

HEC MONTRÉAL

**Une méthode de reconfiguration saisonnière des zones de
préparation de commandes d'un centre de distribution**

par

Sami Birem

**Sciences de la gestion
(Logistique internationale)**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maître ès sciences
(M.Sc.)*

Mars 2016
© Sami Birem

Recherche ne nécessitant pas l'approbation du CER

Ce formulaire est requis pour les thèses, mémoires ou projets supervisés correspondant à une des deux situations suivantes :

- 1) un cas pédagogique;
- 2) une recherche menée auprès d'employés d'une organisation spécifique et qui servira exclusivement à des fins d'évaluation, de gestion ou d'amélioration de cette organisation.

Ou, la thèse, le mémoire ou le projet supervisé n'implique aucune des trois situations suivantes :

- 1) une collecte de données impliquant des sujets humains (par entrevue, groupe de discussion, questionnaire, observation ou toute autre méthode de collecte);
- 2) l'utilisation de données déjà collectées impliquant de l'information sur des sujets humains qui n'est pas accessible au public;
- 3) le couplage de plusieurs des données impliquant de l'information sur des sujets humains, que celle-ci soit publique ou non (le couplage est un recoupement de deux ensembles de données distincts qui permet de lier des données particulières entre elles).

Titre de la
recherche :

Une méthode de reconfiguration saisonnière des zones
de préparation de commandes d'un centre de distribution

Nom de l'étudiant : Sami Birem

Signature : Sami Birem Bj

Date : 06-05-2016

Nom du directeur : _____

Signature : _____

Date : _____

Veuillez remettre ce formulaire dûment complété et signé lors de votre dépôt initial

Pour toute question, veuillez vous adresser à cer@hec.ca

Imprimer

Formulaire du CER

Sommaire

La préparation des commandes dans les centres de distribution est l'une des activités qui est, à la fois, la plus mobilisatrice de ressources financières mais aussi celle qui recèle souvent un fort potentiel d'amélioration. La recherche d'efficience dans cette activité passe par la résolution de nombreux arbitrages touchant aussi bien à la conception des zones de préparation de commandes qu'aux politiques de cueillette et de répartition des produits. L'un des paramètres influant le plus la prise de décisions relatives à ces arbitrages concerne la demande qui s'exerce sur les différents produits. Or, très souvent ce sont des moyennes de la demande calculées sur de longs horizons qui sont utilisées, ignorant ainsi la fluctuation de la demande et parfois le caractère saisonnier de cette dernière. Ce sont ces considérations qui nous ont amené à réaliser le présent mémoire en proposant une méthodologie permettant de réaliser des reconfigurations saisonnières de la zone de préparation des commandes tout en évaluant l'intérêt de procéder à ces dernières.

La méthodologie développée fait appel à des données qui sont généralement disponibles dans les organisations et utilise des méthodes de résolution s'inspirant des pratiques de l'industrie ainsi que des travaux de chercheurs. Afin d'évaluer l'applicabilité de la méthodologie et son intérêt, cette dernière fut appliquée au cas réel d'un centre de distribution. Les résultats obtenus confirment l'intérêt à intégrer le paramètre de la dimension saisonnière de la demande dans la prise de décisions relatives aux configurations des zones de préparation de commandes.

Bien que relativement simple à utiliser, cette méthode nécessitera que l'organisation ait un minimum de support informationnel afin d'obtenir les données indispensables à la prise de décision. De plus, l'application des heuristiques et des estimations des coûts contenues dans la méthodologie nécessitera d'avoir accès à un environnement informatique de programmation. Si ces conditions sont remplies, nous recommandons l'adoption de cette méthode aux organisations souhaitant procéder à des reconfigurations saisonnières et d'en évaluer l'intérêt potentiel.

Remerciements

Ce mémoire fut une aventure riche en enseignements qui m'a permis de me confronter à la rigueur académique et de connaître les joies de la recherche tout en apportant ma modeste contribution à l'univers de la logistique. Le bon déroulement de ce travail n'aurait pas été possible sans les personnes qui m'ont accompagné et soutenu durant sa réalisation.

En premier lieu, toute ma reconnaissance va à M. Jean-François Cordeau, non seulement pour avoir été présent et disponible tout au long du mémoire mais aussi pour avoir confirmé et encouragé ma passion pour la logistique. Je remercie également la Chaire de recherche du Canada en logistique et en transport pour le précieux support financier qui me fut accordé ainsi que l'Administration, l'ensemble du corps professoral, les structures d'assistance et mes camarades de HEC Montréal pour l'irremplaçable aide qu'ils m'ont fournie et sans laquelle je n'aurais pu mener à terme ce travail.

Je tiens également à exprimer ma sincère gratitude à mes différents responsables et à mes collègues de travail, tout particulièrement David Beaudet et Charles Fallon qui ont bien voulu me consacrer de leur temps malgré la lourde charge de travail qui est la leur. Mieux encore, ils ont eu la gentillesse de bien vouloir m'autoriser la flexibilité qui m'a permis de mener ma vie professionnelle en parallèle à mes études. Pour cela, qu'ils veuillent bien trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je ne saurais terminer mes remerciements sans citer mes parents à qui j'adresse mon éternelle et affectueuse reconnaissance pour m'avoir, malgré la distance qui nous sépare, indéfectiblement soutenu tout au long de mes études. Ma volonté profonde est de ne jamais les décevoir, eux qui, à force de croire en ma réussite, m'empêchent de douter de moi-même.

Encore une fois, un grand merci à tous.

Table des matières

CHAPITRE I : Introduction	1
CHAPITRE II : Arbitrage des centres de distribution et problème de la zone avancée-réserve sur fond de demande saisonnière.....	4
2.1 Centre de distribution, activités et arbitrage.....	4
2.2 Problème de la zone avancée-réserve.....	10
2.3 Nguyen, le problème de la zone avancée-réserve dans un contexte de demande saisonnière	13
2.4 Conception des zones de préparation de commandes	17
CHAPITRE III : Méthodologie d'évaluation de la reconfiguration saisonnière de la zone avancée.....	20
3.1 Présentation sommaire de la méthodologie	20
3.1.1 Présentation de la méthodologie	20
3.1.2 Hypothèses	26
3.2 Traitement des données.....	28
3.2.1 Fichier maître des produits	28
3.2.1.1 Organisation du centre de distribution.....	28
3.2.1.2 Caractéristiques physiques et conditions d'entrepôts	29
3.2.2 Fichier des commandes	31
3.2.2.1 Présentation du fichier des commandes (ou expéditions)	31
3.2.2.2 Mise en relation du fichier maître des produits et celui des expéditions	32
3.2.4 Base de données finale	33
3.3 Prévisions et identification des saisons.....	34
3.3.1 Identification des saisons.....	35
3.3.1.1 Expertise de l'organisation.....	35
3.3.1.2 Les données historiques.....	35
3.3.1.3 Les facteurs de saisonnalité	36
3.3.2 Les prévisions.....	37
3.3.2.1 Prévisions et données réelles de la dernière année	37
3.3.2.2Prévision du volume des expéditions	37
3.3.2.3 Prévision de l'évolution de la variété.....	38
3.3.3 Préparation des données	39

3.4 Affectation des produits à la zone avancée.....	40
3.4.1 Six options par saison.....	40
3.4.2 Logique de sélection des produits affectés à la zone avancée	41
3.5 Sélection des types d'unités d'entreposage	43
3.5.1 Type d'unité d'entreposage dans un système de cueilleurs-vers-produits.....	43
3.5.1.1 Les casiers	44
3.5.1.2 Étagères	45
3.5.1.3 Les étagères à rouleaux à gravité inversée.....	46
3.5.1.4 Unité d'entreposage accueillant des palettes.	47
3.5.1.5 Synthèse.....	48
3.5.2 Heuristique de sélection du type de rayonnages	49
3.5.2.1 Paramètre de l'heuristique	49
3.5.2.2 Description de la logique de l'assignation	51
3.5.2.3 Algorithme heuristique	52
3.6 Conception de la zone avancée.....	56
3.6.1 Organisation de la zone avancée	56
3.6.1.1 Orientation des allées de piges.....	56
3.6.1.2 Ratio de la zone avancée largeur/profondeur.....	57
3.6.1.2 Question du dépôt	57
3.6.1.3 Les allées transversales.....	59
3.6.2 Répartition des types d'unités d'entreposage.....	61
3.6.2.1 Chemins de pige.....	61
3.6.2.2 Répartition des unités d'entreposage.....	61
3.6.3 Assignation des produits aux localisations.	65
3.6.3.1 Identifiant des localisations	65
3.6.3.2 Modélisation virtuelle	68
3.6.3.3 Politique de répartition des produits dans la zone avancée	70
3.6.3.4 Réalisation de l'assignation en fonction des politiques de répartition.....	72
3.6.5 Configuration de l'existant.....	74
3.7 Estimation des coûts	75
3.7.1 L'organisation de la préparation des commandes.....	76
3.7.2 Consolidation au niveau de l'identifiant unique de passage	77
3.7.2.1 Seconde consolidation pour la politique des chemins de pige de traversée en zigzag....	78
3.7.2.2 Seconde consolidation pour la politique des chemins de pige de retour sur ses pas.....	80
3.7.3 Estimation des distances parcourues lors de la préparation des commandes	82

3.7.3.1 Distances standards	82
3.7.3.2 Distances parcourues par les cueilleurs lors des passages dans la zone avancée	84
3.7.3.2 Pige des produits non affectés à la zone avancée	86
3.7.4 Estimation du temps nécessaire à la pige	87
3.7.5 Les réapprovisionnements	88
3.7.6 Autres coûts	90
3.7.6.1 Cout lié à l'équipement d'entreposage	90
3.7.6.2 La reconfiguration	90
3.8 Modèle de sélection des combinaisons et évaluation des résultats	91
3.8.1 Le Modèle d'optimisation (non linéaire)	91
3.8.2 Illustration	92
3.9 Modèle de sélection des combinaisons et évaluation des résultats	95
Chapitre IV : Application de la méthodologie	97
4.1 Présentation du centre de distribution	97
4.2 Application de la méthodologie	97
4.2.1 Les données	98
4.2.2 Les prévisions et l'identification des saisons	99
4.2.3 Problème de la zone avancée réserve	103
4.2.4 Sélection des types d'unités d'entreposage	105
4.2.5 Configuration des zones avancées	108
4.2.6 Estimation des coûts	114
4.2.7 Sélection de la meilleure combinaison de reconfiguration saisonnière	119
4.2.7.1 Sélection de la solution optimale	119
4.2.7.2 Analyse de sensibilité	124
CHAPITRE V : Conclusion	128
5.1 Critiques et voies d'amélioration	128
5.1.1 Segmentation saisonnière	128
5.1.2 Problème avancée réserve	128
5.1.3 Conception des zones avancées	129
5.1.4 Les estimations des coûts	130
5.1.5 Les reconfigurations	131
5.2 Conclusion	132
Bibliographie	133

