Notation et modélisation d'un planning dans le domaine du TRM

Introduction

Dans le contexte de la livraison dernier kilomètre, la planification des tournées joue un rôle crucial dans l'organisation de l'activité, pour le respect de la satisfaction des clients et au final le succès de l'entreprise. La planification est le processus que réalise l'entreprise de transport pour organiser les commandes client (les livraisons à réaliser) dans l'objectif de satisfaire les besoins des clients. Ce processus permet d'affecter au mieux chaque livraison à une tournée de livraisons qui est définie pour un couple véhicule-conducteur. De nombreux indicateurs peuvent être construits afin de mesurer la qualité du processus de planification et notamment des tournées établies. Ces indicateurs pourront également permettre de comparer plusieurs tournées.

Ce chapitre est à considérer comme un chapitre de transition entre la présentation de la problématique avec un état de l'art associé et la présentation de nos contributions (chapitres 4 et 5). Le chapitre 4 est consacré à la proposition d'un mécanisme d'identification automatique des risques relatifs à l'exécution des tournées planifiées, d'une part, et à l'évaluation des impacts en cas de survenue de ces risques selon diverses dimensions, d'autre part. Le chapitre 5, quant à lui, a pour objectif de proposer des indicateurs pertinents et innovants pour alimenter la vision du planificateur et lui permettre d'évaluer la robustesse d'une tournée et d'un planning journalier.

Afin de faciliter la présentation et la lecture de ces chapitres de contribution, nous avons introduit ce chapitre visant à poser les éléments de langage, à les structurer autour de notions et concepts et d'en proposer une modélisation sous forme de diagramme de classe.

Ce chapitre présente, dans un premier temps, les différents éléments et concepts nécessaires pour effectuer la planification des livraisons, il s'agit des concepts liés à l'entreprise du transport et au client. Dans un deuxième temps, la présentation d'une procédure de construction de tournée illustre le modèle de données sélectionné. Un mécanisme d'évaluation des plannings met en avant le modèle de données utilisé et

permet de présenter une première vision de l'évaluation de la qualité des plannings générés selon une première liste d'indicateurs. Ce premier mécanisme d'évaluation sera consolidé par la proposition, effectuée dans le chapitre 5, sur les indicateurs de robustesse.

3.1 Structuration des concepts et présentation des modèles de données manipulés

Cette section a pour objectif de présenter le modèle de données sélectionné. La modélisation des données relatives à l'entreprise de transport et au client sont dans un premier temps présentées séparément. Les notions de tournée et planning journalier permettent de faire le lien entre ces deux acteurs dans un deuxième temps.

3.1.1 Modélisation de l'entreprise de transport

Le premier acteur du processus de planification est l'entreprise de transport. La figure 3.1 présente les différentes entités d'une entreprise de transport. Une entreprise peut posséder un ou plusieurs entrepôts selon son activité et sa couverture géographique. L'entrepôt permet d'opérer les différentes activités de transport comme le chargement ou déchargement des marchandises ou le stockage provisoire des marchandises. Il est la base d'entreposage des véhicules utilisés pour opérer les tournées. Chaque entrepôt est caractérisé par un nom et une adresse permettant de l'identifier et de le localiser.

L'entrepôt correspond généralement au lieu de départ et d'arrivée de l'activité de l'entreprise, en l'occurrence des tournées planifiées. Les problèmes multi-entrepôts (Perl et al., 1985 ; Rath et al., 2014) proposent de traiter la planification en utilisant plusieurs lieux de départ. L'objectif est de minimiser le coût en minimisant les temps de transport. Les entrepôts peuvent être limités par leurs capacités de stockage ou de ressources.

Pour réaliser l'ensemble des activités associées à un entrepôt, des ressources sont affectées à un entrepôt. Il s'agit entres autres : des véhicules, des conducteurs, des manutentionnaires, des personnels administratifs et des personnels d'encadrement. Dans la suite, nous allons nous intéresser principalement à deux types de ressources qui sont mobilisés pour réaliser les tournées : les véhicules et les conducteurs (voir 3.1)

Les conducteurs correspondent à un type de ressources de l'entreprise. Ils effectuent un ensemble d'activités, telles que définies par le planning établi par le planificateur. Les activités réalisées comprennent, entres autres, des activités de conduite, des activités administratives (édition des bordereaux de livraison, vérification du chargement, etc.), parfois des activités de chargement/déchargement des véhicules, des activités de manutention. Le périmètre des activités d'un conducteur peut être différent selon l'entreprise ou le type d'entreprise (transport dernier kilomètre, messagerie, transport

