

Proposition d'indicateurs de robustesse

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de répondre à l'une des questions de recherche liées à notre problématique. Cette question se décline en : « Quels indicateurs permettent de caractériser la capacité d'un planning à résister aux perturbations ? »

Comme vu dans le chapitre 4, la prise en compte des risques modifie de manière significative un planning. Par conséquent, les indicateurs qui qualifient ce planning sont susceptibles d'être modifiés par l'apparition d'évènements perturbateurs. D'où l'intérêt d'avoir des indicateurs permettant au planificateur d'évaluer la résistance aux perturbations de ce planning.

Ces indicateurs permettent de garantir que le planning choisi est conforme à certaines exigences de nature économique, environnementale, sociétale. A titre illustratif, le respect de l'heure de livraison est un élément clé pour la satisfaction client. Cette exigence est prise en compte dans de tels indicateurs.

Dans ce chapitre, nous proposons trois indicateurs de robustesse dans le but de répondre aux attentes du planificateur. Ces dernières sont diverses mais peuvent se résumer en :

- une garantie sur la conformité de son planning, c'est-à-dire de connaître le pourcentage de réalisation du planning où l'ensemble de ses clients sont satisfaits ;
- une connaissance sur le minimum de satisfaction que peut obtenir son planning si des aléas perturbent le planning choisi ;
- une indication sur le retard maximal que peut avoir une livraison chez un client.

Les indicateurs de robustesse dépendent du retard susceptible d'être négocié par le planificateur auprès du client.

Une analyse est nécessaire lorsque les seuils définis par le planificateur ne sont pas atteints par les valeurs calculées des indicateurs de robustesse. La finalité de

l'analyse est de proposer des leviers d'amélioration pour se rapprocher des seuils du planificateur. Nous proposons donc une démarche d'analyse qui illustre l'ensemble des situations dans lesquelles les indicateurs peuvent se trouver. Cette démarche permet au planificateur de pouvoir négocier le retard potentiellement admissible par le client.

Le chapitre est composé de trois sections. La section 5.1 expose les attentes du planificateur par rapport aux indicateurs permettant d'évaluer la robustesse de son planning journalier. A partir des attentes observées et de la simulation des scénarios de risques présentés dans le chapitre 4, la section 5.2 se focalise sur notre proposition d'indicateurs de robustesse. Et enfin, la section 5.3 s'efforce de présenter des pistes d'amélioration des indicateurs de robustesse.

5.1 Les attentes du planificateur

5.1.1 Un constat sur les indicateurs du planning

Face à plusieurs plannings journaliers, le planificateur se doit d'en sélectionner un pour exécuter les commandes du lendemain. Pour cela, il peut s'appuyer sur son expertise et sur des indicateurs globaux représentatifs des plannings en concurrence. Ces indicateurs peuvent représenter par exemple des dimensions économiques, environnementales ou santé sécurité au travail tels que présentés dans le chapitre 3.

Les hypothèses formulées (niveau de trafic, disponibilité des clients pour effectuer la réception des livraisons...) lors de l'élaboration de ces plannings peuvent être remises en cause lors de l'exécution des tournées. Ces changements, tels qu'étudiés au chapitre 4, ont pour effet de modifier les durées de trajet, des activités de déchargement et par voie de conséquence de rendre la tournée non satisfaisante vis-à-vis des objectifs fixés (respect d'un créneau horaire de livraison par exemple) voire irréalisable.

La figure 5.1 illustre ce constat. Le planning attendu à gauche de la figure représente la solution que le planificateur espère réaliser. Ce planning est exécuté dans un contexte risqué où les risques sont représentés sous la forme d'éclairs. Après l'exécution, l'observation permet d'avoir un planning réalisé. Les valeurs des indicateurs entre le planning attendu et le planning réalisé sont différentes, entre autres, à cause de l'impact des risques sur le planning.

Pour limiter les impacts de ces perturbations et par effet induit les valeurs des indicateurs, le planificateur passe 11% de son temps à négocier avec le client lorsque la réalisation du planning ne se passe pas comme prévu¹ afin de limiter les effets induits. Il cherche ainsi à maintenir un niveau de satisfaction correct du client (négociation d'un délai supplémentaire pour le créneau de livraison par exemple, ou ajustement de la tournée).

Cette négociation est effectuée au fil de l'eau selon les perturbations rencontrées, fréquemment dans un contexte d'urgence et de stress. Afin de réduire fortement ce temps et les désagréments occasionnés pour le planificateur (stress) et pour le client, nous proposons d'étudier et de définir de nouveaux indicateurs pour évaluer la robustesse a priori d'un planning dans un contexte risqué.

5.1.2 De nouveaux indicateurs pour caractériser les plannings journaliers dans un contexte risqué

L'indicateur recherché a pour objectif principal de caractériser la capacité d'un planning à respecter les engagements pris par la société de transport vis-à-vis du client. Ces engagements peuvent porter par exemple sur le respect de la plage horaire de livraison telle que définie avec le client au moment de la prise de commande.

1. Étude menée par l'INRS dans le cadre du projet ANR Smart Planning

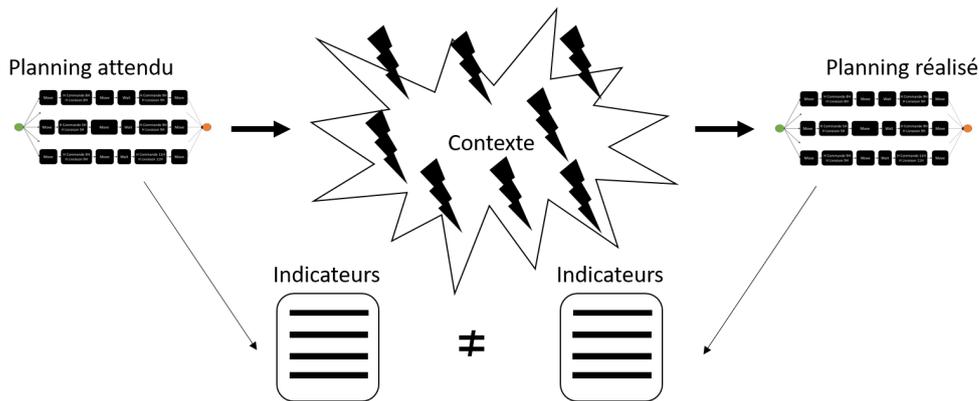


Figure 5.1 – Différence des indicateurs a priori et a posteriori

En outre, si les valeurs des indicateurs de robustesse ne sont pas satisfaisantes pour le planificateur, ils doivent permettre au planificateur de situer le problème. Enfin, ces indicateurs doivent offrir au planificateur des leviers d'amélioration pour augmenter la robustesse du planning. Pour définir nos indicateurs, nous nous référons à l'impact des risques sur la satisfaction client.

