

Cas d'application planification d'une livraison dernier kilomètre

Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'illustrer les contributions des chapitres 4 et 5. Pour valider l'utilisation de notre proposition, un cas d'étude construit sur la base des données issues d'un partenaire industriel, participant au projet SMART PLANNING, est présenté.

Les données de ce cas correspondent à la planification d'une demi-journée d'une entreprise du transport routier de marchandises. La thèse étant réalisée dans le projet SMART PLANNING, ce chapitre illustre les différentes étapes du processus de planification retenues dans ce projet. Les différentes étapes sont la génération de planning journalier, l'évaluation des plannings selon trois indicateurs (économique, environnemental et santé sécurité au travail), la sélection des plannings par le planificateur, l'évaluation de la robustesse. Les premières étapes sont présentées succinctement dans l'objectif d'éclairer le lecteur sur les mécanismes permettant d'obtenir des plannings journaliers. Les contributions de ce mémoire portant sur les mécanismes d'évaluation de la robustesse des plannings, c'est cette étape qui sera détaillée dans ce chapitre.

Afin d'évaluer la robustesse, il est nécessaire d'alimenter un portefeuille de dangers. Ce portefeuille de dangers va permettre d'implémenter les risques sur les différents plannings comme vu au chapitre 4. Une fois les risques présents sur chaque planning, il devient possible d'estimer les valeurs des indicateurs de robustesse des tournées pour chaque planning.

Ces indicateurs de robustesse permettent d'aider le planificateur à choisir un planning dans un contexte risqué. Comme vu au chapitre 5, les indicateurs vont permettre au planificateur de négocier un temps de retard avec le client pour améliorer la robustesse de son planning. Nous proposons alors d'observer les améliorations des indicateurs de la situation initiale sans négociation par rapport à une négociation de 5 ou 10 minutes de retard. L'ensemble de la méthodologie est intégrée dans le prototype du projet SMART PLANNING.

La section 6.1 présente le projet SMART PLANNING et le prototype RIO-Suite dans lequel ces contributions ont été implémentées. La section 6.2 présente les données nécessaires pour l'obtention des indicateurs de robustesse. Les données de l'entreprise (conducteurs, véhicules, clients, sites, commandes) permettent la génération des plannings journaliers. Pour modéliser le contexte risqué, trois dangers constitueront le portefeuille de dangers. La section 6.3 illustre l'évaluation des indicateurs (économique, environnemental et santé sécurité au travail) sur un planning. Nous avons choisi de sélectionner un nombre restreint de plannings correspondant aux attentes du planificateur sur ces trois premiers critères. A partir des plannings sélectionnés, l'évaluation de la robustesse est proposée. Nous illustrerons le calcul détaillé des indicateurs de robustesse sur un exemple de planning journalier tant au niveau tournée que planning. Pour les autres plannings journaliers, les valeurs des indicateurs de robustesse seront données pour le seul niveau du planning. La section 6.4 présente la partie analyse des indicateurs de robustesse. Cette partie a pour objectif de montrer l'évolution des indicateurs de robustesse après négociation du retard autorisé par le client. Les valeurs des indicateurs sans négociation, puis avec 5 et 10 minutes sont présentées. Les courbes des indicateurs de robustesse de chaque planning illustreront les situations présentées dans le chapitre 5.

6.1 Implémentation des contributions

Cette section présente l'environnement dans lequel les contributions ont été effectuées. Le projet SMART PLANNING financé par l'ANR (ANR-16-CE26-0017) a été le support de l'ensemble de ces travaux. Le projet, associé au domaine du transport routier de marchandises, a permis de regrouper des acteurs de différentes spécialités pour construire de nouveaux corpus de connaissances. Nous présentons ci-dessous de manière plus détaillée les différents acteurs qui ont participé à ce projet.

Les contributions que nous avons formulées ont été implémentées dans le prototype RIO-Suite qui est une suite logicielle développée au sein du laboratoire.

6.1.1 Le projet SMART PLANNING

Le projet SMART PLANNING est un projet de recherche, financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Il vise à élaborer un module logiciel pour aider le planificateur à choisir un planning en situation complexe et risquée. Ce module prend en compte, dans la construction et l'évaluation de tournées, les nombreux critères économiques, environnementaux, sanitaires, sécuritaires, les contraintes réglementaires et les risques rencontrés lors de la réalisation des tournées. Le projet SMART PLANNING réunit des laboratoires de recherche et des industriels. L'INRS (Institut national de recherche et de sécurité) Nancy est chargé du recueil des données terrain ainsi que de la mise en place d'un indicateur SST (santé et sécurité au travail) pour l'évaluation des tournées et des plannings. L'INUC (Institut national universitaire Jean-François-Champollion) Albi est chargé de l'implémentation de l'interface du prototype de manière à proposer l'ensemble des indicateurs et solutions proposés au planificateur. Le CGI (Centre de Génie Industriel) IMT Mines-Albi est

chargé de la génération des solutions avec le respect des contraintes et de l'évaluation des indicateurs de robustesse sur les tournées et plannings journaliers. Les entreprises Deret et Main Forte sont des entreprises du transport routier de marchandises. Elles ont apporté l'expertise du métier de la planification des tournées, fourni les données terrain et permis de valider les différentes propositions et de simuler des expériences à partir de données réelles.

6.1.2 Le prototype RIO-Suite

Le prototype RIO-Suite¹ est un logiciel open source hébergé au centre de Génie Industriel de l'IMT Mines Albi. Il est issu des prototypes IO-Suite (Benaben et al., 2017) et Pro-(R)isk (Marmier et al., 2014; Nguyen et al., 2013). Ce logiciel est dédié à supporter à la fois l'(I)nteropérabilité au sein de collaborations d'(O)rganisations et la gestion des (R)isques. RIO-Suite est le support de nombreux projets présents au sein du laboratoire et adresse de nombreux domaines comme ceux de la gestion de crise, de la santé, de la supply-chain...

