



Dynamic Assignment Problem of Parcels in Parcel Lockers

Aymen Aloui, Nassim Mrabti, Nadia Hamani and
Laurent Delahoche

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

November 3, 2019

Problème d'affectation dynamique des colis dans les casiers en livraison du dernier kilomètre

Aymen Aloui, Nassim Mrabti, Nadia Hamani, Laurent Delahoche

LTI (Laboratoire des Technologies Innovantes),

Université de Picardie Jules Verne

Amiens, France

aymen.aloui@grenoble-inp.org ; nassim.mrabti@u-picardie.fr

nadia.hamani@u-picardie.fr ; laurent.delahoche@u-picardie.fr

Résumé—Le développement du commerce électronique, les évolutions des modes d'achat ainsi que nos habitudes de consommation renforcent les enjeux urbains. Dans ce contexte, les casiers à colis se présentent aujourd'hui comme étant des alternatives de la livraison du dernier kilomètre. Ces casiers permettent de réduire les impacts provoqués par le transport de colis dans les zones urbaines et offrent aussi une réponse aux défis cités. La satisfaction des clients devient de plus en plus difficile à gérer vu la croissance considérable du commerce électronique et le nombre de colis livrés à travers les casiers. Dans ce travail, nous proposons une approche mathématique pour le problème d'affectation des colis dans les casiers à colis. L'objectif est de déterminer la localisation optimale de chaque colis tout en satisfaisant les demandes et en tenant compte des contraintes réelles.

Mots-clés — logistique du dernier kilomètre, casiers à colis, affectation dynamique, optimisation multi-objectifs, modélisation mathématique.

Abstract—Several factors strengthened urban issues, namely: the development of electronic commerce, changes in purchasing methods and consumption habits. In this context, parcel lockers are now presented as alternatives to last-mile delivery. These lockers reduce the impacts caused by the transport of parcels in the urban area and also provide a response to the cited challenges. Customer satisfaction is becoming increasingly difficult to manage given the considerable increase in e-commerce and the number of parcels delivered through lockers. In this work, we propose a mathematical approach to the dynamic allocation problem of parcels in parcel lockers. The objective is to determine the optimal location of each parcel while satisfying the customer's demands and taking into account the real constraints.

Keywords —last mile delivery, parcel lockers, dynamic allocation, multi-objective optimization, mathematical modeling.

I. INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, un nouveau mode d'achat et de vente a émergé en France, sous les évolutions numériques ; c'est le commerce électronique [1]. Selon la Fédération du e-commerce et de la vente à distance (Fevad), 36 millions de Français effectuent leurs achats en ligne, 80% du volume total des colis livrés aujourd'hui est généré par le commerce électronique. Ce dernier a un chiffre d'affaires énorme, au premier trimestre de 2018, il a atteint 22,3 milliards d'Euros. En effet, dans la logistique traditionnelle, le client se déplace vers les points de vente pour récupérer sa marchandise, alors que dans ce nouveau mode, l'achat peut s'effectuer à distance. Ce mode d'achat permet d'offrir non seulement aux consommateurs du confort, mais aussi des avantages considérables pour les entreprises [2]. En effet, l'entreprise peut avoir une réduction de coût associé à la commercialisation, une collecte de données qui permettent d'ajuster les prévisions de vente, une réduction de coût de publicité et une absence de frontières géographiques pour la livraison, etc. Le e-commerce dans le marché *B to C* (*Business to Consumer*) est apparu auparavant avec un mode de livraison à domicile où les commerçants prennent en charge les derniers kilomètres. Cependant, ce type de livraison présente plusieurs impacts sur le développement durable. Aujourd'hui, la livraison du dernier kilomètre est devenue de plus en plus difficile à gérer dans les zones urbaines [3]. Dans ce cadre, ce travail a pour objectif de proposer des solutions d'affectation dynamique des colis dans les casiers.

La suite de cet article s'intéresse à la livraison du dernier kilomètre en section 2 et la description du problème d'affectation dynamique des colis dans la section 3. Nous proposons un modèle mathématique en programmation linéaire en nombre entiers (PLNE) dans la section 4. La section 5 présente un exemple d'illustration. Nous terminons par une conclusion et quelques perspectives.