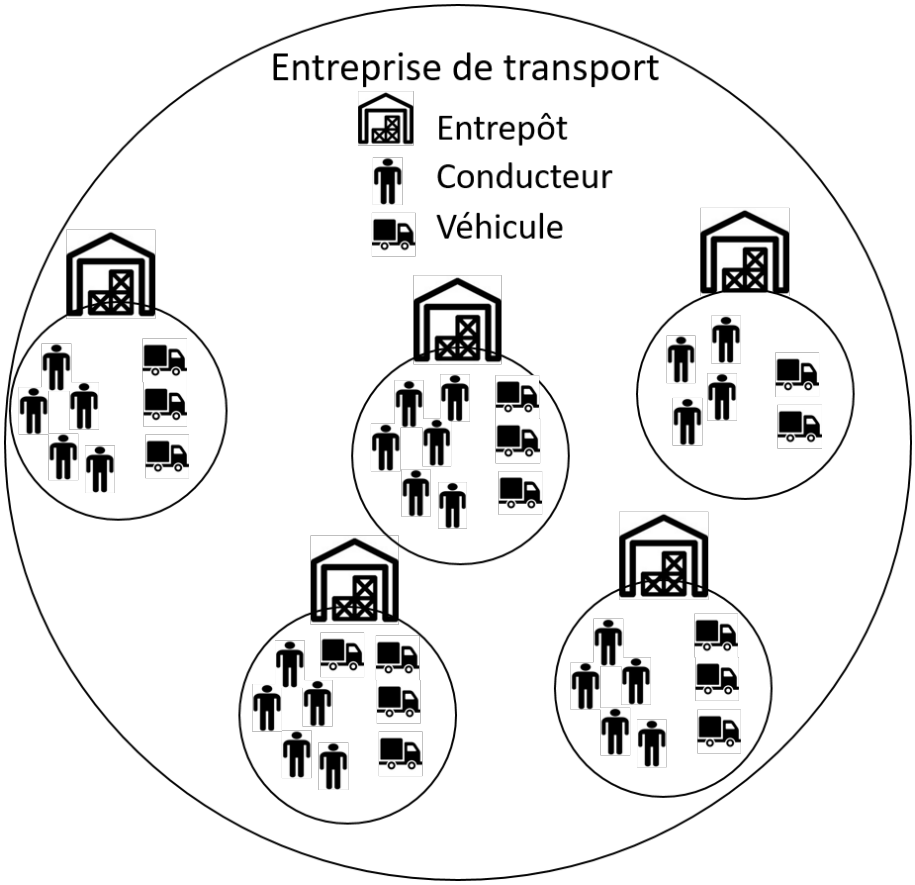

Figure 3.1 – Entités d'une entreprise de transport

international). Dans la littérature, les conducteurs sont modélisés par différents attributs correspondant par exemple à leurs compétences, leur contrat ou à leurs disponibilités (Laurent et al., 2007 ; Li et al., 2010).

Notre objectif est de modéliser le conducteur de la manière la plus globale possible pour prendre en compte le plus de critères. Ainsi, chaque conducteur est décrit par son identifiant qui le rend unique. Cette unicité est d'autant plus importante que chaque conducteur peut avoir des spécificités qui influencent le processus de planification des tournées. Il s'agit par exemple :

- du permis de conduite : permis B seul, permis B et C, etc. ;
- du nombre d'heures par mois prévues dans le contrat de travail avec l'entreprise : 80 heures par mois, 156 heures par mois ;
- de l'expérience acquise : par exemple, l'ancienneté comme conducteur et/ou la connaissance de certains sites ;
- la disponibilité comme les périodes de travail (matin, nuit, etc.) ;
- des restrictions particulières comme par exemple : port de charges supérieures à 10 kg interdit.

Les véhicules correspondent à une autre ressource de l'entreprise. Les véhicules permettent de transporter les marchandises pour les livrer. Dans la littérature, les

véhicules sont modélisés par une liste d'attributs permettant de les décrire et de vérifier si certaines contraintes sont respectées lors de l'élaboration du planning. Parmi les contraintes vérifiées, il y a la capacité du véhicule (Golden et al., 2008 ; Toth et al., 2002), l'utilisation de flottes de véhicules hétérogènes (Duhamel et al., 2012).

L'apport de cette thèse n'étant pas sur les contraintes liées au véhicule, notre objectif est donc d'inclure des attributs représentatifs des différents problèmes possibles. Car c'est à partir de ces attributs que les contraintes sont modélisées. Un véhicule sera décrit à l'aide d'un identifiant pour l'unicité de chaque véhicule, sa plaque d'immatriculation et des caractéristiques techniques complémentaires comme sa hauteur, sa largeur, sa longueur. Les notions comme la quantité de palettes qu'il peut transporter, son volume utilisable ou encore sa charge utile permettent de définir les caractéristiques de livraison du véhicule. Pour prendre en compte les travaux sur les types d'énergie, des attributs comme le type de véhicule, l'énergie du véhicule, la consommation de CO_2, l'autonomie du véhicule... viennent compléter la liste.

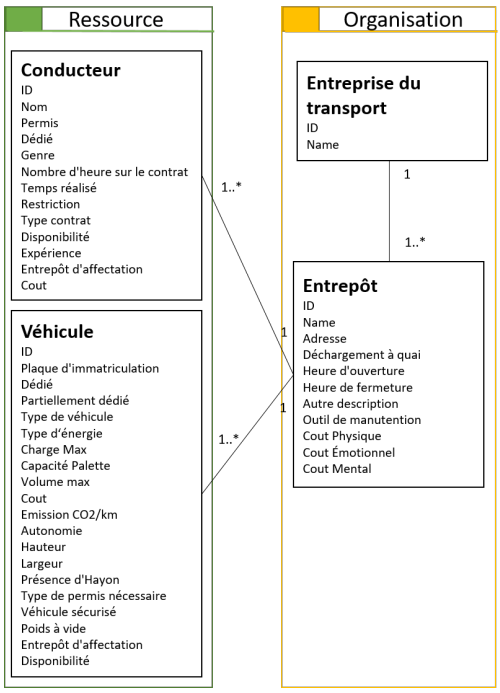

Figure 3.2 – Modélisation des données d'une entreprise de transport routier, diagramme de classe UML

La figure 3.2 propose une vision détaillée des concepts relatifs à la modélisation d'une entreprise de transport qui ont été présentés ci-dessus.

Pour organiser les différents concepts présentés, nous utiliserons la notion de package. Un package a pour objectif de regrouper des concepts similaires pour une meilleure compréhension des données manipulées. Cette notion de package correspond à la structuration des concepts qui sont implémentés dans la plate-forme logicielle

RIOSUITE[1] qui est développée au sein du laboratoire et sur laquelle nous avons implémenté cette modélisation. L'entreprise de transport et l'entrepôt sont dans le package de l'organisation permettant de décrire la structure de l'entreprise. Les concepts véhicule et conducteur sont situés dans le package ressources car ce sont les ressources que l'entreprise va utiliser pour réaliser son activité. Cette représentation crée des liens entre les différents concepts.

Le lien entre l'entreprise de transport et l'entrepôt signifie que l'entreprise de transport possède entre un et plusieurs entrepôts (cardinalité 1..*) tandis qu'un entrepôt appartient à une seule entreprise de transport (cardinalité 1). Le lien entre entrepôt et conducteur signifie qu'un entrepôt possède entre 1 et plusieurs conducteurs tandis qu'un conducteur est rattaché à un seul entrepôt. Pour le dernier lien, l'entrepôt possède un ou plusieurs véhicules et un véhicule est affecté à un seul entrepôt.

3.1.2 La modélisation du client

L'entreprise de transport n'est pas le seul acteur de cette planification. Le client correspond à l'entreprise qui passe le contrat avec l'entreprise de transport. Il s'agit bien ici de l'entreprise qui commande le service de livraison, la livraison pouvant être effectuée entre deux sites de ce client ou de/vers un site autre.