Le modèle de données présenté au chapitre 3 est hérité du métamodèle de RIO-Suite présenté par Benaben et al. (2017). Pour implémenter mes contributions à ce logiciel, des propositions d'évolution ont été faites et implémentées au sein du prototype. Les principaux apports sont la description plus fine des attributs du concept danger, auparavant implémenté par Fertier (2018), la génération et l'évaluation des risques sur un processus à partir du concept de danger et l'évaluation de la robustesse lors des simulations des scénarios de risques.

L'ensemble du cas d'étude est réalisé sur le prototype RIO-Suite. Les données de la planification (entreprise du transport, conducteur, véhicule, client, site et commande) et les dangers sont renseignés pour réaliser la génération des plannings puis l'évaluation de la robustesse.

6.2 Les données manipulées par le planificateur

L'objectif de cette section est de présenter les données manipulées permettant une fois le planning construit d'évaluer la robustesse. L'ensemble des données manipulées respectent le modèle de données présenté au chapitre 3. Ce modèle de données est la structure permettant de décrire l'ensemble des concepts manipulés par le planificateur. Les conducteurs, véhicules, clients, sites et commandes sont décrits pour nous permettre de proposer un algorithme de génération de plannings journaliers. Ces plannings sont confrontés à un contexte risqué. Pour illustrer notre proposition du chapitre 4, trois dangers constitueront le contexte dans lequel les plannings sont réalisés.

1. <https://research-gi.mines-albi.fr/display/RIOSUITE/Welcome>

Table 6.1 – Liste des commandes

Id. Commande	Site de livraison	Heure de livraison	Quantité (palettes)
Order 1	Site 1	7h15	3
Order 2	Site 2	7h00	2
Order 3	Site 3	8h00	3
Order 4	Site 4	7h15	3
Order 5	Site 5	5h30	2
Order 6	Site 6	8h15	3
Order 7	Site 7	7h30	2
Order 8	Site 8	7h15	2
Order 9	Site 9	6h30	3
Order 10	Site 10	6h00	3
Order 11	Site 11	6h00	2
Order 12	Site 12	7h00	3
Order 13	Site 13	6h30	2
Order 14	Site 14	7h30	3
Order 15	Site 15	5h00	3
Order 16	Site 16	6h45	3
Order 17	Site 17	6h45	3
Order 18	Site 18	8h30	2
Order 19	Site 19	5h00	2
Order 20	Site 20	6h45	2
Order 21	Site 21	7h30	2
Order 22	Site 22	7h30	2
Order 23	Site 23	8h00	3
Order 24	Site 24	7h30	2
Order 25	Site 25	6h30	2

6.2.1 Les données de planification

Le cas d'étude présenté correspond à la planification d'une demi-journée d'une entreprise réelle. Toutes les données sont anonymisées pour des raisons de confidentialité.

Le planificateur doit planifier 25 commandes. Ces 25 commandes sont décrites par l'ensemble des attributs présentés dans le chapitre 3. La table 6.1 est une illustration succincte de la description des commandes. Une commande va être décrite par le site de livraison, l'heure de livraison, le nombre de palettes... Dans notre exemple, l'heure de livraison est une heure fixe pour l'ensemble des commandes.

Les 25 sites à livrer sont également décrits selon le modèle de données présenté au chapitre 3. La figure 6.1 présente la répartition géographique des sites à livrer. Les sites sont caractérisés par des heures d'ouverture et de fermeture. Aucun site n'a de quai de déchargement et tous les sites appartiennent au même client. La restriction à un client n'impacte pas la proposition des indicateurs de robustesse car ces indicateurs sont basés sur une vision globale de la tournée et du planning

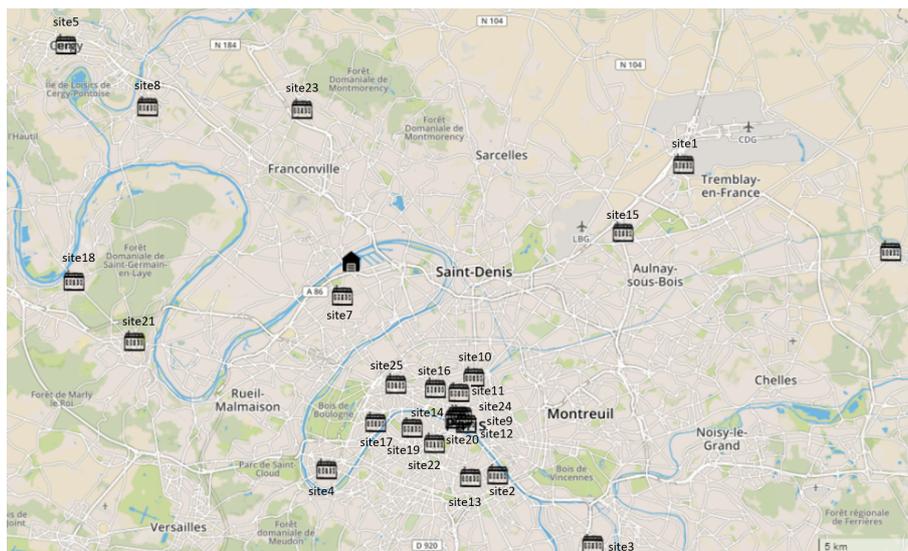


Figure 6.1 – Positionnement géographique des sites à livrer

journalier. La partie négociation avec le client n'est pas impactée non plus par cette restriction car elle s'effectue sur les indicateurs de robustesse.

Pour les données de l'entreprise de transport, nous utilisons un entrepôt qui possède 15 véhicules et 15 conducteurs. L'ensemble de la description de ces concepts n'impactent pas l'évaluation de la robustesse. Les attributs du véhicule et du conducteur permettent de générer des contraintes lors de la planification et permettent d'évaluer les attributs agrégés des tournées et des plannings journalier.

