

Localisation optimale de produits au centre de distribution de Thomas & Betts de Bromont, Canada

ALEXANDRE DAVID, MICHEL GAMACHE, DIANE RIOPEL

GERAD et École Polytechnique de Montréal
Département de mathématiques et génie industriel
C.P. 6079 Succ. Centre-ville, Montréal, Québec, Canada

alexandre.david@polymtl.ca

michel.gamache@polymtl.ca

diane.riopel@polymtl.ca

Résumé – Cet article porte sur le développement d'un outil d'aide à la décision proposant de définir la configuration de zones de prélèvements et l'assignation des produits aux alvéoles. Le projet a été réalisé pour le centre de distribution Thomas & Betts récemment acquis par ABB. L'outil vise à minimiser les temps de prélèvement des vagues de commandes. Une analyse détaillée des sorties des produits a permis de déterminer les paramètres d'un modèle de programmation linéaire qui optimise la localisation des produits.

Abstract - This paper focuses on the development of a decision support tool proposing to set the configuration of the picking areas and the assignment of products to the pallet rack compartments. The project was realized for the Distribution Center of Thomas & Betts recently acquired by ABB. The tool aims to minimize the picking time of order waves. A detailed analysis of the outputs of products was used to determine the parameters of a linear programming model that optimizes the location of products.

Mots clés - Entreposage, localisation des produits, préparation de commande, optimisation du centre de distribution, palettier
Keywords – Warehousing, Product location, Order picking, Optimizations of a distribution center, Pallet rack

1 INTRODUCTION

Thomas & Betts (T&B) est depuis quelques mois une division de la compagnie ABB, manufacturier de composantes électriques, desservant principalement le marché canadien commercial, industriel et du détail par l'intermédiaire de la distribution. La grande majorité des produits sont fabriqués au Canada (70 %), les autres provenant principalement des États-Unis, du Mexique et un peu d'outre-mer (5 %).

T&B a un centre de distribution situé à Bromont, à 60 minutes du Centre-ville de Montréal. Le centre de distribution a une superficie de 250 000 pi² (25 000 m²), abrite au-delà de 18 000 unités de gestion de stocks (UGS) et expédie sur une base quotidienne une moyenne de 6 500 lignes pour une valeur approximative de 1,5 million \$. Ce centre de distribution est doté d'un système de gestion d'entreposage moderne qui exécute

toutes les fonctions opérationnelles requises pour desservir l'ensemble de ses clients. L'utilisation de codes à barres ainsi que la technologie de reconnaissance vocale permettent un haut niveau d'efficacité et de précision pour la préparation de commandes. La manutention des produits se fait manuellement, sans robotisation ou mécanisation sophistiquée. Les commandes sont préparées et assemblées par les préparateurs qui sélectionnent les produits et les déposent sur des palettes pour les livraisons de type chargement partiel (*Less than Truckload*) ou dans des contenants pour les livraisons de type courrier (moins de 200 lb (90 kg)).

Depuis le 4 novembre 2013, suite à l'acquisition de T&B par ABB, le centre de distribution de Bromont doit intégrer les produits qui appartiennent à la famille ABB. Ils sont localisés dans deux technologies d'entreposage différentes : (1) des étagères à tablettes pleines (47 sur une rangée -- R1E) pour les produits de petites dimensions et (2) des palettiers à simple profondeur dos-à-

dos (100 travées sur trois rangées doubles -- R3O, R3E, R4O, R4E, R5O, R5E) pour ceux qui sont plus volumineux et plus lourds (voir figures 1 et 2).

distribution, on traite en moyenne 91 commandes et 462 lignes par jour. La productivité pour les stocks d'ABB est de 30,55 lignes/homme-heure alors qu'elle est de 36 lignes/homme-heure dans le reste du centre. De plus, les commandes des produits ABB ont un pourcentage de conformité de 99,86 % alors qu'il se situe à 99,95 % pour le reste du centre de distribution.

Il existe présentement une disponibilité de 4 462 localisations alors qu'il y a 4 053 UGS en inventaire, cependant pratiquement 8 000 UGS d'ABB ont franchi les portes du centre depuis l'intégration et ce nombre ne cesse d'augmenter. Pour pallier le manque de localisations, 721 d'entre elles abritent plus qu'une UGS, ce qui demande des efforts de reconnaissance du produit lors de la sélection.

