



Titre: Localisation optimale de produits dans un centre de distribution
Title:

Auteur: Alexandre David
Author:

Date: 2015

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: David, A. (2015). Localisation optimale de produits dans un centre de distribution
Citation: [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
<https://publications.polymtl.ca/1849/>

 Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/1849/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Michel Gamache, & Diane Riopel
Advisors:

Programme: Maîtrise en génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

LOCALISATION OPTIMALE DE PRODUITS DANS UN CENTRE DE DISTRIBUTION

ALEXANDRE DAVID

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE INDUSTRIEL)

AOÛT 2015

© Alexandre David, 2015.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

LOCALISATION OPTIMALE DE PRODUITS DANS UN CENTRE DE DISTRIBUTION

présenté par : DAVID Alexandre

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. AGARD Bruno, Doctorat, président

M. GAMACHE Michel, Ph. D., membre et directeur de recherche

Mme RIOPEL Diane, Doctorat, membre et codirectrice de recherche

M. LANGÉVIN André, Ph. D., membre

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à mes très chers parents, Pierre et Marlyn. Vous avez été une inspiration et un support infaillible tout au long de mon cheminement. Vous avez tout sacrifié pour moi, n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier. Trouvez dans ce modeste travail, mes sincères gratitude et reconnaissance, ce travail est le vôtre.

To my brother and sister, you both hold a special place in my heart. I couldn't have asked for better siblings. You took care of me as if I was your own and there are no words that could ever express the feelings I have for you. I want you both to know I love you, our journey through life may take us far apart but it will not matter, as neither distance nor time will dull that which is between us. You are my brother and sister because of blood, but you are my friend because of love.

À ma famille et tous ceux que j'aime

REMERCIEMENTS

Je tiens à adresser toute ma reconnaissance à mes directeurs de recherche Michel Gamache et Diane Riopel pour m'avoir encadré et consacré leurs temps précieux dans l'ensemble de mes travaux de recherche. De plus, je voudrais souligner l'ensemble des employés de Thomas&Betts Bromont, particulièrement Tinaku Lapointe, Jérémie Diotte et Robert Primeau qui m'ont chaleureusement accueilli. Votre travail a été exemplaire, je n'aurais pas pu mieux me faire supporter. Tina, your humor, your resourcefulness and helping hand were an incredible help throughout my internship. Jérémie ton sens critique et ta débrouillardise sont une grande partie de la réalisation de mon projet. Robert, tu as été un patron exemplaire, ton sens de l'analyse, ton jugement et ton œil pour le détail est remarquable.

J'aimerais remercier mes bons amis: Georges-Elie Voyer, Kevin Lubin, Mariama Maina Ari, Karl Francisque, Sophie Jones, Alexandre Guertin et Julien Bellavance. Votre présence dans ma vie m'a permis de surmonter tous les obstacles. Sans vous rien n'est possible.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, coéquipiers de classes, entraîneurs et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et m'ont permis de devenir la personne que je suis aujourd'hui.

RÉSUMÉ

Dans le monde des marges de profit, les compagnies cherchent des alternatives pour se démarquer de la compétition. Depuis quelques années, une attention particulière a été portée sur l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement, créant ainsi une demande sans précédent sur les compétences logistiques. Afin de surmonter le défi, les centres de distribution ont commencé à revoir leur approche face au positionnement et aux stratégies d'entreposage. 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. Avec la nouvelle relation d'affaires entre ABB et T&B, le centre de distribution de Bromont doit accueillir plusieurs nouveaux produits d'ABB tout en respectant les capacités existantes du centre. Le stock disponible dans la zone ABB n'a pas fait l'objet d'une analyse de gestion des localisations très élaborée, lors de l'intégration de cette gamme de produits le 4 novembre 2013. L'attribution a été aléatoire et donc les UGS n'ont pas été placées selon le taux de rotation. Cette configuration a un impact sur la productivité des caristes, car il y a un gaspillage de temps rattaché aux mouvements. Les deux principaux objectifs du mémoire sont de résoudre la problématique de positionnement dans un centre de distribution et de concevoir un programme linéaire qui servira d'aide à la prise de décision.

ABSTRACT

In the world of profit margins, companies are looking for any alternative to get an edge over competitors. Within the past few years, a lot of that attention has been directed straight at the management of the supply chain, creating unprecedented demands on logistics competencies. In an attempt to meet this challenge, distribution centers have become concerned with proper slotting and storage techniques. Thomas & Betts wanted an automated solution that would reconfigure and correctly slot the new products from the merger with ABB in order to improve picking productivity. The approach undertaken was to develop a linear program in Excel, which would suggest the best configurations in order to house all the different stock-keeping units (SKUs). Utilizing the concept of “golden zone” picking, that places high demand SKUs at the height between the picker's waist and shoulders, a file is created in order to prioritize the reassignment of the SKUs to their optimal locations. Results showed a 14,7% increase in picking productivity within the first eight months.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VI
TABLE DES MATIÈRES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES FIGURES.....	X
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XI
LISTE DES ANNEXES.....	XII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Description de l’environnement.....	1
1.2 Problématique.....	4
1.3 Informations nécessaires	5
1.4 Objectifs du mémoire	7
1.5 Structure du mémoire	8
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	9
2.1 Centre de distribution	10
2.1.1 Réception.....	11
2.1.2 Préparation de commande	12
2.1.3 Objectifs de la préparation	14
2.2 Stratégie d’entreposage	15
2.3 Séquence de sélection.....	19
2.4 Positionnement dans l’industrie	22

CHAPITRE 3	ANALYSE DES DONNÉES	26
3.1	Modification du fichier de positionnement	26
3.2	Fichiers des paramètres	30
3.3	Fichiers de déplacements	34
CHAPITRE 4	MODÈLE MATHÉMATIQUE.....	38
4.1	Indices et ensembles.....	38
4.2	Paramètres	38
4.3	Variables.....	39
4.4	Modèle de programmation linéaire	40
4.5	Explication de la fonction objectif	41
CHAPITRE 5	RÉSULTATS	44
5.1	Impact sur les indicateurs de performance	44
5.2	Autres recommandations.....	48
5.3	Conclusion.....	50
BIBLIOGRAPHIE		52
ANNEXES		54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Dimensions physiques des charges palettisées maximales en pouces pour chaque type d'unité de charge	27
Tableau 3.2 : Nombre d'UGS en stocks en fonction de leur cote et de leur unité de charge.....	31
Tableau 3.3 : Nombre d'alvéoles par niveaux selon les rangées	31
Tableau 3.4 : Configurations possibles ainsi que le nombre d'UGS entreposées par alvéole	32
Tableau 3.5 : Configurations éligibles pour chaque niveau d'une rangée	33
Tableau 3.6 : Échanges permis entre les différentes unités de charge	34
Tableau 3.7 Priorité de déplacement	35
Tableau 4.1: Indices et ensembles.....	38
Tableau 4.2: Paramètres	39
Tableau 5.1 Statistiques de sélections de la zone ABB.....	46
Tableau 5.2 : Variation de certains facteurs dans les neufs derniers mois.....	47

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Centre de distribution Thomas & Betts	3
Figure 1.2 : Agrandissement de la zone ABB	3
Figure 2.1 : Procédés principaux d'un centre de distribution	10
Figure 2.2 : Classification des systèmes de prélèvement selon De Koster (2004), p13, traduction libre de l'auteur	13
Figure 2.3 : Pourcentage du temps consacré aux diverses tâches lors de la préparation de commandes.....	15
Figure 2.4 : Deux façons de réaliser un entreposage par classes	18
Figure 2.5 : Différentes heuristiques pour le séquençement du trajet de sélection	21
Figure 2.6 : Cartographie de chaleur avant/après remaniement manuel	25
Figure 3.1 : Exemple de la configuration C4 sur une alvéole avec l'ajout d'une lisse	32
Figure 5.1 : Productivité en prélèvements par heure d'un employé.....	45
Figure 5.2 : % de prélèvements dans la section 181 de la zone ABB.....	46
Figure 5.3 : % de conformité lors de la préparation de commande	47
Figure 5.4 : Déplacement de l'imprimante.....	49

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ABB	ASEA Brown Boveri
A.P.E	Avis préalable d'expédition
CD	Centre de distribution
COI	Cube per Order Index
LTL	Less than Truckload (chargement partiel)
NP	Problèmes Non-déterministes Polynomiaux
PMF	Product master file
POI	Perfect order index
UGS	Unité de gestion de stock
SAP	Systeme, Anwendungen, Produkte (compagnie allemande)
SGE	Système de gestion d'entrepôt
T&B	Thomas & Betts

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A - Fichier de positionnement initial	54
ANNEXE B – Étiquette de sélection	55

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Le positionnement (en anglais *slotting*) fait partie du quotidien sans même qu'on le réalise. En regardant les espaces de rangement d'une cuisine par exemple, on remarque que les ustensiles, assiettes et poêles couramment utilisés sont situés à des endroits facilement accessibles. Pareillement, les cartes de crédit dans un portefeuille, l'emplacement d'une pelle à côté de la porte durant l'hiver et les vêtements d'une garde-robe suivent ce même principe. L'objectif consiste à simplifier une tâche répétitive en rendant facile d'accès ces besoins quotidiens. Par conséquent, les objets qui ont une utilité moins fréquente se retrouvent repoussés vers des endroits moins privilégiés. Similairement, ce principe fondamental est essentiel dans l'optimisation de la préparation des commandes au sein d'un centre de distribution.

Ce mémoire de maîtrise a pour but de présenter les différents facteurs qui peuvent influencer les décisions prises par rapport à la gestion et à la détermination stratégique des localisations des unités de gestion de stock (UGS) en inventaire et de proposer une approche du positionnement optimal pour un centre de distribution.

Ces facteurs sont identifiés dans la revue de littérature et l'analyse d'un projet de positionnement au sein du centre de distribution de Thomas & Betts (T&B).

1.1 Description de l'environnement

T&B est une division de la compagnie ASEA Brown Boveri (ABB) qui est un manufacturier de composants 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 parfois d'outre-mer.

T&B gère un centre de distribution situé à Bromont, à 60 minutes du centre-ville de Montréal. Le centre, dont la superficie est de 250,000 pi², abrite au-delà de 18,000 références de catalogue et expédie sur une base quotidienne une moyenne de 6,500 lignes pour une valeur approximative de 1.5M \$. Le centre est doté d'un système de gestion d'entrepôt (SGE) moderne pour exécuter toutes les fonctions opérationnelles requises afin de desservir l'ensemble de ses clients. L'utilisation de codes à barres, la technologie de reconnaissance vocale, les comptes cycliques et

la validation des sélections par le biais de la confirmation des poids reliés aux items assurent un haut niveau d'efficacité et de précision dans la gestion des stocks. La manutention des UGS se fait manuellement, sans l'assistance de robotisation ou de mécanisation sophistiquée. Il existe deux types de commandes, les commandes régulières de réapprovisionnement et les commandes urgentes pour palier des besoins plus spécifiques. Les commandes sont préparées et assemblées par les collaborateurs qui sélectionnent les UGS et les déposent sur des palettes pour les livraisons à chargement partiel (LTL) ou dans des unités de charge pour les livraisons de type courrier si celles-ci pèsent, au total, moins de 200 lb. Les commandes urgentes sont traitées 3 fois par jour : le matin, le midi et à 14 h 30. Ces commandes sont généralement de type courrier et doivent être expédiées le jour même.

Les stratégies d'entreposage sont déterminées par le taux de rotation des stocks de chaque UGS, ses attributs physiques ainsi que le marché desservi. Le centre de distribution est découpé en multiples zones de sélection. Chacune de ces zones contient une famille d'UGS, tel que courrier, ABB, T&B, matériel. Cette délimitation en zone permet de diviser une commande en plusieurs vagues à même le système de gestion de stock afin d'optimiser la préparation des commandes. La main-d'œuvre est assignée selon les besoins de production dans chacune des zones respectives. La majorité des commandes demandent un assemblage sur palettes et celles-ci sont exécutées par un préparateur, une à la fois. Les items à faible taux de rotation, de petite taille, sélectionnés à la pièce ou de longueur hors normes sont répartis dans des zones distinctes. Pour ces items, l'entreprise utilise une stratégie visant à préparer plusieurs commandes simultanément entraînant un assemblage final, si nécessaire, dans une zone de consolidation. Le plan du centre de distribution est présenté à la figure 1.1 ainsi qu'une image agrandie de la zone ABB à la figure 1.2. Noter que la rangée 2 ne se retrouve pas sur la celle-ci. Elle était constituée de palettes placées directement au sol, à cause d'un poids excessif. Ces produits étaient exclus de l'étude.

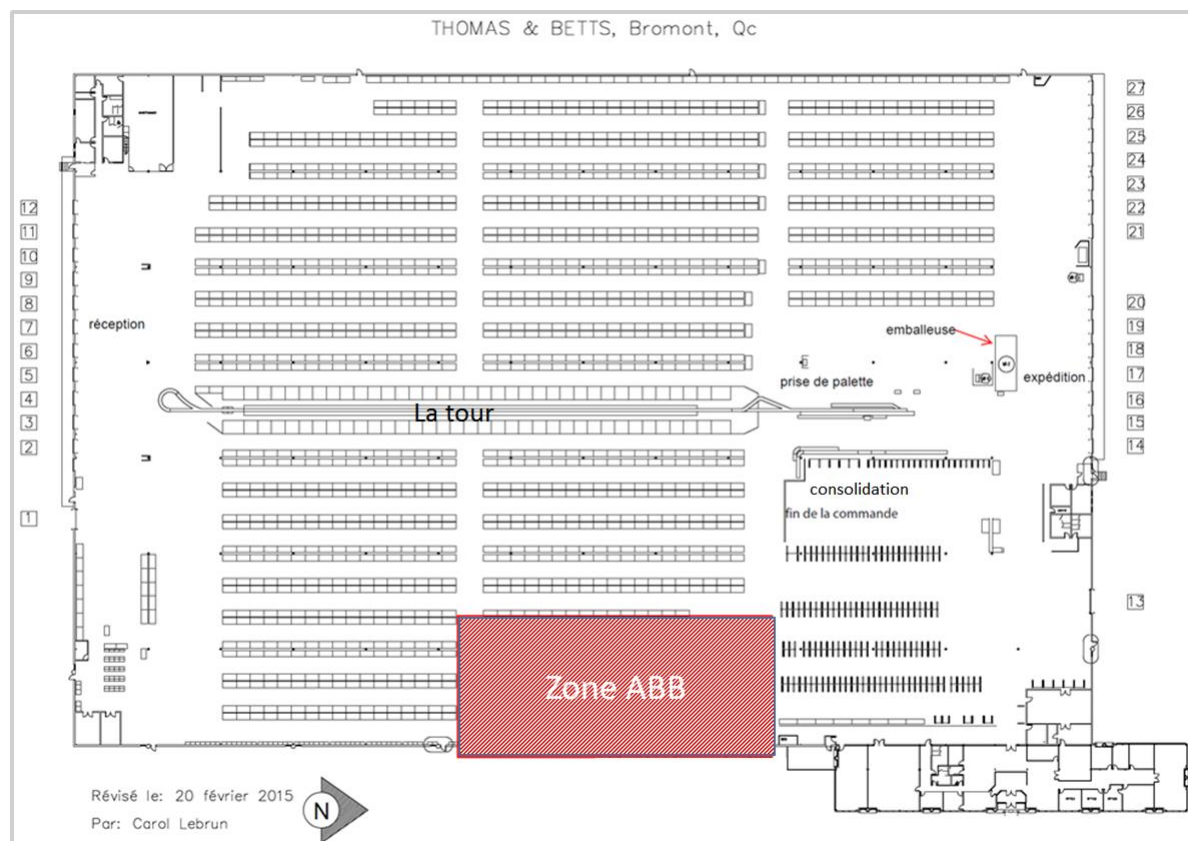


Figure 1.1 : Centre de distribution Thomas & Betts

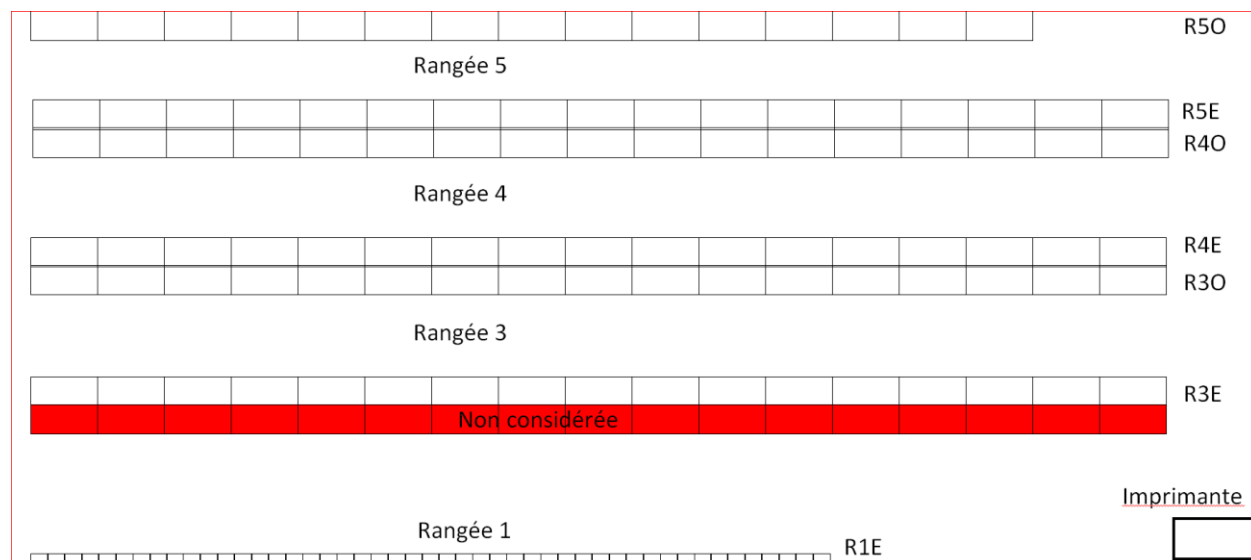


Figure 1.2 : Agrandissement de la zone ABB

1.2 Problématique

Avec la nouvelle relation d'affaires entre ABB et T&B, le centre de distribution de Bromont doit accueillir plusieurs nouveaux produits d'ABB tout en respectant les capacités existantes du centre. L'équipe de gestion doit relever plusieurs défis :