L'ensemble des données du client et de l'entreprise de transport sont nécessaires pour effectuer la planification.

6.2.2 La génération des plannings journaliers

L'objectif de cette étape est de construire plusieurs plannings journaliers respectant les exigences client pour réaliser l'ensemble des commandes. A partir de cette liste de plannings possibles, le planificateur pourra comparer ces solutions pour en sélectionner une.

Au sein du projet SMART PLANNING, nous avons proposé un algorithme qui est capable de générer de nombreuses solutions. Cet algorithme est un algorithme de placement au plus tôt. Il ne cherche pas à optimiser car même si un planning est évalué sur trois critères dans notre prototype (économique, environnemental et santé sécurité au travail), le contexte risqué peut perturber les plannings et donc les indicateurs associés. Pour réaliser un placement au plus tôt, les listes de commandes, de véhicules et de conducteurs doivent être ordonnées. L'objectif de ces listes est d'identifier, pour chacun de ces concepts, quel est l'individu le plus contraint. Par exemple, concernant le concept commande, la commande se trouvant en première position de la liste est la commande qui a une contrainte horaire la plus élevée. Une livraison dont la contrainte horaire est 8h est plus contraignante qu'une livraison

dont la contrainte horaire est entre 8h et 12h. Ainsi, la commande la plus contrainte sera affectée en premier.

Un travail mené par l'INRS avec les planificateurs des entreprises partenaires a permis d'identifier les critères à retenir pour chacun des concepts afin d'établir les classements. Dans un premier temps, notre choix est de représenter le raisonnement du planificateur. Pour cela, la méthode multicritère AHP (analyse multicritère hiérarchique) (Saaty, 1995) nous a permis de pondérer l'ensemble des attributs de nos trois concepts (commande, véhicule et conducteur) pour connaître les critères pris en compte en premier par le planificateur lors de la création d'un planning.

La construction de cette pondération a été effectuée par des experts du transport routier de marchandises. En utilisant la méthode AHP, nous avons demandé aux experts de répartir un nombre To de jetons sur les attributs de chaque concept (commande, véhicule et conducteur) pour identifier l'attribut le plus important pour la planification. Par la suite, les experts ont comparé les attributs deux à deux. Pour cela, il a été demandé de noter sur une échelle de 1 à 9 l'importance d'un attribut par rapport à un autre, 1 signifie que les deux attributs sont pris en compte de manière égale et 9 signifie que le premier attribut est beaucoup plus important que le second dans la pondération. A partir de l'ensemble des comparaisons deux à deux, la méthode permet d'obtenir un poids précis de chaque attribut.

A partir des poids obtenus par la méthode AHP et des données d'entrée, nous utilisons une deuxième méthode multicritère Promethee (Brans et al., 1985) pour classer par ordre de préférence les données manipulées. Les fonctions de préférence de la méthode ont pour objectif de définir les seuils à partir desquels un attribut est déterminant pour la comparaison. Par exemple, pour l'attribut quantité de palettes qu'un véhicule peut transporter, l'expert doit déterminer à partir de combien de palettes d'écart un véhicule est préféré à un autre. Une fois cette méthode utilisée, nous obtenons une liste pour chaque concept où l'ensemble des éléments est ordonné et pondéré.

Notre objectif est de créer des listes ordonnées de commandes, de véhicules et de conducteurs pour utiliser l'algorithme de placement. La combinatoire de ces trois listes dans l'algorithme de placement permet d'obtenir une première solution (un planning journalier complet). Notre objectif est de permettre au planificateur de comparer plusieurs solutions. Pour construire plusieurs solutions, notre choix s'est porté sur un mécanisme d'exploration des solutions proches du raisonnement humain, tel que présenté précédemment.

Pour chaque concept, nous avons une liste d'éléments ordonnés selon un poids, obtenu par les approches multicritères présentées ci-dessus. Pour créer une nouvelle liste dans chaque concept, contenant la même liste d'éléments mais ordonnés de manière différente, nous effectuons un tirage aléatoire pondéré par les poids de chaque élément. Une fois le tirage aléatoire pondéré effectué, nous obtenons une nouvelle liste pour chaque concept, et l'utilisation de l'algorithme de placement tel que présenté ci-dessus génère une nouvelle solution. L'ensemble de ces travaux sur la génération de planning à l'aide des méthodes multicritères est soumis dans « Journal of Decision Systems ».

Table 6.2 – Description des dangers

Id	Nom du danger	Tâche impactée	Localisation
d1	Circulation intense route 1	Move	Route 1
d2	Absence du client 13	Act. Site	Site 13
d3	Circulation intense route 10	Move	Route 10

Dans le cas d'étude présent, cette méthode de génération de plannings est appliquée. Afin de respecter la contrainte de temps du planificateur pour créer un planning, 56 plannings journaliers d'environ une quinzaine de tournées chacun ont été générés en 5 minutes pour notre cas d'étude.

6.2.3 Les dangers pris en compte

Pour représenter le contexte risqué, les experts du transport routier de marchandises ont identifié trois dangers pouvant impacter le planning de la journée étudiée.

Ces dangers sont décrits dans la table 6.2. La route 1 correspond à l'axe entre le site 1 et le site 6. La route 10 est l'axe permettant de quitter le site 10 en raison d'une rue à sens unique.

Chaque danger est également caractérisé par des fenêtres temporelles (plages journalières et plages horaires) (voir table 6.3) pour permettre de préciser les probabilités et impacts des risques associés en fonction des heures de réalisation des activités des tournées. Comme l'ensemble des plannings est réalisé la même journée, les plages journalières ne sont pas représentées. Les plages horaires se trouvent en haut de la table. Par exemple, la probabilité d'avoir une circulation élevée sur la route 1 est plus importante entre 5h et 10h (40%) qu'entre 0h et 5h (5%). De manière similaire, l'impact de cette perturbation sur une activité motrice (qui est une activité de type "Move") est concerné par ce danger, l'utilisation de cette route est plus importante entre 10h et 16h (+15 minutes) qu'entre 21h et 24h (+5 minutes). Les valeurs détaillées sont présentées dans la table 6.3.