Pour augmenter la productivité des commandes ABB du centre de distribution, l'objectif de ce projet de recherche vise à proposer un outil d'aide à la décision pour systématiser l'identification des localisations d'entreposage des produits. Pour atteindre cet objectif, il a été convenu dans un premier temps de déterminer la configuration des tablettes (3 grosses ou 5 petites boîtes) et des niveaux des palettiers (charge palettisée à produit unique d'une hauteur maximale de 18 po (46 cm) ou de 48 po (122 cm), charge palettisée à deux produits d'une hauteur maximale de 18 po ou de 48 po). Pour les hauteurs de 18 po, les alvéoles standard sont divisées en deux par l'ajout d'une lisse dans les palettiers permis, soit seulement au niveau BB. L'entreprise impose que la configuration soit identique pour chaque tablette de la rangée des étagères ou niveau d'une rangée de palettiers.

2 METHODOLOGIE

2.1 Collecte des données

On souhaite développer un outil d'aide pour actualiser le positionnement des produits en fonction de l'activité répertoriée. Afin de guider le choix de la méthodologie à envisager, il faut d'abord comprendre le processus existant, les modifications potentielles et l'historique des ventes.

Au début de ce projet, seulement six mois de données étaient disponibles. De plus, il a été convenu que :

- la présence de saisonnalité n'est pas pertinente pour cette analyse;
- le comportement des produits est relativement identique durant l'année;
- les affinités potentielles entre produits n'ont pas à être évaluées car les localisations sont aléatoires.

T&B utilise MARC, un système de gestion d'entrepôt, qui recueille toutes les données pertinentes aux produits. Les informations disponibles pour les analyses sont :

- les commandes dans le temps (journée et heure);
- les localisations de chaque UGS et leur quantité;
- la répartition des tâches entre les caristes et le nombre de caristes par quart de travail;
- la productivité relative de chaque employé par zone de travail;
- les produits commandés par client;
- les dimensions physiques de chaque UGS;
- la quantité de réception de chaque UGS.

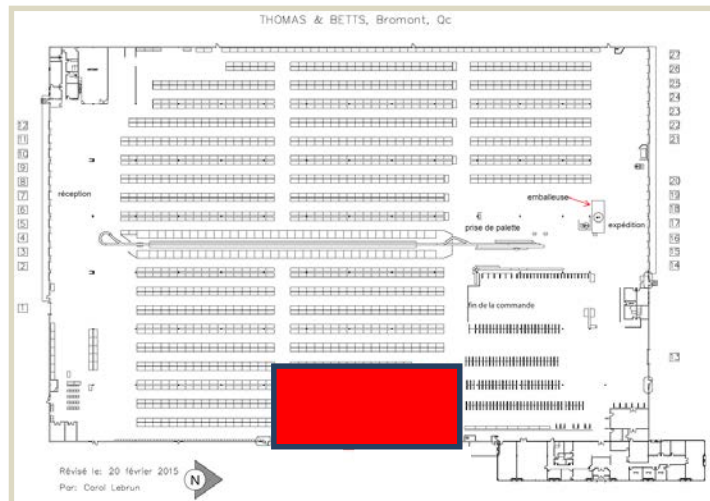


Figure 1. Zone d'intérêt (en rouge) dans le centre de distribution

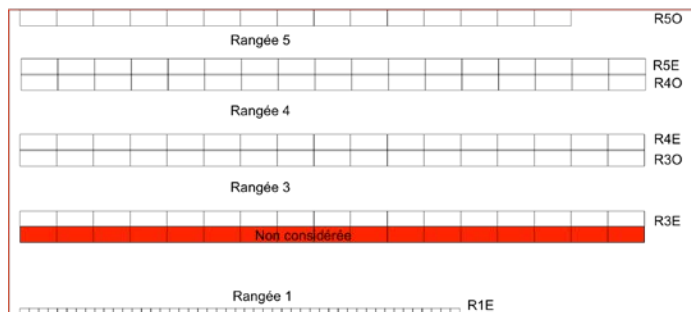


Figure 2. Détails des rangées

Les étagères comprennent 14 niveaux (nommés de A à N). Chaque tablette peut recevoir deux configurations possibles : soit 3 localisations (grosses boîtes) ou 5 localisations (petites boîtes). Chaque boîte reçoit qu'une seule UGS. Ces UGS sont de nature hétérogène au niveau des dimensions et peuvent, pour la plupart, être sélectionnées en quantité inférieure au carton standard.