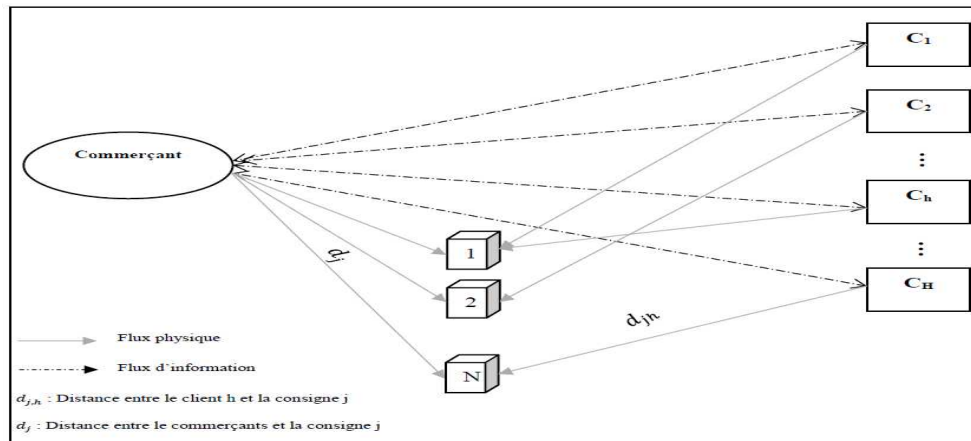


Fig. 1. Description du problème

II. LA LIVRAISON DU DERNIER KILOMÈTRE

Récemment, les casiers à colis sont devenus des solutions plus durables d'un point de vue environnemental et économique. Ils se présentent comme étant des solutions intéressantes et populaires pour la livraison du dernier kilomètre [4].

Avec l'évolution actuelle des nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC), le e-commerce ne cesse de se développer. Cette évolution provoque une augmentation du nombre des colis livrés par jour à travers les casiers à colis. Cette croissance entraîne une accentuation de la pression sur les acteurs de la livraison du dernier kilomètre [5]. En effet, les casiers à colis ayant des capacités limitées. Pour cette raison, les commerçants cherchent des solutions qui permettent de satisfaire les besoins des clients tout en exploitant d'une façon maximale ces consignes (dans cet article, une consigne est constituée d'un ensemble de casiers). Plusieurs techniques ont été utilisées pour faire face à cette problématique, par exemple la technique de relocalisation qui permet d'augmenter le taux d'exploitation de certaines consignes et la ré-conception des consignes en ajoutant des compartiments, etc. Toutefois, ces techniques ne peuvent pas se pratiquer régulièrement, puisqu'ils sont de niveau de décision stratégique ou tactique. D'autre part, l'installation des nouvelles consignes présente aussi une solution mais le coût d'investissement reste important. De plus, les commerçants utilisent une fenêtre de temps pour livrer les colis, autrement dit, la livraison d'un colis se fait après deux jours de la réception de la commande. Dans ce contexte, l'affectation des colis dans les casiers représente une solution efficace qui permet d'exploiter d'une façon optimale les consignes et satisfaire les demandes des clients.

Les problèmes d'affectation consistent à trouver une correspondance un à un, par exemple, un ensemble de tâches à un ensemble d'agents, de marchandises à des véhicules, etc. Selon Ferjani [6], la résolution de ces problèmes industriels

permet à l'entreprise d'améliorer sa performance. D'après la revue de littérature, nous constatons qu'il existe deux catégories de ce problème : l'affectation statique et l'affectation dynamique. Concernant le premier type, l'assignement doit être réalisé à l'avance, ces problèmes ne prennent pas en considération les imprévus produits en temps réel. Par contre, selon Sabar [7], la décision de l'attribution dans le deuxième type se fait en temps réel en fonction de l'état actuel du système et aux événements dynamiques. Pour cette raison, l'affectation dynamique présente la meilleure solution pour notre problème.

III. DESCRIPTION DU PROBLEME

Pour un niveau de décision opérationnelle, le problème d'affectation des colis représente aux commerçants et aux Prestataires des Services Logistiques (PSL) l'une des fonctions qui ont pour but d'affecter les demandes clients dans les consignes à casiers. Dans ce problème, nous considérons un commerçant qui reçoit un ensemble des commandes K ($k=1, \dots, K$), les commandes sont numérotées en fonction de leur temps d'arrivée, proviennent d'un ensemble des clients H ($h=1, \dots, H$), un client h peut commander plus qu'une commande. Chaque colis doit être affecté à un casier dans une consigne, N représente l'ensemble des consignes indexées par j ($j=1, \dots, N$), l'ensemble des casiers indexés par i ($i=1, \dots, C$). Les colis restent dans les casiers jusqu'à leur récupération par le client. La figure "Fig. 1" représente une description générale du problème.