Table 6.3 – Caractérisation de la probabilité et de l'impact des dangers

Id	Probabilité					Impact				
	[0h-5h]	[5h-10h]	[10h-16h]	[16h-21h]	[21h-24h]	[0h-5h]	[5h-10h]	[10h-16h]	[16h-21h]	[21h-24h]
d1	0.05	0.4	0.25	0.4	0.05	+1 min	+10 min	+15 min	+10 min	+5 min
d2	0.05	0.5	0.3	0.4	0	+5 min	+10 min	+15 min	+10 min	+2 min
d3	0.1	0.3	0.3	0.4	0	+1 min	+15 min	+10 min	+10 min	+2 min

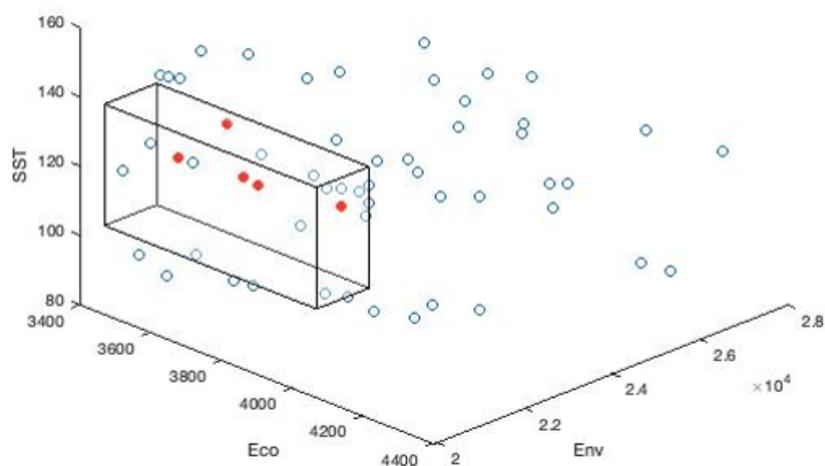


Figure 6.2 – Représentation des évaluations des 56 plannings journaliers

6.3 Évaluation des plannings journaliers

Une fois les plannings journaliers générés et les dangers caractérisés, le planificateur doit sélectionner le planning qui lui semble répondre au mieux à ses attentes. Les travaux menés au sein du projet SMART PLANNING avec les différents partenaires ont permis de proposer trois indicateurs (économique, environnemental et santé sécurité au travail) permettant d'évaluer les plannings. Tous les plannings générés respectent les contraintes des clients (contraintes horaires, contraintes de sécurité...). Par conséquent, cela veut dire que les indicateurs proposés permettent au planificateur de s'intéresser à la sélection d'un planning respectant au mieux les objectifs et contraintes de l'entreprise de transport. Après avoir sélectionné un nombre de plannings restreint, le planificateur peut évaluer la robustesse de chaque planning sur ces derniers.

6.3.1 Évaluation des indicateurs (Eco, Env et SST)

Pour ce cas d'étude, 56 plannings sont générés, intitulés *ds1* à *ds56*. Chaque planning est composé d'un ensemble de tournées permettant de satisfaire les différentes contraintes notamment l'heure de livraison exigée par le client. Ces plannings journaliers sont ensuite évalués en fonction des trois indicateurs financier, environnemental et santé à l'étape suivante. Les résultats sont présentés à la figure 6.2. Chaque point correspond à un planning. Chaque axe matérialise les valeurs d'un des trois indicateurs (Eco, Env et SST).

Le planificateur procède à une première comparaison afin de sélectionner un nombre moins élevé de plannings. Il peut exclure les plannings qui n'atteignent pas ses

Table 6.4 – Évaluation des plannings

Daily schedule	Eco.(€)	Env.(gCO2)	SST
ds27	3 601	21 684	131
ds32	3 961	21 397	123
ds34	3 702	21 558	119
ds46	3 589	20 655	126
ds48	3 712	21 145	123

objectifs financiers en utilisant un seuil. Dans cet exemple, le planificateur a fixé le seuil financier à 4 000 €. De même, il a mis un seuil sur les indicateurs environnemental et santé afin de ne conserver que les plannings qui lui semblent satisfaire ses objectifs. L'indicateur d'environnement se situe entre 20 500 et 21 700 grammes de dioxyde de carbone et pour l'indicateur de santé et de sécurité au travail, il se situe entre 100 et 135 de coût physique pour cet exemple.

Suite à cette analyse, seuls 5 plannings journaliers sont conservés pour l'étude de la robustesse (*ds27*, *ds32*, *ds34*, *ds46*, *ds48*). L'évaluation de ces plannings est présentée dans la table 6.4.

6.3.2 Illustration des indicateurs de robustesse au niveau des tournées

Maintenant que la sélection selon les indicateurs (économique, environnemental et santé sécurité au travail) est faite, le planificateur peut s'intéresser à la robustesse des plannings. Chaque planning va être confronté à la base de données des dangers potentiels. Pour toute activité de chaque planning intersectant avec une des zones de danger identifiées alors un risque sera généré sur le planning. Pour illustrer les indicateurs de robustesse, nous présenterons le planning *ds27*, composé de 11 tournées. Les trois dangers (*d1*, *d2* et *d3*) du portefeuille de dangers ont généré des risques (R_1 , R_2 et R_3) sur le planning. Le risque R_1 a une incidence sur la tournée *t8*, le risque R_2 a un impact sur la tournée *t5* et le risque R_3 a un impact sur la tournée *t2*. La table 6.5 correspond aux valeurs de robustesse pour un retard accepté de 0 minute ($x=0$), c'est-à-dire sans aucune négociation.