Pour atteindre ces objectifs, nous proposons de formuler des indicateurs qui s'appuient sur les risques identifiés, à l'aide des mécanismes présentés dans le chapitre 4, leurs impacts sur la satisfaction du client et leurs caractéristiques. Ils doivent prendre en compte les risques pouvant affecter chaque planning et rendre explicite le niveau de robustesse d'un planning dans un contexte risqué.

La figure 5.2 vient illustrer notre proposition d'ajouter un indicateur supplémentaire, prenant en compte les risques, pour permettre au planificateur d'avoir une perception de la robustesse du planning face aux potentiels aléas que la tournée pourrait rencontrer.

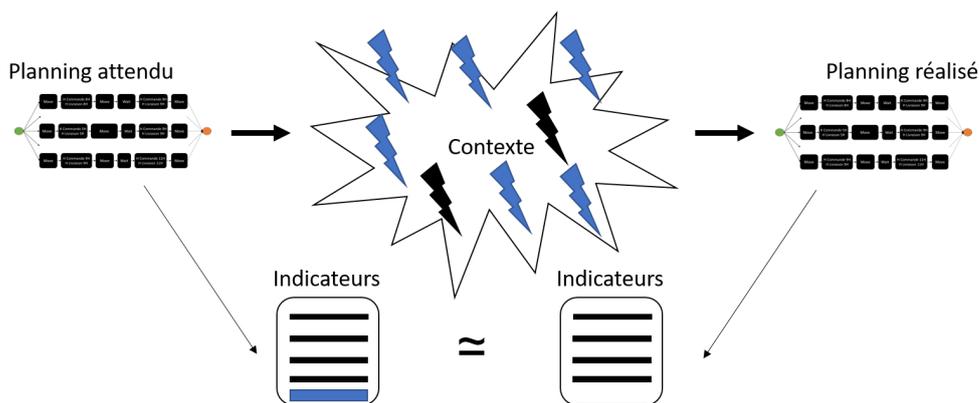


Figure 5.2 – Proposition d'indicateurs pour caractériser la capacité d'un planning à respecter les engagements dans un contexte risqué

Nous définirons la capacité du planning à respecter les engagements pris vis-à-vis du client comme la robustesse du planning face aux aléas.

5.2 Proposition d'indicateurs de robustesse dans le TRM

Dans le chapitre 2, nous avons présenté un état de l'art de la robustesse introduisant trois types de robustesse. La robustesse de type 1 correspond à une invariance de l'indicateur mesuré face aux perturbations, la robustesse de type 2 correspond à une évolution de l'indicateur mesuré dans une zone de robustesse acceptable et la robustesse de type 3 considère une invariance de la fonction principale tandis que les fonctions secondaires ne sont pas observées. Afin de caractériser la robustesse des plannings, nous avons choisi de nous intéresser à la robustesse de type 2. Pour rappel, un système est considéré de robustesse de type 2 s'il conserve une performance dans une zone acceptable définie pour le système face à des perturbations.

Ce type de robustesse est le mieux adapté à notre domaine d'application car l'indicateur que nous avons décidé de mesurer est la satisfaction du client. Pour qu'un client soit satisfait, il faut que la commande soit livrée dans la plage horaire initialement prévue. La robustesse de type 1 serait de proposer un indicateur permettant de qualifier directement le planning. Cependant, nous proposons une phase de négociation avec le client qui va permettre d'obtenir un délai de retard autorisé. Ce dernier permet de définir une zone dans laquelle le client continue à être satisfait. Cette zone représente la zone de robustesse de la robustesse de type 2. Nos indicateurs de robustesse vont mesurer la capacité d'un planning à respecter l'heure de livraison de chaque commande dans un contexte risqué. Ils seront évalués en fonction du temps de retard négocié avec le client. Ce temps de retard négocié correspond à la zone acceptable de l'indicateur de robustesse type 2.

5.2.1 La robustesse au niveau d'un planning et d'une tournée

Une solution sélectionnée par un planificateur correspond à un planning journalier. Comme présenté dans le modèle de données (chapitre 3), un planning est composé d'un ensemble de tournées. Une hypothèse du chapitre 4 est qu'un risque n'affecte qu'une seule activité. Comme les activités sont liées les unes aux autres, un risque peut affecter toute une tournée. Chaque tournée peut être considérée comme un processus indépendant. Un planning journalier cherche à satisfaire de manière globale l'ensemble des objectifs des clients.

Notre proposition est d'estimer des indicateurs de robustesse au niveau d'une tournée, puis par agrégation, d'estimer les indicateurs de robustesse au niveau d'un planning. Nous posons donc comme hypothèse que la robustesse du planning est liée à la robustesse de ses tournées.

5.2.2 Définir les limites d'un planning

Pour évaluer la robustesse d'un planning, nous souhaitons mesurer l'écart entre le planning initialement prévu et les différents plannings possibles induits par les

scénarios de risques potentiels. Cette mesure va permettre lors du choix de la planification que les indicateurs du planning initialement prévu soient proches des indicateurs du planning réalisé comme l'illustre la figure 5.2.

Dans ce travail, nous considérons que le client est satisfait si la livraison est effectuée en respectant la contrainte horaire de la commande. Pour rappel, la commande d'un site doit respecter une heure de livraison. Cette heure de livraison est représentée par une plage horaire ou par une heure fixe. Cette plage horaire ou heure fixe est la contrainte horaire de la commande. Notre choix est donc de montrer quel serait l'écart maximum entre l'heure de livraison attendue et l'heure de livraison induite par les risques générés sur le planning.

Notre proposition est de traiter dans un premier temps les scénarios de risques d'une tournée puis ensuite de nous intéresser à l'évaluation de la robustesse au niveau planning journalier.

Dans chaque scénario de projet, les heures de livraison de certaines commandes peuvent être modifiées, par rapport à celles prévues dans la tournée initialement planifiée. L'heure de livraison dans un scénario de projet sera nommée heure de livraison induite.