Notre objectif est de trouver l'emplacement optimal de chaque colis dès son arrivée, en minimisant en même temps la distance d_j parcourue par le commerçant vers la consigne j et la distance $d_{j,h}$ parcourue par le client h pour récupérer son colis de la consigne j . La minimisation du nombre des consignes à visiter par le commerçant contribue indirectement à la réduction du coût de transport, de la congestion routière et des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). Par conséquent, le problème d'affectation peut être considéré comme un problème multi-objectifs.

L'affectation des colis dépend des caractéristiques des consignes (capacité et disponibilité) et des dimensions de leurs casiers.

Les paramètres du problème varient au cours du temps. En effet, le nombre des casiers disponibles de chaque consigne varie en fonction du temps puisque les commandes arrivent d'une façon dynamique. Aussi, le coût relatif au transport dépend de l'état du trafic (congestion, etc.).

Dans notre étude, nous considérons seulement la variation des capacités des installations, nous supposons que les autres paramètres sont déterministes et ne subissent pas des changements dans le temps.

Afin d'aborder ce problème, une technique d'affectation dynamique est envisagée, nous divisons l'horizon de travail en plusieurs périodes comme le montre la figure "Fig. 2". A chaque période t , les colis seront affectés dans les casiers tout en prenant en compte les contraintes de disponibilité et de compatibilité des casiers susceptibles d'être sélectionnés pour le stockage des colis.

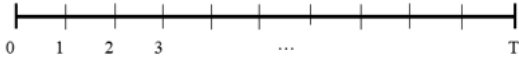


Fig. 2. Exemple d'un horizon de temps pour l'affectation

IV. FORMULATION MATHÉMATIQUE

Le problème d'affectation des colis dans les casiers à colis peut être assimilé à un problème d'affectation des tâches à des opérateurs. Ce type de problème est considéré dans la littérature comme étant un problème NP-Difficile.

Dans notre problème, l'aspect dynamique rend le problème plus complexe que celui d'un problème d'affectation classique.

A. Hypothèses

Afin de modéliser notre problème, nous considérons les hypothèses suivantes :

- Chaque casier i ne peut accueillir qu'un seul colis,
- Chaque colis k doit être affecté à un seul casier,
- Toutes les consignes ont la même capacité C ,
- Les dates d'arrivée et celles de départ sont connues à l'avance. Ainsi, les commandes sont numérotées suivant l'ordre croissant de leurs périodes d'arrivées,
- Une fois un colis est affecté à un casier, il restera dans ce casier jusqu'à sa récupération et
- Tous les casiers, quelle que soit la consigne, sont numérotés de la même façon ($1, 2, \dots, C$).

B. Paramètres et variables de décision

1. Paramètres : Les paramètres utilisés dans le modèle proposé sont résumés dans le tableau suivant :

TABLE I. LES PARAMETRES DU MODELE

Paramètre	Désignation
R_k	Taille du colis k (12 pouces ou 15 pouces)
$Tarr_k$	Période d'arrivée du colis k
$Tdepart_k$	Période de récupération du colis k
C	La capacité maximale de chaque consigne, autrement dit c 'est le nombre de casiers dans chaque consigne
r_i	Dimension du casier i (12 pouces ou 15 pouces)
d_j	La distance entre la consigne j et le commerçant
$d_{j,h}$	La distance entre le client h , et la consigne j
$a_{k,h}$	Si le colis k est commandé par le client h , 0 sinon

2. Variables de décision: Nous utilisons les trois variables de décision suivantes dans le modèle que nous avons proposé.