Pour le même planning *ds27*, si le planificateur négocie un retard de 10 minutes avec le client, les valeurs des indicateurs sont modifiées. La table 6.6 correspond à la valeur de robustesse pour un retard accepté de 10 minutes ($x=10$). A l'aide de cette table, le constat est que les retards sur les tournées *t5* et *t8*, impactées par les risques R_1 et R_2 peuvent être absorbés par la négociation réalisée par le planificateur. Pour la tournée *t2* impactée par le risque R_3 , la valeur de minimum de satisfaction ($TMinSat(10)$) est plus importante, elle est passée de 0.84 à 0.96. La probabilité que la tournée respecte la satisfaction client a augmenté de 0.21 à 0.7 mais n'est pas encore parfaite (égale à 1).

Table 6.5 – Indicateur de robustesse (pour $x=0$) détaillé pour chaque tournée de *ds27*

	$TNbDel$	$TProbRespect(0)$	$TMinSat(0)$	$TMaxDelay(min)$
t1	3	1	1	0
t2	4	0.7	0.5	12.77
t3	2	1	1	0
t4	2	1	1	0
t5	3	0.5	0.5	1.8
t6	2	1	1	0
t7	2	1	1	0
t8	2	0.6	0.5	8.1
t9	1	1	1	0
t10	2	1	1	0
t11	2	1	1	0
	$SNbDel$	$SProbRespect(0)$	$SMinSat(0)$	$SMaxDelay(min)$
ds27	25	0.21	0.84	12.77

Table 6.6 – Indicateur de robustesse (pour $x=10$) détaillé pour chaque tournée de *ds27*

	$TNbDel$	$TProbRespect(10)$	$TMinSat(10)$	$TMaxDelay(min)$
t1	3	1	1	0
t2	4	0.7	0.75	12.77
t3	2	1	1	0
t4	2	1	1	0
t5	3	1	1	1.8
t6	2	1	1	0
t7	2	1	1	0
t8	2	1	1	8.1
t9	1	1	1	0
t10	2	1	1	0
t11	2	1	1	0
	$SNbDel$	$SProbRespect(10)$	$SMinSat(10)$	$SMaxDelay(min)$
ds27	25	0.7	0.96	12.77

Table 6.7 – Indicateur de robustesse avec $x=0$

Planning journalier	$SProbRespect(0)$	$SMinSat(0)$	$SMaxDelay(min)$
ds_{27}	0.21	0.84	12.77
ds_{32}	0.35	0.92	8.32
ds_{34}	0.21	0.88	8.32
ds_{46}	0.42	0.92	22.37
ds_{48}	0.42	0.92	12.77

6.3.3 Illustration des indicateurs de robustesse au niveau planning journalier

A partir de l'illustration du planning journalier ds_{27} , le même mécanisme est appliqué aux autres plannings. Chaque planning est confronté au portefeuille de dangers. Cela permet de générer les différents risques. Puis les différents scénarios de risques sont simulés pour obtenir les indicateurs de robustesse de chaque tournée. Suite à cela, avec les équations proposées dans le chapitre précédent, les indicateurs de robustesse sont calculés au niveau du planning journalier.

La table 6.7 présente les valeurs des indicateurs de robustesse pour chaque planning journalier avec une marge x égale à 0.

Les valeurs de l'indicateur ($SProbRespect(0)$) de la probabilité de respecter l'heure de livraison varient entre 21% et 42%. Cela montre que l'ensemble des plannings a peu de chance de respecter l'ensemble des engagements de livraison. Cependant, le minimum de satisfaction ($SMinSat(0)$) est situé entre 84% et 92%, ce qui montre que peu de livraisons sont impactées. Le retard maximum ($SMaxDelay$) est compris entre 8.32 minutes et 22.37 minutes.

6.4 Interprétation des indicateurs de robustesse

Les valeurs obtenues dans l'évaluation des plannings ont pour objectif de permettre au planificateur de choisir le planning le plus adapté au contexte actuel. Cependant, la robustesse des plannings n'est pas forcément celle attendue. Pour correspondre aux attentes du planificateur, une négociation avec le client s'impose.

Nous proposons ci-dessous une démarche structurée pour l'interprétation des indicateurs de robustesse proposés. Notre proposition est de présenter les indicateurs de robustesse sans négociation et de les confronter à ce que l'on obtiendrait en tolérant un retard de 5 et 10 minutes.

6.4.1 Comparaison des plannings sans négociation

La comparaison des plannings journaliers sans négociation correspond à la table 6.7 de la section précédente. Le planificateur va faire une observation des trois indicateurs

de robustesse en commençant par la probabilité de respect, puis le minimum de satisfaction et ensuite le retard maximum.

Dans un premier temps, le planificateur va chercher les plannings ayant la plus grande probabilité de respect $SProbRespect(0)$. Car une livraison en retard peut être refusée et donc va impacter la satisfaction client mais également les indicateurs du planificateur. De plus, le refus d'une livraison pour cause de retard entraîne une nouvelle livraison le lendemain, cela va donc engendrer des modifications sur les plannings des jours suivants. Dans notre cas d'étude, le planificateur va s'orienter vers les plannings $ds46$ et $ds48$ ayant une probabilité de respect la plus élevée.

Dans un deuxième temps, le planificateur va s'intéresser au minimum de satisfaction $SMinSat(0)$. Le minimum de satisfaction correspond au pourcentage de client satisfait quels que soient les risques impactant la tournée. Un minimum de satisfaction élevé signifie que peu de livraisons sont impactées. Par conséquent, les indicateurs de départ (économique, environnemental et santé sécurité au travail) sont moins impactés. Le planificateur va donc s'orienter vers un minimum de satisfaction le plus élevé. Dans notre cas d'étude, les minimums de satisfactions des deux plannings $ds46$ et $ds48$ sont identiques.