Si l'heure de livraison induite respecte la contrainte horaire, alors nous considérons qu'il n'y a pas de retard pour le client. Dans le cas contraire, l'heure de livraison induite ne respecte pas la contrainte horaire, la livraison ne peut pas être honorée et la satisfaction du client baisse. Nous nous intéresserons à la durée de retard par rapport à la contrainte horaire de la livraison. Pour chaque scénario de projet ScP_s , les livraisons ne respectant pas la contrainte horaire sont évaluées selon le retard de livraison. Une tournée pouvant avoir plusieurs livraisons en retard, nous noterons le retard d'un scénario de projet d'une tournée $delay(ScP_s)$ correspondant au plus grand retard sur le scénario.

La figure 5.3 illustre les scénarios de projet pouvant se réaliser sur une tournée. A gauche de la figure se trouve la tournée initiale. Après application des risques, les scénarios de projet peuvent présenter des retards sur les livraisons. Le premier scénario montre un retard de 10 minutes, le retard est donc de 10 minutes. Pour le deuxième scénario illustré, deux livraisons sont en retard la première de 15 minutes et la deuxième de 5 minutes. Le retard du scénario de projet est donc de 15 minutes car la deuxième livraison a moins de 15 minutes de retard par rapport à la contrainte horaire.

Table 5.1 – Indicateur du retard des scénarios de risques

Scénario	Retard maximum
ScP_\emptyset	$delay(ScP_\emptyset)$
...	...
ScP_s	$delay(ScP_s)$
...	...
ScP_{2r}	$delay(ScP_{2r})$

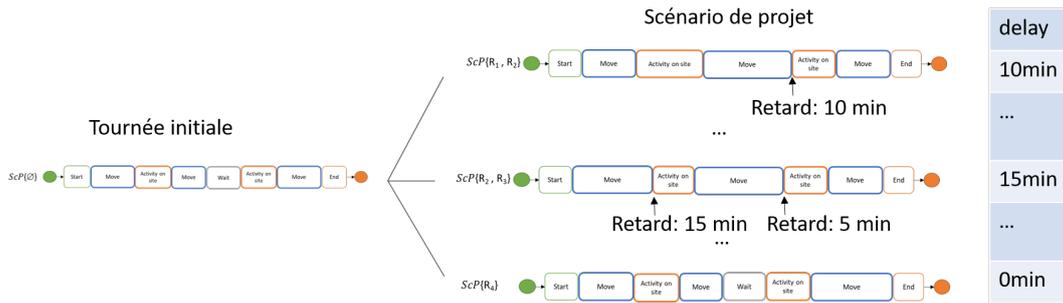


Figure 5.3 – Représentation des retards de livraison par rapport aux scénarios de projet

La table 5.1 indique que chaque scénario de risques (ScP_s) peut être caractérisé par le retard maximum ($delay(ScP_s)$) des livraisons d'une tournée par rapport à la contrainte horaire de la commande. Pour illustrer les formules présentes dans ce chapitre, le nombre de scénarios de projet sera 2^r . Si la construction d'une tournée respecte les contraintes horaires, alors le retard $delay(ScP_\emptyset)$ est égal à zéro.

Pour caractériser une tournée par rapport au retard sur les livraisons qui peuvent être présentes, nous proposons l'indicateur $TMaxDelay_t$. Cet indicateur représente le retard maximum constaté sur l'ensemble des scénarios pour les livraisons de la tournée t par rapport à l'heure de livraison attendue (équation 5.1). Ce retard correspond au maximum des retards de l'ensemble des scénarios de risques appliqués à cette tournée.

$$TMaxDelay_t = \max_{s \in 1..2^r} [delay(ScP_s)] \quad (5.1)$$

Le planning journalier correspond à l'ensemble des tournées. Par une agrégation, le retard maximum sur un planning correspond au maximum des retards constatés sur l'ensemble des tournées.

Nous proposons l'indicateur $SMaxDelay_{ds}$ qui représente le retard maximum sur les livraisons du planning journalier ds par rapport à l'heure des livraisons prévue (équation 5.2).

$$SMaxDelay_{ds} = \max_{t \in ds} TMaxDelay_t \quad (5.2)$$

5.2.3 Mesurer la satisfaction du client

L'une des contraintes principales pour la satisfaction des clients est l'heure de livraison. Lorsque cette heure de livraison n'est pas respectée, le client peut demander différentes compensations. Celle-ci est souvent financière par une pénalité. Mais le client peut refuser la livraison et demander à être livré le lendemain pour que la livraison ne perturbe pas son activité actuelle. Cette nouvelle planification est à la fois un préjudice financier pour l'entreprise de transport car la livraison est réalisée deux

fois, mais également un préjudice sur l'organisation car la livraison vient se rajouter aux livraisons du lendemain. Savoir si la livraison va se dérouler sans être perturbée est un point fort pour la satisfaction du client et de l'entreprise de transport.

La section précédente a permis de définir le retard maximum des livraisons sur l'ensemble des scénarios de projet d'une tournée. Un des besoins des indicateurs de robustesse est de mesurer la satisfaction du client. Dans un premier temps, nous allons nous intéresser au scénario de projet dont les livraisons ne sont pas impactées par les risques. Notre proposition va s'intéresser à la probabilité d'occurrence des différents scénarios de risques d'une tournée dans l'objectif de connaître le pourcentage de scénarios de projet qui ne sont pas impactés.

Pour chaque scénario possible d'une tournée, nous proposons de compléter sa caractérisation, proposée initialement dans le tableau 5.1, avec sa probabilité d'occurrence $proba_t(ScP_s)$ (voir tableau 5.2).

Table 5.2 – Caractérisation des scénarios d'une tournée : probabilité d'occurrence et retard maximum

Scénario	Retard maximum	Probabilité
ScP_0	$delay(ScP_1)$	$proba_t(ScP_0)$
...
ScP_s	$delay(ScP_s)$	$proba_t(ScP_s)$
...
ScP_{2r}	$delay(ScP_{2r})$	$proba_t(ScP_{2r})$

A partir des différentes caractéristiques des scénarios présentées précédemment, le constat est qu'une partie des scénarios peut respecter la satisfaction du client. La probabilité d'occurrence des scénarios exprime la probabilité qu'un scénario puisse se réaliser. Nous proposons donc un indicateur de robustesse $TProbRespect_t(x)$ mesurant la probabilité qu'une tournée prévue soit en capacité de satisfaire la contrainte horaire des clients avec une marge de x minutes (équation 5.3). L'évaluation de cette probabilité dépend entre autres de la probabilité de réalisation de chaque scénario de risques associé à cette tournée. L'espace de valeur de $TProbRespect_t(x)$ est compris entre 0 et 100, la valeur 0 indique que dans ce scénario aucune livraison ne respecte les contraintes horaires, une valeur de 100 indique que toutes les livraisons de ce scénario respectent les contraintes horaires.