- fenêtre de temps très restreinte de 10 semaines pour compléter l'intégration;
- absence de fichiers mécanisés fournissant la dimension des UGS;
- approvisionnement de l'Europe;
- prévision de ventes et historique incomplets;
- ignorance complète de la diversité et de la complexité des produits;
- restrictions budgétaires sur l'embauche et les infrastructures visant à utiliser la capacité existante et à réduire les coûts de distribution;
- faible portion des commandes combinant les produits d'ABB et de T&B.

Les gestionnaires du centre de distribution de Bromont ont décidé de déplacer certaines UGS de T&B pour créer un espace physique qui abriterait les UGS d'ABB, plutôt que d'utiliser les localisations primaires libres, qui accueillent normalement les UGS qui sont disponibles pour la préparation de commandes.

La zone réservée aux produits d'ABB comporte deux sections, identifiées 180 et 181. La section 180 est normalement dédiée aux UGS avec un taux de rotation relativement élevé. Une telle UGS doit avoir six commandes ou plus à son actif au cours des six derniers mois. Celles-ci sont de nature hétéroclite au niveau des dimensions et peuvent, pour la plupart, être sélectionnées en quantité inférieure au carton standard. Elles sont localisées dans deux environnements différents : les étagères avec tablettes pour les UGS de petites dimensions (1 seul item par localisation) et les palettiers pour celles qui sont plus volumineuses et plus lourdes. À noter qu'il peut y avoir jusqu'à quatre UGS uniques dans une localisation, ce qui optimise l'espace cubique, mais qui en contrepartie amène des complications au niveau de la précision des sélections (qualité), la mise en place, le regarnissage, les comptes cycliques et la productivité.

La section 181, quant à elle, devrait normalement être dédiée aux UGS avec un taux de rotation faible, conséquemment, les UGS qui ont totalisées cinq commandes ou moins dans les six derniers mois. Ceux-ci se retrouvent dans le même environnement que ceux de la section 180, mais idéalement à une distance plus élevée du sol et nécessitant un équipement différent afin de compléter les prélèvements.

L'inventaire disponible dans la zone ABB n'a pas fait l'objet d'une analyse de gestion des localisations très élaborée, lors de l'intégration de cette gamme de produits le 4 novembre 2013. L'attribution a été aléatoire et donc les UGS n'ont pas été placées selon le taux de rotation. Cette configuration a un impact sur la productivité des caristes, car il y a un gaspillage de temps rattaché aux mouvements. Actuellement, on traite en moyenne 91 commandes et 462 lignes par jour. La productivité actuelle combinée 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 dans cette zone 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 4462 localisations alors qu'il y a 4053 UGS en inventaire dans la zone ABB, cependant pratiquement 8000 UGS d'ABB ont franchi les portes du centre depuis l'intégration et ce chiffre ne cesse d'augmenter. Pour pallier le manque de localisations, 721 d'entre elles abritent plus d'une UGS, ce qui demande des efforts de reconnaissance additionnels lors de la sélection.

1.3 Informations nécessaires

Comme mentionné précédemment, l'emplacement des UGS a été déterminé antérieurement, avec un minimum d'historique, on souhaite maintenant développer un outil d'aide pour actualiser le positionnement des UGS 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.

Une bonne compréhension du modèle opérationnel actuel de l'entrepôt est nécessaire avant de débiter le projet. Pour ce faire, il faut comprendre et analyser :

- la stratégie de prélèvement actuelle;
- la stratégie de gestion des localisations (aléatoires vs fixes);

- la disponibilité des différents types d'unité de charge;
- l'introduction et la mise en place des nouvelles UGS (zones de probation? directement dans la même section que les autres UGS avec un historique? étude de marché afin d'en faire une projection du taux de rotation?).

L'analyse des ventes devra se faire sur des données portant sur les six derniers mois. Le choix de cette période doit être assez court pour répondre rapidement à la variabilité de la demande d'une UGS mais suffisamment long pour ne pas gaspiller du temps à constamment remanier la localisation des UGS. De plus, il a été convenu que :

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

T&B possède un système d'entrepôt qui recueille toutes les données pertinentes aux UGS depuis l'intégration. De plus, un historique des ventes de 2013 est disponible. Les informations potentiellement utiles pour les analyses sont :

- les commandes dans le temps (journée et heure);
- la méthodologie de la constitution des rafales;
- les localisations de chaque référence et leur nombre;
- les temps d'achèvement des rafales de commandes incluant les déplacements jusqu'à la zone de consolidation;
- la répartition des tâches entre les caristes et le nombre de caristes par quart de travail;
- l'heure d'ouverture et de fermeture des quais;
- les règles de chargement des camions (répartition);
- la productivité relative de chaque employé par zone de travail;
- l'identification des UGS commandées par un client;
- les dimensions physiques de chaque UGS;

- la quantité de réception de chaque UGS.

Pour évaluer l'impact des modifications, il faut cibler les indicateurs de performance à améliorer. Les facteurs les plus importants à améliorer selon les dirigeants de T&B sont énumérés ci-dessous.

- Nombre de lignes / homme heure;
- Nombre de cartons / homme heure;
- Nombre d'erreurs de sélection / zone / sélecteur;
- Nombre de commandes courrier / camion / commandes totales;
- % respect des délais de livraison;
- % d'occupation / zone.

1.4 Objectifs du mémoire

Les deux principaux objectifs du mémoire sont de résoudre la problématique de positionnement dans un centre de distribution et de concevoir un programme linéaire qui servira d'aide à la prise de décision.

Pour atteindre ces objectifs, la démarche suivante, composée de six étapes, est proposée :

- 1) effectuer une analyse des données pertinentes au projet;
- 2) déterminer et suggérer la localisation des UGS dans les zones 180 et 181 afin d'augmenter la productivité et d'augmenter la qualité au même niveau que les autres zones soit 99.88 %;
- 3) déterminer la configuration idéale des localisations pour chaque rangée et chaque niveau;
- 4) développer un modèle linéaire de gestion des localisations pouvant servir de base pour la mise en place d'un programme automatisé (ce modèle devra être suffisamment flexible afin qu'il puisse être utilisé dans les autres zones du centre de distribution);
- 5) mettre en place un mécanisme de collecte d'information qui permettra de mettre à jour les différents paramètres du modèle d'optimisation;
- 6) finalement, faciliter l'utilisation de ce programme linéaire en configurant une interface usager qui pourra également suggérer rapidement des améliorations potentielles.

1.5 Structure du mémoire

Quatre autres chapitres complètent ce mémoire. Le chapitre 2 porte sur la revue de littérature et les façons de faire des centres de distribution. Il y est question du positionnement des UGS, de la préparation de commande, des stratégies d'entreposage et de la séquence de sélection. Le chapitre 3 est consacré à l'étude des données pertinentes à la résolution du problème. On y décrit entre autres les tableaux croisés dynamiques qui seront subséquentement utilisés dans le programme linéaire. Le chapitre 4 présente le modèle de programmation mathématique développé pour optimiser la configuration des niveaux des rangées et des tablettes des étagères qui favorisera une localisation idéale pour les UGS selon leur taux de roulement. Finalement, le chapitre 5 présente une analyse des résultats et quelques pistes de recherche possibles pour le futur.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

La gestion de l'emplacement (ou le positionnement) des UGS est défini comme étant l'affectation des divers UGS du centre de distribution dans des localisations spécifiques déterminée à l'aide de règles visant à optimiser des facteurs tels que la distance parcourue, la séquence de sélection et les caractéristiques d'entreposage des UGS (réfrigérée, produits toxiques et autres). L'objectif visé est de maximiser l'utilisation de l'espace cubique d'entreposage et d'augmenter l'efficacité de la séquence de sélection des caristes afin de diminuer les coûts reliés à la manutention. La préparation de commande est l'activité la plus exigeante en termes de ressources humaines, surtout pour les systèmes manuels, et celle qui nécessite le plus important investissement en capital, surtout pour les systèmes automatisés (Goetschalckx et Ashayeri, 1989; Drury, 1988; Tompkins et al., 2003). En effet, il est estimé que 55 % des coûts d'opérations dans un centre de distribution peuvent être directement reliés à la préparation de commande. Toute carence dans ce processus peut résulter en un niveau de service inacceptable pour le client et un coût d'opération élevé qui se fera ressentir dans toute la chaîne d'approvisionnement. Il n'est donc pas surprenant que les compagnies accordent une attention privilégiée à cette activité.

Avec le progrès incessant de la technologie, l'industrie a su développer des solutions innovatrices permettant à certaines compagnies d'atteindre des niveaux de productivité ahurissants tels 1000 sélections/personne-heure. Cependant, toutes ces nouveautés ont créé un écart entre la pratique et la recherche académique, car plusieurs solutions possibles n'ont pas fait l'objet d'études approfondies.

La suite de ce chapitre porte sur la définition et l'explication de certaines activités principales d'un centre de distribution ainsi qu'une revue de littérature portant sur la préparation de commandes, la stratégie d'entreposage et la séquence de sélection. De plus, il sera question de quelques options pour améliorer le positionnement des stocks, couramment utilisées dans l'industrie.

2.1 Centre de distribution

Contrairement à un entrepôt qui a l'unique rôle d'entreposer des UGS, le centre de distribution a comme fonction principale la distribution des biens, c'est pourquoi le terme centre de distribution est utilisé tout au long de ce document. La figure 2.1 illustre les principaux procédés d'un centre de distribution. Certaines de ces activités seront décrites en plus grands détails dans les sections à venir afin d'expliquer les pratiques courantes en entreprise.

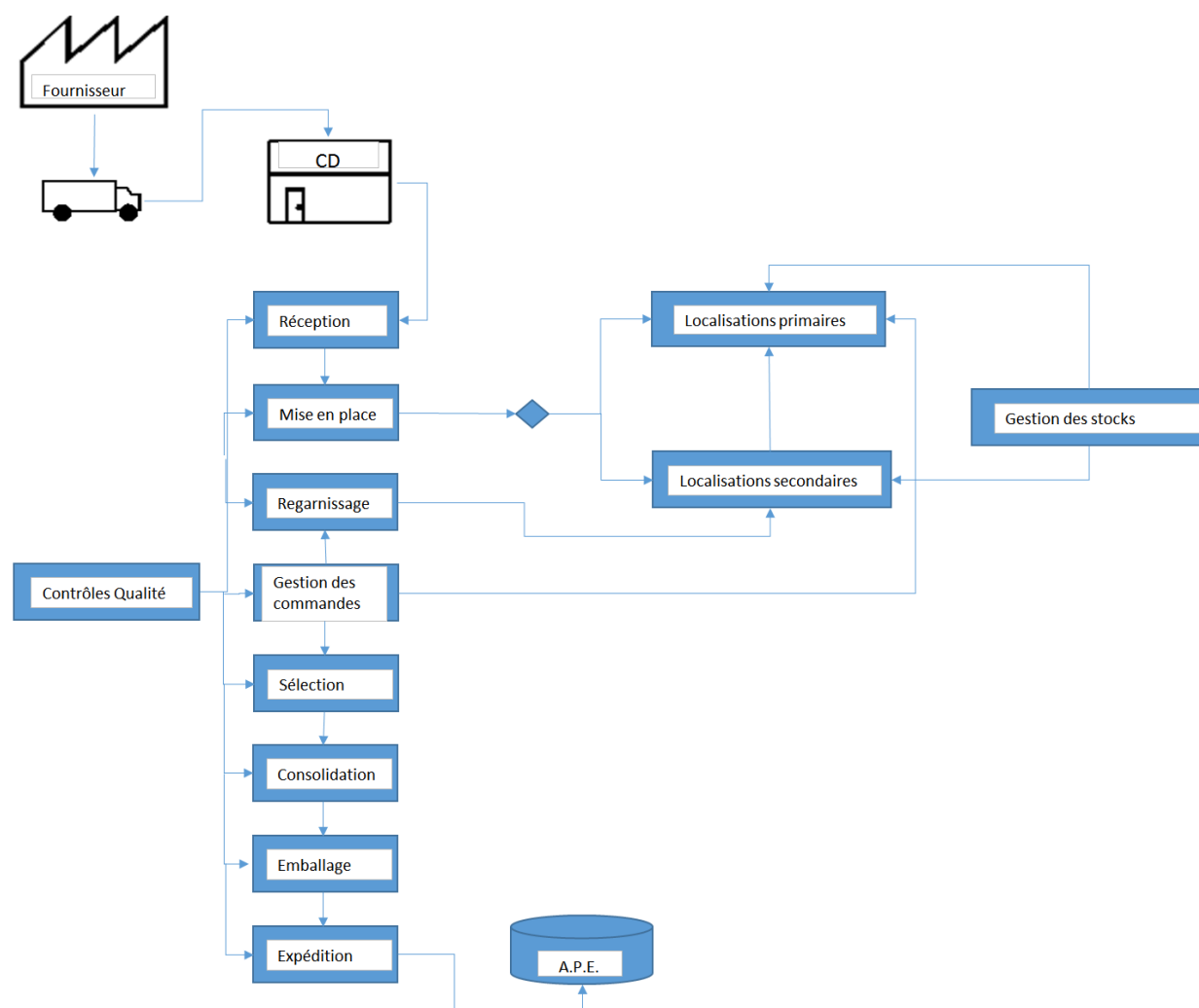


Figure 2.1 : Procédés principaux d'un centre de distribution

2.1.1 Réception

La réception sert d'assise pour assurer une bonne gestion des stocks. Si l'exécution est déficiente à la base, c'est tout le modèle de gestion qui en souffrira. Les principales activités de cette fonction sont les suivantes :

- déchargement des remorques ou des conteneurs (gestion des quais et des transporteurs);
- mise à jour systémique de la réception des bons d'achat;
- vérification des quantités reçues par rapport aux bons d'achat;
- vérification de l'intégrité des contenants (dommages reliés au transport);
- identification des nouvelles UGS (paramétrisation dans le SGE);
- ségrégation des palettes ou des contenants mixtes pour fins de mise en place ;
- identification des articles en rupture pour répondre rapidement aux attentes des clients.

