, héritées des contraintes légales et réglementaires exigent que :

- l'amplitude horaire d'une tournée ne dépasse pas 4h ;
- les périodes de conduite ne doivent pas dépasser pas 1h.

### 5.2 Résultats et discussions

Afin de respecter les ordres à traiter et d'éventuelles contraintes de précedence, par exemple il est impératif de passer par le point de livraison Pli<sub>3</sub> avant de se rendre à Pli<sub>4</sub>, les solutions de tournées possibles sont au nombre de 10. Les dix solutions sont présentées Tableau 4.

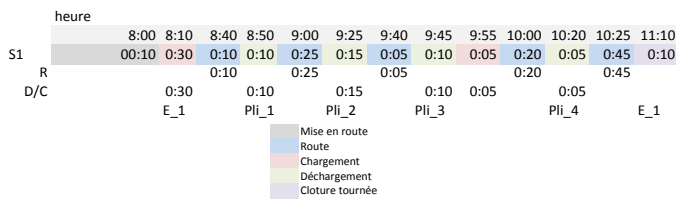
Ce tableau la succession des points à visiter, partant de l'entrepôt E<sub>1</sub> et retournant à l'entrepôt E<sub>1</sub>.

**Tableau 4. Solutions permettant de réaliser les ordres de livraisons**

S1	E <sub>1</sub>	Pli <sub>1</sub>	Pli <sub>2</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>
S2	E <sub>1</sub>	Pli <sub>1</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>4</sub>	Pli <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>
S3	E <sub>1</sub>	Pli <sub>1</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>2</sub>	Pli <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>
S4	E <sub>1</sub>	Pli <sub>2</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>4</sub>	Pli <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>
S5	E <sub>1</sub>	Pli <sub>2</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>1</sub>	Pli <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>
S6	E <sub>1</sub>	Pli <sub>2</sub>	Pli <sub>1</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>
S7	E <sub>1</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>4</sub>	Pli <sub>1</sub>	Pli <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>
S8	E <sub>1</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>4</sub>	Pli <sub>2</sub>	Pli <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>
S9	E <sub>1</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>1</sub>	Pli <sub>4</sub>	Pli <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>
S10	E <sub>1</sub>	Pli <sub>3</sub>	Pli <sub>1</sub>	Pli <sub>2</sub>	Pli <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>

Le planning initial proposé pour la solution S1 est illustré Figure 3, la figure présente le détail de la solution S1, en indiquant pour chaque activité requise :

- son type : mise en route, conduite, chargement, déchargement, clôture tournée lors du retour à l'entrepôt ;
- la durée de chaque activité ;
- et l'heure de début de l'activité.



**Figure 3. Exemple de planning pour la solution S1**

Cette solution peut être caractérisée par plusieurs critères :

- amplitude horaire ;
- plus grande durée de conduite (temps de conduite max) ;
- durée totale de conduite ;
- temps de chargement/déchargement total ;
- coût carburant de la tournée ;
- impact environnemental de la solution.

Dans l'exemple traité dans cet article, seule une partie de ces critères est implémentée et les valeurs associées sont présentées Tableau 5. La colonne « validité » indique si la solution associée respecte le jeu de contraintes.

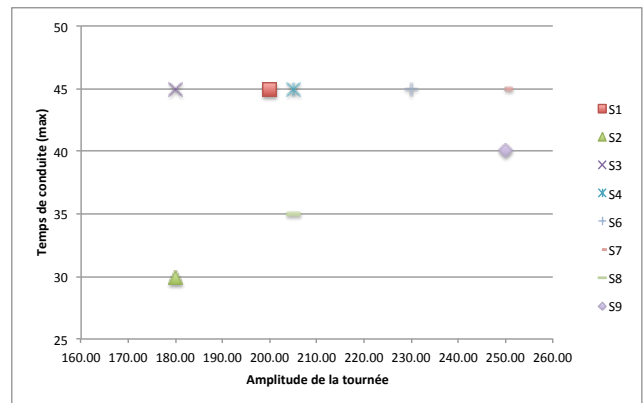
A partir de ces résultats, les solutions ne respectant pas les contraintes énoncées précédemment peuvent être écartées : respect de l'amplitude maximale de 4h, etc.

Les solutions S5, S7, S9, S10 ne respecte pas ces critères et peuvent ainsi être écartées.