Un scénario ayant un retard $delay(ScP_s)$ inférieur au temps x négocié par le planificateur avec le client est en mesure de satisfaire toutes les contraintes horaires. Dans ce cas, la probabilité de respect du planning augmente de la probabilité d'occurrence du scénario ScP_s .

$$TProbRespect_t(x) = \sum_{s=1}^{2r} proba_t(ScP_s) * \begin{cases} 1, & \text{if } delay(ScP_s) \leq x \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (5.3)$$

La valeur de $TProbRespect_t(0)$ correspond à la probabilité de respect du planning sans négociation avec le client, il s'agit de vérifier si la tournée telle que planifiée permet de respecter toutes les contraintes horaires des commandes à livrer. Plus le délai négocié par le planificateur avec le client sera important (x grand), plus le nombre de scénarios de tournées satisfaisant les contraintes horaires sera élevé.

Chaque scénario est caractérisé par le retard $delay(ScP_s)$ qui permet de mesurer le retard maximum des livraisons dans ce scénario. Cette valeur permet d'aider à identifier le temps x à négocier pour que le scénario satisfasse les contraintes horaires du client. Le temps maximum à négocier pour qu'une tournée satisfasse toutes les contraintes horaires des livraisons dans tous les cas, c'est-à-dire quels que soient les événements qui pourraient apparaître parmi la liste de dangers pré-identifiés, correspond au retard maximum de tous les scénarios possibles pour la tournée t . Ce temps est noté $TMaxdelay_t$.

En s'appuyant sur la probabilité de respect des contraintes horaires au niveau tournée, notée $TProbRespect_t(x)$, il est possible de déterminer la probabilité de respect des contraintes horaires au niveau du planning journalier, notée $SProbRespect_{ds}(x)$. $SProbRespect_{ds}(x)$ est la probabilité d'un planning journalier où l'ensemble des contraintes horaires des clients est satisfait avec une marge de x minutes (équation 5.4). Cette probabilité est obtenue par le produit des probabilités de respect des contraintes horaires de chaque tournée composant le planning journalier.

$$SProbRespect_{ds}(x) = \prod_{t \in DS} TProbRespect_t(x) \quad (5.4)$$

Ces indicateurs permettent d'identifier les scénarios de tournées qui respectent les contraintes horaires. Maintenant que les scénarios qui respectent les contraintes sont décrits, il faut décrire plus précisément les scénarios de tournées qui ne respectent pas cette contrainte horaire.

Notre proposition pour le dernier indicateur de robustesse est de décrire la pire situation présente dans les scénarios qui ne respectent pas les exigences du client.

Pour répondre à ce besoin, il faut évaluer les scénarios de risques de la tournée en fonction du nombre de livraisons $TNbDel_t$ présent dans la tournée, du nombre de livraisons satisfaisant la contrainte horaire avec moins de x minutes de retard $TSat_t(ScP_s, x)$. Le ratio de ces deux nombres permet d'obtenir le pourcentage de livraisons satisfaisant les contraintes horaires dans chaque scénario de risques.

Le tableau 5.3 permet de visualiser l'ensemble des indicateurs proposés pour chaque scénario de risques afin d'évaluer les indicateurs de robustesse. Avec $TNbDel_t$ le nombre de commandes devant être livrées dans la tournée t et $TSat_t(ScP_s)$ le nombre de livraisons satisfaisant la contrainte horaire dans le scénario ScP_s de la tournée t .

Notre deuxième indicateur de robustesse est $TMinSat_t(x)$. Il représente le pourcentage minimum de livraisons de la tournée t respectant les contraintes horaires des

Table 5.3 – Indicateurs de probabilité des scénarios de projet

Scéna-rio	Retard maximum	Probabilité	Nb de livraisons	Nb satisfaites	% de satisfaction
ScP_{\emptyset}	$\text{delay}(ScP_1)$	$\text{proba}_t(ScP_{\emptyset})$	$TNbDel_t$	$TSat_t(ScP_{\emptyset}, x)$	$\frac{TSat_t(ScP_{\emptyset}, x)}{TNbDel_t}$
...
ScP_s	$\text{delay}(ScP_s)$	$\text{proba}_t(ScP_s)$	$TNbDel_t$	$TSat_t(ScP_s, x)$	$\frac{TSat_t(ScP_s, x)}{TNbDel_t}$
...
ScP_{2r}	$\text{delay}(ScP_{2r})$	$\text{proba}_t(ScP_{2r})$	$TNbDel_t$	$TSat_t(ScP_{2r}, x)$	$\frac{TSat_t(ScP_{2r}, x)}{TNbDel_t}$

clients pour tous les scénarios de risques, avec une marge de x minutes (équation 5.5).

$$TMinSat_t(x) = \min_{s \in 1..2r} \frac{TSat_t(ScP_s, x)}{TNbDel_t} \quad (5.5)$$

Pour évaluer le niveau planning journalier, notre proposition est de définir le nombre minimal de livraisons du planning journalier ds respectant les contraintes horaires des clients pour tous les scénarios de risques, avec une marge de x minutes. Cet indicateur sera noté $SMinSat_{ds}(x)$ (voir équation 5.6). Le numérateur de l'équation permet de déterminer le nombre minimum de livraisons satisfaisant les contraintes horaires pour l'ensemble des tournées. Le dénominateur correspond au nombre de livraisons réalisées dans le planning journalier c'est-à-dire à la somme des livraisons de chaque tournée.

$$SMinSat_{ds}(x) = \frac{\sum_{t \in ds} TMinSat_t(x) * TNbDel_t}{\sum_{t \in ds} TNbDel_t} \quad (5.6)$$

5.3 Démarche d'utilisation des indicateurs de robustesse

Nous venons de présenter les trois indicateurs de robustesse, $SMaxDelay_{ds}$ correspondant au retard maximum des livraisons par rapport à l'ensemble des scénarios de projet, $SProbRespect_{ds}(x)$ correspondant à la probabilité qu'un planning respecte les contraintes horaires du client avec un délai de x minutes, et $TMinSat_t(x)$ correspondant au pourcentage minimum de livraisons satisfaites avec un retard de moins de x minutes. Ils permettent de caractériser à la fois le niveau de la tournée et celui du planning journalier.