Plus le délai de réception est court, plus la disponibilité des stocks est rapide, ce qui permet de répondre aux besoins des préparateurs de commande et éviter les ruptures de stock. Il est important de comprendre qu'à l'intérieur d'un environnement aussi dynamique qu'un centre de distribution, il existe cette notion de clients / fournisseurs entre les diverses fonctions. Les préposés à la réception détiennent un rôle crucial en relation avec les autres activités du centre. Ils s'assurent que les bonnes quantités sont reflétées dans le SGE, que la mise en place est effectuée rapidement et au bon endroit et que toute anomalie par rapport à l'inventaire est identifiée immédiatement pour éviter les méprises de gestion de stock. Concrètement, ils sont les fournisseurs de tous les processus impliquant les unités de stock qui se trouvent en aval du leur.

Lors de l'étape de rangement des UGS dans les localisations d'entreposage, idéalement, lorsque possible, les UGS reçues sont mises en place directement dans les localisations primaires pour éviter les efforts de regarnissage. L'excédent doit normalement être mis en réserve le plus près possible de cette localisation primaire pour minimiser les mouvements lorsque le réapprovisionnement devient nécessaire.

Toujours en respectant la notion de fournisseur/client, lors de la mise en place des UGS, les préposés affectés à la réception s'assurent que les différentes UGS soient disposées de façon à

faciliter la pige pour permettre aux préparateurs de commande d'avoir la meilleure productivité possible. Les activités de mise en place incluent donc les tâches suivantes :

- enlèvement des pellicules de plastique recouvrant les palettes déposées dans les localisations primaires;
- disposition des UGS avec l'étiquette d'identification faisant face aux préposés responsables des collectes;
- élimination des pyramides de stock pour faciliter la pige;
- récupération des bouts de bois et du carton laissés en localisation pour assurer la propreté et contribuer à la santé sécurité.

2.1.2 Préparation de commande

La préparation de commande est la principale activité dans la plupart des centres de distribution, elle implique le processus d'obtention de la bonne quantité des bonnes UGS pour un ensemble de commandes. Ensuite, il peut y avoir consolidation des commandes individuelles préparées si celles-ci ont été prises en lots. Après la collecte, les commandes doivent souvent être emballées et empilées sur l'unité de charge (par exemple, une palette). Le transbordement est effectué lorsque les UGS reçues sont transférées directement aux quais d'expédition (séjours courts ou peu de sélections nécessaires).

Il existe plusieurs méthodes de préparation de commande. Il n'est pas hors du commun de retrouver différentes stratégies de prélèvement dans un même centre de distribution. Il y a deux principales options pour cette activité qui se veut souvent la plus importante en termes de coûts et de complexité. La première focalise principalement sur les ressources humaines et se veut donc plus manuelle. La seconde met plutôt à profit l'automatisation. La grande majorité des centres de distribution, dont T&B, utilisent de la main-d'œuvre pour la préparation de commande. Les avantages de cette approche sont un investissement de capital moindre, la flexibilité des processus de travail et des ressources et une absence de dépendance sur des intégrateurs et des consultants car la complexité est généralement moins élevée. En revanche, la productivité est plus faible, la qualité est généralement moins bonne et l'aspect santé sécurité prend une importance des plus significatives avec plusieurs employés sur le plancher de production. Dans un système plutôt manuel, nous retrouvons généralement, deux choix : le système pièces-à-préposé, où le

préparateur reste à un poste et reçoit les UGS par moyen d'un transtockeur et le système préposé-à-pièces, où le préparateur se promène le long des allées pour prélever les UGS. T&B utilise un système préposé-à-pièces, ce qui est le plus usuel dans l'industrie. Ce type de système peut se faire de deux façons : une collecte de bas niveau ou de haut niveau. Une collecte de bas niveau signifie que l'employé doit se promener lui-même le long des rangées pour choisir les UGS appropriées. Une collecte de haut niveau signifie une sélection en hauteur. Elle peut se faire avec des rangées larges de façon plus manuelle ou par allée étroite à l'aide de transtockeur. Pour une implantation à allées étroites, l'employé se déplace à bord d'un véhicule qui utilise se déplace par induction électromagnétique ou par rails de guidage. Le cariste peut se déplacer vers l'avant et vers l'arrière et verticalement s'immobilisant devant la localisation appropriée pour sélectionner la bonne quantité du produit. Ce type de système est de loin le plus coûteux dans la famille des systèmes préposé-à-pièces manuels. En revanche, ce système n'est pas contraint à la hauteur que peut atteindre un préparateur. La hauteur des palettiers ou des étagères est seulement limitée par la capacité portante du sol, offrant ainsi une bien meilleure densité d'entreposage. Il ne faut pas oublier par contre que les déplacements verticaux sont plus lents que les déplacements horizontaux, donc il y a un rendement décroissant plus on se déplace en hauteur. Ceci explique l'étendue des niveaux de productivité retrouvés dans la littérature avec ce genre de système (40 à 250 sélections par personnes par heure). Ci-dessous un diagramme qui résume les différentes méthodes de sélection selon De Koster (2004).

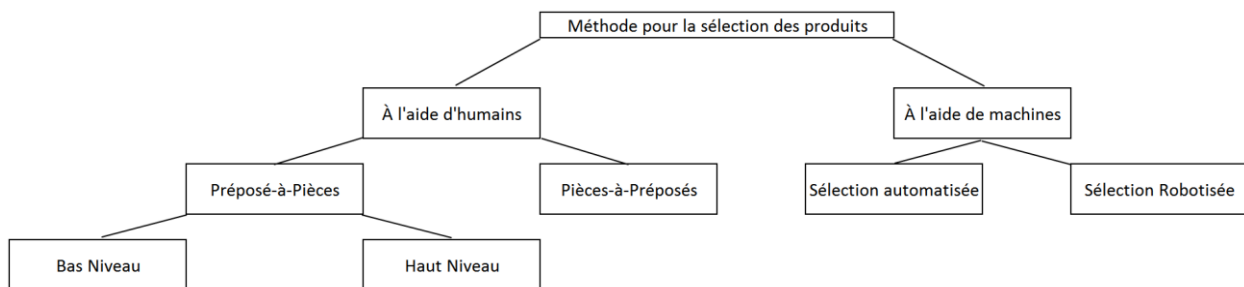


Figure 2.2 : Classification des systèmes de prélèvement selon De Koster (2004), p13, traduction libre de l'auteur

2.1.3 Objectifs de la préparation

L'objectif le plus commun des systèmes de préparation de commande est de maximiser le niveau de service soumis à des contraintes telles que les ressources humaines, les équipements et le coût. Le niveau de service est composé d'une série de facteurs tels que la moyenne et la variation du temps de livraison de la commande, le bon état du matériel et la précision du contenu et des documents. De fait, l'efficacité d'un centre de distribution par rapport au niveau de service offert aux clients peut être calculée en utilisant le POI (Perfect Order Index). Cet indicateur provient d'une étude conjointe réalisée par les associations suivantes en 2008 : *Manufacturing Enterprise Solutions Association International*, *Order Fulfillment Council* et *Supply Chain Execution (SCE) Systems & Technologies Group* qui font partie du *Material Handling Industry of America trade association (MHIA)*, et du *Warehousing Education and Research Council (WERC)*.

L'équation du POI est relativement simple : il s'agit de multiplier les quatre indicateurs suivants les uns avec les autres (définitions standards développées par le WERC, MHIA et le SCE, 2008) :

- le pourcentage des commandes qui sont livrées et reçues selon les ententes entre les fournisseurs et les clients;
- le pourcentage des commandes qui sont complètes (lignes et quantités);
- le pourcentage des commandes ayant une documentation complète et précise;
- le pourcentage des commandes reçues sans dommages au matériel.

Par exemple, si chaque indicateur obtenait un résultat de 95%, le POI ne serait que de 81,4%. L'exécution n'est pas facile surtout dans un contexte de diversité et de multiplicité d'unités de gestion de stock. Par contre, les avantages d'obtenir un index élevé sont assez évidents : satisfaction élevée des clients, réduction des expéditions et des réceptions, réduction des appels pour résolution d'erreurs, réduction des transactions comptables, augmentation des ventes, élimination des pénalités et réduction des coûts de main-d'œuvre.

Un élément crucial entre la préparation de commande et le niveau de service est la rapidité avec laquelle une commande peut être préparée, assemblée et expédiée. Plus le temps de cycle total est court, plus le client sera satisfait. Minimiser le temps de collecte est donc une priorité pour tout système de préparation de commande.

La figure 2.3 montre la répartition du temps lors de la préparation d'une commande typique dans un système préposé-à-pièces. Plusieurs études montrent l'étendue des activités qui peuvent affecter le temps nécessaire à la réalisation de la commande (Dekker et al., 2004; De Koster et al, 1999a), mais le facteur dominant reste la distance parcourue. Selon Bartholdi et Hackman (2005), "la distance parcourue est un gaspillage, car elle génère des coûts sans ajouter de la valeur à la compagnie". C'est pour cette raison que la distance parcourue est souvent le premier élément à être optimisé. Il y a deux mesures de distance utilisées en littérature : la moyenne de la distance parcourue pendant une commande et la distance totale parcourue dans une journée.

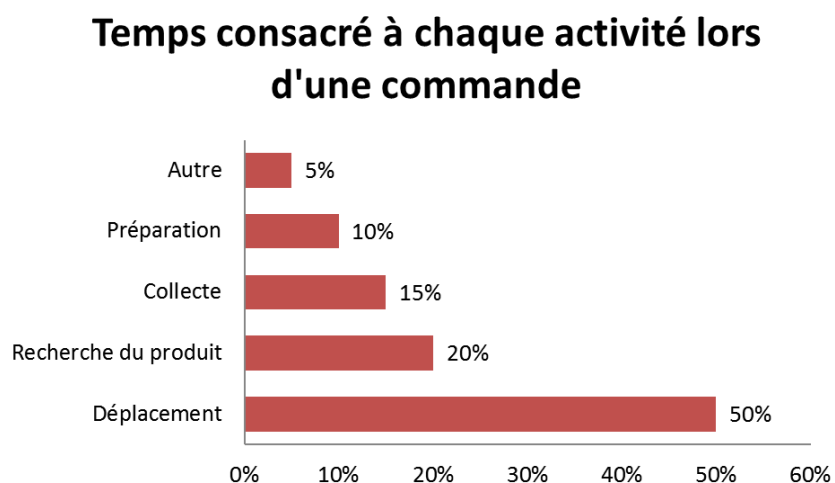


Figure 2.3 : Pourcentage du temps consacré aux diverses tâches lors de la préparation de commandes

2.2 Stratégie d'entreposage

Un centre de distribution doit avoir une stratégie d'entreposage afin d'assurer un emplacement et un regarnissage rapide des UGS reçues. Afin d'accélérer le processus de sélection, il est parfois avantageux de séparer la réserve pour le regarnissage et le stock disponible à être sélectionné par les employés. Logiquement on doit restreindre autant que possible la superficie de la zone de prélèvement, car plus celle-ci est grande, plus le temps de déplacement est élevé. Il est important de déterminer quel espace doit être réservé pour chaque UGS et où elles doivent se trouver au sein du centre de distribution afin d'optimiser l'espace et le temps de préparation de la commande. Un autre facteur qui doit être considéré est le moment où le regarnissage doit se faire. En attendant trop longtemps, il y a un risque que la localisation se vide et que les caristes doivent

gaspiller du temps en attendant le regarnissage. En étant trop hâtif, on se retrouve avec un excédent d'UGS restant dans la localisation, ce qui signifie que le préposé au regarnissage doit gaspiller du temps à défaire une palette entière de la réserve afin de placer les produits manquants dans la localisation primaire. Pour éviter ces pertes d'efficacité, les compagnies utilisent un système min/max qui détermine le point de réapprovisionnement ainsi que la quantité devant être regarnie dans la localisation primaire. Lors de la détermination des localisations pour chaque UGS, il faut bien évaluer les facteurs qui ont un impact direct sur l'efficacité des opérations. Entre autres, il faut considérer les dimensions et le poids des UGS, la demande relative ou le taux de rotation, la plus petite unité de commande, l'affinité avec des UGS complémentaires, l'espace d'entreposage et les UGS, ainsi que la disposition et la quantité idéale par UGS par localisation. On peut donc en conclure que toutes UGS demandant un nombre élevé de regarnissages, dans une courte période de temps, sont mal localisées et doivent être configurées différemment. On doit revoir les paramètres et modifier la localisation primaire pour mieux rencontrer les besoins de la demande. Il ne faut surtout pas oublier qu'un environnement où l'attribution des localisations est mal définie entraîne une congestion d'équipements de manutention dans les allées entre les préparateurs de commande et les préposés au regarnissage. La résultante de cette situation est un manque de productivité, des délais n'ajoutant aucune valeur au processus et des risques d'accidents. Il y a des compromis dans les deux situations, il faut savoir équilibrer l'effort de regarnissage avec l'effort de prélèvement (trajet, proximité de l'expédition).

Il existe de nombreuses façons d'affecter les UGS à des localisations d'entreposage au sein des zones de prélèvement et de réserve. Il a cinq types d'allocations populaires (Roodbergen, 2005) : localisations aléatoires, localisations dédiées, priorité aux localisations vides les plus proches de l'expédition, un entreposage basé sur le taux de rotation et finalement un entreposage basé sur des classes d'UGS.

L'allocation aléatoire détermine, au hasard, la localisation d'une UGS parmi toutes les localisations vides admissibles avec une probabilité égale. L'avantage de cette méthode est un taux élevé d'utilisation de l'espace au détriment d'augmenter la distance parcourue pendant la préparation de la commande. Cette stratégie n'est pas possible sans l'assistance d'un système informatique.

En ce qui concerne les localisations dédiées, chaque UGS est entreposée dans un espace fixe. Un inconvénient de cette stratégie est que la localisation est réservée, même si les UGS assignées sont en rupture de stock. De plus, pour chaque UGS, il faut réserver suffisamment d'espace pour accueillir une réception plus volumineuse que normale. Ainsi, l'utilisation de l'espace est la plus faible parmi toutes les stratégies d'entreposage. L'avantage provient du fait que les préparateurs se familiarisent avec les localisations des UGS. Enfin, l'entreposage dédié peut être utile si les UGS ont des poids différents. Les UGS lourdes doivent être au début de la séquence, car ils doivent se retrouver sur la partie inférieure de la palette, et les UGS légères sur le dessus. En entreposant les UGS par ordre de poids, on assure une bonne séquence d'empilage sans effort supplémentaire. Il est possible de combiner ces méthodes pour minimiser les inconvénients. Par exemple, on peut utiliser des localisations dédiées pour les zones de sélection et avoir une zone de regarnissage qui utilise les principes des localisations aléatoires. Si les employés choisissent la première localisation vide pour entreposer les UGS ceci aura pour effet généralement de créer un environnement où les localisations sont remplies près de la réception et progressivement plus vide vers l'expédition suivant la loi du moindre effort. Hausman et al. (1976) soutiennent que l'entreposage aléatoire a une performance similaire si les UGS ne sont déplacées que par palettes entières.

La quatrième politique d'entreposage dépend de la demande des UGS. Les UGS ayant les taux les plus élevés de vente sont situées à des endroits facilement accessibles, habituellement près de l'expédition. Les UGS à rotation lente sont situées vers l'arrière ou dans les hauteurs de l'entrepôt. Une façon de classer les UGS dans le centre de distribution est par sa vélocité cubique. Cet indice est défini comme le rapport du volume total requis pour l'UGS sur le nombre de voyages nécessaires pour répondre à la demande pendant une période quelconque. L'objectif de cette méthode consiste à jumeler les éléments ayant le plus petit indice avec les localisations qui sont les plus facilement accessibles. Cette politique est plus facile à adopter si la compagnie utilise des localisations dédiées. Le principal inconvénient est que le taux de la demande varie constamment et que la gamme de produits offerts par la compagnie varie elle aussi. Chaque changement nécessiterait un nouveau classement des UGS dans le centre de distribution résultant en une grande quantité de remaniement des stocks. Une solution pourrait être de faire une réévaluation seulement une fois par période. La perte de flexibilité et par conséquent la perte d'efficacité

durant cette période peuvent être importantes. Une base de données fiable et complète est nécessaire pour réussir ce type de stratégie.

La cinquième façon d'entreposer les UGS dépend de deux facteurs : leurs classes et leurs familles. Ces caractéristiques vont permettre de combiner des UGS similaires ensemble. Cette méthode est particulièrement utile pour des centres de distribution qui ont une gamme de UGS hétérogènes qui nécessitent un traitement particulier (entreposage réfrigéré, différentes unités de charge, produits toxiques, produits sensibles à la lumière ou sensibles aux vibrations).