La figure 3.3 décrit la structure d'un client dans le domaine du transport routier de marchandises. Un client peut posséder plusieurs sites, répartis géographiquement, sur lesquels il réalise son activité d'entreprise. Pour effectuer son activité, chaque site a besoin d'être approvisionné en marchandises. Chaque site passe donc des commandes de marchandises qui lui sont propres.

Il est nécessaire de modéliser les informations relatives à chaque client : son nom, sa localisation, ses exigences. Les exigences associées à un client, qui devront être prises en compte lors de la construction des tournées, peuvent porter par exemple sur :

- l'obligation d'utiliser des véhicules sécurisés pour accéder à ses sites ;
- l'obligation d'utiliser d'un type d'énergie particulier, par exemple utilisation de véhicules exclusivement électriques ;
- le refus de mutualiser un véhicule, seules des marchandises le concernant pourront être transportées dans ce véhicule ;
- l'obligation d'utiliser un véhicule appartenant à une liste pré identifiée, notamment pour des raisons de sécurité car seuls ces véhicules sont habilités pour entrer sur ses sites.

Dans la littérature, les notions de client et de site sont souvent confondues (Derigs et al., 2014 ; Gupta et al., 2012) car chaque site est considéré comme un client indépendant. Notre proposition est de distinguer ces deux notions afin de pouvoir identifier clairement les différents sites d'un même client et de pouvoir leur associer des exigences particulières. Le client est pour nous le propriétaire de plusieurs sites. Cela permet par exemple de préciser pour chaque site des caractéristiques qui leur sont

1. RIOSUITE est accessible en ligne à l'adresse https://research-gi.mines-albi.fr/display/RIOSUITE/Welcome

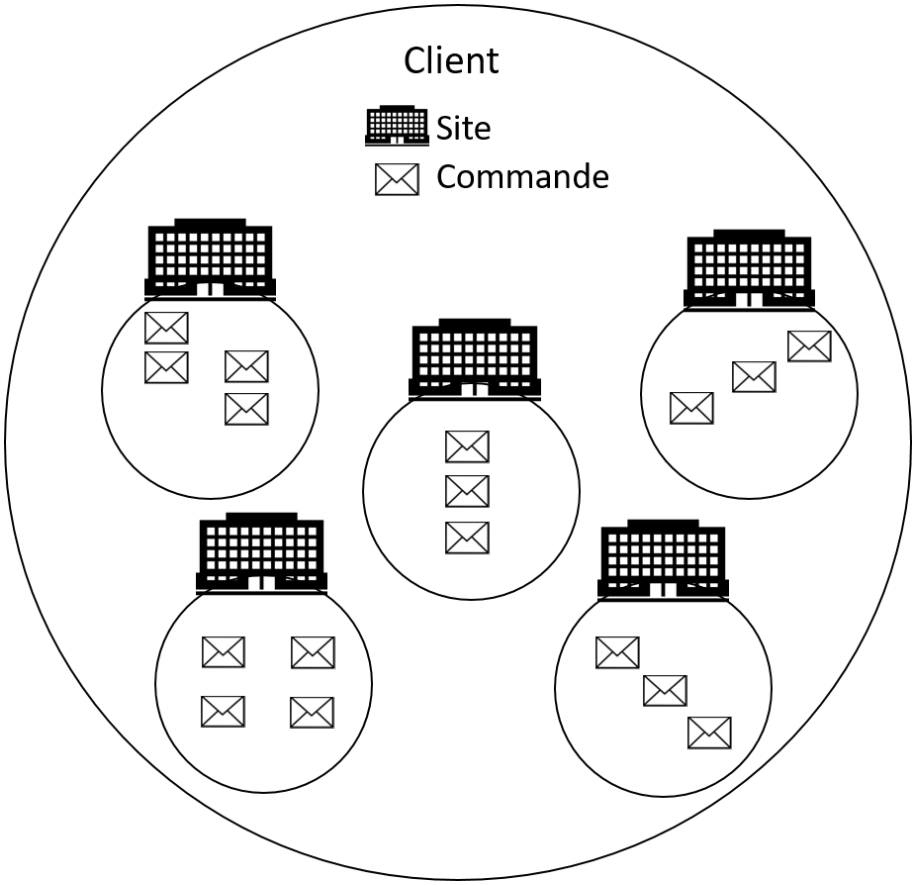

Figure 3.3 – Structure d'un client

propres. Les sites correspondent aux emplacements où doit être livré la marchandise d'un point de vue géographique (Eksioglu et al., 2009). Les sites sont caractérisés par la description des installations permettant d'accueillir le véhicule et les livraisons :

- existence ou non d'un quai de livraison ;
- existence ou non d'un sas pour le dépôt des marchandises et capacité de ce sas (en nombre de palettes par exemple) ;
- le type d'autorisation nécessaire pour l'accès au site (conducteur, véhicule) ;
- accessibilité au site avec une hauteur maximale de véhicules ;
- les horaires d'ouverture du site et/ou les heures de réception des livraisons.

Une structure de données similaire à celle décrivant l'entreprise de transport a été retenue.

Pour être approvisionné en marchandises, un site passe une commande. La commande est la description des marchandises qui doivent être livrées d'un site A à un site B pour un client donné. Dans la littérature, la commande est associée à une demande, cette demande représente la quantité de marchandises à charger ou décharger sur un site (Bianchessi et al., 2007 ; Lee et al., 2012). Notre objectif est de prendre en compte les attributs les plus représentatifs de la description d'une commande. Notre proposition se positionne sur les problèmes de recherche où le respect de l'heure de

livraison est un critère de planification. L'attribut de l'heure de livraison ou de plage horaire est fondamental pour la suite du manuscrit.

Pour nous, la commande est caractérisée par :

— sa nature : la quantité de palettes ou de colis, le volume et la surface des marchandises ;

— les mouvements attendus : l'entrepôt responsable de la livraison (lieu où la marchandise devra être prélevée), le site de livraison (lieu où la marchandise devra être livrée) ;

— l'heure ou la plage horaire à laquelle la commande devra être livrée sur le site destinataire.

D'un point de vue de l'entreprise de transport, la commande est un objectif que l'entreprise doit réaliser. La description du site et du client représentent le contexte dans lequel cet objectif est à réaliser.