Après avoir défini et présenté ces indicateurs de robustesse, l'objectif de cette section est de donner au planificateur des éléments permettant de savoir comment il doit manipuler ces indicateurs et comment ceux-ci peuvent l'aider à déterminer les

situations propices à une négociation avec le client. Pour cela, nous allons illustrer différents cas d'évolution possible de ces indicateurs de robustesse. Les indicateurs de la tournée $TProbRespect_t(x)$ et $TMinSat_t(x)$ ont le même rôle que les indicateurs du planning journalier $SProbRespect_{ds}(x)$ et $SMinSat_{ds}(x)$. Cette section présente uniquement les négociations au niveau du planning journalier. Le même principe peut être appliqué pour la tournée.

5.3.1 Représentation des indicateurs de robustesse

Pour un planning, $SProbRespect_{ds}(0)$ et $SMinSat_{ds}(0)$ sont les valeurs des indicateurs de robustesse avant négociation. Ces deux valeurs sont comprises entre 0 et 100.

Nous pouvons donc maintenant positionner l'ensemble des plannings journaliers générés sur un plan composé des deux dimensions $SProbRespect_{ds}(0)$ et $SMinSat_{ds}(0)$. Nous poserons $PR+$ comme la zone dans laquelle $SProbRespect_{ds}(x)$ est considéré comme acceptable par le planificateur, $PR-$ la zone dans laquelle $SProbRespect_{ds}(x)$ n'est pas considéré comme acceptable par le planificateur, $MS+$ la zone dans laquelle $SMinSat_{ds}(x)$ est considéré comme acceptable par le planificateur et $MS-$ zone dans laquelle $SMinSat_{ds}(x)$ n'est pas considéré comme acceptable par le planificateur.

La figure 5.4 illustre une telle représentation. L'axe des abscisses correspond aux valeurs possibles de $SMinSat_{ds}(0)$. Sur cet axe, les zones $MS-$ et $MS+$ sont représentées, correspondant respectivement aux zones dans lesquelles $SMinSat_{ds}(x)$ n'est pas considéré comme acceptable par le planificateur et la zone où il est considéré comme acceptable. La délimitation des zones $MS-$ et $MS+$ est au choix du planificateur. Cette délimitation correspond à la valeur à partir de laquelle le planificateur considère la solution comme acceptable selon l'indicateur $SMinSat_{ds}(x)$.

L'axe des ordonnées correspond aux valeurs possibles de $SProbRespect_{ds}(0)$. Sur cet axe, les zones $PR-$ et $PR+$ sont représentées, correspondant respectivement aux zones dans lesquelles $SProbRespect_{ds}(x)$ n'est pas considéré comme acceptable par le planificateur ou est considéré comme acceptable. La délimitation des zones $PR-$ et $PR+$ est au choix du planificateur. Cette délimitation correspond à la valeur à partir de laquelle le planificateur considère la solution comme acceptable selon l'indicateur de probabilité de respect d'un planning $SProbRespect_{ds}(x)$. La combinaison de ces zones ($PR-$, $PR+$, $MS-$ et $MS+$) permet de définir les quatre situations possibles sur la figure 5.4 et décrites par la suite.

Les situations présentes dans la zone $PR+$ sont les situations 1 et 2 tandis que les situations dans la zone $PR-$ sont les situations 3 et 4. Pour l'indicateur du minimum de satisfaction, les situations 1 et 3 sont considérées comme acceptables pour cet indicateur (zone $MS+$) tandis que les situations 2 et 4 sont situées dans la zone non acceptable $MS-$.

La situation 1 correspond à des valeurs de robustesse présentes dans les zone $PR+$ et $MS+$. Cette situation signifie que la probabilité que le planning se passe bien est élevée et que si les risques impactant le planning se produisent, il y aura peu de retard par rapport aux heures de livraison souhaitées par le client.

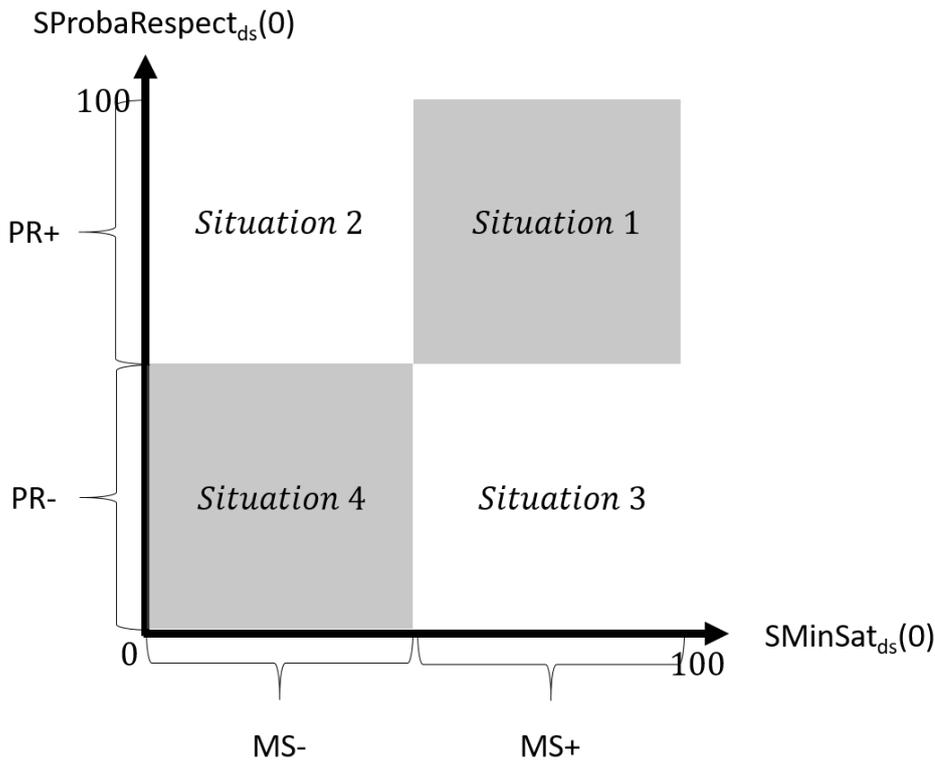


Figure 5.4 – Cartographie des indicateurs de robustesse avant négociation

La situation 2 correspond à un positionnement de la valeur de l'indicateur de probabilité $SProbaRespect_{ds}(0)$ dans la zone $PR+$ c'est à dire acceptable pour le planificateur. Mais, comme la valeur de l'indicateur du minimum de satisfaction $SMinSat_{ds}(0)$ est dans la zone $MS-$, le planning n'est pas considéré comme acceptable au regard de l'indicateur $SMinSat_{ds}(x)$. Cette situation signifie que le planning a une grande probabilité de satisfaire le client mais si cette satisfaction n'est pas respectée alors de nombreux clients seront impactés.