Dans la zone ABB de Bromont les localisations sont dédiées à une UGS jusqu'à la rupture de stock de cette UGS. Une réception se consolide avec le stock dans la localisation primaire. Si la combinaison des deux quantités excède l'espace d'entreposage dans la localisation, une deuxième localisation entrepose le surplus. Une fois que tout le stock est liquidé la localisation devient aléatoire.

La classe d'une UGS est normalement déterminée selon la loi de Pareto. Le but de cette méthode est de consolider l'inventaire de sorte que la classe pour les UGS bougeant le plus, la classe A, représente 20% du volume d'entreposage mais environ 80% du chiffre d'affaires. Normalement on retrouve les classes A (20%), B (30%) et C (50%), mais rien n'empêche d'avoir des classes additionnelles. Chaque classe est ensuite assignée à une place spécifique dans l'entrepôt. Les classes sont séparées sur plusieurs rangées ou parmi la même rangée comme il est démontré à la figure 2.4.

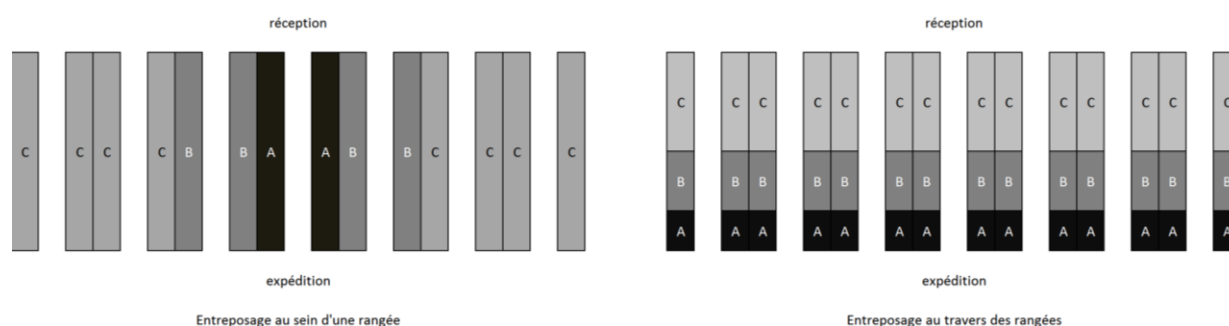


Figure 2.4 : Deux façons de réaliser un entreposage par classes

Parmi les politiques d'entreposage mentionnées jusqu'à présent, aucune ne tient compte des affinités entre les UGS. Naturellement, certains clients peuvent acheter des UGS en même temps que d'autres. Il serait donc intéressant de les retrouver à proximité les unes des autres. Une façon de tenir compte de cette réalité est de créer des familles d'UGS au sein du centre de distribution. Ces familles sont regroupées ensemble et les membres de la famille ont des propriétés communes. Pour ce faire, il faut avoir un historique complet des commandes et déterminer quelle est la longueur de la chaîne à analyser. Est-il préférable d'avoir cinq UGS achetées ensemble 20% du temps ou deux UGS ensemble sur 100% des commandes?

Finalement, si une grosse commande nécessite la sélection d'UGS à tous les coins du centre de distribution, il serait avantageux de diviser celle-ci en plusieurs petites commandes. Chacune de ces commandes serait confiée à un préparateur qui serait responsable de sélectionner les UGS au sein d'une zone délimitée qui lui serait assignée. Dans la littérature, la répartition en zones n'a pas reçu autant d'attention que les autres éléments de la planification logistique malgré son impact important sur la performance de la préparation de commande. Les avantages du zonage comprennent le fait que chaque préparateur de commande parcourt une surface plus petite, la congestion est réduite et il y a possibilité que le préparateur de commande se familiarise avec la localisation des UGS. Le principal inconvénient du zonage est que les commandes sont divisées et doivent être consolidées avant la livraison aux clients. Deux approches peuvent être utilisées pour la consolidation des commandes. La première approche est la préparation progressive de la commande. Un préparateur est responsable d'une partie de la commande se trouvant dans sa zone, ensuite le reste de la commande est remis à son associé qui fait de même et le processus se répète jusqu'à ce que la commande soit menée à terme (ce processus est connu en anglais sous le terme *Pick and Pass*). La seconde approche est la sélection en parallèle, où un certain nombre de préparateurs de commande commencent la préparation d'une même commande. Les commandes partielles sont ensuite consolidées avant l'expédition.

2.3 Séquence de sélection

Le problème de la séquence de sélection au sein d'un centre de distribution s'apparente au problème du voyageur de commerce (*Traveling Salesman Problem*) selon Lawler et al. (1985). L'énoncé du problème du voyageur de commerce est le suivant : étant donné n points (des « villes ») et les distances séparant chaque point, trouver un chemin de longueur totale minimale

qui passe exactement une fois par chaque point et revienne au point de départ. Selon la théorie de la complexité, un domaine des mathématiques qui étudie la quantité de ressources (en temps et en espace) nécessaire à la résolution de problèmes, ce type de problème est classé comme étant NP, une classe de problèmes qui ne peuvent pas être résolus en temps polynomial. Plus particulièrement, le problème du voyageur de commerce est un problème NP-difficile avec un problème de décision NP-complet.

Effectivement, ce problème est plus compliqué qu'il en a l'air. Il s'agit d'un problème d'optimisation pour lequel on ne connaît pas de méthode de résolution permettant d'obtenir des solutions exactes en un temps raisonnable pour de grandes instances (grand nombre de villes). Pour ces grandes instances, on devra donc souvent se contenter de solutions approchées, car les possibilités combinatoires se multiplient de façon exponentielle. À titre d'exemple, le nombre de chemins possibles passant par 61 villes est déjà un nombre qui dépasse le nombre d'atomes dans tout l'univers connu (Dan Gillick, 2008). Puisqu'il est très difficile, voire impossible de résoudre le problème de la séquence de sélection de façon optimale en pratique, l'utilisation d'heuristiques est la solution privilégiée. L'heuristique donne une réponse qui se rapproche plus ou moins de la solution optimale selon les contraintes qu'on lui impose. En plus de la complexité de résolution, il y a trois raisons supplémentaires qui expliquent l'inefficacité des algorithmes exacts. Premièrement, la solution d'un algorithme exact n'est pas connue pour chaque type d'implantation. Selon Roodbergen et Koester (2001), un algorithme exact peut être résolu seulement si le problème se limite à trois rangées en utilisant l'algorithme de Ratliff et Rosenthal (1983). Deuxièmement, le trajet suggéré par un tel algorithme pourrait sembler illogique pour un préparateur, incitant celui-ci à improviser sa séquence selon Gademann et Van de Velde (2005). Finalement, les algorithmes exacts ne peuvent pas tenir compte de la congestion dans les allées, tandis qu'avec l'heuristique il est possible d'en minimiser l'impact. Le résultat erratique du séquençement des algorithmes exacts force les préparateurs à exécuter des demi-tours et des va-et-viens dans la même rangée. Ce comportement se retrouve dans quelques-unes des heuristiques mais est prévisible et logique, voire même, éliminé dans certains cas (séquence en S par exemple). Puisque chaque commande aurait un trajet unique avec un algorithme exact, le risque de collision et de congestion serait forcément plus élevé qu'un trajet prédéfini.

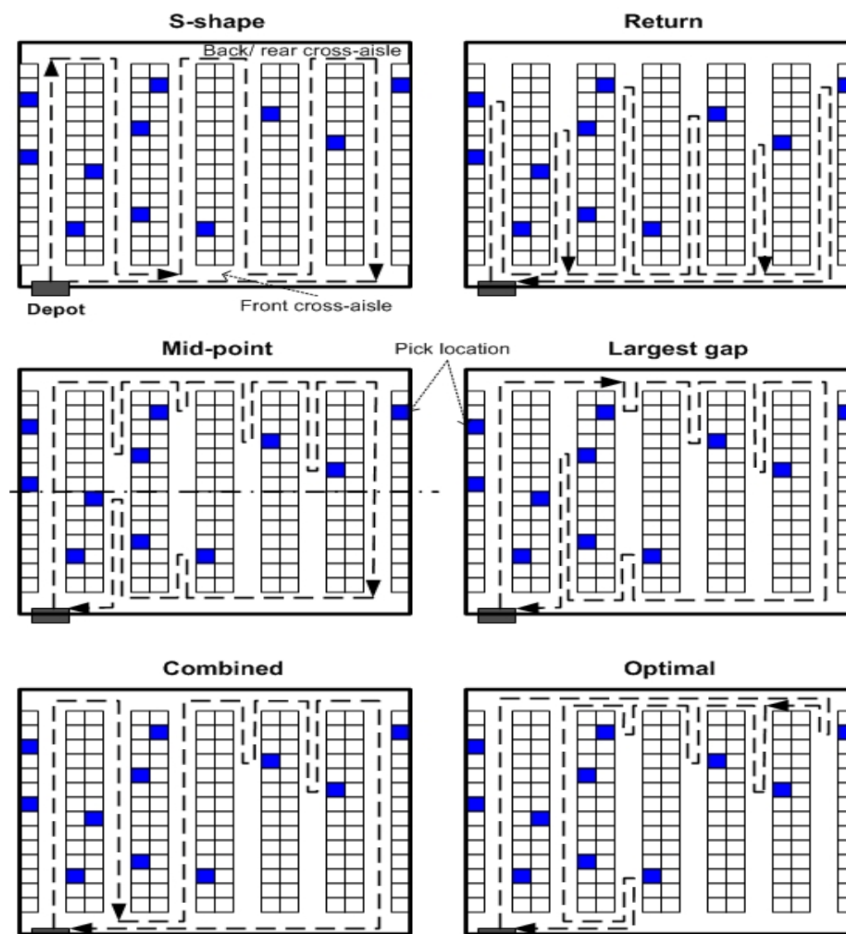


Figure 2.5 : Différentes heuristiques pour le séquençement du trajet de sélection

La figure 2.5, tirée du travail de Petersen (*An evaluation of order picking routing policies*, 1997, p.1098-1111) démontre les cinq heuristiques les plus utilisées en industrie pour trouver les meilleures séquences de sélection ainsi que le résultat de la séquence en utilisant un algorithme optimal. La première, et certainement la plus simple, est le trajet en S. Toute rangée contenant une UGS qui se retrouve dans la commande du client doit être parcourue dans sa totalité (ou jusqu'à la rencontre d'une traverse), alors que les rangées qui n'ont pas d'UGS incluses dans la commande ne sont pas visitées. La prochaine méthode est celle du retour, où le cariste entre seulement dans les rangées qui contiennent les UGS recherchées et ressort du même côté. La méthode du point milieu divise essentiellement le centre de distribution en deux sections. Les UGS se trouvant dans la première moitié sont accessibles à partir de la traverse avant et celles dans la partie arrière sont accessibles depuis la traverse arrière. Le préparateur de commande traverse complètement le centre de distribution par la dernière et première rangée de sa

commande. Selon Hall (1993), cette méthode fonctionne mieux que la méthode en S lorsque le nombre d'UGS à sélectionner par rangée est petit. La stratégie du plus grand écart est similaire à la stratégie du point milieu sauf que le retour ou non du préparateur de commande est déterminé par le plus grand écart (qui ne sera pas traversé par le préparateur). Les distances mesurées pour cette technique sont les écarts entre la première UGS de la rangée et la traverse d'entrée, les écarts entre deux UGS adjacentes et finalement l'écart entre la dernière sélection et la traverse de sortie. La performance de la méthode du plus grand écart est toujours supérieure à celle de la méthode du point milieu selon Hall (1993), malgré qu'elle soit plus complexe à réaliser. La méthode combinée offre la possibilité de traverser les allées ou de faire un retour, la décision étant déterminée à l'aide d'une programmation dynamique. Charles Petersen a fait une étude en 1997, pour comparer les cinq méthodes heuristiques avec la solution optimale et a observé un écart de seulement 5%, démontrant l'efficacité et la commodité de ces heuristiques.

2.4 Positionnement dans l'industrie

Une fois que l'importance du positionnement est comprise, la prochaine étape est de savoir ce qui a été tenté pour améliorer la situation. Il existe deux solutions populaires selon les articles étudiés pour cette revue de la littérature. La première se veut une solution automatisée assistée d'un programme informatique sophistiqué qui, conjointement au système de gestion des stocks, détermine l'emplacement idéal des UGS dans le centre de distribution. Les programmes peuvent modifier leur prise de décision si l'utilisateur impose des contraintes, mais typiquement le programme utilise un modèle mentionné précédemment, soit l'indicateur de commande cubique (COI). Cet indice fût introduit par James Heskett en 1963. Pour en expliquer le fonctionnement, examinons un modèle généralisé par Francis et al (1992), en commençant par les variables :

s	Nombre de localisations qui peuvent accueillir des UGS
n	Nombre d'UGS qui doivent être entreposés
m	Nombre de points d'entrées/sorties
S_j	Nombre de localisations requis pour une UGS j
T_j	Nombre de déplacements à une localisation pour une UGS j sur une période de temps (taux de rotation)
$p_{i,j}$	Pourcentage de déplacements pour une UGS j qui suivent ou précèdent une visite à un point d'entrée/sortie i

$t_{i,k}$ Temps requis pour se rendre d'un point d'entrée/sortie i jusqu'à une localisation k
 $x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si l'UGS } j \text{ est assignée à une localisation } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
 $f(x)$ Temps requis pour satisfaire la demande

La fonction objectif est représenté ainsi :

$$\text{Minimiser } f(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s \frac{T_j}{S_j} (p_{i,j} t_{i,k} x_{j,k})$$

Tel que

$$\sum_{j=1}^n x_{j,k} \leq 1 \quad k = 1, 2, \dots, s \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^s x_{j,k} = S_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$x_{j,k} \in (0,1) \quad \forall j, k \quad (3)$$

La fonction objectif a pour but de minimiser le temps nécessaire pour exécuter toutes les sélections nécessaires. Plus particulièrement, si l'UGS j est assignée à une localisation ($x_{j,k} = 1$), on considère qu'un temps égal à $t_{i,k}$ est nécessaire pour atteindre une localisation k à partir d'un point d'entrée i et un temps $t_{i,k}$ est nécessaire pour voyager d'une localisation k vers un point de sortie i . Puisque le nombre total de localisations pour une UGS j égale S_j , la probabilité de visiter une de ces localisations est de $1/S_j$ (si on a deux localisations on a 50% de chances de visiter l'une ou l'autre). Comme mentionné dans les variables, T_j représente le nombre de déplacements à une localisation pour une UGS j sur une période de temps. Cependant seulement $p_{i,j}$ pourcent des déplacements totaux proviennent ou précèdent un point d'entrée/sortie i . Donc la durée prévue pour les déplacements entre les points entrée/sortie i et les localisations k pour une UGS j est le produit entre les termes T_j/S_j et $p_{i,j} t_{i,k} x_{j,k}$. La sommation pour tous les points entrée/sortie, toutes les UGS et toutes les localisations donnent $f(x)$.

La première contrainte s'assure qu'une localisation k ne contienne qu'une UGS j alors que la deuxième contrainte s'assure que la somme des localisations qui entreposent des UGS j soit égale à S_j .

Le COI est d'abord calculé et enregistré séparément pour chaque UGS. Celles-ci sont classées de façon décroissante de leur indice. Ensuite, les distances minimales entre les localisations et les points d'entrées/sorties (E/S) doivent être déterminées. Les distances entre le point d' E/S et les localisations primaires sont évaluées en tenant compte de la structure des allées de la zone de prélèvement et ces valeurs sont stockées dans une matrice de distance D . Par conséquent, l'UGS avec le COI le plus bas est associée à la localisation la plus proche du point d' E/S . Le problème avec cette procédure survient lorsque l'allocation des localisations est aléatoire, car l'optimalité est perdue dès qu'une UGS est déplacée, ce qui se produit quotidiennement. De plus, les licences pour les programmes de positionnement commerciaux peuvent atteindre plusieurs milliers de dollars par année.

Une deuxième approche pour améliorer le positionnement au sein d'un centre de distribution est d'utiliser les méthodes de profilage. D'abord il faut dresser une liste des UGS de l'entrepôt et leurs caractéristiques afin d'améliorer leur position manuellement. Ceci requiert une personne dédiée au positionnement des UGS au sein de l'entrepôt. La cartographie de chaleur se veut une façon populaire de représenter la distribution des UGS. La première étape est de calculer le taux de rotation de chaque UGS et ensuite d'assigner une représentation colorée, basée sur ce taux, pour chaque localisation du centre de distribution. Une couleur dite chaude est attribuée aux UGS avec le plus de mouvements alors qu'une couleur froide est assignée à celles qui ont une demande faible. Avec un remaniement manuel, il est possible de nettement améliorer la situation même si elle est fastidieuse et imparfaite. La figure 2.6 démontre l'impact d'un remaniement manuel avec l'aide de la représentation visuelle de la cartographie de chaleur.