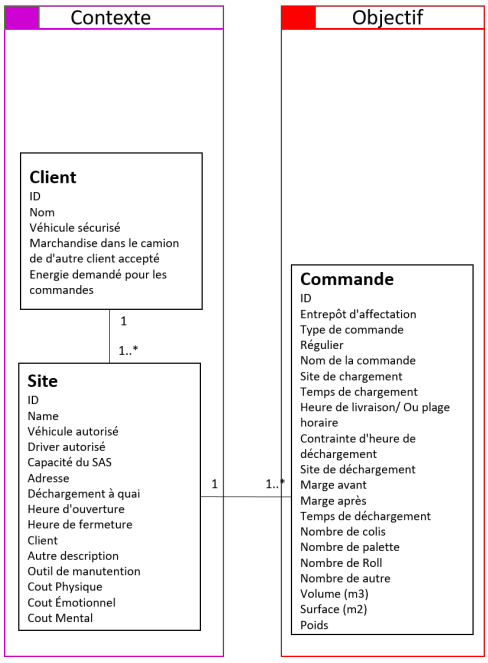

Figure 3.4 – Diagramme de classe du client

Le client peut être modélisé sous la forme d'un diagramme de classe UML (voir figure 3.4). Les concepts client et site sont regroupés dans le package contexte car ils permettent de représenter l'environnement dans lequel l'entreprise de transport effectue son activité. Le package objectif est décrit par le concept commande qui représente finalement ce que l'entreprise doit satisfaire. La représentation permet d'observer qu'un client peut posséder un ou plusieurs sites (cardinalité 1..*) et qu'un site appartient à un seul et unique client (cardinalité 1). Une commande est destinée à un seul et unique site (cardinalité 1) tandis qu'un site peut passer une ou plusieurs commandes (cardinalité 1..*).

3.1.3 Modélisation des tournées et plannings journaliers

Après avoir présenté et modélisé l'environnement de la planification, nous allons nous intéresser à la modélisation des tournées et plannings journaliers. Ce sont ces deux concepts qui permettent de représenter l'activité menée par l'entreprise de transport pour satisfaire les différentes demandes de livraison des clients.

Le résultat de la phase de planification dans le transport routier de marchandises et plus précisément dans la livraison dernier kilomètre est appelé un planning journalier. Le planning journalier, noté PJ, représente la vision macroscopique de l'activité d'une entreprise de transport sur une journée. Il modélise l'ensemble des activités réalisées sur une journée par les ressources affectées à un entrepôt d'une entreprise de transport. Il représente les commandes émises par les différents sites des différents clients. Un planning journalier est évalué sur un certain nombre d'indicateurs comme le coût de réalisation, la durée totale d'exécution, l'émission de CO_2...

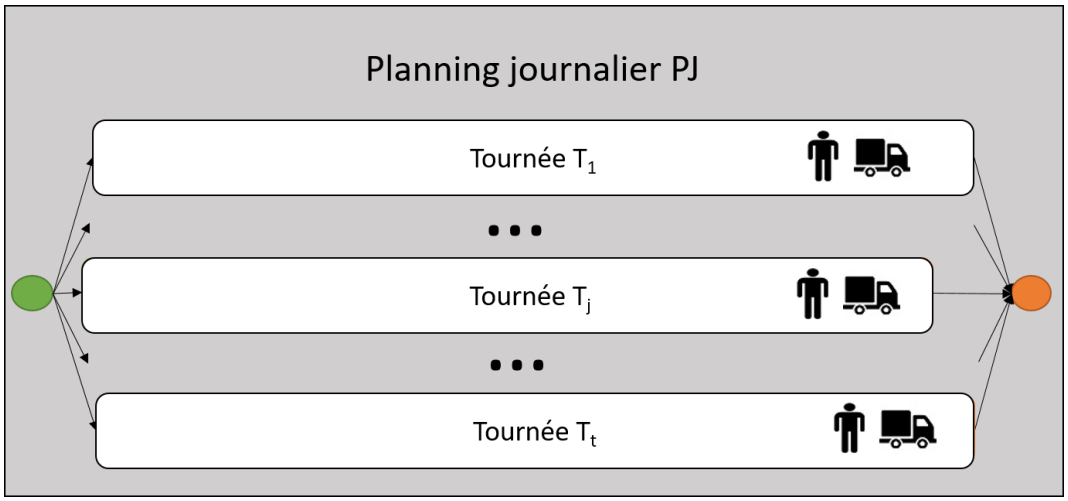

Figure 3.5 – Illustration d'un planning journalier

Un planning journalier PJ, comme représenté figure 3.5, est composé d'un ensemble de tournées, notées $T_j(j = 1, ..., t)$ avec t le nombre de tournées présentes dans le planning journalier.

Figure 3.6 – Illustration d'une tournée

La notion de tournée correspond à l'ensemble des activités réalisées par un couple conducteur-véhicule sur une plage de temps donnée (par exemple journée, matinée). La tournée a pour objectif la livraison d'un ensemble de commandes sur les sites auxquels elles sont destinées. Une tournée est représentée sous la forme d'un processus noté T. Ce processus correspond à un enchaînement d'activités $A_i(i = 1...a)$

ordonnées, a étant le nombre d'activités nécessaires pour réaliser la tournée. Un exemple de tournée est illustré figure 3.6.

La littérature propose de nombreux modèles pour représenter une tournée. La majorité de ces modèles intègre les activités de chargement/déchargement de la marchandise sur les différents sites et les activités de déplacement d'un site à un autre. Ces deux activités correspondent au travail réalisé par les conducteurs. Cependant, lors d'une journée de travail, le conducteur a des périodes où il ne réalise aucune de ces deux activités. Par exemple, il peut se trouver dans une phase d'attente du réceptionniste sur un site. Notre proposition est de prendre en compte et de modéliser dans notre modèle les périodes où le conducteur attend pour représenter la globalité de sa journée de travail. Nous présentons, ci-dessous, les caractéristiques que nous avons retenues pour modéliser ces deux familles d'activité.

Pour les activités de chargement et de déchargement, des auteurs (Feillet et al., 2002 ; Güner et al., 2017 ; Lera-Romero et al., 2019) utilisent le terme temps de service. Le temps de service est pour ces auteurs le temps nécessaire pour livrer ou récupérer les marchandises sur un site.