**Tableau 5. Solutions respectant les contraintes**

	Amplitude	Temps de conduite (max)	Temps de conduite (total)	Validité	Solution privilégiée
S1	3h20	0h45	1h45	Oui	
S2	3h00	0h30	1h25	Oui	X
S3	3h00	0h45	1h25	Oui	
S4	3h25	0h45	1h50	Oui	
S5	4h10	0h45	2h35	Non	
S6	3h50	0h45	2h35	Oui	
S7	4h10	0h45	2h35	Non	
S8	3h25	0h35	1h50	Oui	
S9	4h10	0h40	2h35	Non	
S10	4h10	0h35	2h35	Non	

Sur ces premiers résultats, et si l'on s'intéresse uniquement aux deux critères amplitude de la tournée et du temps de conduite maximal par période de conduite, l'analyse (Tableau 5, Figure 4) permet d'observer que la solution S2 est la meilleure solution.



**Figure 4. Représentation des solutions faisables**

Sur la base des solutions retenues, à ce niveau, le processus ProRisk permet d'évaluer un ou plusieurs degré(s) de robustesse de ces solutions à l'occurrence des risques.

Trois scénarios de risques peuvent survenir :

- seul le risque R<sub>1</sub> survient : ScR : {R<sub>1</sub>} ;
- seul le risque R<sub>2</sub> survient : ScR : {R<sub>2</sub>} ;
- les risques R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> surviennent sur la même tournée : ScR : { R<sub>1</sub> ;R<sub>2</sub>}.

Le Tableau 6 présente pour chaque scénario de risque possible les valeurs des critères amplitude et temps de conduite max. Pour chaque scénario une même vérification du respect des contraintes peut ainsi être effectué, tel que illustré par les colonnes Validité.

**Tableau 6. Influence des risques sur les solutions générées**

	Ser : {R1}			Ser : {R2}			Ser : {R1; R2}		
	Amplitude	Temps de conduite (max)	Validité	Amplitude	Temps de conduite (max)	Validité	Amplitude	Temps de conduite (max)	Validité
S1	04h10	01h00	Non	03h20	00h40	Oui	04h10	01h00	Non
S2	04h00	01h00	Oui	03h20	00h30	Oui	04h20	01h00	Non
S3	03h30	00h40	Oui	03h00	00h40	Oui	03h30	00h40	Oui
S4	04h10	01h00	Non	03h20	00h40	Oui	04h10	01h00	Non
S5	05h30	01h40	Non	04h10	00h40	Non	05h30	01h40	Non
S6	04h50	01h00	Non	03h50	00h40	Oui	04h50	01h00	Non
S7	06h00	01h40	Non	04h10	00h40	Non	06h00	01h40	Non
S8	05h10	01h40	Non	03h40	00h30	Oui	05h30	01h40	Non
S9	06h30	01h40	Non	04h10	00h40	Non	06h30	01h40	Non
S10	06h30	01h40	Non	04h10	00h30	Non	06h30	01h40	Non

Enfin, le critère agrégé de mesure de probabilité de respect des contraintes est calculé, tel que illustré Tableau 7. La solution S2, identifiée précédemment comme la meilleure solution apparaît comme fortement sensible aux perturbations : 44% de chances de ne pas respecter les contraintes contre 30% par exemple pour la solution S1. Par contre, la solution S3 apparaît comme fortement robuste aux perturbations (valeur de 1), car malgré les perturbations elle permet de respecter toutes les contraintes et ce dans tous les cas de figure.

**Tableau 7. Sensibilité des solutions aux perturbations**

	Probabilité de respect	Solution privilégiée
S1	0.3	
S2	0.44	
S3	1	X
S4	0.3	
S5	0	
S6	0.44	
S7	0	
S8	0.3	
S9	0	
S10	0	

## 6 CONCLUSION

Pour faire face à cette complexité, nous avons proposé dans cet article un modèle et une démarche permettant d'aider le planificateur à mieux évaluer et comparer les solutions de tournées obtenues. Pour cela, nous proposons un ensemble d'indicateurs simple permettant de caractériser chaque solution. De manière complémentaire, et afin de tenir compte du caractère dynamique et stochastique de l'environnement d'exécution des tournées, nous proposons un indicateur permettant d'indiquer au planificateur la robustesse de chaque solution. Cet indicateur exprime la capacité de la solution à respecter le cadre de contraintes malgré les perturbations potentielles.

Nous envisageons de poursuivre la définition d'indicateurs en ajoutant de la précision notamment en pondérant de manière différente les différentes solutions hors du cadre. Par exemple, une solution qui ne respecte pas une seule des contraintes identifiées aura un poids différent d'une autre solution en ne respectant aucune des contraintes.

## 7 REMERCIEMENTS

Les travaux présentés dans cet article sont issus du projet de recherche collaborative SMART PLANNING, financé par l'ANR. Nous remercions ici l'ensemble des partenaires de ce projet ainsi que l'ANR.