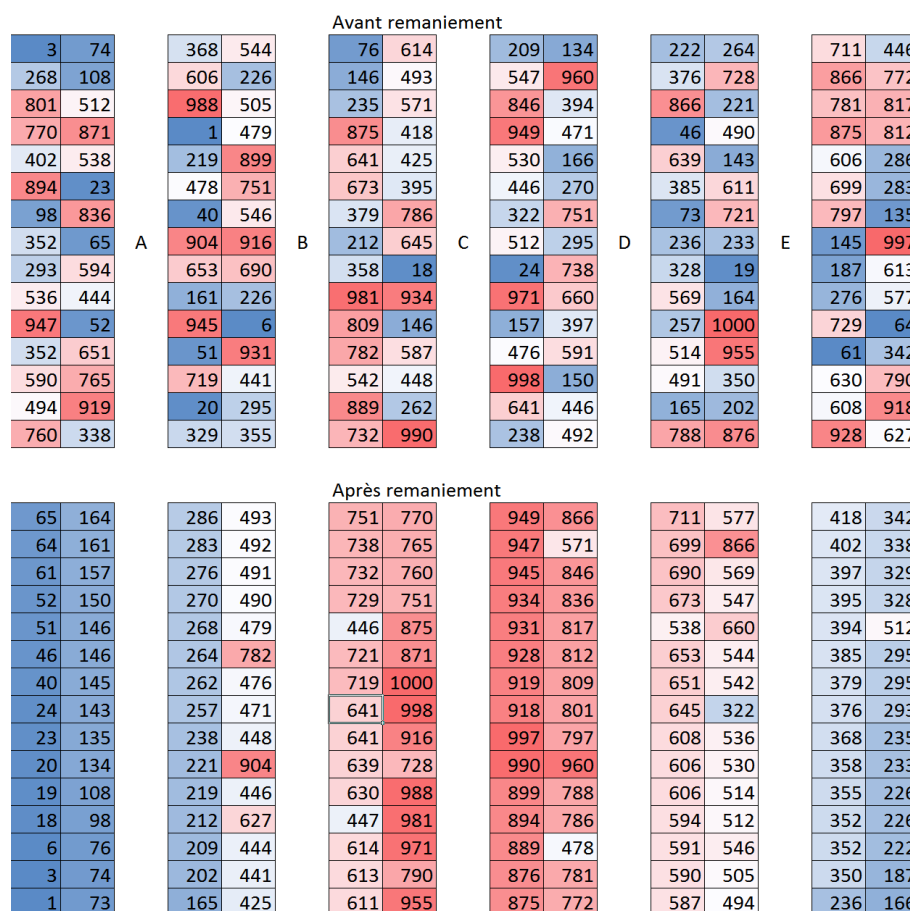


Figure 2.6 : Cartographie de chaleur avant/après remaniement manuel

Peu importe la méthode choisie, un bon positionnement dépend de l'analyse de données reliée aux UGS. Ces données se retrouvent généralement dans un *Product Master File* (PMF). Celui-ci doit être entretenu et modifié de façon dynamique, afin de représenter la réalité du centre de distribution en temps réel. Cette base de données est essentielle pour assurer la justesse de l'analyse car si l'information est erronée la conclusion de l'analyse sera elle aussi erronée. Le type de contenant, l'unité de charge, les dimensions physiques et la quantité en stock ne sont que quelques-unes des informations qui devraient se retrouver dans ce fichier. Bien que cette tâche semble ardue, surtout si l'entreprise distribue plusieurs milliers de produits, des avancements technologiques permettent de mettre à jour la liste instantanément.

Le chapitre qui suit explique les améliorations qui ont été apporté au PMF et explique comment les données ont été utilisées afin de classifie les produits adéquatement.

CHAPITRE 3 ANALYSE DES DONNÉES

Comme mentionné précédemment, l'historique de tous les UGS d'ABB était disponible par l'intermédiaire du système de gestion d'entrepôt MARC. Un fichier Excel était produit à partir de cette base de données et analysé par l'utilisation de tableaux croisés dynamiques. Le chapitre qui suit explique les modifications apportées à ce fichier.

3.1 Modification du fichier de positionnement

Le projet s'est amorcé avec une rencontre avec les cadres pour discuter des paramètres variables et des indicateurs de rendement clés du centre de distribution. Il a été indiqué qu'une UGS ayant six commandes et plus dans les six derniers mois serait considérée comme une UGS ayant un taux de rotation élevé et qu'une UGS en dessous de ce seuil serait considérée comme étant une UGS ayant un taux de rotation faible. Afin de faciliter le tri dans la base de données, la cote *or* est donnée pour les UGS ayant un taux de rotation élevé et la cote *bronze* est donnée aux UGS ayant un taux de rotation faible ayant reçu moins que deux commandes dans les six derniers mois. De plus, il y a l'ajout d'une cote intermédiaire, notée *argent*, qui décrit les UGS qui cumulent entre deux et cinq commandes dans les six derniers mois.

Il est important de noter qu'il n'y a que deux cotes pour les localisations, soit *or* et *bronze*. Les localisations *bronze* combinent les UGS *bronze* et *argent*. Cependant, s'il y a un surplus d'UGS à faible taux de rotation dépassant les localisations *bronze* disponibles, ce surplus devra forcément s'abriter dans les localisations primaires de cote *or* disponibles. De là vient l'importance d'utiliser la cote *argent* pour identifier les UGS qui sont sujets à être transférés, car elles peuvent être très près du seuil.

La zone ABB, cible du projet, comprend trois rangées de palettiers dos-à-dos, nommées les rangées 3, 4 et 5. Chacune de ces rangées abritent des UGS des deux côtés pour permettre la sélection alternée. Les alvéoles ont toutes un identifiant unique ayant la syntaxe suivante : B03-150-AA-B. Le B03 représente la troisième rangée, le "150" représente la travée unique de la rangée, le "AA" représente le premier des 5 niveaux (AA à EE) et le B représente la deuxième palette sur ce niveau (chaque alvéole peut accueillir deux palettes). Il y a un côté de la rangée qui aura uniquement des chiffres pairs et l'autre aura des chiffres impairs. Les localisations *or* sont

situées aux deux premiers niveaux des palettiers (AA et BB). Les trois niveaux supérieurs (CC, DD et EE) sont réservés aux UGS bronze et argent.

Les configurations possibles pour les palettiers sont les suivantes :

- des palettes entières;
- des demi-palettes;
- des quarts de palettes;
- une combinaison de quarts de palettes et demi-palettes;
- des boîtes de cartons.

Le tableau 3.1 fournit les dimensions des charges palettisées admissibles pour chaque type d'unité de charge. La hauteur normale requise pour une palette entière est de 48 pouces. Pour les demi-palettes et les quarts de palette, cette hauteur n'est pas simplement divisée en deux. Lorsqu'on rajoute une lisse intermédiaire, il faut prévoir un espace libre de 6 pouces. Donc la hauteur permise pour une charge sur les demi-palettes et les quarts de palette est de 18 pouces entre la lisse et la charge palettisée.

Tableau 3.1 : Dimensions physiques des charges palettisées maximales en pouces pour chaque type d'unité de charge

Type d'unité de charge	Longueur (pouces)	Largeur (pouces)	Hauteur (pouces)	Volume cubique (pouces ³)
Petite boîte	18	6.5	8.75	1,023
Grosse boîte	18	11.25	8.75	1,771
Quart de palette	48	20	18	17,280
Demi-palette	48	40	18	34,560
Palette entière	48	40	48	92,160

Afin de respecter les souhaits des dirigeants de T&B, seul le niveau BB offre la possibilité d'utiliser toutes les configurations possibles. Lorsqu'une configuration est choisie, le niveau complet de cette rangée doit la respecter. Chaque localisation or à palette entière ou demi-palette n'accueille qu'une seule UGS. Les localisations bronze et les quarts de palettes or peuvent abriter

au maximum deux UGS par palette. Cette règle est mise en place pour minimiser les erreurs de prélèvement par les employés. Lorsqu'il y a plusieurs UGS sur une palette, le préposé prend plus de temps à repérer le bon produit et les risques de commettre une erreur de prélèvement sont amplifiés.

En plus de ces trois rangées de palettiers, il y a une rangée (rangée 1) qui accueille les UGS de plus petite taille dans des boîtes de cartons sur des étagères. Cette rangée comporte 47 étagères comprenant 14 niveaux (A à N). Les niveaux A à J sont priorisés pour les UGS or tandis que les niveaux K à N sont réservés aux UGS bronze. Dans cette rangée, il y a deux configurations possibles : soit 3 grosses boîtes, soit 5 petites boîtes.

L'étape suivante consistait à adapter le fichier de positionnement fourni par le SGE pour nos besoins. Un exemple de ce fichier est présenté à l'annexe 1. Initialement le fichier comprenait les éléments pertinents suivants :

- l'identifiant de l'UGS;
- la famille des UGS;
- la date de la première réception;
- le taux de rotation de chaque UGS dans les six derniers mois;
- les poids et dimensions physiques de l'unité ou du carton de chaque UGS;
- l'unité de charge (sac, palette, carton);
- la quantité d'unité dans un contenant.

Pour faire une meilleure analyse, certains détails furent ajoutés. D'abord, la **date courante** est comparée à la date de la première réception de l'UGS. Cette information permet de déterminer depuis quand cette UGS est dans le système (en journées ouvrables) et si elle est nouvelle ou non. Cette information, qu'on appellera l'âge de l'UGS, est utile pour créer une stratégie d'intégration. Sans cette donnée, toutes les nouvelles UGS qui n'ont évidemment aucune historique seraient automatiquement affectées aux localisations bronze, même si celles-ci pourraient obtenir la cote or dans les prochaines semaines. Si l'âge d'une UGS est de moins de dix jours ouvrables, l'UGS sera notée comme étant en probation, sinon elle sera classée comme une UGS régulière.

Un autre élément important est l'historique des réceptions incluant la **fréquence** des réceptions et la **quantité** totale reçue de chaque UGS par transaction. Il est important de noter que les réceptions de retour (pour les UGS défectueuses ou les erreurs de sélections) ont été exclues de ce calcul. Muni de ces informations, il est possible de calculer le volume et le poids moyens de toutes les UGS qui doivent être localisées. La réalité d'un centre de distribution est telle qu'une réception n'arrive pas nécessairement lorsque la localisation est vide. La plupart du temps il existe une combinaison des quantités reçues et des quantités restantes des mêmes produits entreposés dans les localisations primaires. Cette réalité est d'autant plus importante dans la zone ABB de T&B car il n'y a pas de localisations dédiées aux réserves. Ce faisant, si la localisation primaire ne peut accueillir la nouvelle réception, elle va nécessiter une deuxième localisation. Donc dans le fichier, il a été prévu d'utiliser une variable pour tenir compte d'une réception supérieure à la quantité moyenne. Par exemple, si le réapprovisionnement moyen occupe un quart de palette et qu'il y a une deuxième réception une semaine plus tard, il se peut fort bien qu'il reste 25 % de cette UGS dans la localisation primaire. Il faudra donc, dans une situation semblable, dédier une seconde localisation à celle-ci. Cependant, si la variable avait été de considérer 125 % d'une réception moyenne, l'UGS aurait été classifié comme étant une demi-palette et pourrait accueillir la deuxième réception sans aucun problème.

Au début du projet, le fichier de positionnement caractérisait les dimensions et le poids selon trois catégories : à l'unité, dans un sous-contenant (comme un sac) et dans un carton (contenant souvent, mais pas tout le temps, plusieurs unités de l'UGS). Par contre, il y a plusieurs erreurs liées à ces dimensions. Par exemple, il est commun qu'une UGS n'occupe pas tout l'espace de la boîte dans laquelle elle se trouve. Ceci a pour effet de sous-estimer l'espace nécessaire pour entreposer l'UGS. De plus, les dimensions inscrites au fichier ne représentent qu'une unité (une pièce, un sac, un carton), mais en réalité on peut recevoir plusieurs unités lors d'une réception. Il n'est donc pas suffisant de connaître le poids et les dimensions individuellement mais bien le poids et le volume à placer selon une réception moyenne. Cette information se trouve maintenant dans le fichier sous les entêtes : poids **à considérer** et volume **à considérer**. Une fois que le volume et le poids à considérer sont connus, il est possible de déterminer dans quel type de localisation une UGS devrait se trouver. La difficulté ici est évidente pour tous ceux qui ont déjà travaillé dans un centre de distribution. Un préposé au placement va trouver une configuration qui optimise le nombre d'UGS qui peuvent être placées dans une localisation. Prenons l'exemple

d'une UGS qui a une largeur de 10 unités, une longueur de 4 unités et une hauteur de 2 unités qui doit être placée dans une boîte qui a une largeur de 6, une longueur de 20 et une hauteur de 8 unités. Si on compare seulement les largeurs, l'UGS n'entrerait pas dans la boîte. Par contre, il est facile de constater que si l'UGS est retournée sur son côté et pivotée sur son axe, il est possible d'abriter une douzaine d'exemplaires de cette UGS. Pour pallier cette difficulté, MARC (le système de gestion d'entrepôt utilisé chez T&B) a une application qui détermine la configuration qui maximise le nombre d'UGS dans une unité de charge en faisant virtuellement toutes les permutations possibles. Le fichier de positionnement comprend maintenant la quantité d'UGS qui peut s'insérer dans chaque type d'unités de charge.

Lorsque le poids et les dimensions sont documentés et insérés dans le logiciel, la prochaine étape est de caractériser l'UGS. L'inscription des données comme la **cote courante** (l'UGS est présentement classée comme étant or, argent ou bronze), type **d'unité de charge courante** (l'UGS se trouve présentement dans quelle type d'unité de charge), les **unités de charge éligibles**, la **nouvelle cote** et les **quantités en stock** permettent de déterminer les déplacements des UGS à effectuer et procure l'information qui sera nécessaire pour le programme linéaire qui sera présenté au prochain chapitre. De plus, il y a eu l'ajout d'une section CDD (Cross Dock Demand) pour les UGS qui sont uniques à un client et dont la quantité totale reçue sera expédiée à celui-ci. Conséquemment, l'effort requis pour entreposer et prélever ces UGS est grandement réduit car elles sont dirigées vers une section spécifique de petites dimensions afin de minimiser les mouvements requis.

3.2 Fichiers des paramètres

Pour optimiser le choix des configurations de l'entrepôt, nous proposons d'établir un modèle de programmation linéaire qui sera implanté avec Excel avec l'aide d'un solveur gratuit nommé "Opensolver" qui permet de résoudre des problèmes dépassant 200 variables décisionnelles. Des tableaux croisés dynamiques ont été développés afin de recueillir les valeurs des différents paramètres utilisés dans le modèle. Le tableau 3.2 permet de déterminer le nombre et le type de d'unité de charge nécessaires dans les sections 180 et 181.

Tableau 3.2 : Nombre d’UGS en stocks en fonction de leur cote et de leur unité de charge

Unité de charge	Or	Argent	Bronze	Total
Petite boîte	999	14	1245	2258
Grosse boîte	173	87	56	316
Quart de palette	480	162	153	795
Demi-palette	57	14	12	83
Palette entière	31	12	8	51

Le prochain tableau permet à l’usager d’inclure (True) ou exclure (False) certaines rangées du programme linéaire. L’usager est libre de rajouter ou éliminer des rangées à l’analyse. Ici, l’annotation R3O représente la rangée 3 du côté impaire R3E représente le côté pair. De plus, ce tableau fournit le nombre d’alvéoles de chacune des rangées puisque celles-ci ne sont pas toutes de même longueur. Le nombre d’alvéoles permettra éventuellement au programme de déterminer le nombre de localisations disponibles selon les configurations choisies.