Ensuite, le planificateur va s'intéresser au retard maximum $SMaxDelay$ car son objectif est également de limiter les retards sur les livraisons. Il va donc choisir le planning qui peut avoir le moins de retard, c'est-à-dire le planning journalier $ds48$.

Pour l'indicateur de la probabilité de respect $SProbRespect(0)$, le choix dans cet exemple est de conserver les plannings ayant la plus grande valeur. L'utilisation de seuil comme dans le chapitre 5 aurait pu être mise en place. Par exemple, le planificateur peut considérer que les plannings sont dans une zone acceptable si $SProbRespect(0)$ est supérieur ou égal à 35%. De la même manière pour l'indicateur du minimum de satisfaction $SMinSat(0)$, un seuil aurait pu être mis en place par le planificateur.

Cependant il est possible que les seuils voulus par le planificateur ne soient pas atteints par les plannings sélectionnés. Dans ce cas-là, le planificateur doit négocier un retard autorisé avec le client sur une livraison. Cela nous amène à nous intéresser aux évolutions des indicateurs de robustesse.

6.4.2 Courbes des indicateurs de robustesse des plannings sélectionnés

Pour permettre au planificateur de connaître le temps à négocier, il faut s'intéresser aux courbes des indicateurs $SProbRespect(x)$ et $SMinSat(x)$. Le planificateur cherche à respecter des seuils pour les deux indicateurs pour que le planning soit considéré comme acceptable pour lui. Pour notre cas d'étude, le seuil acceptable pour l'indicateur $SProbRespect(x)$ est de 70% et pour l'indicateur $SMinSat(x)$ le seuil est de 90%.

Une fois les seuils fixés, il faut regarder si, sans négociation, les plannings respectent les seuils. Puis, dans un deuxième temps, observer les courbes pour connaître le délai

à négocier pour qu'un planning soit entièrement acceptable par le planificateur. Pour rappel, comme vu dans le chapitre 5, les seuils des deux indicateurs permettent de structurer les plannings selon 4 situations. Les situations sont :

- les seuils sont respectés (situation 1) ;
- uniquement le seuil de la probabilité de respect des livraisons est respecté (situation 2) ;
- uniquement le seuil de la satisfaction minimum est respecté (situation 3) ;
- aucun seuil n'est respecté (situation 4).

A partir des indicateurs $SProbRespect(0)$ et $SMinSat(0)$, on remarque que les plannings ds_{27} et ds_{34} sont dans la situation 4 où aucun seuil n'est satisfait. Les plannings ds_{32} , ds_{46} et ds_{48} sont dans la situation 3 où seulement le minimum de satisfaction est dans la zone acceptable par le planificateur.

Maintenant que les plannings sont positionnés dans une situation, il faut connaître l'évolution des deux indicateurs pour pouvoir négocier avec le client. Pour rappel dans le chapitre 5, chaque indicateur peut évoluer de 6 façons différentes correspondant aux 6 cas présentés dans le chapitre précédent. Soit l'indicateur est dans une zone acceptable, alors on s'intéresse au passage de la zone acceptable à la valeur de robustesse de 100% pour l'indicateur :

- Cas 1 l'évolution est rapide ;
- Cas 2 l'évolution est lente.

Soit l'indicateur est dans une zone non acceptable, la première évolution est de la zone non acceptable à la zone acceptable et la deuxième évolution est de la zone acceptable à la robustesse de 100% :

- Cas 3 les deux évolutions sont rapides ;
- Cas 4 la première évolution est rapide et la deuxième est lente ;
- Cas 5 la première évolution est lente et la deuxième est rapide ;
- Cas 6 les deux évolutions sont lentes.

Pour chaque indicateur, un cas d'évolution est possible. Les cas d'évolution peuvent être différents pour les deux indicateurs d'un même planning. Les fonctions associées aux indicateurs $SProbRespect(x)$ et $SMinSat(x)$ des plannings (ds_{27} , ds_{32} , ds_{34} , ds_{46} et ds_{48}) sont présentées dans leurs colonnes respectives de la table 6.8. Ces fonctions permettent au planificateur de voir, en fonction du retard, qu'il peut négocier avec le client quelle serait la meilleure planification.

Pour chaque planning, il est possible de préciser dans quel cas d'évolution se trouve chacun de ces indicateurs de robustesse. Pour cela, il faut observer la tendance de la courbe pour atteindre le seuil acceptable de l'indicateur et la tendance pour atteindre une robustesse de 100%.

Pour le planning ds_{27} , le temps pour atteindre le seuil de l'indicateur de probabilité de respect $SProbRespect(X)$ est important tandis que le passage de ce seuil à la valeur de 100% est immédiate. L'indicateur $SProbRespect_{ds_{27}}(X)$ est dans le cas 5. Pour l'indicateur de minimum de satisfaction $SMinSat(X)$, le seuil de 90% est

Table 6.8 – Évaluation des plannings selon ProbRespect(X) et Minsat(X)