Annexes.....	137
Annexe 1	138
Annexe 2.....	141
Annexe 3.....	144
Annexe 4.....	146
Annexe 5.....	164

Liste des figures

Figure 1 : Activités et flux des produits au sein du centre de distribution.....	5
Figure 2 : Zones de préparation de commandes et de réserve superposées.....	6
Figure 3 : Illustration des principaux éléments de la zone de préparation de commandes..	7
Figure 4 : Exemple de Nguyen sur la saisonnalité de la demande	14
Figure 5 : Définition des paramètres en vue de l'analyse expérimentale	15
Figure 6 : Résultats présentant les pourcentages d'économies réalisées.....	16
Figure 7 : Cadre décisionnel de conception de la zone avancée de Dallari et al. (2009)	18
Figure 8 : Traitement des données	18
Figure 9 : Prévision et identification des saisons	18
Figure 10 : Affectation des produits de la zone avancée.....	18
Figure 11 : Assignation des produits aux types d'unité d'entreposage.....	18
Figure 12 : Conception de la zone avancée	18
Figure 13 : Estimation des coûts des différentes options.....	18
Figure 14 : Modèle de sélection de la combinaison de configurations optimale	18
Figure 15 : Flux et traitement de données.....	25
Figure 16 : Classification des systèmes de cueillette	26
Figure 17 : Exemple de ligne de commande.....	31
Figure 18 : Fusion des deux fichiers sur la base de l'identifiant des produits	32
Figure 19 : Exemple de trois casiers placés sous des palettiers suspendus.....	44
Figure 20 : Exemple d'étagères standards.....	45
Figure 21 : Exemple d'étagères à rouleaux à gravité inversée	46
Figure 22 : Exemple de rayonnage simple profondeur.....	47
Figure 23 : Exemple de "drive in"	48
Figure 24 : Exemple de dépôt centralisé.....	58
Figure 25 : Exemple de dépôt étendu	58
Figure 26 : Exemple d'allées transversales	59
Figure 27 : Illustration des deux types de politique de chemin de pige qui seront étudiés	61
Figure 28 : Politique de répartition des produits selon les politiques de chemin de pige avec dépôt centralisé.....	62
Figure 29 : Exemple de la répartition des types d'unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pige de retour sur ses pas inspiré de Petersen et Schmenner	63

Figure 30a : Exemple de la répartition des types d'unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pige de traversée en zigzag inspiré de Petersen et Schmenner.....	63
Figure 30b : Exemple de la répartition des types d'unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pige de traversée en zigzag commune dans la pratique	64
Figure 31 : Politique de répartition des produits selon les politiques de chemin de pige de traversée en zigzag avec dépôt centralisé sur la gauche	65
Figure 32 : Exemple de numérotation des allées et des unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pige de retour sur ses pas.....	67
Figure 33 : Exemple de numérotation des allées et des unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pige de traversée en zigzag	67
Figure 34 : Processus de création virtuelle des localisations	69
Figure 35 : Illustration des numéros de profondeur dans le cas d'une politique de chemin de pige de traversée en zigzag	78
Figure 36 : Illustration des numéros de profondeur dans le cas d'une politique de chemin de pige de retour sur ses pas.....	80
Figure 37 : Définition des distances standards	82
Figure 38 : Distances entre les bouts des allées de pige et le dépôt centralisé	83
Figure 39 : Illustration des paramètres correspondant aux coûts des différentes options.	93
Figure 40 : Illustration des paramètres correspondant aux coûts de reconfiguration.....	93
Figure 41 : Illustration des contraintes.....	94
Figure 42 : Illustration de la fonction objectif	95
Figure 43 : Exemple du fichier maître des produits reçu.....	98
Figure 44 : Exemple du fichier des commandes reçues.....	98
Figure 45 : Évolution du nombre de produits différents expédiés en 2013	101
Figure 46 : Évolution du nombre de lignes de commande expédiées en 2013.....	101
Figure 47 : Évolution du nombre de pieds cubes expédiés en 2013.....	102
Figure 48 : Évolution du nombre de pieds cubes expédiés en 2011 et 2012	103
Figure 49 : Organisation des allées et des unités d'entreposage pour l'exemple considéré	111
Figure 50 : Répartition des unités d'entreposage et numérotation pour l'exemple considéré	112
Figure 51 : Éléments considérés dans le calcul des distances parcourues pour la pige en réserve	115
Figure 52 : Illustration du calcul des barycentres nécessaire à l'estimation des distances parcourues pour les réapprovisionnements	117

Figure 53 : Évolution des coûts en fonction du nombre de produits affectés à la zone avancée..... 120

Liste des tableaux

Tableau 1 : Arbitrage entre les différents types d'unités d'entreposage	48
Tableau 2 : Tableau synthèse des politiques de répartition de produits	71
Tableau 3 : Logique de calcul des temps nécessaires aux activités opérationnelles.....	87
Tableau 4 : Sommaire de l'activité hebdomadaire en 2013	100
Tableau 5 : <i>Sommaire de l'affectation des produits aux zones avancées</i>	104
Tableau 6 : Dimensions des différents types d'unités d'entreposage	105
Tableau 7 : Besoins estimés en type d'unité d'entreposage	106
Tableau 8 : Évolution des besoins en types d'unités d'entreposage	107
Tableau 9 : Besoin en unités d'entreposage de l'exemple retenu	109
Tableau 10 : Les différentes façons d'arrondir	110
Tableau 11 : Nombre de jours de stockss selon les types d'unités d'entreposage	116
Tableau 12 : Coûts estimés pour les différentes options selon les saisons.....	119
Tableau 13 : Pourcentage des coûts de pige en réserve et du pourcentage de ligne de commandes pignées en réserve selon les saisons et les options	120
Tableau 14 : Évolutions marginales des coûts entre options selon les saisons.....	121
Tableau 15 : Détail de la solution optimale des reconfigurations saisonnières	121
Tableau 16 : Comparaison de la solution identifiée et de la situation en place en 2013..	122
Tableau 17 : Détail de la solution de reconfigurations saisonnières où la totalité des produits sont affectés aux zones avancées.....	123
Tableau 18 : Comparaison de la solution où 100% des produits sont affectés à la zone avancée et de la situation en place en 2013.....	123
Tableau 19 : Sensibilité de la solution optimale de reconfiguration aux variations des coûts de pige en zone avancée	124
Tableau 20 : Sensibilité des économies potentiellement réalisables aux variations des coûts de pige en zone avancée	125
Tableau 21 : Sensibilité de la solution optimale de reconfiguration aux variations des coûts de réapprovisionnement.....	125
Tableau 22 : Sensibilité des économies potentiellement réalisables aux variations des coûts de réapprovisionnement	126
Tableau 23 : Sensibilité de la solution optimale de reconfiguration aux variations des coûts de pige en réserve	126
Tableau 24 : Sensibilité des économies potentiellement réalisables aux variations des coûts de pige en réserve	127

CHAPITRE I : Introduction

Il ressort de la littérature spécialisée que dans les centres de distribution typiques, plus de la moitié des coûts opérationnels est imputable à la préparation des commandes. Les coûts sont estimés à 55% des coûts opérationnels selon de Koster et al. (2007) et à 63% selon Berg et Zijm (1999). Partant de ce constat, il apparaît que la recherche d'efficacité dans la préparation des commandes peut et devrait se traduire par la réalisation d'économies substantielles pour les organisations opérant des centres de distribution. Pour ce faire, ces dernières doivent mettre en place dans leurs centres de distribution des zones de préparation des commandes organisées de façon à améliorer le processus de pique en s'intéressant tout particulièrement aux déplacements nécessaires aux activités opérationnelles. Le problème de ces zones réside dans le fait que l'espace utilisable, comparativement à celui de la réserve, est bien plus coûteux. De surcroît, la cherté de l'espace utilisable implique que, souvent, une partie seulement des stocks des produits est conservée dans la zone de préparation de commandes, ce qui engendre une contrainte de taille, celle de devoir procéder à de fréquents et coûteux réapprovisionnements. Cet arbitrage entre la diminution des coûts de préparation des commandes et l'augmentation de ceux associés à l'utilisation de la zone avancée constitue le cœur de la problématique de la zone avancée-réserve. D'évidence, c'est la zone avancée qui présente le plus d'avantages au niveau des processus de pique en étant suffisamment petite pour réduire les déplacements tout en utilisant des équipements d'entreposage spécialisés facilitant la pique (Bhaskaran et Malmborg, 1990). À cette zone s'oppose la réserve où le coût d'utilisation de l'espace d'entreposage est bien plus faible, mais où celui de la préparation de commandes est bien plus dispendieux. De nombreux travaux furent réalisés par le passé afin de répondre au problème mentionné plus haut en s'intéressant aux produits à affecter à la zone avancée ainsi qu'à la conception de cette dernière. Étant donné que le principal bénéfice de la zone avancée réside dans les économies liées à la préparation des commandes, l'importance de la demande des différents produits est centrale dans la résolution du problème. Or, Nguyen et al. (2005) soulignent le fait que dans la plupart des études traitant du problème avancée-réserve, la demande est considérée comme statique et qu'à ce titre des moyennes de la demande calculées sur de longs horizons sont utilisées pour la prise des décisions destinées à faire face à cette problématique, ce qui peut s'avérer inefficace. Pour

pallier à cela, les auteurs comparèrent les avantages, au niveau des coûts, de procéder à des reconfigurations de la zone avancée d'une saison à l'autre par rapport à l'option qui consisterait en une seule configuration s'étalant sur toute la durée de l'horizon considéré. De cette analyse, il est ressorti qu'il était plus intéressant de procéder à plusieurs reconfigurations au cours de l'horizon en considérant différentes saisons (ou périodes). Pour arriver à ces conclusions, les auteurs développèrent un modèle qui fut appliqué à des données générées aléatoirement et en faisant varier les coûts. Au niveau des configurations des zones avancées utilisées dans les différentes saisons, très peu d'informations sont fournies sur le détail opérationnel. Ce manque d'informations rend l'applicabilité d'une telle approche difficile pour une organisation qui souhaiterait évaluer les économies opérationnelles qui résulteraient de reconfigurations saisonnières. De plus, le fait que seules des données générées virtuellement ont été considérées relativise la validité des conclusions quant à l'intérêt des reconfigurations saisonnières.