Tableau 3.3 : Nombre d’alvéoles par niveaux selon les rangées

Rangée	Nombre d’alvéoles	Considérée?
R1O	47	True
R3O	17	True
R3E	17	True
R4O	17	True
R4E	15	True
R5O	15	True
R5E	19	True

Notez bien, qu’une alvéole est une section du palettier accueillant deux palettes par niveau comme illustré à la figure 3.1. Pour le cas des étagères, une alvéole représente un niveau de l’étagère

Le tableau 3.4 ci-dessous énumère les configurations pouvant être affectées aux alvéoles d'un niveau. Les chiffres sous chaque configuration (notées C1 à C12) représentent le nombre total combiné d'UGS que peut recevoir les palettes d'une alvéole selon la configuration choisie. La configuration C10 permet aux palettes de la section 181 d'entreposer deux produits par palette tandis que la configuration C1 se limite à une seule UGS pour les palettes entières de la section 180. Les configurations C5 à C9 permettent à des unités de charge de type boîte d'être entreposées dans les localisations palette des rangées trois à cinq. La différence entre les configurations C5 et C7, C6 et C8 est une division horizontale de l'alvéole ce qui permet de doubler le nombre de boîte possible d'être entreposer. Les configurations C11 et C12 sont réservées pour les étagères de la rangée 1.

Tableau 3.4 : Configurations possibles ainsi que le nombre d'UGS entreposées par alvéole

Configurations	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Petite boîte	0	0	0	0	14	0	28	0	14	0	5	0
Grosse boîte	0	0	0	0	0	8	0	16	8	0	0	3
Quart de palette	0	0	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Demi-palette	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Palette entière	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0

Par exemple, dans le tableau 3.4 on remarque que la configuration C4 permet de recevoir quatre UGS qui sont éligibles aux quarts de palettes (deux par demi-palettes) et deux UGS éligibles aux demi-palettes (une par demi-palette). Un niveau ayant cette configuration serait physiquement divisé en deux sections horizontales égales (voir la figure 3.1).

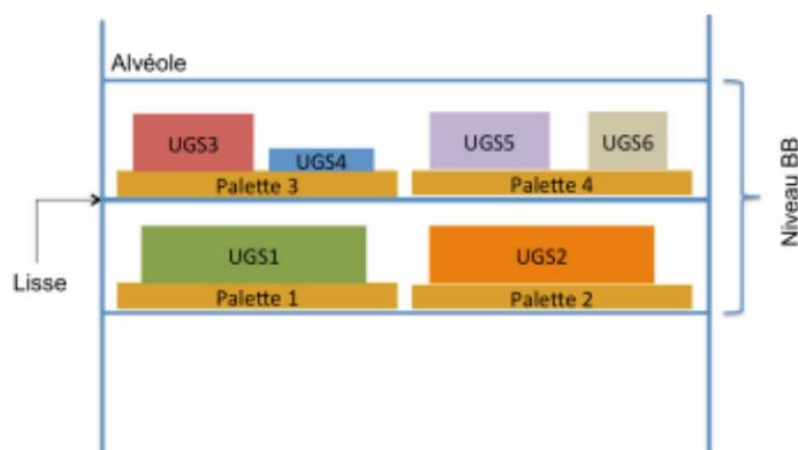


Figure 3.1 : Exemple de la configuration C4 sur une alvéole avec l'ajout d'une lisse

Sur cette figure, les palettes 1 et 2 représentent les demi-palettes supportant une UGS chacune tandis que les palettes 3 et 4 représentent les quarts de palettes supportant deux UGS chacune. À noter qu'il n'y a pas de séparateur physique vertical pour les quarts de palettes. Un séparateur forcerait l'entreposage de deux UGS qui séparent la palette à part égale. Il est parfaitement admissible qu'une UGS prenne 70% de la surface et la deuxième seulement 30%.

Ensuite, il y a le tableau 3.5 qui indique quelles configurations sont éligibles à chaque niveau de chaque rangée (ici la rangée R5E). Comme mentionné précédemment, le niveau BB est le seul niveau qui nécessite une prise de décision quant à la configuration à choisir. Notez que si une configuration est choisie, elle doit être la même sur tout le niveau de cette rangée. Par exemple, il ne serait pas permis d'avoir, à la fois, la configuration 3 pour les cinq premières travées et 2 pour les autres.

Tableau 3.5 : Configurations éligibles pour chaque niveau d'une rangée

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
R5E-EE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
R5E-DD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
R5E-CC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
R5E-BB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
R5E-AA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Le tableau 3.6 permet de déterminer les échanges permis entre les unités de charge. Une UGS qui est éligible de se retrouver dans une petite boîte serait aussi éligible pour des unités de charge de plus grandes tailles telles que les grosses boîtes ou les localisations à palettes. Ce tableau est utilisé par le programme linéaire pour pénaliser les transferts qui sont nécessaires lorsque la demande d'unités de charge dépasse ce qui est disponible. Par exemple, le tableau 3.2 indique qu'il y a 999 UGS à placer, idéalement, dans des petites boîtes or et 173 UGS dans des grosses boîtes or. S'il y avait seulement 980 petites boîtes or disponibles, mais 200 grosses boîtes or, il serait possible de transférer les 19 UGS nécessitant des petites boîtes or supplémentaires, dans les 27 grosses boîtes or vides. Une fois que le programme linéaire détermine les configurations optimales selon une fonction objectif (expliqué à la section 4.4), on doit déplacer les UGS qui sont mal situées. Pour assurer un suivi assidu il est important de construire un fichier qui fait une synthèse simplifiée et automatique des déplacements à faire.

Tableau 3.6 : Échanges permis entre les différentes unités de charge

Échange permis	P	G	PQ	PD	PE
Petite boîte (P)	0	1	1	1	1
Grosse boîte (G)	0	0	1	1	1
Quart de palette (PQ)	0	0	0	1	1
Demi-palette (PD)	0	0	0	0	1
Palette entiere (PE)	0	0	0	0	0

3.3 Fichiers de déplacements

L'idée était de créer une liste qui accorde un pointage de priorité à chaque UGS au sein du centre de distribution. Il est facile à partir de cette liste de voir les UGS les plus prioritaires à déplacer (voir tableau 3.7). La liste inclut l'identifiant de chaque UGS, son statut (probation ou régulier), le taux de rotation, le type d'unité de charge présentement occupé par l'UGS en question, la cote de cette localisation (or ou bronze) ainsi que le type d'unité de charge et la cote de la localisation idéale. Chaque UGS a un pointage de priorité qui prend la somme de trois facteurs qui ont des poids différents, selon leur importance. Le premier est l'unité de charge présentement occupée vs son unité de charge idéale, le deuxième est le taux de rotation de l'UGS dans les six derniers mois et finalement, la cote de la localisation courante vs la cote de localisation idéale (or ou bronze). Afin de facilement distinguer les UGS à l'aide du formatage conditionnel d'Excel, les UGS or qui se retrouvent dans la section 181 et qui doivent descendre dans la section 180 ont un pointage positif (rouge). Inversement, les UGS bronze qui se retrouvent dans la section 180 et qui doivent monter dans la section 181 ont un pointage négatif (bleu).

Ce tableau donne une représentation visuelle des UGS à déplacer, il est facile pour un contremaître de sortir une liste des UGS les plus prioritaires à déplacer pendant la journée de travail. De plus, on peut facilement distinguer les types de déplacement et les types d'UGS examinés avec les filtres d'Excel. En faisant la somme des pointages on peut aussi évaluer quantitativement les progrès au sein du centre.

Tableau 3.7 Priorité de déplacement

UGS	Statut	Vélocité	Uni. charge actuelle	Uni. charge idéale	Cote actuelle	Cote idéale	Pointage type uni. Charge	Pointage Vélocité	Pointage changement de cote	Priorité
2TLA020056R2300	Régulier	15 Palette	Grosse Boîte	Bronze	Or		500	15	2000	2515
TA80DU42RT	Régulier	14 Palette	Grosse Boîte	Bronze	Or		500	14	2000	2514
2003W0554	Régulier	9 Palette	Grosse Boîte	Bronze	Or		500	9	2000	2509
016733526	Régulier	9 Palette	Grosse Boîte	Bronze	Or		500	9	2000	2509
2TLA020007R3100	Régulier	8 Palette	Petite Boîte	Bronze	Or		500	8	2000	2508
1SNB041791R0612	Régulier	8 Palette	Grosse Boîte	Bronze	Or		500	8	2000	2508
BER96-4	Probation	7 Petite Boîte	Palette entière	Bronze	Or		500	7	2000	2507

UGS	Statut	Vélocité	Uni. charge actuelle	Uni. charge idéale	Cote actuelle	Cote idéale	Pointage type uni. Charge	Pointage Vélocité	Pointage changement de cote	Priorité
ON3RBTS21620	Régulier	12 Petite Boîte	Grosse Boîte	Bronze	Or		100	12	2000	2112
2TLA050013R1132	Régulier	7 Petite Boîte	Grosse Boîte	Bronze	Or		100	7	2000	2107
2TLA030053R0100	Régulier	7 Petite Boîte	Grosse Boîte	Bronze	Or		100	7	2000	2107
TNL22E-55RTS	Régulier	6 Petite Boîte	Grosse Boîte	Bronze	Or		100	6	2000	2106
EOHU364K	Régulier	6 Palette et Boîte	Palette entière	Bronze et Or	Or		250	6	1000	1256
1SNK508960R0000	Régulier	17 Palette et Boîte	Quart de palette	Or	Or		250	17	0	267
EB1-TS3-225	Régulier	12 Palette et Boîte	Palette entière	Or	Or		250	12	0	262
1SVR405601R0000	Régulier	9 Palette et Boîte	Petite Boîte	Or	Or		250	9	0	259
1SNK506412R0000	Régulier	1 Palette et Boîte	Quart de palette	Bronze	Bronze		250	1	0	251
OXS6X330	Régulier	58 Grosse Boîte	Petite Boîte	Or	Or		100	58	0	158
C3SS1-10B-20	Régulier	35 Petite Boîte	Grosse Boîte	Or	Or		100	35	0	135
1SNA645012R2500	Régulier	32 Grosse Boîte	Petite Boîte	Or	Or		100	32	0	132
1SVR405613R2100	Régulier	30 Grosse Boîte	Petite Boîte	Or	Or		100	30	0	130

UGS	Statut	Vélocité	Uni. charge actuelle	Uni. charge idéale	Cote actuelle	Cote idéale	Pointage type uni. Charge	Pointage Vélocité	Pointage changement de cote	Priorité
002764003	Régulier	0 Grosse Boîte	Petite Boîte	Or	Bronze		100	0	-2000	-2100
017444807	Régulier	0 Grosse Boîte	Petite Boîte	Or	Bronze		100	0	-2000	-2100
RC-EH250/415	Régulier	0 Grosse Boîte	Petite Boîte	Or	Bronze		100	0	-2000	-2100
1SNK506211R0000	Régulier	5 Palette et Boîte	Quart de palette	Or	Argent		250	5	-2000	-2245
EOHU361JK	Régulier	4 Palette et Boîte	Palette entière	Or	Argent		250	4	-2000	-2246
1SVR011722R1100	Régulier	4 Palette et Boîte	Petite Boîte	Or	Argent		250	4	-2000	-2246
2TLA020005R1800	Régulier	3 Palette et Boîte	Petite Boîte	Or	Argent		250	3	-2000	-2247

Le critère le plus important est le changement de cote de la localisation, car la productivité de la préparation des commandes devrait grandement augmenter si on peut éviter les déplacements verticaux en gardant les UGS or dans les localisations or et vice versa. L'UGS accumule 2000 points si elle est dans une localisation bronze alors qu'elle devrait être dans une localisation or. Si l'UGS est dans deux localisations, une bronze et une or, alors on se trompe seulement de 50% donc on réduit de 50% son pointage, donnant ainsi 1000. Le deuxième critère le plus important est que l'UGS se retrouve dans le bon type d'unité de charge. Il est évident qu'il y a inefficacité si une petite UGS occupe l'espace d'une palette entière. Si l'UGS devrait se retrouver dans des boîtes mais se retrouve sur les palettes et vice versa, on accorde un pointage de 500. Si l'UGS est entreposée sur plusieurs unités de charge (à la fois dans un palettier et dans une boîte), on réduit son pointage à 250, suivant la même logique que précédemment. De plus, si l'UGS se retrouve dans le bon type d'unité de charge (par exemple une boîte) mais n'est pas dans le bon type de boîte (l'UGS se trouve dans une grosse boîte alors qu'elle devrait être dans une petite boîte par exemple) on accorde un pointage de 100. Il est important de savoir qu'on considère la moyenne d'une réception, la quantité en stock et les restrictions de poids lorsqu'on veut déterminer l'unité de charge idéale dans le fichier de déplacement. En effet, les étagères contenant les boîtes ont un poids maximum qu'elles peuvent supporter, soit 20 livres pour les petites boîtes et 33 livres pour les grosses boîtes. En prenant toujours la plus grande unité de charge requise selon ces trois contraintes (dimensions, quantité en stock et poids), on s'assure que le déplacement soit toujours réalisable. Finalement, le pointage rattaché au taux de rotation (voir la vélocité) sert à briser les égalités. Si une UGS or est commandée 50 fois, elle se veut plus prioritaire à déplacer qu'une UGS avec une cote or qui est commandée 20 fois si les deux autres facteurs sont égaux.

L'affectation des UGS 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.

T&B a initialement entreposé les UGS de façon aléatoire. Lors de réapprovisionnements, elle commence par compléter l'unité de charge utilisée pour la préparation de commande (palette ou boîte) et si tous les UGS du réapprovisionnement ne peuvent être accueillies dans cette unité de charge, 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 UGS à des niveaux regroupés en zones.

Cette absence d'outils spécialisés, nous a amené à la proposition du modèle qui est présenté au chapitre 4.

.

CHAPITRE 4 MODÈLE MATHÉMATIQUE

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 permettent de décrire dans la sous-section suivante le modèle de programmation linéaire.

4.1 Indices et ensembles

Tableau 4.1: Indices et ensembles

Indice	Description
r	Indice représentant une rangée de palette ou de l'étagère où $r \in R = \{R1, R3O, R3E, \dots, R5O\}$
c	Indice représentant une configuration admissible pour une alvéole où $c \in C = \{c_1, c_2, \dots, c_{12}\}$
t	Indice représentant une unité de charge où $t \in T = \{P, G, PQ, PD, PC\}$
f	Cote d'une UGS en fonction de son taux de rotation où $f \in F = \{b, s, g\}$
ℓ	Indice représentant un niveau où $\ell \in L_r = \{A, B, \dots, N, AA, EE\}$
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 UGS de classe f où $L_r^f \subseteq L_r$

4.2 Paramètres

Le prochain tableau décrit chacun des paramètres du modèle. Chacun de ces paramètres peut être modifié par l'utilisateur pour refléter les caractéristiques de son centre de distribution.

Tableau 4.2: Paramètres

Paramètre	Description
n_r	Nombre de travées sur la rangée r
$n_{t,f}$	Nombre d'UGS cotées f nécessitant au minimum une unité de charge de type t
$q_{t,c}$	Nombre maximum d'UGS 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

Tous ces paramètres, à l'exception de ω_i , peuvent se retrouver dans les tableaux qui ont été présentés au chapitre 3. Les tableaux 3.2 et 3.3 présentent respectivement les valeurs des paramètres $n_{t,f}$ et n_r . La valeur de $q_{t,c}$ est donnée dans le tableau 3.4 à l'intersection de la colonne c et de la ligne t . Le tableau 3.5 donne un exemple de la valeur du paramètre $\alpha_{r,\ell,c}$ pour le niveau ℓ et la configuration c de la rangée $r=R5E$. Finalement, le tableau 3.6 décrit les valeurs du paramètre β_{t_1,t_2} .

La prochaine section définit les variables utilisées par le programme linéaire. Ces variables seront itérées afin de trouver la solution idéale selon une fonction objectif (présentée à la section 4.5).

4.3 Variables

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 d'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 d'UGS cotées s (argent) dont l'unité de charge minimale est t qui sera mis dans un espace coté $f = b$ (bronze) ou $f = g$ (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 .

4.4 Modèle de programmation linéaire

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

Min Z =

$$\begin{aligned} \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} \omega_1 e_{t,f}^m + \sum_{r \in R} \sum_{l \in L_r} \sum_{c \in C^1} \omega_2 x_{l,r,c} + \sum_{t_1 \in T^1} \sum_{t_2 \in T^2} \sum_{f \in F} \omega_3 y_{t_1,t_2,f}^T \\ + \sum_{t_1 \in T^2} \sum_{t_2 \in T^2 | t_2 \neq t_1} \sum_{f \in F} \omega_4 y_{t_1,t_2,f}^T + \sum_{f \in \{b,s\}} \sum_{t \in T} \omega_5 y_{t,f,g}^F \end{aligned}$$

Sujet à :

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

$$x_{r,l,c} \leq \alpha_{r,l,c} \quad \forall r; \forall l \in L_r; \forall c \quad (2)$$

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

$$\forall t; f \in \{b, g\} \quad (3)$$

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

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

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

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

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

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

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

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 peut 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 d'UGS identifiées pour cette unité de charge et cette cote. Finalement, les dernières contraintes définissent la nature des variables.