Notre proposition est de décomposer ce temps de service en trois types d'activités. Le premier type d'activité nommé « Activity on Site », désigné par « AoS », correspond à l'ensemble des activités réalisées par le conducteur sur le site en cours de livraison. Cette activité inclut le déchargement des marchandises et une partie administrative (comme par exemple la signature des bons de livraison). Le conducteur a également la possibilité de récupérer des marchandises sur le site si la consigne lui en est donnée. Ces marchandises peuvent être à destination de la déchetterie, par exemple pour des encombrants, ou simplement à destination de l'entrepôt quant il s'agit des palettes (retour à vide) pour un stockage temporaire.

Le deuxième type d'activité nommé « Start Activity », désigné par « Start », correspond aux différentes étapes réalisées dans l'entrepôt avant le départ de la tournée. Les démarches regroupées au sein de cette activité comportent la prise de poste de l'agent, une partie administrative (comme la préparation des bons de livraison), le chargement du véhicule. La période de passage des consignes données par le planificateur est également incluse dans cette activité. La première activité d'une tournée est de type Start Activity car l'activité représentera la préparation du véhicule avant d'effectuer la tournée.

Le troisième type d'activité nommé « End Activity », désigné par « End », est similaire à « Start Activity ». Elle correspond aux différentes étapes réalisées dans l'entrepôt à la fin de la tournée, au retour des livraisons. Les démarches au sein de cette activité regroupent le déchargement du véhicule, son nettoyage, une partie administrative ainsi qu'un "feedback" vers le planificateur. Cette discussion permet au conducteur de faire un retour sur le déroulement de sa tournée mais également de présenter les différents problèmes qu'il a pu rencontrer au cours de celle-ci (par exemple : embouteillage, problème technique du véhicule, mauvaise relation avec le client...). La dernière activité d'une tournée est de type End Activity.

Ces trois types d'activités (Activity on site, Start Activity et End Activity) sont caractérisés par une durée d'exécution permettant de connaître le temps nécessaire

pour réaliser l'activité, une localisation pour savoir où se situe l'action à réaliser, une heure de début et une heure de fin dans l'objectif de connaître la période de la journée où est réalisée l'activité.

Pour les activités de déplacement, dans la littérature les auteurs modélisent ces activités à partir d'une matrice des distances et une matrice des temps de trajet (Ai et al., 2009 ; Ruiz et al., 2019). La valeur de la matrice $d_{i,j}$ correspond à la distance ou à la durée nécessaire pour effectuer le trajet entre le site i et le site j. Les activités de déplacement d'un site à un autre sont de type « Move ». Les caractéristiques décrivant cette activité sont la durée de l'activité, l'heure de début et de fin de l'activité, la distance à parcourir et l'émission de CO_2. La distance de l'activité est extraite de la matrice des distances. Les sites de départ et d'arrivée sont connus à l'aide des activités avant et après l'activité de déplacement. La durée d'activité est calculée à partir de la distance et de la vitesse moyenne. L'émission de CO_2 est calculée à partir de la distance parcourue et de l'émission de CO_2 par kilomètre du véhicule effectuant l'activité.

La commande possède un attribut décrivant l'heure de livraison souhaitée, elle peut être soit à une heure précise soit dans une plage horaire. La littérature permet d'observer que cette contrainte d'heure peut générer des temps d'attente entre la réalisation de deux activités successives (Fabri et al., 2006 ; Haghani et al., 2005). Ce temps d'attente est très peu modélisé, mais il est possible de s'intéresser au temps d'attente comme le font Shyu et al. (2004). Ils prennent en compte le temps disponible et le temps total d'utilisation pour connaître ce temps d'attente. A partir de ces données, ils cherchent à minimiser cette fonction objective.

Dans notre proposition, le type d'activité « Wait » représentera les activités d'attente. Les attributs de l'activité de type Wait sont l'heure de début et l'heure de fin ainsi que la durée de l'activité. Une activité de type Wait est créée si l'heure de fin d'une activité est différente de l'heure de début de l'activité suivante. La durée de l'activité Wait sera égale à la différence entre l'heure de fin d'une activité qui précède l'activité Wait et l'heure de début de l'activité suivante.

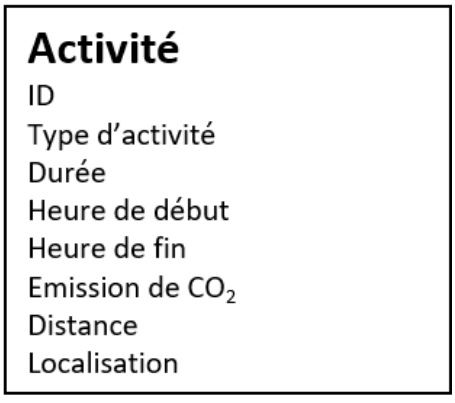

Figure 3.7 – Modèle de données de l'activité

Le modèle de données d'une activité est illustré figure 3.7. Une activité est définie par son type, pris parmi les cinq types d'activité présentés précédemment (Start

activity, Activity on site, Move, Wait et End activity). L'activité est caractérisée par une heure de début et une heure de fin, une durée, une localisation, une émission de CO_2 et une distance parcourue. Les activités de type Start activity, Activity on site, Wait et End activity sont des activités dites statiques pour leur localisation tandis que les activités de type Move sont considérées comme dynamiques.

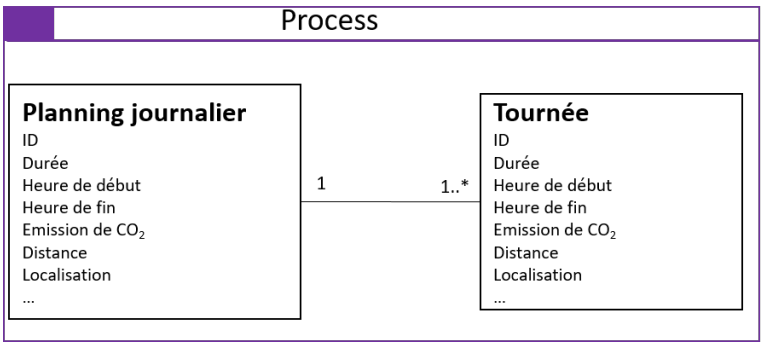

Figure 3.8 – Diagramme de classe des données relatives aux concepts tournée et planning journalier

En s'appuyant sur le modèle de données de l'activité, présenté figure 3.7, la figure 3.8 décrit la modélisation des concepts de planning journalier et de tournée.