C'est justement ce déficit en matière d'information et l'utilisation de données virtuelles qui motivent ce mémoire dont l'ambition est de proposer une méthodologie permettant aux gestionnaires des centres de distribution d'apprécier l'intérêt d'effectuer des reconfigurations saisonnières de leurs zones avancées.

Avant de s'attaquer à la méthodologie proprement dite, il sera présenté, dans le second chapitre, les problématiques rencontrées dans les centres de distribution ainsi qu'une revue de la littérature afin de nous permettre d'effectuer un tour d'horizon des différents travaux en rapport avec les questions abordées dans le cadre de ce mémoire. Ce chapitre débutera donc par une description des activités et des arbitrages s'opérant au sein des centres de distribution et débouchera sur le problème de la zone avancée-réserve au sujet duquel les principaux travaux réalisés seront abordés. Le passage en revue de la littérature consacrée à cette question nous conduira aux travaux de Nguyen et al. (2005) qui seront étudiés plus en détail en raison de leur proximité avec les thèmes abordés dans ce mémoire. Enfin, et étant donné qu'il sera question de configuration des zones avancées, une brève étude des écrits consacrés à la conception des zones de préparation des commandes sera présentée.

La méthode qui a été adoptée dans le troisième chapitre se décomposera en huit parties. La première concernera la collecte et le traitement des données. La seconde traitera de l'identification des saisons et des prévisions. Dans la troisième partie, il sera question de

l'affectation des produits dans la zone avancée. La quatrième partie, verra la présentation de la sélection des types d'unités d'entreposage. Dans la cinquième partie, une approche permettant de reconfigurer la zone avancée en accord avec les pratiques déjà en place dans l'organisation sera élaborée. La sixième partie consistera en l'estimation des coûts relatifs aux différentes alternatives. Ces estimations permettront au modèle de choisir la meilleure combinaison d'alternatives. La septième partie permettra ensuite de définir la solution présentant le moindre coût. Finalement, la dernière partie consistera en l'évaluation de la solution identifiée et à sa comparaison avec les pratiques existantes afin d'évaluer l'intérêt de la reconfiguration.

Dans le quatrième chapitre, la méthodologie décrite sera appliquée au cas réel d'un centre de distribution et une évaluation des résultats obtenus sera effectuée. Enfin, le cinquième et dernier chapitre fera état des critiques à adresser à l'approche proposée ainsi que de certaines voies d'amélioration et se terminera par les conclusions de cette contribution.

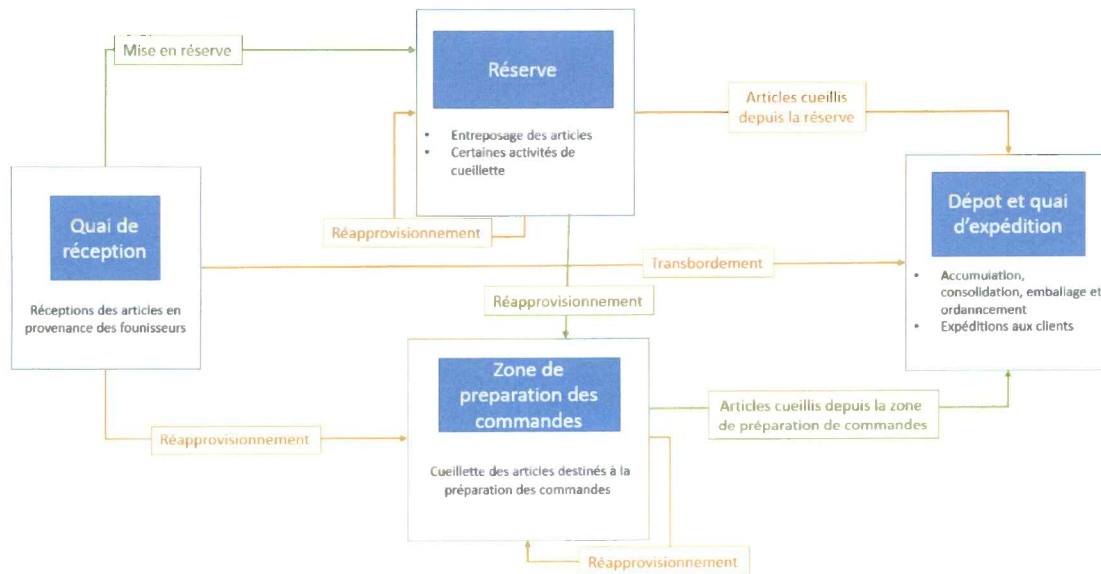
CHAPITRE II : Arbitrage des centres de distribution et problème de la zone avancée-réserve sur fond de demande saisonnière.

Dans ce chapitre, une description succincte des centres de distribution et des activités qui s'y rattachent sera présentée en accordant une attention toute particulière aux arbitrages qui s'y opèrent. Ces arbitrages permettent d'appréhender le problème de la zone avancée-réserve qui sera présenté dans le détail à la lumière des différentes réflexions consacrées à ce sujet. Cette revue de la littérature dédiée à la problématique de la question de la zone avancée-réserve débouchera sur les travaux de Nguyen et al. qui se sont penchés sur les relations entre la saisonnalité de la demande et le problème qui nous intéresse. La méthodologie adoptée par ces auteurs considère plusieurs alternatives de zones avancées qui amènent à s'intéresser à la conception de ces dernières. Pour ce faire, une brève revue de la littérature concernant la conception des zones de préparation de commandes sera réalisée.

2.1 Centre de distribution, activités et arbitrage

L'Office québécois de la langue française définit le centre de distribution comme étant un « Entrepôt d'un réseau de distribution qui est destiné à la préparation de commandes et à la redistribution des biens en provenance d'une ou de plusieurs usines ou de fournisseurs ». Il est intéressant de noter que dans cette définition, la notion de préparation des commandes est centrale. Il s'agit de commandes composées d'articles provenant de divers fournisseurs et destinées à répondre aux demandes de différents clients. L'une des difficultés opérationnelles auxquelles sont confrontés les centres de distribution réside dans le fait que, pour faire face à la variabilité de la demande et/ou pour profiter d'économies d'échelle à l'achat, les articles seront la plupart du temps reçus dans le centre avant la date effective d'expédition. Ce décalage entre l'expédition des articles et leur réception fait en sorte qu'en plus des activités de réception des produits, de préparation et d'expédition des commandes, il faut rajouter les modalités nécessaires à leur entreposage. Afin de mieux éclairer leur système de fonctionnement, le schéma suivant illustre le cheminement des principaux flux d'articles au sein d'un centre distribution.

Figure 1 : Activités et flux des produits au sein du centre de distribution



Le schéma ci-dessus décrit les quatre principaux lieux où s'opèrent les activités dans le centre de distribution, à savoir les quais de réception et d'expédition et les zones de réserve et de préparation de commandes. Les flèches indiquent les flux, celles en vertes font référence aux flux plus fréquents et celles en orange renvoient à des flux dont l'occurrence varie d'une entreprise à une autre.

Le degré d'automatisation dans les activités des centres de distribution peut varier drastiquement d'un centre à l'autre et avoir une incidence notable sur les activités et les aménagements en place. Dans leur revue de littérature sur la conception et le contrôle des activités de pique, de Koster et al. (2007) abordent différentes méthodes de pique. Ces méthodes diffèrent essentiellement au travers de deux aspects : l'importance de la main d'œuvre dans les différentes activités et selon que ce soit les produits qui se déplacent vers les cueilleurs ou l'inverse. Pour prendre un exemple d'automatisation, on peut citer Sobey's avec son récent centre de distribution très automatisé¹ et qui est à l'opposé des centres de distribution comme ceux de Dollarama que l'on a pu visiter où l'activité humaine dans la préparation des commandes est particulièrement intense. À mi-chemin, entre les deux compagnies mentionnées précédemment, des centres distributions utilisant des convoyeurs

¹ Sobey's inc. – Vidéo : "Delivering the future" - [En ligne]. Disponible sur : <http://corporate.sobey's.com/corporate-videos/> (Consulté le 09 mars 2016)

comme celui de Novexco que l'on a également pu visiter, illustre un système où l'activité humaine est relativement prépondérante tout en automatisant une partie du déplacement des produits. Si les différences dans les technologies utilisées peuvent sembler définir des différences notables entre des centres de distribution, les arbitrages rencontrés restent essentiellement les mêmes bien que la pondération des différents paramètres associés à ces derniers peuvent varier sensiblement. Dans ce travail, l'accent sera mis sur les environnements offrant peu d'automatisation pour des raisons qui seront abordées dans la première sous-section du chapitre suivant.

Avant d'aborder de manière plus détaillée les arbitrages qui peuvent s'opérer, il est tout d'abord nécessaire de revenir sur la dichotomie entre la réserve et la zone de préparation de commandes qui n'est pas sans poser problème. En effet, s'il arrive que la réserve et la zone de préparation de commandes constituent deux zones distinctes, dans de nombreux centres de distribution ces dernières se trouvent au même endroit (Berg et Zijm 1999). Pour être plus exact, dans ce dernier cas de figure, on retrouve au premier niveau des unités d'entreposage, les localisations de pique, qui constituent la zone de préparation de commandes, et, dans les niveaux supérieurs, les localisations de réserve prévues pour les palettes destinées à constituer la réserve.