4.5 Explication de la fonction objectif

La fonction objectif consiste globalement à minimiser une somme pondérée de déviations par rapport à une configuration idéale. Il y a principalement cinq composantes dans la fonction objectif. Les poids de chacune des composantes de la fonction objectif ont été discutés avec les dirigeants afin de déterminer les comportements souhaités. La première composante a pour but de pénaliser les situations où aucune localisation n'a été trouvée pour une UGS. Par exemple si la configuration choisie pour le centre de distribution offre 5000 localisations, on ne peut pas entreposer 5200 UGS. Ce premier paramètre a un poids de 1000 dans la fonction objective. Puisque l'objectif du projet est de trouver la configuration optimale pour le centre de distribution, il va de soi qu'elle doit être réalisable sans qu'il n'y ait des UGS sans localisations. La conséquence de ne pas respecter ce critère serait d'avoir des UGS qui trainent un peu partout sur le plancher de l'entrepôt, devenant un obstacle aux standards de santé sécurité. Cette composante

n'est pas une contrainte car au début du projet il était préférable d'accorder une flexibilité au programme, au cas où il n'y ait pas de solution réalisable.

La deuxième composante indique que s'il est nécessaire d'avoir des boîtes de cartons dans les palettiers (C5 à C9), alors elles doivent se retrouver prioritairement dans la rangée R3O. La rangée R3O est priorisée car ce palettier est dos-à-dos avec la rangée (R2E) qui contient des UGS de grandes dimensions réduisant l'espace disponible. Malgré le fait qu'il n'est pas souhaitable d'avoir des configurations utilisant les boîtes de carton dans les palettiers, si la demande l'impose on doit prioriser la rangée R3O car les boîtes peuvent mieux utiliser l'espace réduit disponible. Donc chaque niveau des rangées de palettiers nécessitant un niveau de boîtes, autre que le niveau BB de la rangée R3O aura un poids de 1,000. Il est important de conserver la configuration des palettiers s'il n'y a que quelques UGS requérant des boîtes en surplus. Dans ce cas il serait préférable de simplement transférer les UGS dans une localisation palette, lui attribuant ainsi un poids de transfert ($3^{\text{ième}}$ terme).

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 d'UGS nécessitant des petites et grandes boîtes sur des palettes. Les UGS qui entrent dans les boîtes sont de petite taille et risquent de tomber entre les planches de la palette ce qui n'optimise pas le volume cubique disponible. Ce critère a un poids de 100. 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 car un transfert de type (boîte vers palette) est plus inefficace qu'un transfert à l'intérieur du même ensemble (quart de palette vers une demi-palette). Ce terme a un poids de 25.

Finalement le cinquième terme cherche à minimiser les affectations d'UGS bronze et argent dans des zones or afin de favoriser l'affectation des UGS ayant la cote or dans les zones cotées or. Le but principal du projet est de mettre les UGS populaires dans des localisations facilement accessibles afin d'augmenter la productivité. Puisque les localisations bronze nécessitent un déplacement vertical de plusieurs secondes pour atteindre l'UGS et plusieurs secondes pour redescendre avant de se déplacer aux prochaines UGS sur la commande, les ratios sélections/heure sont moindres que dans la zone réservée pour les UGS or. Ce dernier terme permet indirectement de minimiser le temps de prélèvement dans les sections K à N et CC à EE.

Malgré l'importance primordiale de ce paramètre, il n'a qu'un poids de 15 car l'espace pour les boîtes bronze est très limité et donc plusieurs produits (environ 350) sont transférés dans les boîtes or vides. Le poids de la pénalité est additif, donc afin de ne pas rendre les autres paramètres obsolètes à cause d'un manque d'espace (qui est comblé par des boîtes vides dans la section or) on doit diminuer sa valeur. Différents tests ont été faits afin de valider les poids des diverses composantes de la fonction objectif et ont été approuvés par la direction.

Le prochain chapitre discute l'impact des changements qui ont été apportés au centre de distribution entre les mois de juillet 2014 et mars 2015. Il est question de l'évolution des trois indicateurs de performance principaux qui ont été mentionnés au début du mémoire, soit la productivité, le temps passé à sélectionner dans la section 181 et le pourcentage de conformité des commandes.

CHAPITRE 5 RÉSULTATS

Afin de se conformer aux recommandations du programme linéaire, les configurations des rangées ont été modifiées. Ceci a nécessité plusieurs déplacements de produits qui ont été facilités par le fichier de déplacements. En plus de ces deux contributions, il y a eu l'ajout d'un tableau de bord dynamique utilisant SAP Business Objects, connu précédemment sous le nom Excelsius. Ce tableau de bord permet de comparer différents mois et années afin de voir le progrès de l'entreprise. Le tableau de bord documente environ vingt données et ce pour toutes les zone du centre de distribution, incluant, les ventes, les expéditions pour chaque province, la productivité, le pourcentage de conformité, répartition des sélections. Malgré les plus de 1500 UGS déplacées, ce projet majeur demeure toujours en cours, mais des résultats positifs ont déjà été remarqué.

5.1 Impact sur les indicateurs de performance

Au début du projet, l'objectif consistait à améliorer trois indicateurs de performance soit: la productivité (sélections/heure), le pourcentage de conformité des commandes et la répartition des sélections dans les deux sections afin de réduire considérablement le pourcentage de sélection dans la section 181.

Ces trois facteurs sont reliés intimement à l'efficacité de la préparation des commandes, qui tel que susmentionné représente 55% des coûts totaux d'un centre de distribution typique. Au début du projet, l'hypothèse voulait que les UGS à haut taux de rotation mal localisées dans les hauteurs de la section 181 réduisent la productivité totale de la préparation des commandes. De plus, chaque erreur de sélection implique des dépenses inutiles de correction et un manque de satisfaction pour le client, événement qui peut potentiellement amener des pertes de ventes futures. Puisque certaines palettes pouvaient avoir jusqu'à sept différentes UGS, il était raisonnable de croire qu'une configuration optimale limitant le nombre d'UGS par palette à deux diminuerait ces erreurs de reconnaissance.

Se basant sur la solution optimale obtenue à l'aide du programme linéaire, T&B a effectué une réaffectation des UGS dans les rangées 1 à 5 durant la période du mois d'août 2014 au mois de mars 2015. De plus, la zone ABB comprend deux nouvelles rangées de palettiers dos à dos, de simple profondeur, soit la rangée R2E et la rangée R1O. Il y a 10 niveaux avec la configuration

palette pleine à simple UGS, 3 niveaux avec la configuration quart de palette, un niveau avec la configuration hybride quart et demie démontrée à la figure 3.1, 21 niveaux de palettes pleines à double UGS dans la section 181, 3 niveaux de grosses boîtes et 11 niveaux de petites boîtes dans la rangée R10.

Les figures 5.1, 5.2 et 5.3 ci-dessous démontrent quelques statistiques qui illustrent les améliorations obtenues grâce à la mise en place de la solution optimale. À la figure 5.1, on remarque une augmentation de 14.7% de productivité dans la zone ABB entre juillet 2014 et mars 2015. Cette augmentation provient assurément de la réduction des prélèvements totaux effectués dans les hauteurs de la section 181. Puisqu'il est nécessaire d'effectuer plusieurs mouvements verticaux dans le but de prélever chaque UGS dans les localisations de type bronze, la productivité en souffre énormément. Pour le confirmer, voyons l'évolution des sélections dans la section 181 à la figure 5.2.

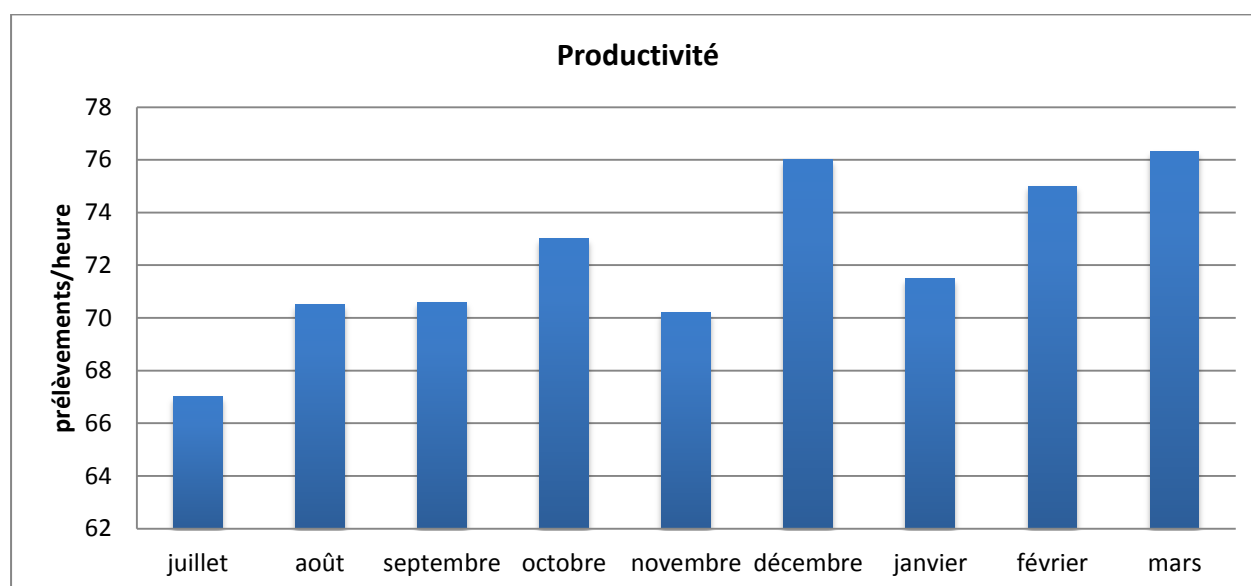


Figure 5.1 : Productivité en prélèvements par heure d'un employé

Le graphique indique une diminution de 18%, pour la période visée, ce qui confirme l'hypothèse qu'une réduction des prélèvements dans cette zone augmente par le fait même la productivité. La relation entre le % d'augmentation de productivité et la diminution des prélèvements dans la section 181 est pratiquement linéaire. Il faut noter que le plein potentiel du projet n'a pas été comblé car tous les déplacements n'ont pas été exécutés.

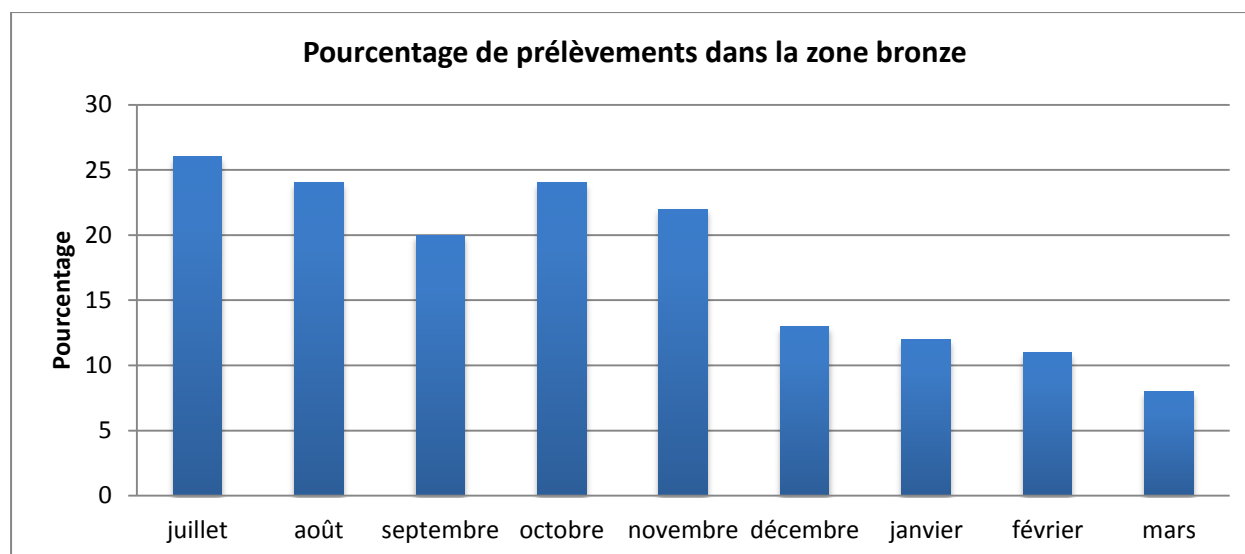


Figure 5.2 : % de prélèvements dans la section 181 de la zone ABB

Pour illustrer cette affirmation, il faut comprendre les éléments suivants :

Tableau 5.1 Statistiques de sélections de la zone ABB

Productivité section 180	77,43 prélèvements /heure
Productivité section 181	54,43 prélèvements /heure
Productivité combinée	74,32 prélèvements /heure
Nombre moyen de prélèvements par mois	3 341
Nombre moyen de prélèvements par mois dans la section 181	452 ^(*)

(*) De ce nombre, 344 prélèvements proviennent des UGS à haut taux de rotation localisées dans des localisations de type bronze.

On peut clairement conclure que si tous les mouvements avaient été exécutés, selon les indications du programme linéaire, à peine 108 prélèvements mensuels moyens, seraient demeurées nécessaires dans la section 181. Ceci aurait par le fait même diminué le pourcentage de prélèvements dans la section 181 à 3,23% et aurait par le fait même augmenté la productivité totale combinée à 77,78 prélèvements/heure entre le mois de juillet 2014 et le mois de mars 2015.

Finalement, le dernier objectif est l'amélioration de la conformité des commandes préparées. La figure 5.3 démontre la progression à ce sujet.

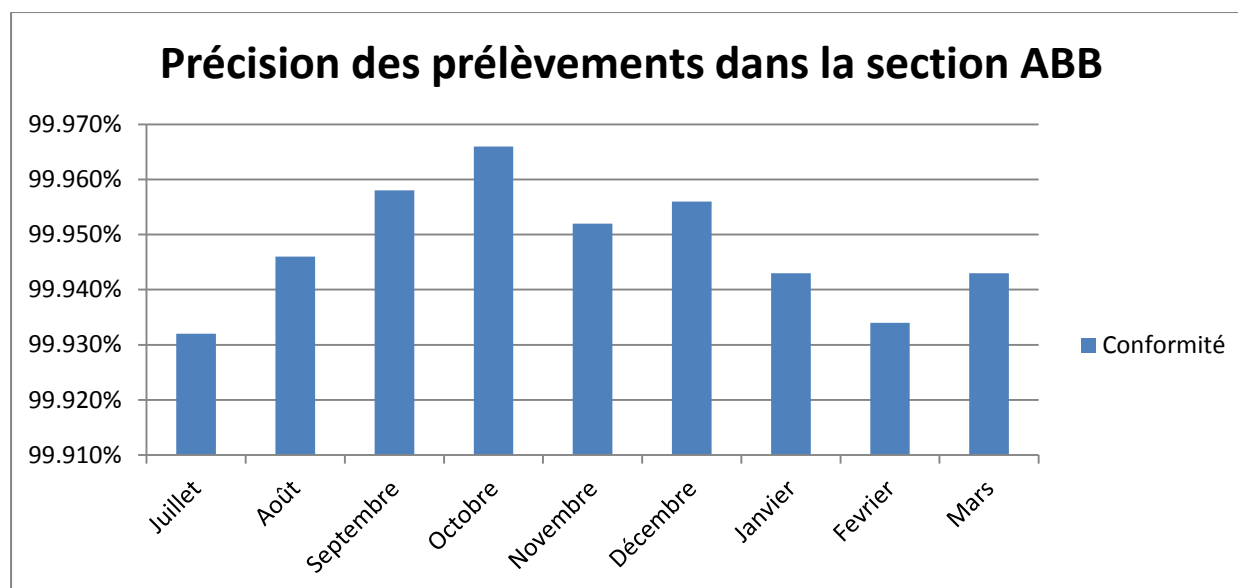


Figure 5.3 : % de conformité lors de la préparation de commande

Il n'y a malheureusement pas eu un impact significatif à ce sujet. Il demeure que les UGS changent souvent de localisations car elles ne sont pas dédiées à une localisation. De plus, plusieurs des UGS d'ABB ont des codes d'identification qui se ressemblent où parfois un seul caractère les distingue : par exemple 1SVR740884R1300 et 1SVR740885R1300. Finalement, les caractéristiques dimensionnelles et physiques des UGS se ressemblent énormément et sont également une source d'erreur.