Le lien entre le concept planning journalier et celui de tournée indique qu'une tournée appartient à un seul et unique planning journalier tandis qu'un planning journalier est composé d'une ou plusieurs tournées. Les attributs décrivant le planning journalier et la tournée reprennent ceux utilisés pour décrire l'activité. Toutefois, des attributs complémentaires viennent compléter la caractérisation des concepts planning journalier et tournée. Ces attributs sont désignés sous le vocable d'attributs agrégés, car ils sont issus de fonctions de calcul sur la base d'attributs des entités composant la tournée ou le planning journalier. Il s'agit par exemple du temps de conduite associé à une tournée qui correspond à la somme des durées des activités de type Move. La présentation d'un système pour calculer ces attributs est proposée à la fin de ce chapitre.

3.1.4 Synthèse du modèle de données

Le début du chapitre s'est efforcé de présenter les données nécessaires pour effectuer la planification des livraisons. Pour cela, les concepts d'entreprise de transport, de client, de tournée et de planning journalier ont été développés. La suite de cette partie montre les liens entre les différents concepts manipulés.

Les concepts de tournée et de planning journalier établissent le lien entre l'entreprise de transport et le client. La figure 3.9 illustre ce lien. Le planning journalier représente l'activité de l'entreprise sur un entrepôt. Le planning journalier est décomposé en tournées. Une tournée est réalisée par un conducteur et un véhicule pour répondre aux besoins exprimés par le client sous forme de commande. Chaque commande est associée à un site de livraison particulier. Un site appartient à un client.

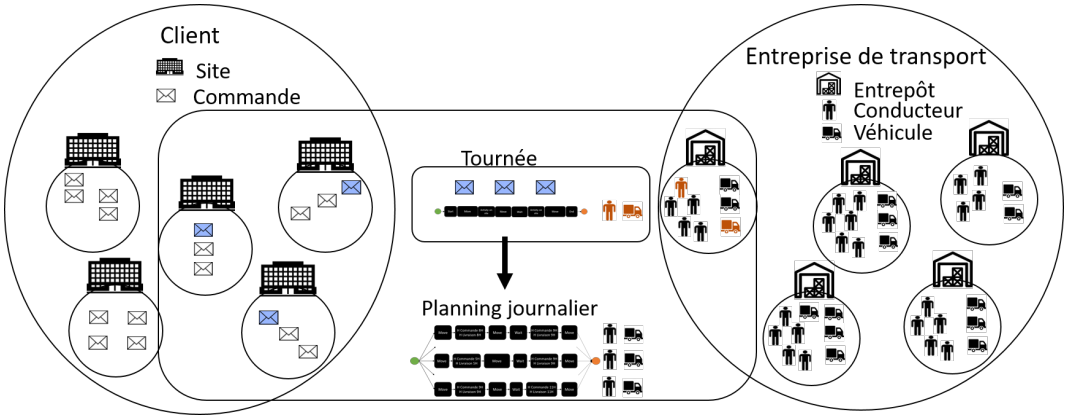

Figure 3.9 – Représentation du lien entre l'entreprise de transport et le client

La figure 3.10 est le modèle de données au format UML de l'ensemble des concepts. Ce modèle de données est composé d'une part du modèle de données de l'entreprise de transport qui possède des entrepôts. Sur chaque entrepôt, des ressources conducteur et véhicule lui sont associées. Pour compléter le modèle de l'entreprise de transport, le modèle de données du client est présent. Le client et ses sites représentent le contexte dans lequel l'entreprise de transport doit réaliser son activité. Les commandes sont l'objectif que l'entreprise de transport va satisfaire avec les différents processus.

Les liens entre la tournée et les ressources représentent le fait qu'une tournée est réalisée par un seul couple conducteur véhicule. Un conducteur peut réaliser plusieurs tournées et le véhicule peut réaliser plusieurs tournées. Pour le lien entre la tournée et la commande, une commande est réalisée par une seule et unique tournée. Mais une tournée peut satisfaire plusieurs commandes en même temps.

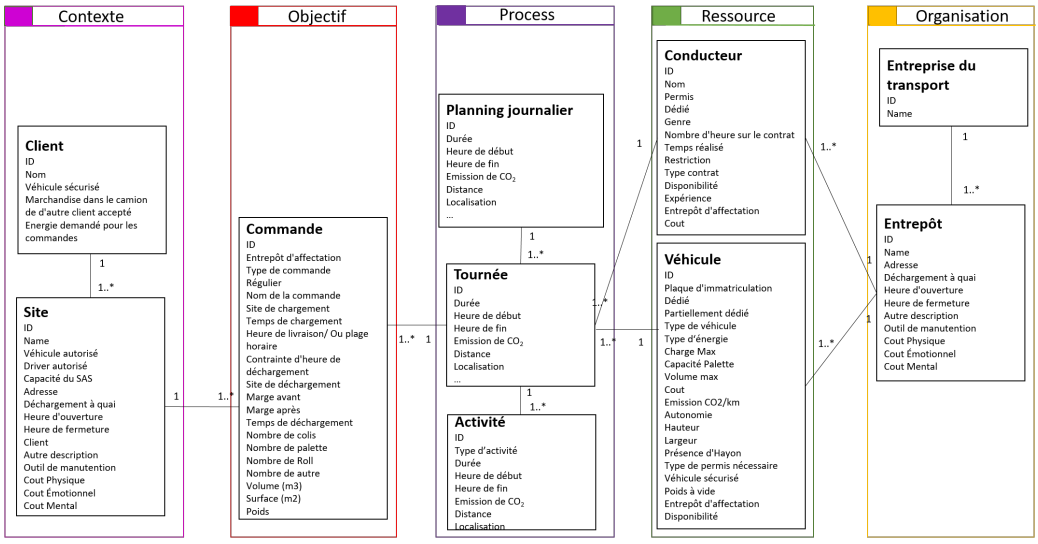

Figure 3.10 – Modèle de données utilisé au format UML

3.2 Évaluation des tournées et du planning journalier

Cette section a pour objectif de présenter le mécanisme permettant de calculer des indicateurs sur les différents tournées et plannings manipulés à partir du modèle de données utilisé. La dernière section est une illustration de ce mécanisme. Ce mécanisme d'évaluation permettra de poser les bases des propositions d'indicateurs du chapitre 5.