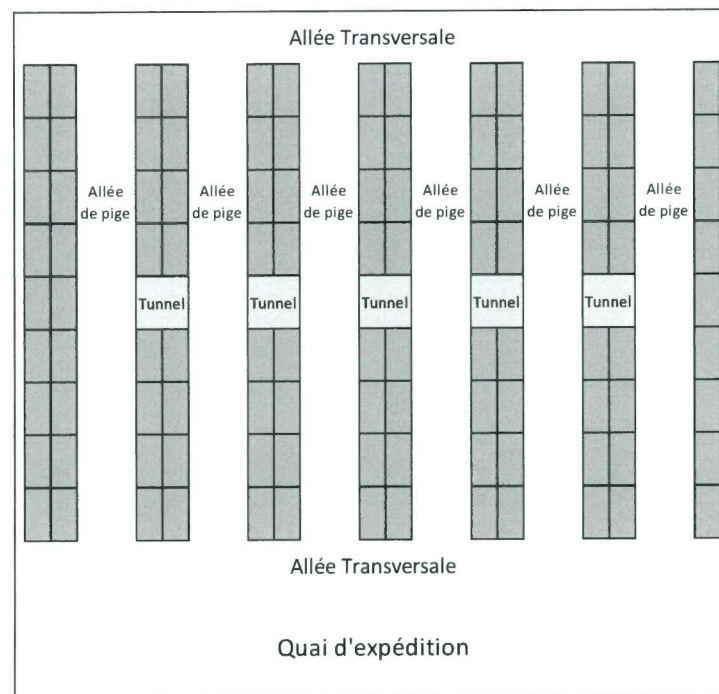
Figure 2 : Zones de préparation de commandes et de réserve superposées



Source : UNS (PTE) LTD - Illustration de palettiers. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.uns.com.sg/warehouse-racks.html> (consulté le 22 février 2016)

Cette configuration permet, entre autres, une réduction des déplacements nécessaires aux réapprovisionnements. L'essentiel de l'espace disponible dans la réserve est dédié à l'entreposage et à la pige de produits peu demandés. Mais il arrive, lorsque la réserve est strictement séparée de la zone de préparation de commandes, que le premier niveau des palettiers de la zone soit utilisé pour des opérations de pige à la caisse (Brochu, 2011). Cela peut accessoirement avoir pour conséquence d'engendrer des opérations de réapprovisionnement intraréserve, des niveaux supérieurs aux niveaux inférieurs. De plus, lorsqu'une commande implique l'expédition d'une ou de plusieurs palettes entières d'un même produit, il n'est pas rare que ces palettes soient directement cueillies depuis la réserve. Concernant la zone de préparation de commande, il arrive que l'on fasse une distinction entre une zone pour les opérations à la caisse et une autre pour celles à l'unité, auquel cas des réapprovisionnements de la zone des unités peuvent se faire à partir de celle des caisses. Pour ce qui est de l'organisation de la zone de préparation de commandes (qui n'est pas très automatisée), on retrouve généralement les éléments présents dans la figure 3.

Figure 3 : Illustration des principaux éléments de la zone de préparation de commandes



Derrière l'aménagement standard ci-dessus qui peut sembler familier aux habitués des questions d'entreposage, se cachent de nombreux arbitrages. Tout d'abord, l'un des arbitrages (parfois négligé) concerne celui s'opérant entre l'espace à allouer au quai et le reste de la zone de préparation de commandes. En effet, plus le quai est large, moins il y aura d'espace pour l'entreposage des produits ce qui réduit la capacité de stockage ainsi que la variété de produit qui peut être entreposé. De plus, réduire l'espace d'entreposage des produits, peut engendrer des problèmes de congestion. Toutefois, si au contraire c'est le quai d'expédition qui n'est pas suffisamment grand, alors il pourrait être saturé et devenir un goulot d'étranglement pour l'activité du centre de distribution dont le but essentiel (rappelons-le) est d'assurer l'expédition des commandes. En effet, il se peut que les commandes acheminées au quai d'expédition (en attente d'être consolidées, enrobées ou simplement chargées à bord d'un camion) submergent ce dernier, rendant les activités d'expéditions extrêmement laborieuses. Pire, il arrive aussi, qu'une fois le quai d'expédition saturé, que des commandes soient déposées le long des allées de pige, ralentissant la préparation des commandes et la rendant parfois impossible, lorsque cette dernière nécessite le déplacement d'équipements spécialisés (comme des chariots élévateurs).

Derrière cet aménagement, d'autres arbitrages sont également présents, comme celui s'opérant entre la largeur de l'espace d'entreposage par rapport à sa profondeur. En effet, plus les allées de pige sont longues (ce qui caractérise la profondeur), plus les déplacements qui seront réalisés par les préparateurs de commandes dans les allées de pige seront importants. Si l'on souhaite réduire la longueur des allées de pige tout en maintenant relativement constante la capacité d'entreposage totale, il est nécessaire d'augmenter le nombre d'allées de pige (qui seront du coup moins longues). Toutefois, ce faisant, en augmentant le nombre d'allées de pige, c'est la largeur de l'espace d'entreposage qui est augmentée. Cela se traduit par une augmentation des déplacements latéraux des cueilleurs le long des allées transversales. Des chercheurs à l'instar de Manzini et al. (2007), Petersen (1997) ou encore Petersen et Aase (2004) se sont penchés sur cet arbitrage à la recherche de ce que serait le ratio idéal entre la largeur et la profondeur des zones de préparation des commandes. Nous aurons l'occasion d'aborder plus en détail ces études dans le prochain chapitre (lors de la sixième sous-section).

La répartition des produits au sein de la zone de préparation des commandes donne également lieu à des arbitrages. De Koster et al. (2007) décrit cinq différentes politiques de réparation des produits (que l'on aura l'occasion de détailler par la suite) qui diffèrent essentiellement de par la spécificité des localisations qui seront destinées à accueillir les différents produits. En effet, dans ces politiques on peut retrouver aux deux extrêmes les politiques où les produits peuvent être entreposés n'importe où et celles où chaque produit possède une localisation spécifique. Le fait de pouvoir entreposer les produits n'importe où offre une certaine flexibilité opérationnelle et permet un taux d'utilisation élevé des capacités d'entreposage. Contrairement au cas où des localisations sont exclusivement destinées à certains produits, car lorsque le produit n'est pas en stock, la localisation reste inutilisée ce qui réduit le taux d'utilisation des capacités d'entreposage. Notons toutefois, que les produits spécifiquement assignés à des localisations, le sont considérant de potentiels bénéfices opérationnels liés à la préparation des commandes en plaçant, par exemple, les produits les plus populaires à proximité des dépôts ou du quai d'expédition (Le-Duc et de Koster, 2005). En revanche, placer de nombreux produits très populaires à proximité les uns des autres peut engendrer des problèmes de congestions importants. Comme solutions intermédiaires entre les politiques de localisations spécifiques et celles où tous les produits peuvent être placés dans n'importe quelle localisation, on retrouve celles où les produits et les localisations sont classifiés de façon à ce que les produits de certaines classifications soient exclusivement affectés aux localisations appartenant à la classification correspondante. Cette approche offre un intéressant compromis entre les différents arbitrages s'opérant dans le choix de la politique de répartition des produits (Brochu, 2011).

Si le cas où les zones de préparation de commandes et la réserve sont confondues peut sembler différer du cas où elles sont strictement séparées, les principaux arbitrages qui s'opèrent dans les deux types de centres de distribution sont très similaires, quelle que soit la configuration en place. Parmi ces arbitrages, l'un des plus importants concerne celui s'opérant entre l'accessibilité des produits entreposés et la densité de l'entreposage. Cet arbitrage est particulièrement bien illustré par l'accessibilité offerte par la zone de préparation de commandes, avec des équipements d'entreposage présentant, entre autres, davantage de localisations, souvent au détriment de la densité d'entreposage. Cette densité est plus importante dans la réserve, où les localisations accueillent généralement des palettes

pleines. Ces dernières, étant entreposées en hauteur, sont moins accessibles et nécessitent généralement l'utilisation d'équipements de manutention particuliers (comme des chariots élévateurs) pour y accéder. De plus, dans les types d'unités d'entreposage utilisés en réserve, il est possible de retrouver des unités permettant plusieurs niveaux de profondeur. Dans ces cas, les produits ne se trouvant pas au premier niveau de profondeur seront plus difficilement accessibles (réduisant ainsi l'accessibilité au profit de la densité). Il est également important de noter que la zone de préparation de commandes utilise des équipements d'entreposage plus spécialisés et plus coûteux dans le but de faciliter les opérations de cueillettes (Bhaskaran et Malmborg, 1990). De plus, étant donné que les localisations dans cette zone sont généralement accessibles seulement depuis le sol, l'espace utilisé par cette zone est plus coûteux comparativement à l'espace utilisé par la réserve qui peut profiter de plusieurs niveaux de hauteurs pour l'entreposage. Les organisations acceptent les coûts plus importants associés à la zone de préparation de commandes, car cette dernière est beaucoup plus efficace pour la réalisation de la cueillette. Or, malgré cet intérêt, les coûts liés à l'entreposage dans cette zone sont suffisamment importants qu'il soit rarement possible de lui assigner la totalité des stocks. C'est pour cela qu'une partie du stock et de la variété des produits sera affectée à la réserve (voire exclusivement affectée à la réserve pour certains produits), afin de réduire les besoins en capacité au niveau de la zone de préparation de commandes et d'en réduire la taille pour diminuer les déplacements. Toutefois, si pour certains produits, une faible quantité de stocks est conservée dans la zone avancée, il sera alors nécessaire de souvent les réapprovisionner depuis la réserve ce qui n'ira pas sans engendrer des coûts supplémentaires. Pour certains produits moins populaires, il arrive que dans le centre de distribution aucune localisation dans la zone de préparation de commande ne leur soit assignée. Dans ce cas, lors de la cueillette, il sera nécessaire de piger ce produit depuis la réserve, ce qui est plus onéreux. Ces questions touchant aux affectations des produits, aux coûts liés à la zone de préparation des commandes et aux réapprovisionnements réalisés depuis la réserve s'inscrivent dans le problème plus large de la zone avancée-réserve.

2.2 Problème de la zone avancée-réserve

Avant de procéder à une revue de littérature des principaux travaux qui ont été réalisés autour de cette question, il est important de définir clairement le problème. Berg et Zijm

(1999) estimaient que 63% des coûts opérationnels étaient attribuables à la préparation des commandes, ce qui rend la recherche d'efficacité au niveau de cette zone primordiale. Dans le problème en question, cette zone est appelée zone avancée et il s'agit de déterminer la configuration (taille, organisation, équipements, etc.) ainsi que les produits qui y seront affectés. En plus de l'utilisation d'équipements spécialisés destinés à améliorer le processus de pique, la taille de la zone avancée est particulièrement importante. En effet, plus celle-ci sera petite, moins il y aura de déplacements pour les cueilleurs et réapprovisionneurs, ce qui permet de générer des économies substantielles. Cela induit la nécessité de limiter le nombre de produits et les stocks qui seront affectés à cette dernière. Toutefois, plus les produits pour lesquels des localisations auront été assignées dans la zone avancée seront faibles en nombre, plus il y aura d'articles qui devront être cueillis depuis les réserves, ce qui est bien plus coûteux que de les cueillir depuis la zone avancée. C'est pour répondre à ces arbitrages que depuis 30 ans, de nombreux chercheurs, conscients du caractère crucial de la question et de ses enjeux, se penchent sur ce problème.

Selon Nguyen et al. (2005), Bozer (1985) fut l'un des premiers à faire la distinction entre la zone avancée et la réserve dans ses travaux en considérant deux cas de figure : l'un où les deux zones sont adjacentes l'une à l'autre et un second où elles sont strictement séparées. Brochu (2011) rajoute qu'il proposa un modèle mathématique permettant d'évaluer certains des arbitrages économiques. Toutefois, bien qu'il se soit interrogé sur les questions d'affectation des produits à la zone avancée, en considérant ces derniers comme étant prédéterminés, l'auteur n'avait pas une approche permettant de traiter précisément de l'affectation des produits.