La situation 3 est l'inverse de la situation 2. La valeur de la probabilité de respect du planning $SProbaRespect_{ds}(0)$ est dans la zone de $PR-$ et l'indicateur du minimum de satisfaction $SMinSat_{ds}(0)$ est dans la zone acceptable c'est à dire $MS+$. Cela signifie que le planning a une probabilité faible de respecter tous les engagements. Cependant, si ces engagements ne sont pas respectés, peu de clients seront impactés car le minimum de satisfaction est acceptable.

La situation 4 correspond à la situation la plus délicate pour un planning journalier car les indicateurs de robustesse sont initialement faibles. La probabilité de respect $SProbaRespect_{ds}(0)$ et un minimum de satisfaction $SMinSat_{ds}(0)$ sont situés dans les zones non acceptables par le planificateur ($PR-$ et $MS-$). Cela signifie que dans le contexte risqué, le planning a peu de chance de respecter la satisfaction du client et en plus de nombreux clients risquent de ne pas être satisfaits.

5.3.2 Négociation avec le client

L'objectif de cette section est de présenter comment le planificateur peut utiliser ces indicateurs dans la négociation avec son client. Il est important que le planificateur engage une négociation uniquement dans les cas les plus pertinents afin d'éviter des négociations de délai trop fréquentes ou trop importantes en délai pour un gain minime voire nul.

La négociation avec le client peut faire évoluer les valeurs des indicateurs de robustesse proposés. Le but est de passer d'une zone non acceptable $MS-$ ou $PR-$ à une zone acceptable ($MS+$, $PR+$), et par la suite à une situation robuste où la probabilité de respect du planning et le minimum de satisfaction sont égaux à 100%. Pour éviter les répétitions, l'indicateur $SProbRespect_{ds}(x)$ servira d'exemple. Dans cette section, le raisonnement à appliquer est le même pour tous les indicateurs.

L'objectif de cette section n'est pas de modifier le planning mais de négocier avec le client de manière à ce qu'un retard soit autorisé sur la livraison.

Le passage d'une solution acceptable à une solution robuste

Pour le passage d'une situation acceptable $PR+$ à une situation robuste, l'indicateur peut évoluer de deux manières : soit l'évolution est rapide, soit l'évolution est lente. Pour l'indicateur $SProbRespect_{ds}(x)$ les situations concernées sont les situations 1 et 2, pour l'indicateur $SMinSat_{ds}(x)$ les situations concernées sont les situations 1 et 3.

Pour une évolution rapide de l'indicateur $SProbRespect_{ds}(x)$ (5.5), toute minute négociée avec le client va augmenter de manière non négligeable la probabilité de respect du planning. Une livraison initialement refusée pour quelques minutes de retard peut finalement être acceptée si le planificateur a réussi à négocier avec le client. Pour l'évolution rapide, on suppose que le délai à négocier avec le client est faible.

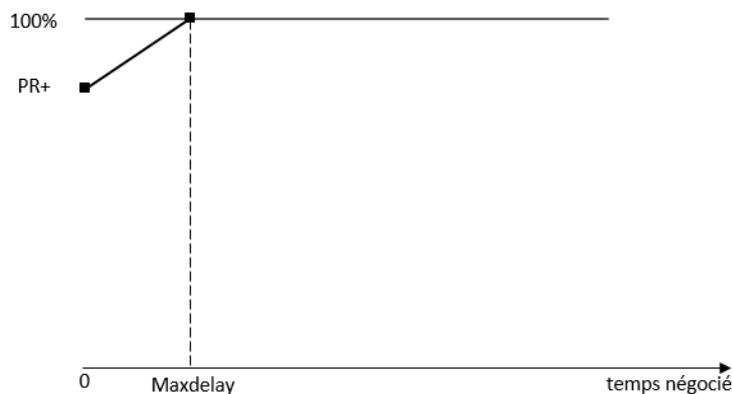


Figure 5.5 – Évolution rapide de l'indicateur $PR+$

Au contraire, pour une évolution lente (5.6), le délai à négocier est plus élevé. La négociation avec le client d'un temps égal à $SMaxDelay_{ds}$ permet d'obtenir la situation robuste. Une négociation d'un temps inférieur à $SMaxDelay_{ds}$ ne présente pas de changement significatif par rapport à la valeur de l'indicateur $SProbRespect_{ds}(0)$ avant négociation.

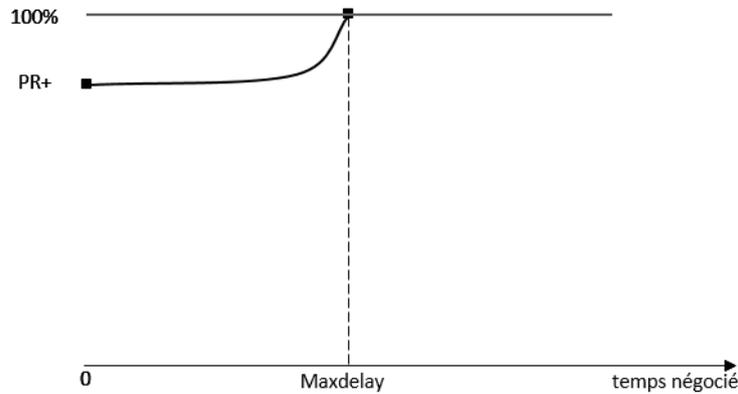


Figure 5.6 – Évolution lente de l'indicateur $PR+$

Le passage d'une solution non acceptable à une solution acceptable

Nous poserons α comme le seuil de temps à négocier pour passer d'une zone non acceptable à une zone acceptable. Nous allons ici nous intéresser aux plannings présents dans une zone non acceptable.

L'évolution rapide signifie que le temps α à négocier avec le client est faible pour passer d'une solution dans la zone non acceptable ($PR-$) à une solution dans la zone acceptable ($PR+$) pour l'indicateur de probabilité de respect du planning. La représentation de cette situation est illustrée figure 5.7.

Pour l'évolution lente, représentée figure 5.8, le temps α à négocier serait plus important si l'on souhaite obtenir une probabilité de respect acceptable.