3.2.1 Évaluation des tournées : mécanisme de calcul des indicateurs

Dans ce chapitre nous avons vu qu'un planning journalier est composé d'un ensemble de tournées. Une tournée est un enchaînement d'activités. Le modèle de l'activité présente une activité avec des attributs comme la durée, la localisation, l'heure de début, l'heure de fin, le type d'activité, l'émission de CO_2 et la distance parcourue.

Dans la première partie de ce chapitre, les attributs décrivant une tournée sont similaires à ceux décrivant une activité. Cependant, d'autres attributs peuvent être identifiés et calculés à partir des attributs de chaque activité. Il s'agit par exemple d'un attribut lié au type d'activité comme par exemple le temps total des activités de type Move.

Pour les attributs identiques aux attributs de l'activité comme pour les nouveaux attributs de la tournée, ils peuvent être déduits d'un système d'agrégation. La figure 3.11 est la représentation de ce système d'agrégation. Les activités A_i sont décrites par des attributs (Va_1, ... , Va_x) avec x le nombre d'attributs des activités. En utilisant une fonction spécifique à chaque attribut, les attributs (Va_1, ..., Va_y avec y le nombre d'attributs) de la tournée sont calculés à partir des attributs de l'activité ainsi que des attributs des ressources utilisées (D_j le conducteur de la tournée j et V_j le véhicule de la tournée j). Pour différencier les attributs des activités des attributs d'une tournée lors des équations, un attribut d'activité sera $Va_x(A_i)$ et un attribut de tournée sera $Va_y(T_j)$.

L'équation 3.1 permet de définir les différents attributs d'une tournée. L'attribut $Va_h(T_j)$ correspond à l'attribut h de la tournée j avec $h \in (1..y)$. Cet attribut se calcule à partir des attributs $Va_k(A_i)$ de l'ensemble des activités de la tournée avec $k \in (1..x)$ et $i \in (1..a)$.

$$Va_h(T_j) = f(Va_k(A_i), D_j, V_j) \tag{3.1}$$

Maintenant que nous avons expliqué le passage des attributs d'une activité aux attributs agrégés de la tournée, nous allons nous intéresser aux indicateurs. Les indicateurs sont les valeurs pertinentes que souhaite observer rapidement le planificateur pour comparer et sélectionner un planning. A partir des attributs agrégés, il est possible de présenter au planificateur des indicateurs représentatifs de la tournée. Sur

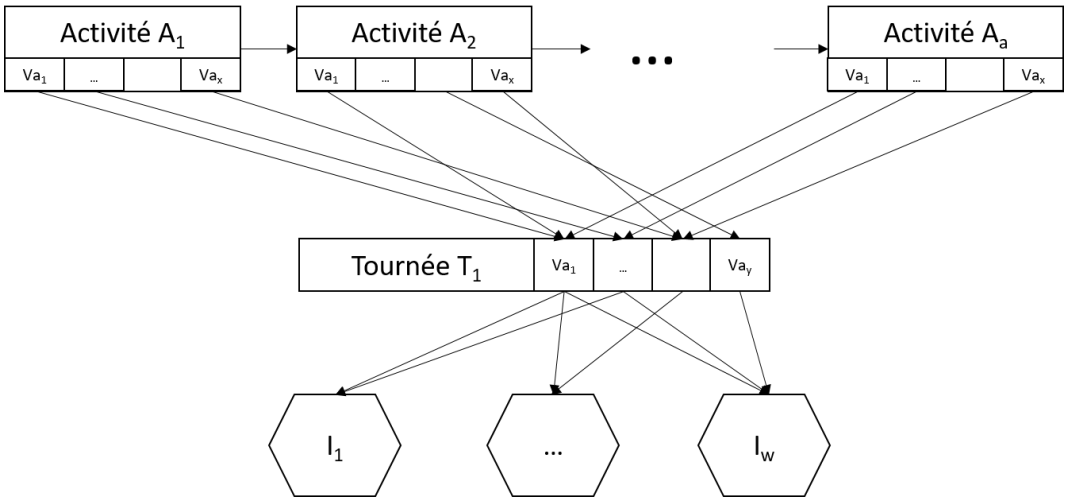

Figure 3.11 – Agrégation des valeurs des activités jusqu'à la tournée

le schéma 3.11, les indicateurs sont notés I_g avec $g \in (1..w)$. Ces indicateurs peuvent regrouper des catégories d'indicateurs pour donner la vision la plus représentative et non répétitive de l'évaluation d'une tournée.

L'équation 3.2 correspond à la formule permettant de calculer les indicateurs en fonction du choix que l'on souhaite représenter. $I_g(T_j)$ est l'indicateur g de la tournée T_j. Chaque indicateur est un choix personnel du planificateur correspondant à une valeur qu'il souhaite mesurer.

$$I_g(T_j) = f(Va_h(T_j)) \tag{3.2}$$

Cette section a permis de montrer comment sont calculés les attributs agrégés des tournées ainsi que des indicateurs représentatifs de la tournée. La section suivante va présenter l'évaluation d'un planning journalier à partir de l'évaluation des tournées.

3.2.2 Évaluation des plannings journaliers

Un planning journalier est composé d'un ensemble de tournées. De manière similaire à la section précédente, nous proposons le passage des attributs des tournées aux attributs d'un planning journalier puis l'évaluation d'indicateurs représentatifs du planning journalier.