Il faudra alors attendre cinq ans, toujours d'après Brochu (2011), pour que Hackman et Rosenblatt (1990) proposent une approche pour réaliser la sélection des produits à affecter. Cette approche considère un espace limité dans lequel on souhaite affecter un maximum de produits. Une priorisation des produits à affecter est alors mise en place à l'aide d'un quotient d'affectation et les produits seront assignés jusqu'à ce que l'espace disponible soit complètement utilisé. Bien que relativement simple cette approche souffre de quelques lacunes telles que celles décrites par Berg et al. (1998) qui expliquent que cette approche présente ses limites lorsque la quantité d'articles affectés de certains produits devenait relativement importante comparée aux capacités totales. De plus, cette approche définit

comme fixe le paramètre relatif aux capacités totales d'entreposage. Ce faisant, la résolution du problème ignore de potentiels bénéfiques qui pourraient résulter de changements opérés au niveau de l'utilisation de l'espace, des capacités d'entreposage ainsi que des types d'unités d'entreposage utilisés. Bien que l'approche fût établie dans le cadre d'un système de stockage et de récupération automatique (AS/RS), la même logique reste applicable au problème de la zone avancée-réserve en substituant dans le raisonnement le système AS/RS par la zone avancée. En effet, dans les deux cas, il est question de deux zones : i) une réserve plus large en capacité d'entreposage et contenant les stocks permettant les réapprovisionnements. Ainsi qu'une ii) seconde zone plus limitée dans ses capacités, utilisant des équipements plus spécialisés cueillettes (Bhaskaran et Malmberg, 1990) et où la cueillette s'opère à moindre coût, certes, mais où l'utilisation de l'espace est plus coûteuse. Malgré les quelques limites mentionnées, l'intérêt et l'applicabilité d'une telle méthode au problème avancée-réserve dans un cadre plus général fut confirmée lorsque Frazelle et al. (1994) utilisèrent la même heuristique d'affectation des produits (avec quelques modifications) lorsqu'ils traitèrent du problème de la zone avancée réserve dans le cas d'un système cueilleurs-vers-produits.

Selon Brochu (2011), à la différence d'Hackman et Rosenblatt (1990), Frazelle et al. (1994) ne considèrent pas les capacités d'entreposage (et par conséquent la zone de préparation de commande) comme étant fixes et s'intéressèrent dans leur approche aux dimensions de la zone avancée. Contrairement à leurs prédécesseurs, ils intégrèrent dans leur approche plus de paramètres comme les coûts des équipements et de l'utilisation de l'espace allant jusqu'à considérer l'impact de l'importance des capacités d'entreposage (c'est-à-dire les dimensions de la zone avancée) sur les déplacements des cueilleurs. L'approche a également le mérite de considérer le problème de la congestion en limitant le nombre de cueilleurs. De plus, l'approche fut pensée pour s'appliquer au cas très ré pondu du contexte cueilleurs-vers-produits qui est, justement, celui en place dans le centre de distribution qui sera étudié dans le quatrième chapitre. Concernant, le détail de l'approche, cette dernière consiste à appliquer la méthode décrite plus tôt d'Hackman et Rosenblatt (1990) à des options présentant différentes capacités d'entreposage afin de rechercher la situation minimisant les coûts. Ainsi, la méthode développée par Frazelle et al. (1994) permet de résoudre à la fois la question de la capacité d'entreposage souhaitée dans la zone avancée ainsi que celle de l'affectation des produits en s'appuyant sur les travaux d'Hackman et Rosenblatt (1990) et ce faisant, définit

clairement ce qu'on entend aujourd'hui par le problème de la zone avancée-réserve au sens large. La principale critique qui peut être formulée à l'encontre de ces travaux concerne les approximations réalisées dans les estimations des coûts qui servent aux décisions d'affectation des produits. En effet, les coûts relatifs aux déplacements des cueilleurs furent estimés en ignorant la configuration des allées de pige et la politique de répartition des produits. Or, tel que discuté plus haut, ces deux dimensions relèvent d'arbitrages qui peuvent avoir une forte incidence sur les coûts totaux. Bien que ces lacunes relativisent la qualité des résultats fournis par l'approche, cela ne retire rien au mérite des auteurs qui définirent les grandes lignes du problème avancée-réserve qui serviront de base aux travaux de nombreux chercheurs qui leur succédèrent.

Par la suite, en se référant aux travaux des auteurs présentés précédemment, d'autres chercheurs ont exploré davantage la question en abordant des points plus spécifiques. À l'instar de Gu (2005) qui, dans son modèle, s'intéressa également aux dimensions optimales de la réserve ou encore Bloch et Christiansen (2008) qui s'intéressèrent aux localisations des produits. On retrouve également Berg et al. (1998) qui se pencha le cas particulier des entrepôts et la fluctuation de l'activité au cours d'une journée ou encore Heragu et al. (2005) qui englobèrent dans leurs études la question de la zone de débordement. Toujours dans la continuité des travaux des chercheurs mentionnés précédemment, Nguyen et al. (2005) s'intéressèrent à l'impact de la saisonnalité sur le problème de la zone avancée réserve, étude à laquelle il sera prêté une attention particulière.

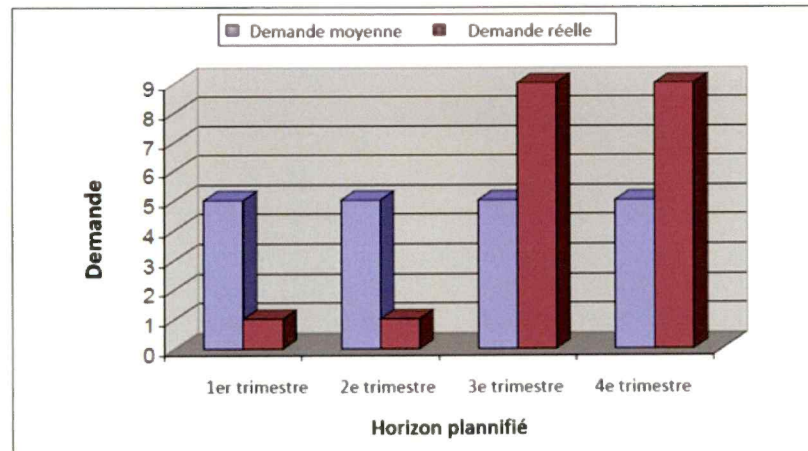
2.3 Nguyen, le problème de la zone avancée-réserve dans un contexte de demande saisonnière

Avant d'aller plus loin, il est important de préciser que la recherche de Nguyen s'est faite dans le cadre d'une thèse de doctorat réalisée à l'université de Louisville. Malheureusement, il ne nous a pas été possible d'avoir accès à l'intégralité de ce travail. Toute l'information qui a été utilisée provient d'un document présentant brièvement la recherche avec le modèle utilisé ainsi que des résultats.

Observant que les travaux de ses prédécesseurs considéraient une demande statique pour répondre au problème de la zone avancée-réserve, Nguyen s'est intéressé aux fluctuations

des demandes s'inscrivant dans ce cadre, le but recherché étant de procéder, selon les saisons (ou périodes), à des affectations de produits à la zone avancée ou à leur retrait dans différentes configurations. Le fait de se poser ces questions selon la saisonnalité de la demande se justifie par l'importance de la demande des produits dans le choix d'affectation. Pour illustrer cette importance, l'auteur présente l'exemple qui suit.

Figure 4 : Exemple de Nguyen sur la saisonnalité de la demande



Source : Traduit de Nguyen, T., Usher, J. et DePuy, G. (2005).: « The Forward-Reserve Problem with Seasonal Demand » IIE Annual Conference. Proceedings (2005): 1-6

Ce graphique a pour but de montrer que dans le cas de certains produits, la demande moyenne (ici en bleu) n'est pas du tout représentative de la demande réelle (en mauve) au cours de l'année. Ainsi, si cette demande moyenne était utilisée pour prendre des décisions sur l'année longue, il en résulterait que les décisions qui seraient prises seraient tout le temps inefficaces. C'est pour cela que Nguyen a envisagé l'intérêt de considérer des saisons où les demandes moyennes se rapprocheraient plus de celles réelles au niveau des horizons considérés pour prendre les mesures adéquates quant à la gestion de la zone avancée-réserve.

Pour étudier l'intérêt de la reconfiguration saisonnière au travers d'un modèle mathématique, l'auteur s'inscrit également dans la continuité des principaux auteurs cités plus tôt, à savoir Bozer, Hackman, Rosenblatt ainsi que Frazelle et al. Il fait également mention dans sa revue de littérature de Berg et Sharp (1998) qui s'intéressèrent au problème de la zone avancée-réserve dans le cas où l'intensité de l'activité varierait au cours de la journée. Il fait également référence à Heragu (2005) et al qui développèrent un modèle mathématique

permettant de réaliser à la fois l'allocation des produits entre les différentes zones et le dimensionnement de ces dernières.

Le modèle mathématique développé par Nguyen porte sur la minimisation des coûts en considérant cinq centres: (1) les coûts associés aux configurations utilisées lors des différentes saisons, (2) ceux résultant des opérations de cueillette dans la zone avancée et (3) dans la réserve, (4) les coûts liés aux réapprovisionnements et (5) ceux associés à la réaffectation des produits. Au regard du modèle, il semble que les seuls coûts de reconfiguration qui soient explicitement considérés sont ceux liés à la réaffectation des produits selon les saisons. Il se peut également que dans les coûts des configurations des différentes saisons, il soit inclus certains qui pourraient être liés à la reconfiguration (malheureusement, pour ne pas avoir eu accès à l'intégralité du travail, il n'est pas possible d'être catégorique sur ce point). Au niveau des configurations, l'auteur en a considéré un nombre fini qui varie selon le pourcentage de produits affectés à la zone avancée. Ainsi, cinq configurations ont été considérées, celles où 10%, 20% 30%, 40% et 50% des produits ont une ou plusieurs localisations dans la zone avancée (en plus d'avoir des stocks dans la réserve).

Pour évaluer l'intérêt de la reconfiguration saisonnière, une demande aléatoire a été générée pour chacune des saisons considérées. Suite à cela deux scénarios furent analysés. L'un où une demande moyenne est calculée sur les quatre saisons étudiées et est utilisée pour choisir une configuration et une affectation optimales à l'aide du modèle qui sera appliqué sur tout l'horizon considéré. L'autre où une demande moyenne sera considérée pour chacune des saisons au niveau desquelles différentes configurations et affectations de produits seront sélectionnées par le modèle mathématique. Pour comparer les deux scénarios, différents paramètres relatifs aux coûts seront définis les uns par rapport aux autres en fonction des coûts qui reflètent leur importance relative.