Les palettiers comptent cinq niveaux d'alvéoles (nommés de AA à EE) qui peuvent accueillir chacune deux palettes. À noter qu'il peut y avoir jusqu'à quatre UGS différentes sur une palette.

Les niveaux A à J et AA à BB sont priorisés pour les UGS « or » (produits avec un taux de rotation relativement élevé) tandis que les niveaux K à N et CC à EE sont réservés aux UGS « argent » et « bronze » (produits avec un faible taux de rotation) car ils sont situés à une distance plus élevée du sol, ce qui nécessite un équipement de manutention différent afin de compléter les collectes.

Les stocks de ABB n'ont pas fait l'objet d'une analyse de gestion des localisations très élaborée lors de leur intégration le 4 novembre 2013. En absence d'historique des ventes, l'attribution aux localisations fut aléatoire. Les produits n'ont pas été placés selon leur taux de rotation. Cette solution a un impact sur la productivité des caristes. Dans les autres secteurs du centre de

Pour évaluer l'impact des configurations qui seront proposées, les indicateurs de performance suivants ont été identifiés par les dirigeants de T&B :

- nombre de lignes / homme-heure;
- nombre de cartons / homme-heure;
- pourcentage de conformité;
- nombre de commandes courrier / camion / commandes totales;
- pourcentage des délais de livraison respectés;
- pourcentage d'occupation / zone.

Pour améliorer la productivité, une première solution consiste à minimiser le temps de prélèvement en priorisant l'utilisation des sections K à N et CC à EE des étagères et des palettiers.

2.2 Analyse des ventes

Lors d'une rencontre avec les dirigeants du centre de distribution, il a été décidé d'attribuer aux UGS une cote selon leur taux de rotation. Une UGS est cotée « or » s'il a eu six commandes et plus durant les six derniers mois, cotée « argent » s'il a eu entre deux et cinq commandes, et « bronze » pour une commande ou moins.

Deux cotes similaires, « or » et « bronze », existent également pour caractériser les tablettes ou les niveaux des palettiers (i.e. les localisations). Idéalement, les UGS « or » doivent être affectées aux localisations « or » alors que les UGS dont la cote est « bronze » ou « argent » doivent être affectées à des localisations cotées « bronze ». Cependant, si le nombre de UGS « bronze » ou « argent » dépasse largement le nombre de localisations « bronze » disponibles et que le nombre de UGS « or » est inférieur au nombre de localisations « or », il faut transférer d'abord les produits « argent » et ensuite les produits « bronze » dans les localisations « or ».

2.3 Analyse des unités de charge

Pour chaque UGS, leur poids et leurs dimensions sont documentés dans MARC. En fonction de ces informations, de la taille des lots de réapprovisionnement et des quantités restantes avant la réception du prochain réapprovisionnement, il est possible d'identifier les unités de charge potentielles.

Comme mentionné plus tôt, les étagères peuvent accueillir deux types de boîte et quatre types de charge palettisée.

Le système MARC calcule le nombre maximum d'exemplaires d'un même produit qu'une unité de charge peut accueillir. Selon les besoins en entreposage, on souhaite utiliser la plus petite unité de charge possible pour chaque UGS. L'outil d'aide à la décision devra favoriser l'affectation des UGS à leur unité de charge idéale. Ces informations permettent de déterminer le nombre total d'unités de charge de chaque type et ce total sera réparti selon la cote des UGS ce qui détermine la demande totale en besoin de localisations.