Les différentes évolutions propices à la négociation

En appliquant la combinatoire des différents scénarios présentés, six cas d'évolutions sont possibles pour les 4 situations présentées sur la figure 5.4. Les cas 1 et 2 sont déjà illustrés figures 5.5 et 5.6 et représentent l'évolution que peut avoir l'indicateur de probabilité de respect du planning dans les situations 1 et 2 quand la probabilité de respect est considérée comme acceptable ($PR+$).

Le cas 1 présente une évolution rapide de l'indicateur de robustesse. Ceci montre que toute minute négociée avec le client est un moyen de perfectionner son planning journalier. Pour le cas 2, l'évolution est lente, une négociation inférieure à $SMaxDelay_{ds}$ ne modifie pas significativement la valeur de l'indicateur de robustesse.

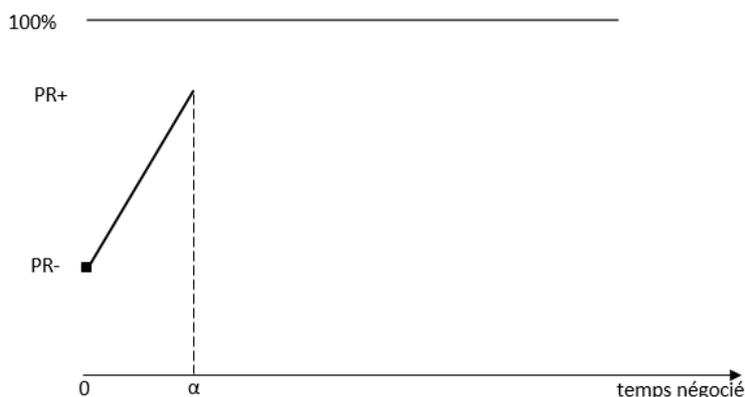


Figure 5.7 – Évolution rapide de l'indicateur $PR-$

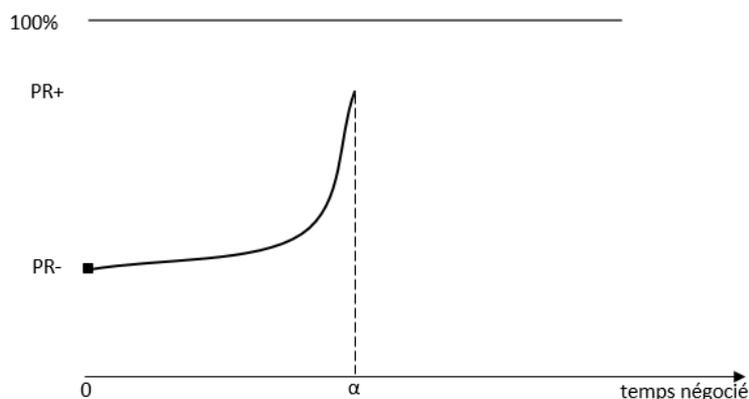


Figure 5.8 – Évolution lente de l'indicateur $PR-$

Les autres cas correspondent à la combinatoire du passage de la zone $PR-$ à la zone $PR+$ et du passage de la zone $PR+$ à la probabilité de respect du planning égale à 100%.

Le cas 3 (figure 5.9) est une évolution rapide. C'est-à-dire que pour passer de la zone $PR-$ à la zone $PR+$ le temps α à négocier est faible. Pour passer de la zone $PR+$ à une probabilité de respect du planning égale à 100% le temps est également faible. L'évolution de l'indicateur montre ici que toute minute négociée avec le client permet d'améliorer la probabilité de respect du planning.

Le cas 4 (figure 5.10) est une évolution rapide de l'indicateur pour passer de la zone non acceptable $PR-$ à la zone acceptable $PR+$. Le délai à négocier pour être dans cette nouvelle zone est α . La durée de négociation α est faible. Une fois dans la zone $PR+$, l'évolution de l'indicateur de robustesse est lente. Entre la durée α et $Maxdelay$, l'indicateur ne montre pas une forte évolution. Ceci diminue l'intérêt de la négociation. Seule la négociation de temps d'une durée de $Maxdelay$ permet d'améliorer significativement l'indicateur de robustesse.

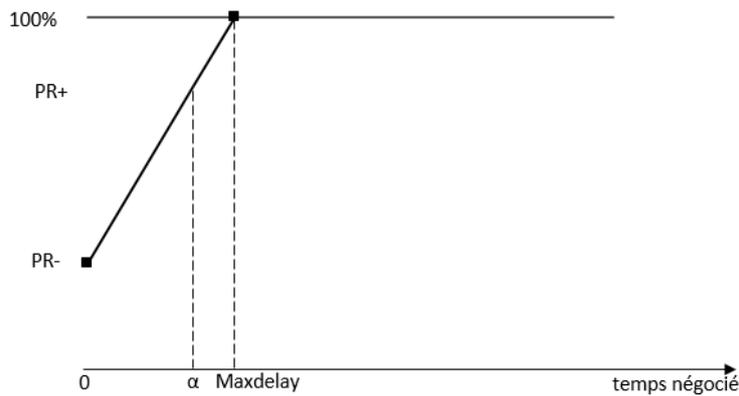


Figure 5.9 – Représentation du cas 3

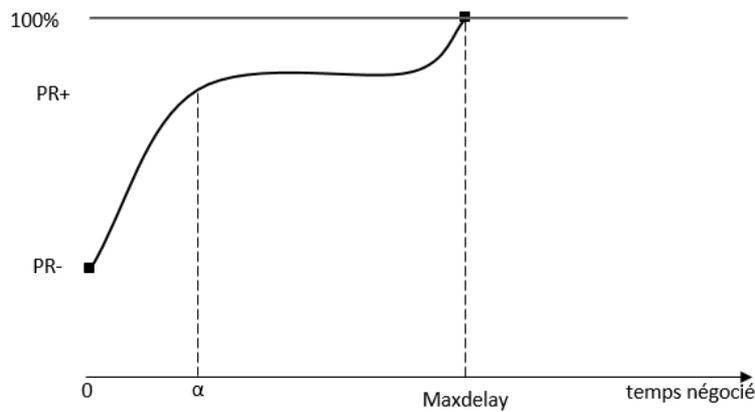


Figure 5.10 – Représentation du cas 4

Le cas 5 (figure 5.11) est une évolution lente de l'indicateur jusqu'à la zone acceptable $PR+$. Pour une négociation inférieure à α , l'évolution de l'indicateur montre peu d'intérêt car le temps à négocier est long pour des résultats peu satisfaisants. Une fois ce seuil atteint, l'évolution de l'indicateur est rapide. A ce moment-là, la négociation a du sens car toute minute négociée améliore l'indicateur de robustesse.