Figure 5 : Définition des paramètres en vue de l'analyse expérimentale

Ratio	Élevé H	Moyen M	Faible L
F/R	50 %	25 %	10 %
CC/RP	4	3	2
CV	50 %	40 %	30 %

Source : Traduit de Nguyen, T., Usher, J. et DePuy, G. (2005). « The Forward-Reserve Problem with Seasonal Demand » IIE Annual Conference. Proceedings (2005): 1-6

Dans ce tableau F représente le coût de pige dans la zone avancée, R le coût de pige dans la réserve, CC le coût pour retirer un produit de la zone avancée, RP le coût de réapprovisionnement et CV le coefficient de variation de la demande.

Après avoir appliqué les deux scénarios en considérant tous les coûts possibles, l'auteur est parvenu aux résultats qui suivent.

Figure 6 : Résultats présentant les pourcentages d'économies réalisées

F/R	H			M			L		
CC/RP	H	M	L	H	M	L	H	M	L
CV=H	2.17%	2.30%	2.36%	4.98%	5.47%	5.09%	4.80%	5.70%	4.40%
CV=M	1.03%	1.16%	1.11%	2.39%	2.03%	2.55%	2.33%	2.37%	1.91%
CV=L	0.16%	0.14%	0.11%	0.16%	0.19%	0.25%	0.20%	0.17%	0.26%

Source : Traduit de Nguyen, T., Usher, J. et DePuy, G. (2005). « The Forward-Reserve Problem with Seasonal Demand » IIE Annual Conference. Proceedings (2005): 1-6

De l'analyse, il ressort que quel que soit le cas de figure considéré il est plus intéressant de procéder aux changements saisonniers en réalisant des reconfigurations. Les économies qui en résultent varient entre 0.11% et 5.47%. L'auteur observe également que plus les variations de la demande (CV) sont importantes plus les économies réalisées à l'aide de la logique saisonnière seront importantes. Toutefois, les conclusions de l'analyse attestant de l'intérêt à reconfigurer de façon saisonnière les zones doivent être relativisées en ce sens que les données utilisées pour l'expérience ont été générées virtuellement (sans que le détail de la génération soit fourni) et que vraisemblablement cet intérêt serait différent d'une organisation à l'autre. De plus, peu d'information est fournie quant au détail des reconfigurations de la zone avancée selon les saisons.

Ce sont ces lacunes et l'intérêt que suscite le questionnement de Nguyen autour des reconfigurations saisonnières qui justifient notre recherche dont le but est de proposer une méthodologie permettant d'évaluer de manière relativement exhaustive l'intérêt pour une organisation d'adopter le système des reconfigurations saisonnières.

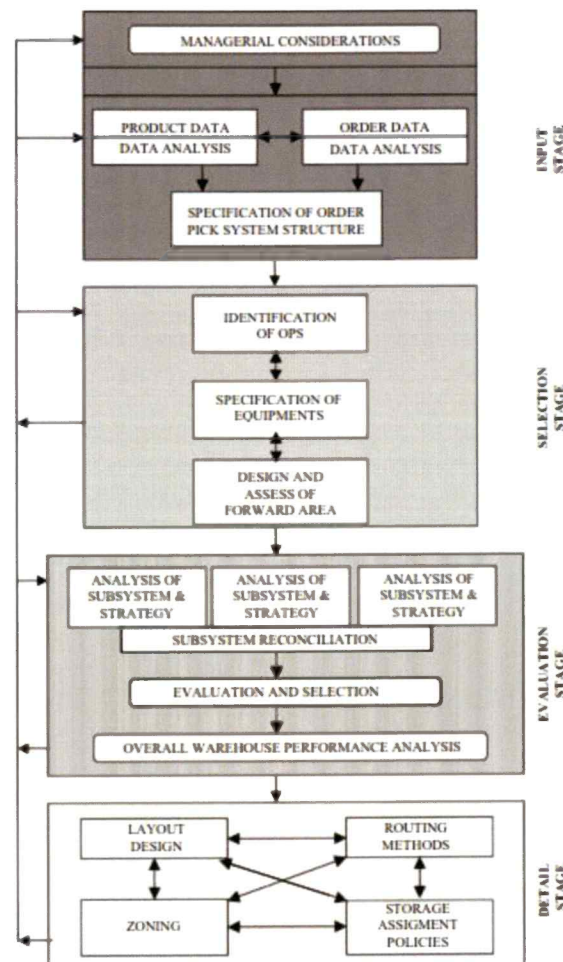
La méthodologie qui sera présentée devrait permettre de mieux évaluer l'intérêt que présente la reconfiguration tout en réalisant au niveau de chaque saison les conceptions des zones de cueillette étudiées (que l'on appellera zone avancée dans la suite du mémoire pour garder à l'esprit le raisonnement en termes de problème avancée-réserve). Cela sera réalisé par l'organisation des allées à la localisation des produits en passant par le choix et la

répartition des unités d'entreposage dans le but de pouvoir estimer avec plus de précision les coûts. Étant donné que l'approche recommandée englobera la conception de zones avancées selon les différentes saisons, il semble important de s'intéresser brièvement aux travaux qui ont été réalisés autour de la question de la conception des zones de préparation de commandes. Précisons que l'on ne s'intéressera pas au détail des décisions de conception, car dans les reconfigurations qui seront réalisées dans le cadre de ce travail, nous resterons fidèles, pour de nombreuses raisons, aux pratiques en place dans l'organisation.

2.4 Conception des zones de préparation de commandes

Goetschalckx et Ashayeri (1989) proposent une approche croisant les politiques internes aux organisations ainsi que des paramètres externes afin d'établir une démarche permettant la conception de la zone de cueillette. Les cinq dernières étapes de la démarche consistent en un processus itératif évaluant différentes alternatives afin d'évaluer les solutions les plus intéressantes. Bien que relativement simples à suivre, le détail des calculs qui permettraient d'aboutir aux résultats ne sont pas fournis. De plus, les auteurs ont exclu de leur processus itératif la détermination des capacités d'entreposage. Cela peut s'avérer particulièrement problématique dans la mesure où cette dimension devrait avoir une forte incidence sur les autres décisions notamment lorsqu'on raisonne en tenant compte du problème avancée-réserve. Yoon et Sharp (1995) proposent à leur tour un cadre de conception de la zone avancée qui cette fois est plus détaillé au niveau de sa réalisation, avec notamment l'application à un cas concret qui permet de bien saisir les différentes étapes de réalisation de l'approche. Ce dernier se divise en trois grandes étapes : l'intégration des données, la sélection et l'évaluation. À nouveau, des éléments à la fois managériaux et environnementaux seront considérés lors de la première étape qui est encore d'ordre analytique. Dans la seconde étape qui est celle de sélection, tout comme avec les auteurs précédents, différentes alternatives seront identifiées et dans la dernière étape, celles-ci seront évaluées afin de choisir des solutions. Bien que plus détaillée, cette approche souffre encore de certaines lacunes notamment au niveau de la sélection des alternatives (Brochu, 2011) et c'est à ces lacunes que Dallari et al. (2009) tâcheront de pallier dans le cadre décisionnel qu'ils ont proposé et qui est illustré à la figure 7.

Figure 7 : Cadre décisionnel de conception de la zone avancée de Dallari et al. (2009)



Source : Dallari, F., Marchet, G., Melacini, M. (2009). Article : "Design of order picking system" *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Volume 42 p. 1-12

Bien que s'inspirant du travail de Yoon et Sharp (1995), deux changements importants sont à noter. La mise en place d'une logique séquentielle au niveau de l'étape de sélection qui la simplifie et l'ajout d'une dernière étape s'intéressant au détail opérationnel de la zone de cueillette. En effet, pour ce qui est de l'étape de sélection, contrairement à ce qui était proposé par Yoon et Sharp, cette dernière n'est plus composée de 4 sous-étapes liées les unes aux autres, mais de trois étapes qui sont séquencées dans un ordre bien précis. La quatrième étape ajoutée concernant le détail opérationnel s'intéresse aux positionnements des produits, à la configuration de la zone avancée et au parcours des cueilleurs, éléments qui

peuvent s'avérer importants dans ce mémoire soucieux d'efficacité opérationnelle dans la conception des zones avancées.

A ce titre, Il est important de noter que dans le cadre du présent travail, la configuration des zones avancées sera réalisée, en grande partie, dans le but d'évaluer les coûts permettant d'estimer l'intérêt de procéder à des reconfigurations saisonnières. En ce sens, dans la méthode qui sera proposée, les démarches exhaustives développées par les précédents auteurs permettant la conception de la zone avancée en répondant à des décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles ne seront pas appliquées. En effet, comme il le sera détaillé dans le prochain chapitre, pour répondre à de nombreuses questions d'ordre stratégique et tactique, les politiques déjà en place dans les organisations seront suivies. C'est davantage sur les considérations formulées lors de la dernière étape décrite par Dallari et al (2009) que l'on s'attardera, car les sous-étapes qu'elle regroupe concernent les éléments qui seront affectés par les changements de zone avancée d'une saison à l'autre.

CHAPITRE III : Méthodologie d'évaluation de la reconfiguration saisonnière de la zone avancée

3.1 Présentation sommaire de la méthodologie

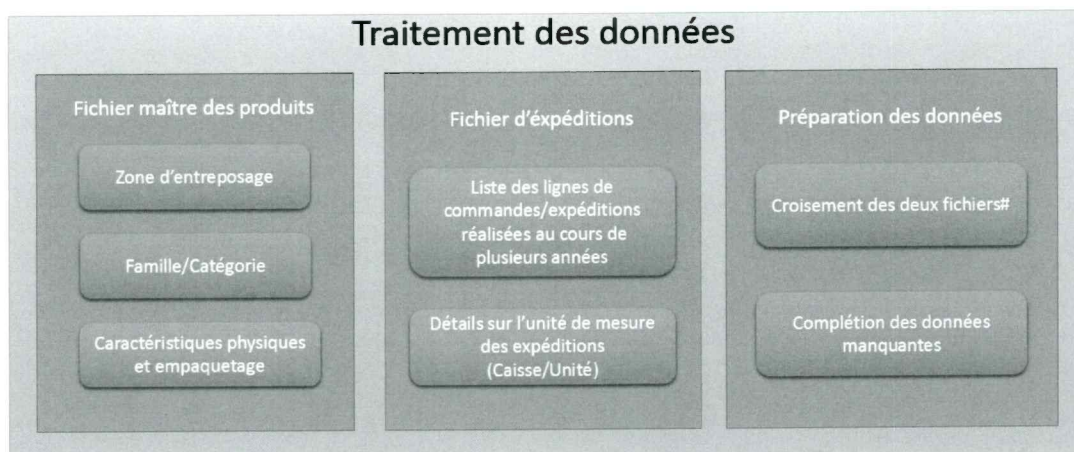
Dans cette première partie du chapitre, un exposé sommaire de la méthodologie sera proposé ainsi que la présentation des principales hypothèses encadrant cette dernière et restreignant le cadre dans lequel elle pourrait s'appliquer.