TABLE II. LES VARIABLES DE DECISION

Variable de décision	Désignation
$x^{k,t}_{i,j}$	Variable binaire égale à 1 si le colis k est affecté au casier i de la consigne j à la période t
y^j_t	Variable binaire égale à 1 si la consigne j est utilisée pendant la période t
C^j_t	Le nombre de casiers libres dans la consigne j à la fin de la période t

3. Modèle Mathématique : Le modèle proposé est en PLNE (Programmation Linéaire en Nombres Entiers).

$$\text{Min} \left\{ \sum_{t=1}^T \sum_{k \in K} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^C d_j x^{k,t}_{i,j} + \sum_{t=1}^T \sum_{k \in K} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^C \sum_{h \in H} d_{j,h} a_{k,h} x^{k,t}_{i,j} + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^N y^j_t \right\} \tag{1}$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{i=1}^C x^{k,t}_{i,j} = 1, \forall k \in K, \forall t = 1, 2, \dots, T \tag{2}$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{i=1}^{C_{max}} x^{k,t}_{i,j} = 0, \quad \forall k \in K, \forall t = 1, 2, \dots, T, \tag{3}$$

si $t < Tarr_k$ ou $Tdepart_k \leq t$

$$\sum_{i=1}^{C_{max}} x^{k,t}_{i,j} \leq \sum_{i=1}^{C_{max}} x^{k,t'}_{i,j}, \quad \forall k \in K, \forall j \in N, \tag{4}$$

$\forall t' = Tarr_k, \dots, Tdepart_k$

$$\sum_{k \in K} x^{k,t}_{i,j} \leq 1, \quad \forall j \in N, i = 1, \dots, C, \forall t = 1, 2, \dots, T \tag{5}$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i=1}^C x^{k,t}_{i,j} \leq C^{t-1}_j + \sum_{k \in K} \sum_{i=1}^C x^{k,t}_{i,j}, \quad \forall j \in N, \tag{6}$$

$\forall t = 1, 2, \dots, T$

$$x_{i,j}^{k,t} \leq y_j^t, \forall j \in N, i = 1, \dots, C, \forall k \in K, \forall t = 1, \dots, T \quad (7)$$

$$C_j^t = C_j^{t-1} - \sum_{k \in K} \sum_{i=1}^C x_{i,j}^{k,Tarr_k} + \sum_{k \in K} \sum_{i=1}^C x_{i,j}^{k,Tdepart_k}, \forall j \in N, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (8)$$

$$(R_k - r_i) \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^N x_{i,j}^{k,t} = 0, \forall i = 1, \dots, C, \forall k = 1, \dots, K \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i=1}^{Cmax} d_{j,h} a_{k,h} x_{i,j}^{k,t} \leq S_h, \forall k \in K, \forall t = 1, 2, \dots, T, \forall h \in H \quad (10)$$

$$x_{i,j}^{k,t} \in \{0,1\}, y_j^t \in \{0,1\} \text{ et } C_j^t \in \mathbb{N} \quad (11)$$

La fonction objectif (1) est constituée de trois parties : La première vise à optimiser la distance entre le commerçant et les consignes pour livrer les colis, la deuxième est destinée à optimiser la distance entre les clients et les consignes dans lesquelles les colis sont affectés, et la troisième sert à optimiser le nombre des consignes utilisées. La contrainte (2) assure que chaque commande soit affectée à un seul casier dans une seule consigne. La contrainte (3) assure que les casiers ne sont réservés que pour la période de stockage. En d'autres termes, aucun casier n'est réservé pour un colis donné, durant les périodes qui précèdent son arrivée et celles qui succèdent son départ. La contrainte (4) garantit que chaque colis reste dans le casier où il est affecté à son arrivée, durant toute la période de stockage (jusqu'à sa récupération). La contrainte (5) garantit qu'à chaque période t , au plus un colis est affecté à chaque casier. Autrement dit, plusieurs colis ne peuvent être affectés à un même casier durant la période t . La contrainte (6) assure que les capacités des consignes ne sont pas dépassées. En d'autres termes, à chaque période t , le nombre de nouveaux colis affectés à une consigne doit être inférieur ou égal au nombre des casiers libres après l'extraction des colis qui doivent être récupérés à la période t . Nous supposons qu'à chaque période t , les colis, qui doivent être récupérés, sont retirés avant le stockage de nouveaux colis. La contrainte (7) entraîne que y_j^t soit égale à 1 si le colis k est affecté au casier i de la consigne j ce qui implique que la consigne j est retenue. La contrainte (8) met à jour la capacité de chaque consigne, à la fin de chaque période. La contrainte (9) assure qu'on ne peut pas affecter un colis à un casier que si sa taille est compatible avec celle du casier. La contrainte (10) assure la préférence sur la distance à parcourir par le client. La dernière contrainte précise la nature de chaque variable de décision.