En raison de la contrainte qui exige que chaque tablette ou niveau soit de même configuration sur toute la rangée des technologies d'entreposage, un nombre fini de configurations peut être déterminé. Le tableau 1 présente les 12 configurations admissibles par niveau. Les colonnes notées P, G, PQ, PD et PC représentent respectivement les petites boîtes, les grosses boîtes, les quarts de

palette, les demies-palettes et les palettes complètes. Dans le cas des palettiers (C1 à C10), cette liste de configurations tient compte de l'ajout d'une lisse pour créer des demies hauteurs (configurations C3, C4, C7 et C8) sur le niveau BB. Les configurations C11 et C12 sont utilisées sur les tablettes des étagères. Les nombres dans les colonnes indiquent le nombre d'unités de charge de chaque type qu'il sera possible de mettre dans une alvéole si la configuration est choisie pour un niveau.

Tableau 1. Configurations admissibles

Configurations	Unités de charge				
	P	G	PQ	PD	PC
C1	0	0	0	0	2
C2	0	0	0	4	0
C3	0	0	8	0	0
C4	0	0	4	2	0
C5	14	0	0	0	0
C6	0	8	0	0	0
C7	28	0	0	0	0
C8	0	16	0	0	0
C9	14	8	0	0	0
C10	0	0	0	0	4
C11	5	0	0	0	0
C12	0	3	0	0	0

La figure 1 présente un exemple de la configuration C4 qui est composée de deux demies-palettes (Palettes 1 et 2) de quatre quarts de palette au dessus de la lisse (Palettes 3 et 4). Cette configuration n'est admissible que sur le niveau BB des rangées.

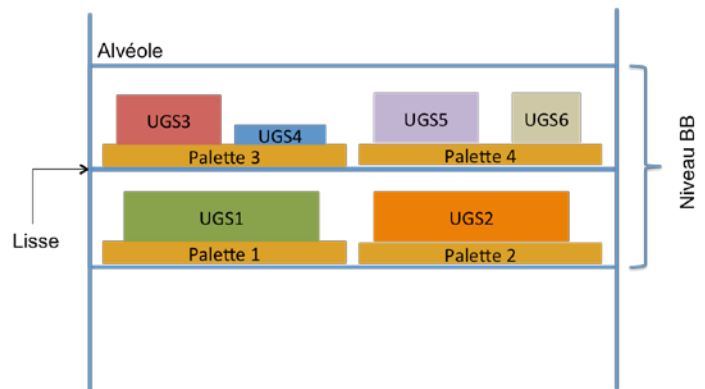


Figure 1. Exemple de la configuration C4 sur une alvéole avec l'ajout d'une lisse

2.4 Revue de la littérature

L'affectation des produits aux différentes technologies d'entreposage et le calcul des besoins en espaces qui prend en compte les variations de la consommation font actuellement l'objet de tâches ardues qui reposent sur peu de méthodes rigoureuses.

Francis et al. [1992] inventorient et présentent les quatre politiques de localisation des produits : dédiée, aléatoire, mi-dédiée et mi-aléatoire et partagée. La politique dédiée localise les produits toujours au même endroit. La politique aléatoire localise

les produits de façon aléatoire. T&B a localisé la première fois les produits de façon aléatoire. Lors de réapprovisionnements, elle commence par compléter le contenant utilisé pour la préparation de commande (palette ou boîte) et si tous les produits du réapprovisionnement ne peuvent être accueillis dans ce contenant, la quantité restante est placée de façon aléatoire dans une nouvelle unité de charge. Leur façon de faire ne cadre pas parfaitement avec les quatre politiques décrites dans la littérature et elle n'a rien à voir avec la politique mi-dédiée, mi-aléatoire telle que définie par Francis et al. [1992].

Selon des dernières revues de littérature [Baker et Canessa, 2009; Gu et al., 2007, 2010; Rouwenhorst et al., 2000], aucuns travaux n'ont porté sur la définition simultanée de la configuration des alvéoles des étagères et des palettiers et de l'affectation des produits à des niveaux regroupés en zones (ici bronze, argent et or). Heskett [1963] a été le premier à proposer un modèle de programmation linéaire pour l'affectation des UGS aux localisations. Ce modèle a été repris et modifié par Francis et al. [1992]. Ces modèles ne tiennent pas compte de l'optimisation de la configuration des alvéoles.

Cette absence d'outils spécialisés, nous a amené à la proposition du modèle présenté à la section suivante. Les indicateurs de performances identifiés par les dirigeants de T&B sont conformes à ceux proposés dans la littérature [Roux, 2011; Tompkins et al., 2010].