3.1.1 Présentation de la méthodologie

Rappelons que le but de la méthodologie est de proposer une approche permettant d'étudier l'intérêt de procéder à des reconfigurations saisonnières de la zone avancée au cours de l'année. Pour ce faire, la méthodologie se divise en huit parties qui sont représentées dans les schémas ci-dessous.

- 1) La première partie concernera la présentation des données de l'organisation qui seront utilisées et le traitement qui sera réalisé afin de les mettre en relation et de compléter l'information manquante.

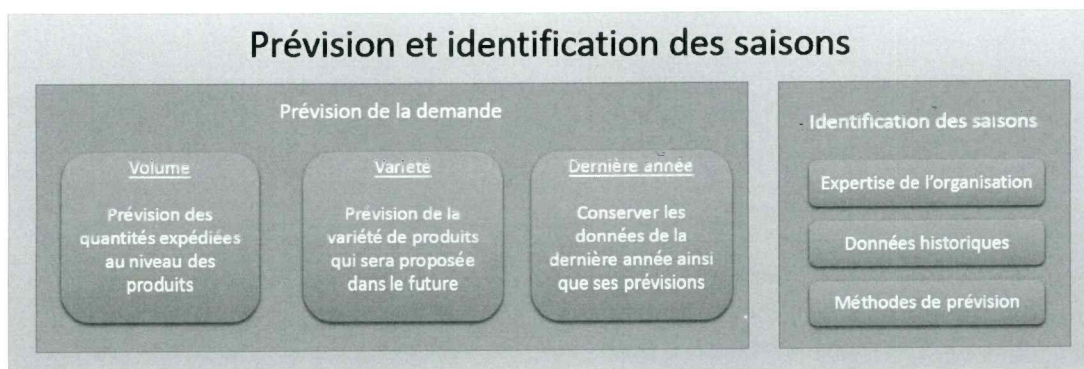
Figure 8 : Traitement des données



- 2) La seconde partie concernera la question de la prévision des expéditions et de la variété de produits à venir ainsi que la division en saisons. À la fin de cette étape, l'extraction des données relatives à la dernière année sera réalisée. Pour cet horizon considéré, on conservera les données relatives à ce qui a vraiment eu lieu et à ce qui avait été prédit.

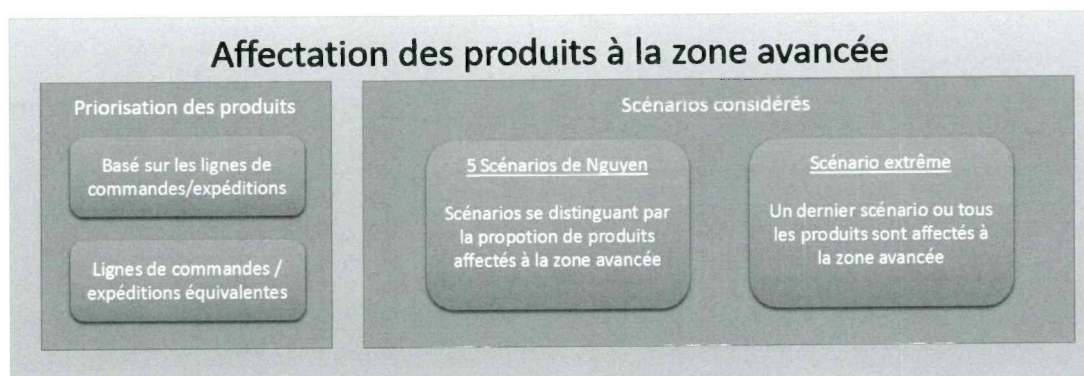
Des volumes d'expédition de référence seront également définis et serviront à la prise de décision dans les étapes ultérieures.

Figure 9 : Prévion et identification des saisons



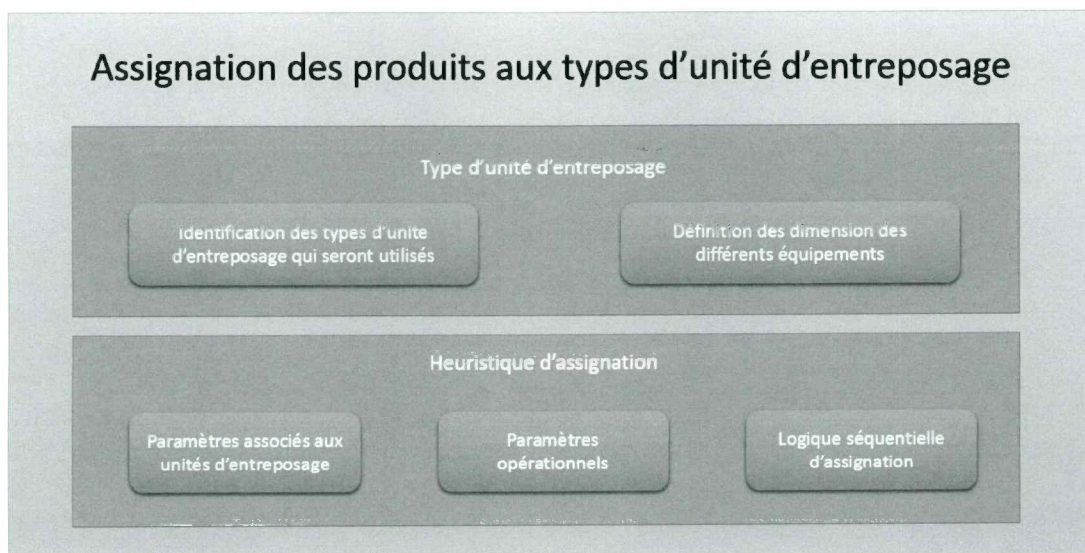
- 3) La troisième partie abordera la question de la sélection des produits qui seront affectés à la zone avancée en fonction des différentes saisons de la dernière année. Les options d'affectation alors considérées s'inspireront de ceux retenus dans la thèse de Nguyen. Pour la sélection des produits à affecter selon les options, tout comme chez Hackman et Rosenblatt (1990) et Frazelle et al. (1994), une logique de priorisation sera employée.

Figure 10 : Affectation des produits de la zone avancée



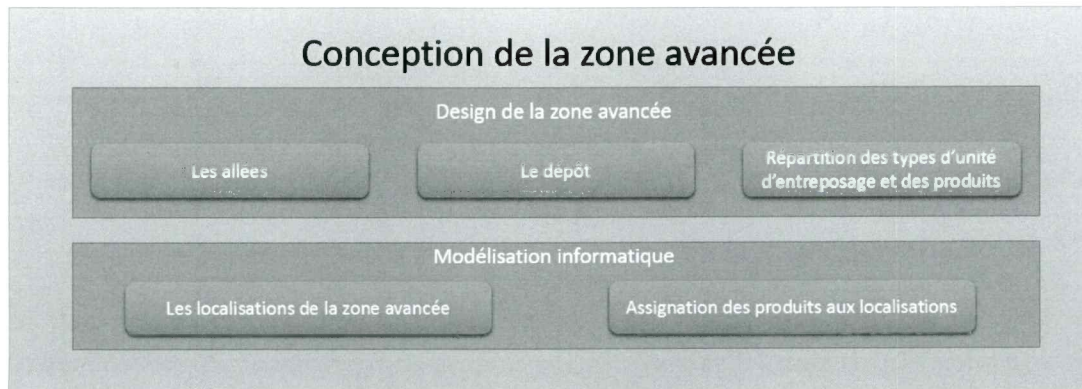
- 4) La quatrième partie consistera en l'assignation d'un type d'unité d'entrepasage à chacun des produits contenus dans les prévisions de la dernière année ainsi que dans les données réelles pour chacune des saisons. Cette assignation sera réalisée à l'aide d'une heuristique dont la logique et l'algorithme seront détaillés.

Figure 11 : Assignment des produits aux types d'unité d'entreposage



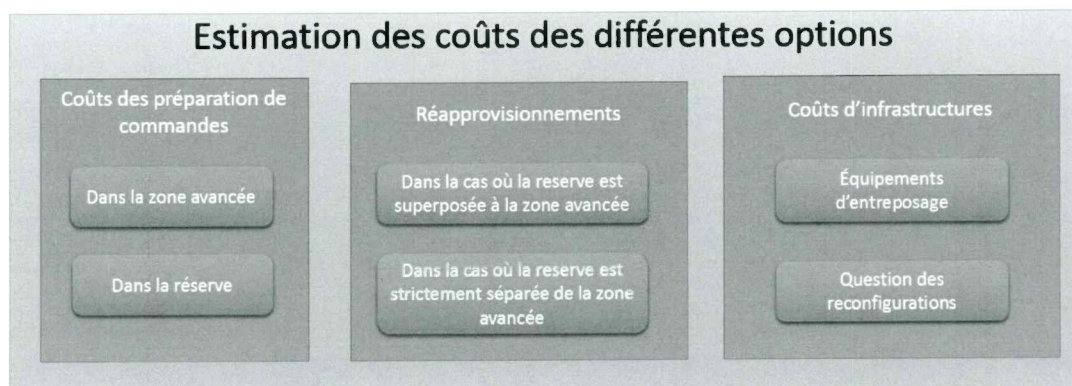
- 5) La cinquième partie présentera une approche permettant de concevoir simplement les zones avancées pour chacune des six options identifiées dans les différentes saisons. Dans l'approche de conception, les pratiques en place dans l'organisation seront suivies et des ajustements au niveau de la configuration des allées, du nombre d'unités d'entreposage, de la répartition des types d'unités d'entreposage et de celle des produits seront réalisés. On peut noter que ces ajustements sont contenus dans la quatrième partie du cadre décisionnel de Dallari et al. (2009) qui concerne le détail opérationnel. Tous ces ajustements, à l'exception de la répartition des produits, seront réalisés en se servant de l'information provenant des données prédites de la dernière année. Pour l'affectation des produits aux localisations des zones avancées, ce sont ceux contenus dans les données réelles de la dernière année qui seront considérés avec leur volume d'expédition réel. Pour comprendre cette logique, il faut se rappeler que ces configurations des zones avancées sont faites dans le but d'estimer les coûts et que, si la conception utilise l'information des prévisions, la simulation des activités et l'estimation des coûts se font sur la base des données réelles. Parallèlement, la modélisation de la zone avancée qui était utilisée par l'organisation au cours de l'année précédente sera aussi modélisée à l'identique en reproduisant l'assignation des produits aux localisations telle qu'elle était.