V. EXEMPLE D'ILLUSTRATION

Afin de valider notre contribution et de montrer la faisabilité des solutions que nous avons proposées dans les applications pratiques, nous avons pris dans cette section des instances des petites tailles : 20 commandes, 3 clients et 3 consignes localisés géographiquement dans trois positions différentes "TABLE III".

Pour vérifier la performance de notre modèle, nous avons réalisé une étude comparative entre l'affectation actuelle (statique) et l'affectation dynamique.

Pour le cas statique, nous nous sommes basés sur le fonctionnement actuel des casiers à colis. En effet, chaque colis est livré après deux jours ouvrables (48 heures) dès son arrivée [8], nous utilisons alors une stratégie d'affectation séquentielle pour déterminer l'emplacement de chaque colis. Afin de rendre l'exécution de cette stratégie plus facile, nous supposons que chaque client choisit la même consigne pour toutes ses commandes et toutes les consignes sont initialement libres. Les préférences des clients sur les consignes sont données dans la "TABLE IV".

Pour le cas dynamique, nous avons utilisé le modèle que nous avons proposé. Pour cela, la résolution est réalisée avec le solveur Cplex 12.6 avec une poste de travail Lenovo Z50 I5, processeur Intel 6 GH.

TABLE III. LES INSTANCES GENEREES

k	Client	Taille	Tarr(h)	Tdepart(h)
1	h1	12	8	13
2	h3	12	8	16
3	h1	12	8	17
4	h3	15	8	16
5	h2	12	9	12
6	h3	12	9	18
7	h1	12	10	14
8	h3	12	11	14
9	h2	12	12	16
10	h3	12	12	16
11	h3	15	12	17
12	h1	12	14	17
13	h2	12	15	18
14	h2	12	15	16
15	h2	12	16	17
16	h2	12	16	18
17	h2	12	16	19
18	h1	15	17	18
19	h3	12	17	20
20	h3	12	18	20

TABLE IV. LES PREFERENCES DES CLIENTS (CAS STATIQUE)

Clients	Consignes		
	Consigne 1	Consigne 2	Consigne 3
Client 1	✓		
Client 2		✓	
Client 3			✓

En ce qui concerne les distances, D'après l'étude faite par Maria [9] sur la livraison des colis dans les zones urbaines, les casiers à colis sont généralement localisés près des clients de telle façon que la distance maximale à parcourir ne dépasse pas trois km dans les milieux urbains. Par conséquent, nous utilisons cette information afin de se rapprocher un peu de la réalité. Pour cette raison, nous avons considéré que les distances entre les clients et les installations sont comprises entre 1.3 km et 2.6 km .

Les tableaux "TABLE V" et "TABLE VI" présentent respectivement la matrices des distances Clients - Consignes et la matrice des distances consignes - Commerçants. Nous avons considéré aussi que chaque consigne se compose de 5 casiers. Les casiers sont numérotés de la même façon de 1 à 5 pour toutes les consignes et ils sont de 12 pouces sauf la 5ième est de 15 pouces.

TABLE V. MATRICE DES DISTANCES CLIENTS - CONSIGNES (KM)

Clients	Consignes		
	Consigne 1	Consigne 2	Consigne 3
Client 1	1.3	2.1	2.3
Client 2	2.1	2	2.4
Client 3	2.6	2.4	2.3

TABLE VI. MATRICE DES DISTANCES CONSIGNE-COMMERÇANT (KM)

Commerçants	Consignes		
	Consigne 1	Consigne 2	Consigne 3
Commerçant	9	7	11

Comme on peut le voir sur le tableau "TABLE VII", les deux commandes (11 et 17) ne sont pas affectées puisque les consignes choisies pour le stockage sont occupées. Dans ce cas, deux scénarios possibles peuvent se présenter :

- **Scénario 1** : Livraison avec un temps d'attente supplémentaire, c'est-à-dire un temps d'attente plus de deux jours.
- **Scénario 2** : Annulation des commandes vue que les casiers ne sont pas libres pour la livraison.