Finalement, le tableau 5.2 indique la variation d'autres facteurs entre le début du projet et l'actuel :

Tableau 5.2 : Variation de certains facteurs dans les neuf derniers mois

Facteur	Juin 2014	Mars 2015
UGS à 2 localisations différentes et plus	65	56
Palette ayant plus de 2 UGS	383	5
UGS affectées dans les mauvaises sections (180, 181)	3708	410
UGS dans mauvaises unités de charge	1291	507
UGS en stock	4053	4762
UGS uniques ayant franchi les portes	5850	8178

Malgré une augmentation de 700 UGS en stock, les UGS placées dans les mauvaises sections ont diminué de 89%. Puisqu'il est impossible d'entreposer tous les UGS bronzes admissibles aux boîtes dans la rangée R1O, et qu'il n'y a pas de grosses boîtes bronze, il y aura toujours une certaine quantité qui sera transférée aux localisations boîtes or de la rangée 1. De plus, les UGS

dans les mauvaises unités de charge ont diminué de 61%. Un bon début certes, mais lorsque tous les déplacements seront complétés, nous devrions atteindre 100% sur ce critère. De plus, il faut aussi voir à éliminer les UGS occupant plus d'une localisation afin de consolider l'entreposage à 100%.

5.2 Autres recommandations

Pour le bénéfice des opérations, je propose les éléments suivants qui verront à optimiser davantage la gestion de cette section.

1. Les deux sections sont présentement conçues selon une stratégie de localisation de type aléatoire. Bien que cette méthode se soit avérée nécessaire faute d'historique de ventes détaillé et complet et faute d'espace de réserve, il est sans doute temps de revoir cette façon de faire. Vu que la section 181 ne représente qu'un maigre 3% des sélections totales, la stratégie aléatoire dans ce cas-ci peut être maintenue. Par contre pour la section 180, je crois qu'il serait avantageux d'attribuer des localisations permanentes pour toutes les UGS de type or. Cette stratégie permettrait premièrement de localiser de façon optimale les UGS à forte demande en les concentrant dans une même rangée ce qui aurait pour effet d'augmenter encore une fois la productivité. De plus les manutentionnaires se familiariseraient plus facilement avec les différents produits et feraient moins d'erreurs lors des sélections.
2. L'obstacle principal pour la transition vers un système à localisations dédiées est le manque d'espace pour des localisations de réserves dans la zone ABB. L'ajout des deux nouvelles rangées R2E et R1O permettront plus de latitude à la gestion des stocks pour bien positionner les UGS et assurer des localisations de réserve pour les localisations primaires. Même s'il ne manque présentement pas de localisations primaires, la quantité d'UGS ne cesse d'augmenter. Ceci signifie que les nouvelles rangées permettront de réagir promptement à la demande future tout en fournissant un surplus plus qu'adéquat de localisations dans la section 181, pouvant servir de réserves si la transition vers un modèle dédié est envisagé.

3. Une analyse de corrélation des UGS et de leurs affinités pourrait de plus permettre de mieux positionner celles-ci pour éviter de faire des pas et des mouvements en croisement inutiles.
4. Le positionnement actuel de l'imprimante n'est pas optimal et amène aussi des pertes de temps avant le début de chaque commande. Pour mieux comprendre cette affirmation, reprenons la figure 1.2. Toutes les commandes commencent avec la prise de palette (voir figure 1.1), suivi de l'impression des étiquettes de sélection (voir annexe 2) à l'imprimante située à la fin de la rangée 1. Ensuite la séquence de sélection commence à la rangée 5 et défile chacune des rangées, de façon séquentielle, pour se terminer dans la rangée 1 (si nécessaire). Après avoir complété la sélection, le préparateur doit amener sa palette à la consolidation et recommencer le processus. Alors, il serait logique de déplacer l'imprimante au début de la rangée 5 plutôt que de la laisser dans la rangée 1 pour économiser un va-et-vient inutile.

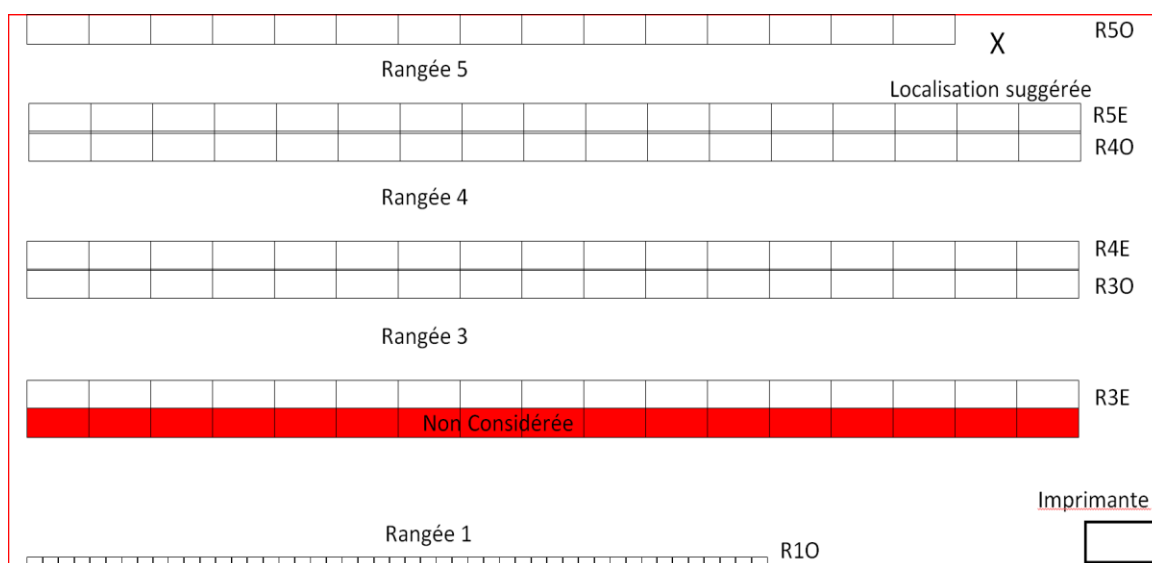


Figure 5.4 : Déplacement de l'imprimante

5. La qualité quant à la conformité des commandes pourrait être grandement améliorée en adaptant le concept de validation des poids lors des sélections, en utilisant la même technologie que les autres zones du centre de distribution mais avec des balances plus petites et adaptées à l'environnement de cette zone.

6. Finalement, dans une perspective de réaménagement majeur, la partie centrale du centre de distribution, la tour (voir figure 1.1), qui sert à entreposer les petites UGS de type courrier pourrait être reconfiguré. Cette tour à trois étages n'est que très peu utilisée en ce moment ce qui n'optimise pas l'espace qu'elle occupe. Le remplacement de la tour de sélection permettrait d'abriter à la fois tous les produits de petite dimension de T&B et de ABB, par l'introduction d'un système de type ASRS. Bien qu'onéreux, il serait utile de faire une analyse sur la rentabilité d'un tel projet vu l'optimisation de l'espace, de l'augmentation de la qualité de la conformité de commande et de la productivité.
7. La fréquence de l'étude des configurations devrait se faire de façon mensuelle car l'intégration d'ABB est encore dans les stages initiaux. Une fois que la gamme d'UGS et la demande seront stabilisées, on pourra graduellement espacer les études trimestriellement. Cette méthode permettrait de réagir plus fréquemment aux activités observées pour chaque UGS. Il se peut qu'un produit change de cote, passant de bronze à or la journée après l'étude; dans ce cas-ci la période de six mois serait trop longue pour réagir adéquatement à cette nouvelle réalité.
8. Le programme linéaire devra être adapté pour des localisations fixes si jamais cette stratégie est envisagée pour la zone ABB ou si les dirigeants désirent utiliser cet outil pour les autres zones du centre de distribution. Présentement, la programmation est spécifiquement conçue pour les localisations aléatoires de la zone ABB. Le VBA du code Excel n'est pas protégé par un mot de passe et pourrait être modifié au besoin par un technicien.
9. Finalement, et probablement la plus importante des recommandations est d'utiliser l'outil. Le programme linéaire, le fichier de déplacements et le tableau de bord sont tous des outils efficaces qui ont déjà démontré des signes prometteurs.

5.3 Conclusion

Force est d'avouer que le programme linéaire a rempli le mandat d'optimisation en termes de productivité et de gestion des localisations. Bien que les résultats au niveau de la qualité soient plutôt neutres, il n'en demeure pas moins qu'avec l'addition de nouvelles UGS pour la section ABB, l'élimination progressive des localisations avec plus de deux UGS contribuera sans doute

éventuellement à une amélioration à ce sujet. Il serait intéressant de faire une étude plus approfondie sur l'impact des localisations dédiées sur la productivité et la conformité des commandes de la zone ABB. Un second projet intéressant serait d'étudier la faisabilité d'une reconfiguration de la tour centrale.

BIBLIOGRAPHIE

- Baker, P., Canessa, M., (2009) Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193(2), pp. 425-436.
- Bartholdi, J. J. and Hackman, S. T., (page consultée le 18 mars 2015). Warehouse & distribution science. <http://www.warehouse-science.com/> (en ligne). Suivre le lien en dessous de free textbook
- Dekker, R., de Koster, R., Roodbergen, K.J. and Van Kalveveen, H., Improving order-picking response time at Ankor's warehouse. *Interfaces*, 2004, 34 (4), 303-313.
- De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K.J. (2007), Design and control of warehouse order picking: a literature review. *European Journal of Operational Research* 182(2), 481-501
- De Koster, R., Performance approximation of pick-to-belt orderpicking systems. *European Journal of Operational Research*, 1994, 72, 558-573
- 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.
- Gademann, N. and Van de Velde, S., Batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, 2005, 37 (1), 63-75.
- Gillick, Dan. (page consultée le 15 juin 2015), Solving the world's hardest problem. [en ligne]. <http://www.livescience.com/5192-solving-world-hardest-problems.html>
- 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.
- Hall, R.W., Distance approximation for routing manual pickers in a warehouse. *IIE Transactions*, 1993, 25, 77-87.
- Hausman, W.H., Schwarz, L.B. and Graves, S.C., Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, 1976, 22 (6), 629-638.
- John Reh, F. (page consultée le 17 mars 2015), Pareto's principle – the 80-20 rule. [en ligne]. <http://management.about.com/cs/generalmanagement/a/Pareto081202.htm>
- Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A.H.G., and Shmoys, D.B., The traveling salesman problem, 1995.

- MWPVL international (page consultée le 23 mai 2014). The art and science of warehouse slotting optimization. [en ligne]. http://www.mwpvl.com/html/warehouse_slotting_optimization.html
- Piasecki, Dave (page consultée le 9 juin 2014). Warehouse slotting. [en ligne]. http://www.inventoryops.com/articles/warehouse_slotting.htm
- Roodbergen, K.J. and De Koster, R., Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. International Journal of Production Research, 2001, 39 (9), 1865-1883.
- 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.
- Tsige, Mersha T. (page consultée 10 avril 2015). Improving order-picking efficiency via storage assignment strategies. [en ligne]. http://essay.utwente.nl/62803/1/Master_Thesis_Final_Version_Mersha.pdf
- Vitasek, Kate et Wilhjem, Richard (page consultée le 20 mars 2015). Perfecting the perfect order. [en ligne]. http://www.werc.org/assets/1/workflow_staging/Publications/647.PDF
- WERC (page consultée le 12 juin 2014). Slotting. [en ligne]. http://www.werc.org/assets/1/workflow_staging/Publications/694.PDF

ANNEXE A - FICHER DE POSITIONNEMENT INITIAL

SKU	PROD_CAT	NB_ORD_6_M	NB_ORD_FULL_6_M	NB_ORD_BROKEN_6_M	NB_REC_6_M	NB_REC_EACH_6_M	NB_EACH_REC_6_M	EA_WGHT	EA_HGHT	EA_WIDTH	EA_LENGTH	EA_CUBE	DESC	CTN_QTY	CTN_WGHT	CTN_H
12804	ABB_B04B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.64	5.32	5.30	8.54	240.79	CTN	14	378.88	1
OL402RBS14186	ABB_B04B	1.00	1.00	0.00	1.00	20.00	20.00	4.64	2.36	2.61	5.00	30.80	INPK	2	10.88	
OL403RBS14187	ABB_B04B	1.00	0.00	1.00	1.00	22.00	22.00	5.60	2.58	2.58	3.53	23.50	CTN	43,500	243,600.00	2
OL404P3BS12342	ABB_B01G	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	6.72	2.62	2.64	4.20	29.05	CTN	43,500	292,320.00	2
OL404P5LBS10114	ABB_B01B	1.00	0.00	1.00	1.00	2.00	2.00	10.40	4.68	3.77	5.02	88.57	CTN	43,500	452,400.00	2
OL404RBS14188	ABB_B04B	1.00	0.00	1.00	1.00	20.00	20.00	6.56	2.18	2.18	3.74	17.77	CTN	43,500	285,360.00	2
OL404RLBS18500	ABB_B01B	4.00	4.00	0.00	1.00	7.00	7.00	6.24	2.34	2.97	5.63	39.13	EACH	1	6.24	
OL408PGS12268	ABB_B01B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.64	2.14	2.22	5.00	23.75	EACH	1	8.64	
OL80A6RB	ABB_B04B	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	39.04	5.85	5.85	7.88	269.67	CTN	43,500	1,698,240.00	2
OL80WS4RB	ABB_B04B	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.76	6.45	6.57	10.08	427.16	EACH	1	49.76	
OL802RBL14189	ABB_B04B	1.00	0.00	1.00	1.00	8.00	8.00	28.16	6.00	5.87	7.93	279.29	CTN	43,500	124,960.00	2
OL803RBL14190	ABB_B04B	1.00	0.00	1.00	1.00	26.00	26.00	37.12	6.00	5.86	7.88	277.06	CTN	43,500	1,614,720.00	2
PC2600	ABB_B04G	1.00	1.00	0.00	1.00	6.00	6.00	1.00	6.00	1.00	1.00	6.00	EACH	1	1.00	
PC4600	ABB_B04G	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	1.00	1.00	6.00	EACH	1	1.00	
PF2601	ABB_B04G	1.00	1.00	0.00	1.00	6.00	6.00	1.00	6.00	1.00	1.00	6.00	EACH	1	1.00	
PM2624	ABB_B04G	1.00	1.00	0.00	1.00	9.00	9.00	1.00	6.00	1.00	1.00	6.00	EACH	1	1.00	
RF1860	ABB_B04G	1.00	1.00	0.00	1.00	3.00	3.00	1.00	6.00	1.00	1.00	6.00	EACH	1	1.00	
SK1800	ABB_B04G	1.00	1.00	0.00	1.00	3.00	3.00	1.00	6.00	1.00	1.00	6.00	EACH	1	1.00	

ANNEXE B – ÉTIQUETTE DE SÉLECTION

Cluster No: 21353563

Labels Printed: 25
 Pick Zone: 180

Nb Picks: 1
 Name: FREGEAUB

Thomas®Betts**Sku: OXC1L36**

UPC: 
 8 04325 16293 7
 UOM:EACH Qty: 1

75136
 Type: P5 Loc: B-05-170-B-A
 From_LP: 105330016 To_LP: 151953251

Thomas®Betts**Sku: T5N400TW2A2S375ID**

UPC: 
 8 88614 23078 1
 UOM:EACH Qty: 1

75299
 Type: PS Loc: B-05-169-A-A
 From_LP: 105353143 To_LP: 151953242

Thomas®Betts**Sku: T5N400TW2A2S375ID**

UPC: 
 8 88614 23078 1
 UOM:EACH Qty: 1

75299
 Type: PS Loc: B-05-169-A-A
 From_LP: 105353143 To_LP: 151953243



1
 FEC2
 P2 10

HDI TECHNOLOGIES INC
 ATT: RICHARD GONNEVILLE
 200 28E AVENUE
 X

GRAND-MERE, QC, G9T 5K5



1 OF 1

151953250