3 MODELE DE PROGRAMMATION LINEAIRE

Pour optimiser la configuration des tablettes des étagères et des niveaux des palettiers, un modèle de programmation linéaire en nombres entiers est proposé. Dans un premier temps, les indices, les ensembles, les paramètres et les variables utilisés dans le modèle sont présentés. Ces définitions permettront de décrire dans la sous-section suivante le modèle de programmation linéaire.

3.1 Indices, ensembles, paramètres et variables

Les tableaux 2 et 3 présentent tous les indices, les ensembles et les paramètres utilisés dans le modèle. Des tableaux croisés dynamiques ont été développés dans un fichier Excel afin de stocker les valeurs des différents paramètres utilisés dans le modèle. Ces tableaux récupèrent l'information du système MARC.

Tableau 2. Indices et ensembles

Indice	Description
r	Indice représentant une rangée ou une étagère, où $r \in R = \{R1, R3E, R3O, R4E, \dots, R5O\}$
c	Indice représentant une configuration admissible pour une alvéole où $c \in C = \{c1, c2, \dots, c12\}$
t	Indice représentant une unité de charge où $t \in T = \{P, G, PQ, PD, PC\}$
f	Cote d'un produit en fonction de son taux de roulement où $f \in F = \{b, s, g\}$ où b , s et g désignent respectivement les produits bronze, argent et or.
ℓ	Indice représentant un niveau où $\ell \in L_r = \{A, B, \dots, N, AA, \dots, EE\}$
C^1	Un sous-ensemble de C tel que $C^1 = \{c_5, c_6, \dots, c_9\}$
T^1	Un sous-ensemble de T tel que $T^1 = \{P, G\}$
T^2	Un sous-ensemble de T tel que $T^2 = \{Q, PD, PC\}$
L_r^f	Ensemble des niveaux de la rangée r devant accueillir idéalement les produits de classe f où $L_r^f \subseteq L_r$

Tableau 3. Paramètres

Paramètres	Description
n_r	Nombre de travées sur la rangée r
$n_{t,f}$	Nombre de UGS cotées f nécessitant au minimum une unité de charge de type t
$q_{t,c}$	Nombre maximum d'unités de charge de type t pouvant être mis dans une alvéole sur un niveau d'une rangée lorsque la configuration c est affectée à ce niveau.
$\alpha_{r,\ell,c}$	Un paramètre binaire qui vaut 1 si la configuration c peut être affectée au niveau ℓ de la rangée r et 0 sinon.
β_{t_1,t_2}	Un paramètre binaire qui vaut 1 si une UGS nécessitant une capacité minimale d'une unité de charge de type t_1 peut être mise dans une unité de charge de type t_2 et 0 sinon.
ω_i	Poids utilisé dans la fonction-objectif afin de favoriser la $i^{\text{ème}}$ composante de celle-ci

Les tableaux 4 et 5 présentent respectivement les valeurs des paramètres n_r^B et $n_{t,f}$. La valeur de $q_{t,c}$ est donnée dans le tableau 1 à l'intersection de la colonne t et de la ligne c .

Tableau 4. Nombre d'alvéoles par niveau selon les rangées

Rangée	Nombre d'alvéoles
R10	52
R3O	17
R3E	17
R4O	17
R4E	15
R5O	15
R5E	19

Tableau 5. Nombre de UGS en stocks en fonction de leur cote et de leur unité de charge minimale

Unité de charge	Or	Argent	Bronze	Total
P	999	14	1245	2258
G	173	87	56	316
PQ	480	162	153	795
PD	57	14	12	83
PC	31	12	8	51

Le tableau 6 donne un exemple de la valeur du paramètre $\alpha_{r,l,c}$ pour le niveau l et la configuration c de la rangée $r=R5E$.

Tableau 6. Exemple des configurations admissibles pour les cinq niveaux de la rangée R5E

Configurations	Niveaux				
	AA	BB	CC	DD	EE
C1	1	1	0	0	0
C2	0	1	0	0	0
C3	0	1	0	0	0
C4	0	1	0	0	0
C5	0	1	0	0	0
C6	0	1	0	0	0
C7	0	1	0	0	0
C8	0	1	0	0	0
C9	0	1	0	0	0
C10	0	0	1	1	1
C11	0	0	0	0	0
C12	0	0	0	0	0

Finalement, le tableau 7 décrit les valeurs du paramètre β_{t_1,t_2} .