TABLE VII. AFFECTATION DES COMMANDES SELON L'ETAT ACTUEL

K	Consigne	Casier	d1	d
1	1	1	1.3	9
2	3	1	2.3	11
3	1	2	1.3	9
4	3	5	2.3	11
5	2	1	2	7
6	3	2	2.3	9
7	1	3	1.3	11
8	3	3	2.3	11
9	2	2	2	7
10	3	4	2.3	11
11	--	--	--	--
12	1	1	1.3	9
13	2	1	2	7
14	2	3	2	7
15	2	4	2	7
16	2	2	2	7
17	--	--	--	--
18	1	5	1.3	7
19	3	1	2.3	11
20	3	4	2.3	11

Dans les deux scénarios, le problème devient alors un problème d'insatisfaction des clients en termes de besoin ou en temps d'attente. Cette insatisfaction peut influencer la fidélité et la confiance des clients et par conséquent l'image du commerçant dans le marché électronique. En ce qui

concerne le coût logistique, ce paramètre dépend de la stratégie de la livraison adoptée par le commerçant. Pour faciliter l'interprétation de nos résultats, Nous supposons que le commerçant ou PSL utilise une stratégie de livraison par regroupement (la capacité de chaque véhicule est supérieure au nombre total des commandes). Le regroupement est réalisé selon l'heure d'affectation et la consigne choisie, on ne considère pas la livraison par tournée.

Le tableau "TABLE VIII" présente le résultat de l'affectation dynamique des colis. À partir de ce tableau, nous pouvons constater que toutes les commandes sont affectées selon leurs périodes d'arrivée et celle de départ. De plus, le temps d'attente associé à chaque commande a été réduit (quelques dizaines de minutes) par rapport celui obtenu par l'affectation actuelle, le temps d'attente est dû uniquement au temps du transport.

Comme nous l'avons mentionné au début de la section, nous faisons une étude comparative des résultats dans les deux cas. Les critères utilisés pour la comparaison sont :

- Temps d'attente W_k : le temps d'attente de la commande k dès son arrivée jusqu'à sa disponibilité dans la consigne où elle est affectée.
- Coût du Transport CT_k : Le coût relatif au transport du colis k à la consigne dans laquelle il est affecté. En réalité, le coût du transport est variable en fonction de la nature du trafic.
- Le Taux d'Utilisation : Le rapport entre le temps d'occupation et le temps total.
- Le nombre total des colis affectés.

TABLE VIII. AFFECTATION DYNAMIQUE DES COLIS

N°	Consigne	Casier	d1	d
1	2	3	2.1	7
2	1	1	2.3	9
3	1	2	1.3	9
4	2	5	2.4	7
5	2	4	2	7
6	1	3	2.3	9
7	2	2	2.1	7
8	2	1	2.4	7
9	2	4	2	7
10	2	3	2.1	7
11	1	5	2.3	9
12	2	1	2.1	7
13	1	4	2.1	9
14	2	2	2	7
15	2	4	2	7
16	2	3	2	7
17	2	2	2	7
18	2	5	2.1	7
19	2	1	2.4	7
20	2	4	2.4	7

Les résultats de comparaison sont représentés dans le tableau "TABLE IX". Nous avons constaté que 90% des commandes sont affectées aux consignes choisies par les clients et le reste des commandes ne sont pas assignées dans la période d'attente désirée (deux jours) à cause de la non-disponibilité de la consigne choisie. En effet, la consigne choisie peut être disponible à 100% avant les deux jours mais en appliquant la règle FIFO (*First In First Out*) du premier entré premier sorti, certains colis ne peuvent pas être affectés dans la durée souhaitée puisque la capacité de la consigne est limitée.

Avec l'affectation dynamique, 100% des commandes sont affectées avec un temps d'attente pratiquement négligeable devant celui obtenu par l'affectation actuelle. De plus, le nombre des consignes utilisés a été diminué, soit deux consignes utilisées dans l'affectation dynamique contre trois consignes dans l'affectation actuelle. Cette diminution contribue à l'augmentation du taux d'utilisation des consignes, par exemple, le taux d'utilisation de la deuxième consigne a été augmenté de 68,75% par rapport à celui obtenu par l'affectation actuelle. Du point de vue économique, le coût total du transport a été réduit de 10% (112 € au lieu 124 €), sachant que le coût total du transport est calculé sur 20 commandes en affectation dynamique et sur 18 commandes en affectation statique (actuelle). En résumé, l'affectation dynamique a montré qu'elle est plus performante que l'affectation statique aux différents niveaux : réduction du temps d'attente, satisfaction des demandes et réduction du coût de transport.