## 8 REFERENCES

- Bastide, R., Bardy, P., Borrel, B., Boszodi, C., Boue,t M., Gani, K., Gayraud, E., Gourc, D., Lamine, E., Manenq, P.-H., Schneider, M., Touman,i F., (2014) Plas'O'Soins: A software platform for modeling, planning and monitoring homecare activities, *IRBM*, 35(2), pp. 82–87.
- BSI. BS 6079-3 (2000): Project management - guide to the management of business related project related.
- Canon, L. C., Jeannot, E., (2007) A Comparison of Robustness Metrics for Scheduling DAGs on Heterogeneous Systems. *Sixth International Workshop on Algorithms, Models and Tools for Parallel Computing on Heterogeneous Networks - HeteroPar'07*, Austin, United States. 10 p.
- Canon, L.C., Jeannot, E., (2008) Evaluation and Optimization of the Robustness of DAG Schedules in Heterogeneous Environments. [*Research Report*] RR-6476, INRIA. pp.43.
- Cooper R. G., Edgett S. J., Kleinschmidt E. J. (1999) New product portfolio management: Practices and performance. *Journal of Product Innovation Management*, 16(4), pp. 333–351, 1999.
- Demir, E., Bektas, T., Laporte, G., (2014) A review of recent research on green road freight transportation. *European Journal of Operational Research.*, 237, pp. 775-793.
- Gourc D. (2006) Vers un modèle général du risque pour le pilotage et la conduite des activités de biens et de services. Habilitation à diriger des recherches, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, France, 2006.
- Gourc, D., Marmier, F., Gaborit, P., (2014) An approach based on tabu search technique for solving a multi time window home healthcare scheduling problem, *10th International Conference of Modeling and Simulation, MOSIM'2014*, Nancy (France), 4-6 november 2014.
- ISO31000 (2009) International Standards for Business, Risk management - Principles and guidelines.
- Lin, C., Choy, K.L., Ho, G.T.S, Chung, S.H., Lam, H.Y., (2014) Survey of Green Vehicule Routing problem: Past en future trends. *Experts Systems with Applications*, 41, pp. 1118-1138.
- Marmier, F., Gourc, D., Laarz, F., (2013) A risk oriented model to assess strategic decisions in new product development projects », *Decision Support Systems*, 56, p. 74-82.
- Marmier, F., Deniaud, I., Gourc, D., (2014) Strategic decision-making in NPD projects according to risk: application to satellites design projects, *Computers in. Industry*, (65)8, p. 1107-1114.
- Newnam, S., Goode, N., (2015) Do not blame the driver: A systems analysis of the causes of road freight crashes. . *Accident Analysis and Prevention*, 76, pp. 141-151.
- Nguyen, T.-H., Marmier, F., Gourc, D. (2013) A decision-making tool to maximize chances of meeting project commitments, *International Journal of Prodcution Economics*, (142)2, p. 214-224, 2013.
- PMBok (2009) A Guide to the Project Management Body of Knowledge:. Project Management Institute, 4th edition edition.
- Shestak, W., Smith, J., Siegel, H.J., Maciejewski A.A, (2006) A Stochastic Approach to Measuring the Robustness of



Resource Allocations in Distributed Systems, *International Conference on Parallel Processing*.

- Shi, Z., Jeannot, E., Dongarra J. J., (2006) Robust Task Scheduling in Non-Deterministic Heterogeneous Computing Systems. In Proceedings of *IEEE International Conference on Cluster Computing*, 1–10.
- Smith, J., Briceno, L.D., Maciejewski, A. A., Howard J.S., Renner T., Shestak, S., Ladd, J., Sutton, A., Janovy, D., Govindasamy, S., Alqudah, A., Dewri, R., Prakash, P., (2007) Measuring the Robustness of Resource Allocations in a Stochastic Dynamic Environment, *IEEE International conference on Parallel and Distributed Processing Symposium*.
- StadieSeifi, M., Dellaert, N.P., Nuijten, W., Van Woensel, T., Raoufi, R., (2014) Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 233, pp. 1-15.
- Tixier J., Dusserre G., Salvi O., Gaston D. (2002) Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15(4), pp. 291–303.
- Vidal, T., Crainic, T.G., Gendreau, M., Prins, C., (2013) Heuristics for Multi-Attribute Vehicle Routing Problems: A Survey and Synthesis. *European Journal of Operational Research*, 231(1), pp. 1-21.
- Ward, S., Chapman, C., (2003). Transforming project risk management into project uncertainty management. *International Journal of Project Management*, 21(2), pp. 97–105.