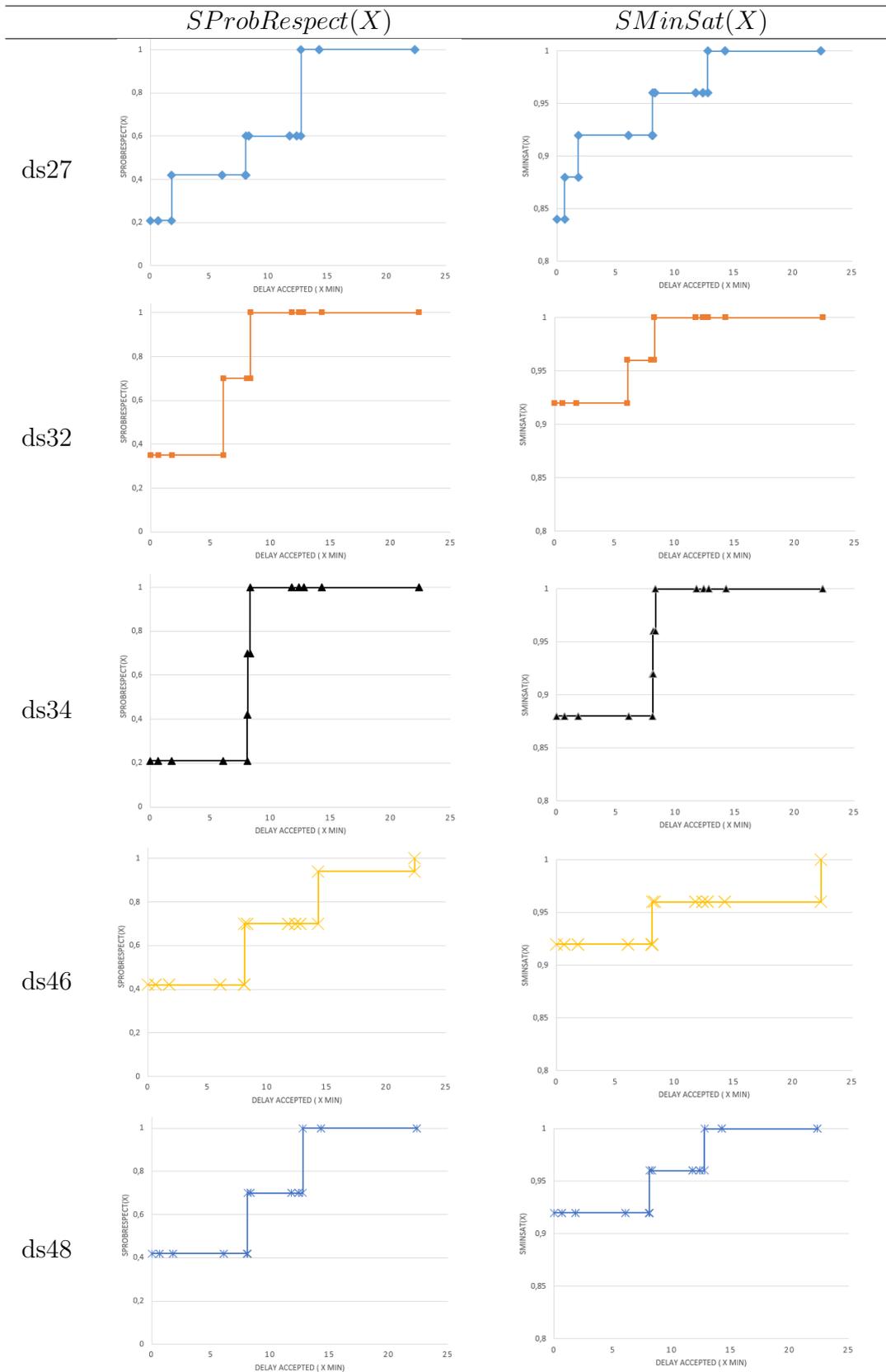


Table 6.9 – Indicateur de robustesse avec $x=5$

Daily Schedule	$SProbRespect(5)$	$SMinSat(5)$	$SMaxDelay(min)$
ds27	0.42	0.92	12.77
ds32	0.35	0.92	8.32
ds34	0.21	0.88	8.32
ds46	0.42	0.92	22.37
ds48	0.42	0.92	12.77

rapidement atteint mais pour atteindre la valeur de 100%, le temps à négocier est long. L'indicateur $SMinSat_{ds27}(X)$ est donc dans le cas 4.

Par une observation similaire des graphiques, il est possible de donner l'ensemble des cas d'évolutions des différents indicateurs :

- $SProbRespect_{ds32}(X)$: Cas 5 ;
- $SMinSat_{ds32}(X)$: Cas 2 ;
- $SProbRespect_{ds34}(X)$: Cas 5 ;
- $SMinSat_{ds34}(X)$: Cas 5 ;
- $SProbRespect_{ds46}(X)$: Cas 6 ;
- $SMinSat_{ds46}(X)$: Cas 2 ;
- $SProbRespect_{ds48}(X)$: Cas 5 ;
- $SMinSat_{ds48}(X)$: Cas 2.

Connaître l'évolution des indicateurs est un atout pour la sélection d'un planning lors de la négociation. Cela permet au planificateur de connaître le temps à négocier pour que les plannings journaliers soient satisfaisants par rapport au seuil qu'il s'est fixé. Cela amène à la phase de négociation avec le client.

6.4.3 Comparaison des plannings avec une négociation de 5 et 10 minutes

Dans cette section nous allons étudier deux négociations différentes, une de 5 minutes et une de 10 minutes pour le délai de livraison. Nous présenterons le planning respectant au mieux les attentes du planificateur pour chaque négociation. Dans un premier temps, nous avons vu que le planning sélectionné sans négociation était le planning ds_{48} car les indicateurs de robustesse sont les plus proches des attentes de celui-ci.

Pour une négociation de 5 minutes, les indicateurs de robustesse sont différents (voir table 6.9).

La négociation de 5 minutes présentée dans la table 6.9 montre que seules les valeurs du planning ds_{27} ont changé. La probabilité de respect est passée de 21% à 42% et le minimum de satisfaction est passé de 84% à 92%. L'augmentation de la probabilité de respect est importante mais le seuil acceptable n'est pas atteint. Pour l'indicateur

Table 6.10 – Indicateur de robustesse avec $x=10$

Daily Schedule	$SProbRespect(10)$	$SMinSat(10)$	$SMaxDelay(min)$
ds27	0.6	0.96	12.77
ds32	1	1	8.32
ds34	1	1	8.32
ds46	0.7	0.96	22.37
ds48	0.7	0.96	12.77

de minimum de satisfaction, le seuil est atteint avec un court temps de négociation comme nous avons pu le voir lors de la définition du cas d'évolution de l'indicateur du planning ds_{27} . Par rapport aux indicateurs de robustesse, le planificateur peut sélectionner les plannings ds_{27} et ds_{48} qui après avoir négocié 5 minutes avec le client sont équivalents.