TABLE IX. COMPARAISON ENTRE L'AFFECTATION ACTUELLE ET L'AFFECTATION DYNAMIQUE

Critères	Affectation actuelle			Affectation dynamique			Taux d'amélioration		
	Consigne			Consigne			Consigne		
	j1	j2	j3	j1	j2	j3	j1	j2	j3
% Des colis affectés	25	30	35	25	75	0	0	60 %	--
Taux moyen d'utilisation (%)	37	25	62	57	80	0	35.1 %	68.75 %	--
Temps d'attente	48 h			< 1 h			--		
Coût total du transport (€)	124			112			10.7 %		
Nombre total des colis affectés	18			20			10 %		

VI. CONCLUSION

Dans cette étude, nous nous sommes intéressées au problème d'affectation dynamique des colis dans les casiers à colis. Le problème consiste à trouver les emplacements optimaux d'un ensemble des commandes arrivant d'une façon aléatoire dans le temps. En effet, avec la croissance du commerce électronique, la satisfaction des demandes des clients est devenue plus difficile à gérer notamment avec l'utilisation des casiers à colis. Notre objectif est de proposer une approche mathématique qui permet de gérer dynamiquement les colis dans les consignes. Le modèle

proposé permet de trouver l'emplacement optimal de chaque colis dès son arrivée. Le problème a été modélisé avec un modèle en programmation linéaire multi-objectifs en nombres entiers. Les objectifs visés sont d'affecter tous les colis dès leur arrivée et de diminuer le coût total du transport en réduisant les distances parcourues par le commerçant lors de la livraison tout en prenant en compte les préférences des clients.

Le modèle permet de maximiser le taux d'exploitation des casiers en minimisant le nombre des consignes utilisées à chaque période et d'augmenter le taux de satisfaction des clients en minimisant le temps d'attente. Il permet aussi de réduire indirectement les émissions de GES en minimisant la distance parcourue par les clients. Le modèle a été validé par des instances de petites tailles sous le solveur *Cplex 12.6*, les instances sont générées aléatoirement. Pour voir la performance et l'efficacité de notre modèle, nous avons comparé les deux scénarios d'affectation (statique et dynamique). Les résultats montrent que l'affectation dynamique est plus performante en termes de coût du transport, de temps d'attente, de satisfaction des clients et de taux d'utilisation des consignes.

En perspectives, nous allons développer un algorithme basé sur les méta-heuristiques pour traiter les problèmes des grandes tailles et d'intégrer le problème de tournées de véhicule avec une fenêtre de temps pour minimiser de plus le coût du transport et les émissions de GES.

Références

- [1] Z. Chen, and A.J. Dubinsky, "A conceptual model of perceived customer value in e-commerce: A preliminary investigation", *Psychology and Marketing*, 20(4), 323-347, 2003.
- [2] D. Patier, et J.L. Routhier, "Une méthode d'enquête du transport de marchandises en ville pour un diagnostic en politiques urbaines", *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n° 55, pp. 11-38, 2009.
- [3] D. Patier, et J.L. Routhier, "Introduction au dossier thématique : La logistique urbaine, acquis et perspectives", *Les Cahiers Scientifiques du Transport* : 5-10, 2009.
- [4] Y. Vakulenko, D. Hellstrom, and K. Hjort, "What's in the parcel locker? Exploring customer value in e-commerce last mile delivery", *Journal of Business Research*, vol. 88, pp. 421-427, 2018.
- [5] F. Ferrucci, and S. Bock, "Real-time control of express pickup and delivery processes in a dynamic environment", *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 63, pp. 1-14, 2014.
- [6] A. Ferjani, A. Ammar, H. Pierreval, and S. Elkosantinic, "A simulation-optimization based heuristic for the online assignment of multi-skilled workers subjected to fatigue in manufacturing systems," *Journal of Computers & Industrial Engineering*, vol. 112, pp. 663-674, 2017.
- [7] M. Sabar, B., Montreuil, and J.M. Frayret. "An agent-based algorithm for personnel shift-scheduling and rescheduling in flexible assembly lines," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 23(6), pp. 2623-2634, 2012.
- [8] S. Iwan, K. Kijewska, and J. Lemke, "Analysis of parcel lockers' efficiency as the last mile delivery solution—the results of the research in Poland", *Transportation Research Procedia*, vol. 12, pp. 644-655, 2016.
- [9] G. Maria, M. Riccardo, P. Alessandro, and T. Angela, "Home Delivery vs Parcel Lockers: an economic and environmental assessment," *Proceedings of XXI Summer School Francesco Turco"-Industrial Systems Engineering*, pp. 225-230, 2016.