Tableau 7. Indicateur des transferts possibles d'une UGS de type t_1 dans une unité de charge de type t_2

Unité de charge t_1	Unité de charge t_2				
	P	G	PQ	PD	PC
P	0	1	1	1	1
G	0	0	1	1	1
PQ	0	0	0	1	1
PD	0	0	0	0	1
PC	0	0	0	0	0

Les variables du modèle peuvent être divisées en trois groupes principaux. Le premier groupe comprend les variables binaires $x_{r,l,c}$ où $x_{r,l,c} = 1$ si la configuration c est affectée au niveau l de la rangée r et 0 sinon. Les deux autres groupes sont utilisés afin de tenir compte des préférences de l'entreprise. Le premier de ces deux groupes comprend les variables $y_{t_1,t_2,f}^T$ et $y_{t,s,f}^F$. La variable $y_{t_1,t_2,f}^T$ est entière et indique le nombre de UGS cotées f dont l'unité de charge minimale est t_1 qui sera mise dans des unités de charge de type t_2 dont les dimensions sont plus grandes que celles de t_1 . La variable $y_{t,s,f}^F$ est entière et indique le nombre de UGS cotées s (argent) dont l'unité de charge minimale est t qui sera mis dans un espace coté f (bronze ou or). Le dernier groupe comprend

les variables entières $e_{t,f}^m$ qui comptabilisent le nombre d'unités de charge t manquant sur les niveaux ayant la cote f et les variables $e_{t,f}^s$ qui indiquent le nombre d'unités de charge de type t en surplus sur les niveaux de cote f .

3.2 Modèle de programmation linéaire

Un modèle de programmation linéaire en nombres entiers est proposé pour résoudre le problème de configuration du centre de distribution.

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} w_1 e_{t,f}^m + \sum_{r \in R} \sum_{l \in L_r} \sum_{c \in C^1} w_2 x_{l,r,c} + \sum_{t_1 \in T^1} \sum_{t_2 \in T^2} \sum_{f \in F} w_3 y_{t_1,t_2,f}^T \\ & + \sum_{t_1 \in T^2} \sum_{t_2 \in T^2 | t_2 \neq t_1} \sum_{f \in F} w_4 y_{t_1,t_2,f}^T \\ & + \sum_{f \in \{b,s\}} \sum_{t \in T} w_5 y_{t,f}^F \end{aligned}$$

Sujet à :

$$\sum_{c \in C} x_{r,l,c} = 1 \quad \forall r; \forall l \in l_r \quad (1)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in L_r} \sum_{c \in C} n_r q_{t,c} x_{r,l,c} - \left(\sum_{t_1 \in T \setminus \{t\}} y_{t_1,t,f}^T - \sum_{t_2 \in T \setminus \{t\}} y_{t,t_2,f}^T + y_{t,s,f}^F \right) = n_{t,f} \quad \forall t; f \in \{b,g\} \quad (3)$$

$$\sum_{f \in F} y_{t_1,t_2,f}^T \leq \beta_{t_1,t_2} \quad \forall t_1; \forall t_2 \neq t_1 \quad (4)$$

$$\sum_{t_2 \in T \setminus \{t\}} y_{t,t_2,f}^T \leq n_{t,f} \quad \forall t; \forall f \quad (5)$$

$$x_{r,l,c} \in \{0,1\} \quad \forall r; \forall l \in l_r; \forall c \quad (6)$$

$$y_{t_1,t_2,f}^T \geq 0 \text{ entiers} \quad \forall t_1; \forall t_2; \forall f \quad (7)$$

$$y_{t,f_1,f_2}^F \geq 0 \text{ entiers} \quad \forall t; \forall f_1; \forall f_2 \quad (8)$$