Comme le présentent les différents cas d'évolution des indicateurs, le temps à négocier est long pour atteindre le seuil acceptable dans la majorité des plannings. Les cas 2, 5 et 6 sont des cas où l'évolution de l'indicateur est lente dans un premier temps. Nous allons donc nous intéresser à une négociation avec le client de 10 minutes.

La table 6.10 est la synthèse des résultats des indicateurs de robustesse avec une négociation de 10 minutes entre le planificateur et le client. Le constat est que deux plannings (ds_{32} et ds_{34}) ont des indicateurs de robustesse à 100%. Cela signifie que quels que soient les risques pris en compte perturbant le planning, l'ensemble des livraisons sera effectué avec un retard inférieur à 10 minutes. Ce retard étant négocié avec le client la livraison respectera les engagements. Les plannings ds_{46} et ds_{48} respectent les deux seuils qu'accepte le planificateur mais les plannings peuvent encore ne pas satisfaire l'ensemble des clients. Le planning ds_{27} ne respecte toujours pas le seuil de la probabilité de respect des livraisons.

Avec 10 minutes de négociation, les plannings ds_{32} et ds_{34} ont une robustesse de 100%. Ce résultat vient du fait que le temps négocié est supérieur au retard maximum $SMaxDelay$ qu'une livraison pouvait avoir sur un planning. Une négociation de 8.32 minutes est suffisante pour atteindre les mêmes valeurs pour les indicateurs de robustesse. Pour que les plannings ds_{27} et ds_{48} soient évalués avec une robustesse de 100%, le planificateur doit négocier un retard de 12.77 minutes et pour le planning ds_{46} , il est nécessaire de négocier 22.37 minutes pour le même résultat.

Conclusion

Ce chapitre a pour objectif d'illustrer les propositions faites précédemment. Il présente un cas d'étude basé sur les activités d'une entreprise de transport routier de marchandises. Pour permettre la sélection d'un planning journalier parmi plusieurs, nos indicateurs de robustesse permettent au planificateur de connaître les impacts des risques sur un planning. Les risques sont générés automatiquement sur l'ensemble des plannings de par notre proposition d'implémentation d'un portefeuille de dangers.

Les indicateurs de robustesse ont deux finalités. La première est de permettre au planificateur de sélectionner un planning lors de la comparaison avec d'autres plannings. La deuxième est de donner des informations au planificateur pour négocier avec le client dans l'objectif d'améliorer le planning et de pouvoir effectuer la sélection.

Ce cas d'étude illustre d'une part l'identification et l'évaluation automatiques des risques sur un ensemble de plannings dans le même contexte. Ce contexte est modélisé par notre portefeuille de dangers. D'autre part, les indicateurs de robustesse des différents plannings permettent au planificateur de choisir un planning et de négocier un délai de retard avec le client.

Le choix du planning dépend des attentes du planificateur qui peuvent être différentes pour chacun. Les seuils de tolérance choisis sont déterminés en fonction du planificateur et en fonction de la planification qu'il doit réaliser. Les indicateurs de robustesse permettent au planificateur de connaître le temps à négocier avec les clients dans le but d'améliorer ces indicateurs jusqu'aux seuils souhaités. Ainsi les illustrations de ce chapitre permettent d'observer que le planning sélectionné dépend des indicateurs de robustesse dont les valeurs peuvent varier en fonction du temps négocié avec le client.

Conclusion générale

Les activités réalisées par les acteurs du secteur du TRM sont soumises à de nombreux aléas. Ces aléas peuvent entraîner des modifications des tournées de livraison et du planning journalier et notamment modifier la durée de certaines activités. Lors de la création de ce planning journalier, le planificateur doit respecter les contraintes des clients et notamment l'heure de livraison. Les modifications de durée d'activités peuvent donc compromettre son travail en impactant le coût du planning mais également la satisfaction des clients. La difficulté pour le planificateur est donc de sélectionner un planning qui respecte les contraintes du client dans un contexte risqué.

Les travaux présentés dans ce mémoire essaient ainsi de répondre à la problématique : Comment aider un planificateur à choisir un planning dans un contexte risqué ?

Deux axes de recherche sont explorés, la prise en compte des risques et le développement d'indicateurs appropriés pour caractériser les tournées et plannings journaliers. Dans notre cas, le contexte risqué est représenté par des risques qui impactent les plannings. Ces plannings sont évalués selon des indicateurs permettant au planificateur de sélectionner celui qui correspond le mieux à ses attentes.

Dans le domaine du management des risques, le processus classique de gestion des risques comprend les étapes d'identification, d'évaluation, de traitement et de suivi des risques. Le planificateur ne dispose que d'un seul jour pour élaborer et sélectionner son planning et l'application de ce processus est très coûteuse en termes de temps nécessaire pour une application approfondie. Permettre une identification automatique des risques est donc indispensable pour que le planificateur puisse évaluer l'impact des risques sur le planning et sélectionner le meilleur planning.

Cette thèse propose l'implémentation de la notion de danger permettant, lorsqu'une activité de la tournée le rencontre, de générer un risque sur celle-ci puis d'évaluer les valeurs de probabilité et d'impact de ce risque. A partir du modèle de danger présenté dans ce mémoire basé sur la localisation des activités ainsi que du type d'activités, l'ensemble des risques impactant un planning est généré.

Pour l'axe de recherche sur les indicateurs, il s'agit de déterminer comment permettre au planificateur d'avoir confiance en un planning journalier lorsque celui-ci est réalisé dans un contexte risqué. Le besoin du planificateur est d'avoir des indicateurs lui permettant de définir si le planning répond aux attentes initiales. Ce mémoire présente les indicateurs du transport routier de marchandises. Cette étude a permis de montrer