Le schéma 3.12 illustre les t tournées du planning PJ_1. Les tournées sont décrites par les attributs $Va_1...Va_y$. Par une agrégation, il est possible d'obtenir l'ensemble des attributs d'un planning. Ces attributs $Va_1...Va_z$ qualifient la tournée. L'équation 3.3 permet de définir l'attribut f du planning q en utilisant une fonction qui dépend de l'ensemble des attributs des tournées appartenant à ce planning.

$$Va_f(PJ_q) = f(Va_h(T_{j=1..t})) \tag{3.3}$$

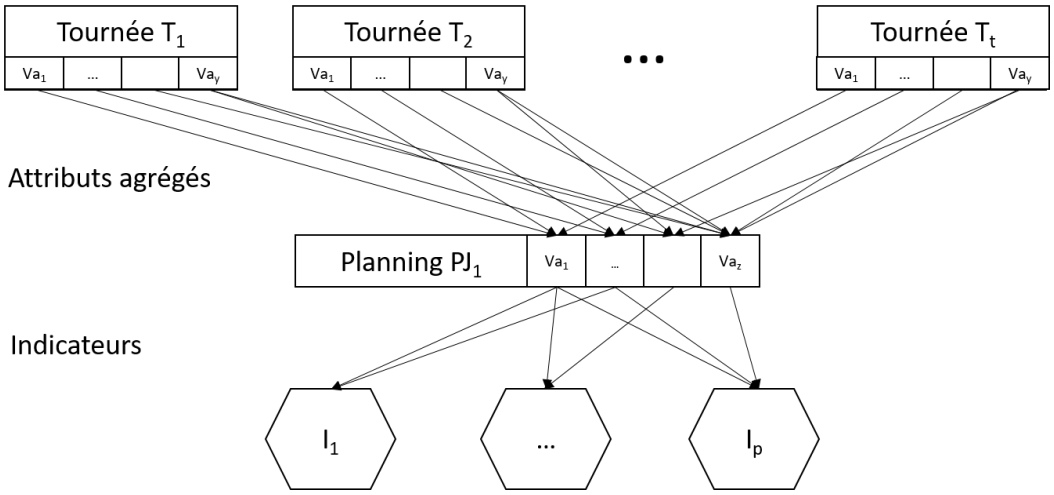

Figure 3.12 – Agrégation des valeurs des tournées jusqu'au planning journalier

De manière similaire à la section précédente, il est possible d'obtenir des indicateurs représentatifs du planning journalier. Les indicateurs sont notés $I_1...I_p$. Ils sont également choisis par le planificateur pour qu'il puisse évaluer les informations qui lui semblent nécessaires.

3.2.3 Illustration des attributs et des indicateurs

Cette section a pour objectif d'illustrer un attribut au niveau d'une tournée, un attribut au niveau d'un planning et de montrer notre positionnement sur les indicateurs. Le choix des indicateurs permet d'illustrer notre cas d'étude.

Au niveau d'une tournée, le planificateur peut s'intéresser au temps de conduite que réalise un conducteur. Pour calculer le temps de conduite dans la tournée, la fonction utilisée est une addition du temps des activités de type Move (équation 3.4). L'attribut « Temps de conduite » de la tournée T_j correspond à la somme des durées si et seulement si le type de l'activité $Type(A_i)$ est de type « Move ».

$$\text{Temps de conduite}(T_j) = \sum_{i=1}^{a} durée(A_i) * \begin{cases} 1, & \text{si } Type(A_i) = Move \\ 0, & \text{Sinon} \end{cases} \tag{3.4}$$

Au niveau du planning journalier, le planificateur peut s'intéresser au coût des véhicules généré par les véhicules affectés à son planning. Considérant que le nombre de kilomètres est un attribut de la tournée $km(T_j)$, l'attribut au niveau planning se calcule à l'aide de l'équation 3.5. Le nombre de kilomètres $km(T_j)$ est multiplié par le coût kilométrique du véhicule qui réalise la tournée T_j. La somme de chaque tournée permet d'obtenir le coût de l'utilisation des véhicules sur le planning PJ_1.

Ce système d'agrégation montre que de nombreux attributs peuvent être créés et doit être adaptés en fonction des attentes du planificateur.

$$\text{Coût des véhicules}(PJ_1) = \sum_{j=1}^{t} km(T_j) * \text{Coût kilométrique}(V_j) \tag{3.5}$$

Pour les indicateurs, le choix effectué dans le projet ANR SMART PLANNING a été d'utiliser les mêmes noms d'indicateur aux niveaux tournée et planning journalier. Les trois indicateurs sont :

— Environnement (Env.) ;
— Économique (Fin.) ;
— Santé sécurité au travail (SST).

Ces trois indicateurs ont été retenus car le projet dans lequel s'inscrit cette thèse se focalise sur la notion de développement durable. Stanitsas et al. (2019) font une revue de la littérature sur le développement durable et présentent ces trois indicateurs comme primordiaux pour ce concept.

Les fonctions d'agrégation de ces trois indicateurs peuvent être différentes au niveau d'une tournée et d'un planning. Cela dépend des choix du planificateur et des données présentes dans l'entreprise pour appliquer les équations associées.

Conclusion

La première partie de ce chapitre présente un modèle de données caractérisant l'entreprise de transport routier. Les éléments principaux qu'il comprend sont l'entreprise elle-même, le client et le planning journalier. Ainsi, ce modèle d'entreprise de transport permet de structurer les différentes ressources présents mais également de prendre en compte les différentes contraintes de planification. La description du client permet de représenter ses exigences à différents niveaux : un niveau global du client ; un niveau plus précis correspondant à chacun de ses sites ; et un niveau encore plus précis correspondant à une commande particulière. Le planning journalier quant à lui est un processus qui répond aux exigences du client tous en respectant les contraintes de l'entreprise de transport.

Ce modèle de données est inspiré de la littérature, mais pour prendre en compte les différents aspects de la réalité à intégrer dans un planning journalier pour le rendre plus réaliste, il est complété par une description précise des types d'activités pouvant être réalisées dans chaque tournée du planning.

La deuxième partie de ce chapitre présente un système d'évaluation d'une tournée puis d'agrégation au niveau d'un planning journalier. Elle montre la personnalisation des attributs que souhaite avoir le planificateur lors de la planification d'une tournée et un planning. Ce système est basé sur la modélisation des activités et de l'ensemble de leurs attributs telle que la durée, l'heure de début, le type d'activité... Cette partie présente également les indicateurs qui permettent de choisir le planning qui sera retenu et exécuté parmi un ensemble de planning respectant aussi les contraintes imposées.

Dans le cadre de ce travail, nous avons fait le choix de conserver trois indicateurs : économique, environnement et santé sécurité au travail. Le système d'agrégation présenté ici sera utilisé dans le chapitre 5 dans le cadre de notre contribution sur la proposition d'indicateurs pour évaluer la robustesse.