$$e_{t,f}^r \geq 0 \text{ entiers} \quad \forall t; \forall f \quad (9)$$

$$e_{t,f}^s \geq 0 \text{ entiers} \quad \forall t; \forall f \quad (10)$$

La fonction-objectif consiste globalement à minimiser une somme pondérée de déviations par rapport à une configuration idéale. La première composante a pour but de pénaliser les situations où aucune localisation n'a été trouvée pour une UGS. Le deuxième terme pénalise l'utilisation des configurations C5 à C9 dans les rangées, c'est-à-dire qu'on tente de favoriser l'affectation des petites unités de charge sur les tablettes des étagères plutôt que sur les palettiers. Les troisième et quatrième termes visent à favoriser que les UGS soient mises dans leur unité de charge idéale. Le troisième terme limite le transfert de UGS nécessitant des petites et grandes boîtes sur des palettes. Le quatrième terme cherche à éviter les transferts d'une unité de charge de l'ensemble T^2 (différents types de palettes) à une autre plus grande dans ce même ensemble. On sépare ces deux termes afin de pénaliser plus fortement le troisième terme par rapport au quatrième. Finalement le cinquième terme cherche à minimiser les affectations de UGS « bronze » et « argent » dans des zones « or » afin de favoriser

l'affectation des UGS ayant la cote « or » dans les zones cotées « or ». Ce dernier terme permet indirectement de minimiser le temps de prélèvement dans les sections K à N et CC à EE (i.e. les déplacements verticaux).

Le premier bloc de contraintes permet d'affecter une seule configuration à chaque niveau (ou tablette) d'une rangée. Le deuxième bloc de contraintes permet de vérifier que la configuration choisie pour un niveau donné est admissible. Cette contrainte permet indirectement de mettre plusieurs variables à zéro. L'ensemble de contraintes (3) assure une conservation de flux. Ainsi, en fonction de la configuration choisie pour chaque niveau de chaque rangée, on connaît le nombre d'unités de charge qui pourra être stocké pour une cote donnée. Le terme de droite indique le nombre d'UGS cotées f nécessitant une unité de charge de type t . Si on ajoute à ce nombre les UGS de type t_1 qui seront mises dans des unités de charge de type t et qu'on soustrait celles de type t qui seront mises dans des unités de charge de type t_2 , il y aura alors un excès ou un manque d'unités de charge de type t pour une cote f donnée. La contrainte (4) vérifie que le transfert d'une unité de charge s'effectue toujours vers une unité de charge de plus grande capacité. La contrainte (5) vérifie que le nombre de transferts des UGS d'une unité de charge à une autre pour une cote donnée ne dépasse pas le nombre de UGS identifiées pour cette unité de charge et cette cote. Finalement, les dernières contraintes définissent la nature des variables.

4 RESULTATS ET CONCLUSION

Pour optimiser les configurations des rangées 1 à 5 du centre de distribution, le modèle de programmation linéaire a été implémenté dans Excel et résolu avec OpenSolver.

Les poids utilisés dans la fonction-objectif sont donnés dans le tableau 8. Plusieurs essais ont été effectués afin de trouver la pondération qui répondait le mieux aux caractéristiques désirées par les dirigeants du centre de distribution.

Tableau 8. Valeur des poids utilisés dans la fonction-objectif

Poids	Valeur
ω_1	1000
ω_2	1000
ω_3	100
ω_4	20
ω_5	15

Ce basant sur la solution optimale obtenue, T&B a effectué une réaffectation des UGS sur les rangées 1 à 5 durant la période entre le mois d'août 2014 et le mois de mars 2015. Le tableau 9 montre quelques statistiques sur différents facteurs qui illustrent les améliorations obtenues grâce à la mise en place de la solution optimale.

Tableau 9. Comparaison de certains facteurs

Facteur	Avant Juin 2014	Après Avril 2015
UGS en stock	4053	4762
UGS situées dans plus de 2 localisations	65	56
UGS classées sur un niveau ayant la mauvaise cote	3708	410
UGS classées dans une mauvaise localisation	1291	507

Malgré une augmentation de 700 nouvelles UGS, les résultats montrent qu'il y a eu une diminution de 89 % des produits affectés à des localisations ayant la mauvaise cote et une diminution de 61 % des UGS mises dans des unités de charge trop grandes.

Le nombre moyen de prélèvements à l'heure par employé est une des mesures de productivité utilisées chez T&B. La figure qui suit montre l'évolution de cette mesure entre les mois de juillet 2014 et mars 2015.