Le cas 6 (figure 5.12) est une évolution lente de l'indicateur de robustesse jusqu'à la zone acceptable $PR+$ suivie d'une seconde évolution lente jusqu'à la probabilité de respect égale à 100%. Ici, les négociations sont très ponctuelles. La négociation d'une durée inférieure à α ne modifie pas spécialement l'indicateur de robustesse. La négociation d'une durée comprise entre α et $Maxdelay$ n'améliore pas la valeur de l'indicateur de robustesse par rapport à une négociation d'une durée de α minutes. Les négociations importantes sont α et $Maxdelay$ car c'est uniquement à ces deux valeurs que l'indicateur montre un réel changement.

La table 5.4 présente les plages de temps où la négociation a un effet significatif sur les valeurs de l'indicateur de robustesse. La première colonne correspond aux 6

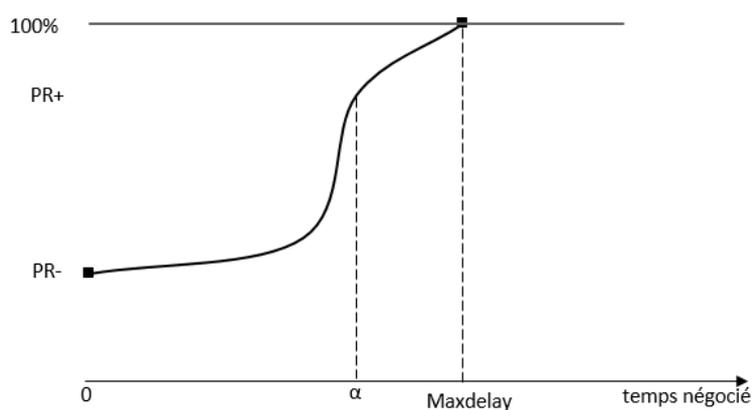


Figure 5.11 – Représentation du cas 5

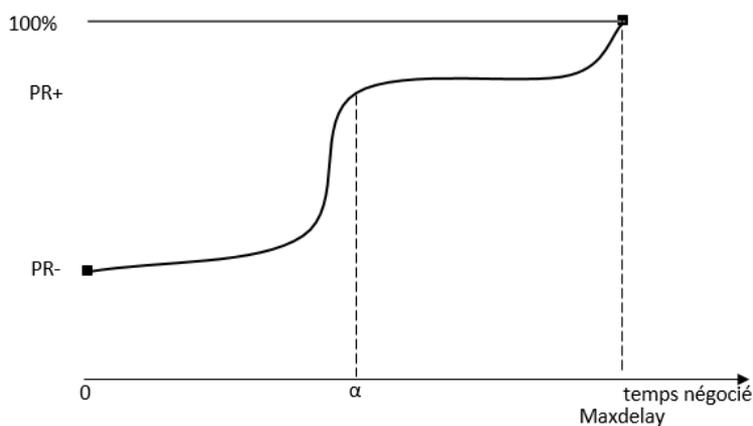


Figure 5.12 – Représentation du cas 6

cas précédemment présentés. Les autres colonnes présentent les différentes plages de temps de négociation (N) entre 0 et $Maxdelay$. La présence des « oui » dans le tableau signifie que la négociation est intéressante vis-à-vis des cas présentés. La présence des « - » signifie que la négociation n'a pas d'apport significatif sur l'indicateur de robustesse. La négociation de la valeur $Maxdelay$ permet toujours d'obtenir un indicateur de robustesse égale à 100%. Les négociations sont intéressantes lorsque le temps à négocier est faible par rapport à l'amélioration de l'indicateur.

Les 6 cas présentés schématisent les différentes évolutions possibles. Cependant, l'évolution des indicateurs est rarement aussi simple. Il faut noter la présence de palier où la négociation n'a aucun effet sur l'indicateur et la présence d'évolution rapide où la négociation peut améliorer de façon significative l'indicateur observé.

Table 5.4 – Négociation en fonction des différents cas observés

	$0 \leq N \leq \alpha$	α	$\alpha \leq N \leq Maxdelay$	<i>Maxdelay</i>
Cas1	oui	oui	oui	oui
Cas2	-	-	-	oui
Cas3	oui	oui	oui	oui
Cas4	oui	oui	-	oui
Cas5	-	oui	oui	oui
Cas6	-	oui	-	oui

Conclusion

Ce chapitre présente des éléments de réponse à la question de recherche suivante : « Quels indicateurs permettent de caractériser la capacité d'un planning à résister aux perturbations ? »

Pour permettre de donner une vision de la robustesse au niveau d'une tournée et d'un planning journalier, notre proposition est caractérisée par trois indicateurs de robustesse :

- L'indicateur *Maxdelay* permet de définir le temps maximum de retard sur l'ensemble des livraisons. Cette valeur est le temps à négocier pour qu'un planning s'effectue avec toutes les livraisons satisfaites.
- L'indicateur de robustesse *ProbRespect* définit la probabilité qu'un planning respecte la satisfaction des clients malgré les perturbations.
- L'indicateur *MinSat* permet de définir le minimum de satisfaction quel que soit le scénario de risques qui est réalisé.

Ces indicateurs de robustesse donnent une compréhension des différents scénarios de risques possibles pour un planning. Ils exposent la robustesse du planning pour montrer les évolutions d'un planning dans un contexte risqué. Ce chapitre présente une évaluation de l'utilisation de ces indicateurs de robustesse sur quatre situations. Pour permettre au planificateur de justifier le délai à négocier avec le client, la représentation de six cas d'évolution possibles illustrent les évolutions de ces quatre situations. Dans le cas où la négociation n'est pas totale, ces indicateurs peuvent lui permettre de choisir un planning en essayant de maximiser l'indicateur de probabilité de respect des livraisons et l'indicateur de minimum de satisfaction.

Lors de la phase de négociation, le planificateur doit négocier un temps de retard. Cependant, le temps à négocier peut être différent en fonction des clients. Une limite des indicateurs de robustesse proposés est qu'ils sont globaux donc ils ne permettent pas une représentation par client. Le chapitre suivant vise à illustrer les indicateurs de robustesse proposés sur un exemple extrait du monde industriel.