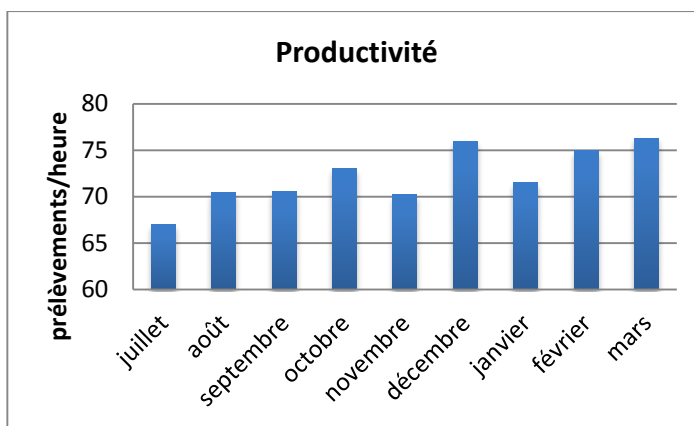


Figure 2. Évolution de la productivité

Cette mesure indique une augmentation de 12 % du nombre de prélèvements à l'heure dans cette zone de l'entrepôt. Cette augmentation est fort probablement attribuable à la diminution des prélèvements sur les niveaux les plus élevés. Ceci est en partie confirmé à la figure 3 qui illustre le pourcentage des prélèvements qui sont effectués dans la zone bronze de cette section de l'entrepôt. En effet, sur cette figure on observe une diminution de 18 % des prélèvements dans la zone bronze au cours de la même période.

Même si le modèle de programmation linéaire proposé n'a été appliqué qu'à une sous-section du centre de distribution de T&B, il a été conçu pour répondre à l'ensemble des activités d'entreposage et de préparation de commandes de ce centre. Il pourrait également être adapté facilement à tout entrepôt.

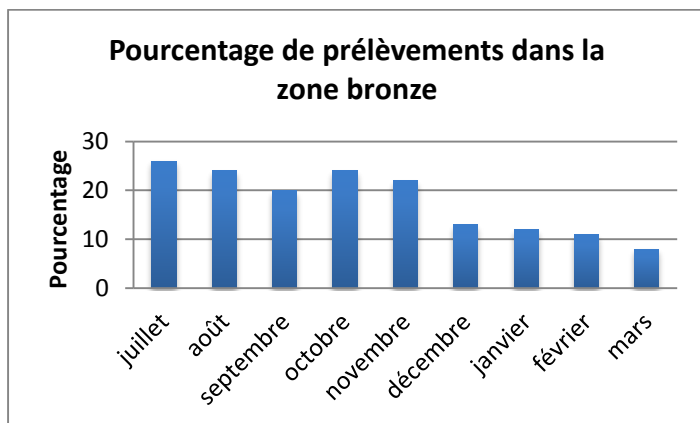


Figure 3. Pourcentage de prélèvements dans la zone « bronze »

5 REMERCIEMENTS

Ce projet n'aurait pu être réalisé sans le soutien financier du programme de stages Accélération Québec – MITACS, Thomas & Betts et les subventions à la découverte du CRSNG des deux professeurs. Nous tenons également à remercier les dirigeants de T&B pour leur disponibilité et leur implication dans la réalisation du projet.

6 REFERENCES

- Baker, P., Canessa, M., (2009) Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193(2), pp. 425-436.
- Francis, R. L., McGinnis, L. F., White, J. A., (1992) Facility layout and location : an analytical approach (2^e éd.), Prentice Hall: Englewood Cliffs, N.J.
- Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L. F., (2007) Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), pp. 1-21.
- Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L. F., (2010) Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), pp. 539-549.
- Heskett, J. L., (1963) Cube-per-order index-a key to warehouse stock location. *Transportation and distribution Management*, 3, pp. 27-31.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., Zijm, W. H. M., (2000) Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), pp. 515-533.
- Roux, M., (2011) Entrepôts et magasins: Tout ce qu'il faut savoir pour concevoir une unité de stockage (5^e éd.), Éditions d'Organisation: Paris.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Tanchoco, J. M. A., (2010) Facilities planning (4^e éd.), John Wiley & Sons: Hoboken.