Figure 12 : Conception de la zone avancée



- 6) Dans la sixième partie, l'estimation des coûts correspondants aux différentes configurations des zones avancées sera réalisée en prêtant une attention particulière à ceux liés à la préparation des commandes. Une estimation des coûts utilisant la même logique devra être réalisée au niveau de la configuration correspondant à la dernière année et reprenant la même répartition des produits. Cette estimation de l'activité réelle de la dernière année est faite afin d'être comparée à la solution optimale de reconfiguration qui sera définie plus tard afin d'évaluer l'intérêt à la reconfiguration saisonnière. Il sera nécessaire de réaliser l'estimation des coûts de la situation actuelle à l'aide de l'approche proposée de façon à s'assurer que les hypothèses derrière le calculs des coûts associés aux solutions identifiées soient également considérées dans le calcul des coûts de la situation actuelle pour des raisons de cohérence.

Figure 13 : Estimation des coûts des différentes options



- 7) La septième partie portera sur un modèle d'optimisation permettant de sélectionner la meilleure combinaison de configuration de la zone avancée en choisissant à chaque saison l'une des options possibles de zone avancée. Ce choix sera réalisé en considérant les coûts propres aux différentes options et les coûts liés aux reconfigurations si ces derniers sont connus.

Figure 14 : Modèle de sélection de la combinaison de configurations optimale

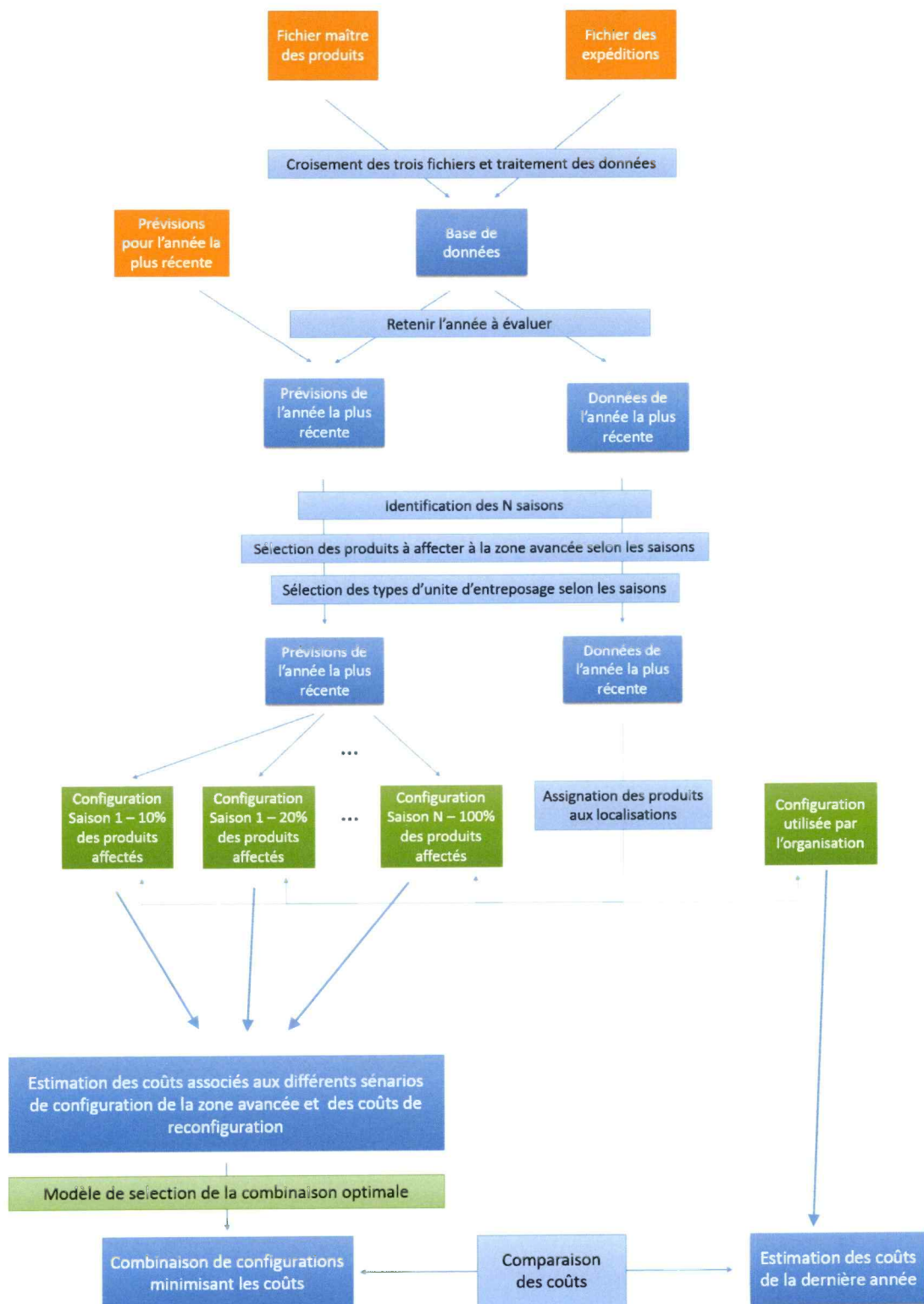


- 8) La huitième et dernière étape aura pour objet d'évaluer la sensibilité de la meilleure combinaison de configurations saisonnières et de comparer les coûts estimés de cette dernière à ceux de la dernière année (sans reconfigurations saisonnières). Des analyses de sensibilité seront alors réalisées afin d'évaluer la cohérence des résultats obtenus à l'aide de la méthode face aux variations de certains paramètres.

La raison pour laquelle aucune étape portant sur la compréhension des pratiques managériales n'a été définie est que tout au long des étapes présentées, de façon régulière, il sera nécessaire de s'interroger sur les pratiques en place dans l'organisation.

Tout au long du chapitre, le traitement des données dans les différentes étapes sera étudié attentivement, car une erreur en amont rendrait difficilement applicables les étapes ultérieures. Afin de clarifier le flux des données au cours des différentes étapes, la figure huit présente l'utilisation des données.

Figure 15 : Flux et traitement de données



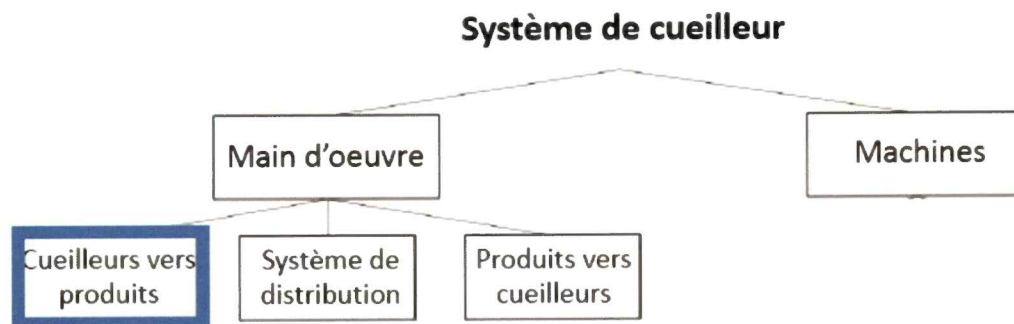
Trois couleurs sont utilisées pour décrire différents types de données : En orange l'information qui provient directement de l'organisation. En bleu, les données de l'organisation qui ont subi un traitement au cours de la méthodologie et, en vert, les données et les éléments qui ont été générés et qui ne sont pas directement en lien avec les données fournies.

3.1.2 Hypothèses

Les hypothèses qui seront présentées dans cette sous partie permettent de réduire le nombre de décisions à considérer et de questions à aborder en restreignant le cadre applicatif de la méthode. D'autres hypothèses plus spécifiques seront formulées au fur et à mesure des différentes parties énumérées auparavant.

Au niveau des systèmes de cueillette, en se basant sur la classification de de Koster (2007), on peut distinguer deux grandes catégories, celles nécessitant une activité intensive de main d'œuvre et celles plus automatisées utilisant des machines.

Figure 16 : Classification des systèmes de cueillette



Source : Traduit et simplifié de de Koster, R.. 2004. "How to assess a warehouse operation in a single tour". Report, RSM Erasmus University, Netherlands, cité dans l'article de de Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, J.K.. 2007. "Design and control of warehouse order picking." *European Journal of Operational Research* 182: p. 481-501

Au niveau de celles utilisant davantage la main-d'œuvre, trois catégories sont à nouveau à distinguer : cueilleurs-vers-produits, produits-vers-cueilleurs et celles utilisant des systèmes de distribution. Parmi toutes ces catégories, les méthodes d'automatisation utilisant des machines, les systèmes de distribution et le système produits-vers-cueilleurs nécessitent généralement plus d'investissements, car ils ont recours à des équipements plus coûteux. Or, plus les investissements nécessaires à la zone avancée sont importants, plus les reconfigurations saisonnières deviennent coûteuses et, par conséquent, moins

envisageables. Pour cette raison, nous ne considérerons que l'organisation cueilleurs-vers-produits qui, généralement, est celle qui nécessite le moins d'investissement pour être mise en place et qui ainsi offre le plus de potentiel de reconfigurations saisonnières.

Concernant les réapprovisionnements, l'attention se portera exclusivement sur ceux s'opérant entre la réserve et la zone avancée, excluant ainsi ceux qui pourraient se faire entre le quai de réception et la zone avancée, entre les zones avancées de caisse et d'unité ou encore les réapprovisionnements intraréserve. La méthodologie est ainsi simplifiée sans pour autant fausser l'étude, car la grande majorité des réapprovisionnements se font entre la réserve et la zone avancée.

Rappelons que dans cette méthodologie, seule la reconfiguration des zones avancées sera traitée. La question de la conception de la zone de réserve ne sera pas abordée directement. Celle qui est déjà existante dans l'organisation sera considérée dans le cas où cette dernière serait strictement séparée de la zone avancée. En revanche, dans le cas où la réserve et la zone avancée sont confondues, avec les localisations de réserve superposées à celles de la zone avancée, les configurations des zones avancées auront une incidence sur la réserve.

Pour l'essentiel, les hypothèses qui seront formulées au fur et à mesure des différentes étapes favoriseront les pratiques répandues dans l'industrie par rapport à celles que la littérature présente comme étant les plus efficaces. Par exemple, au niveau des chemins de pige empruntés par les cueilleurs, bien que la politique populaire dite « d'écart le plus grand » croisée à la politique de traversée en zigzag (Petersen et Schmenner, 1999) soit présentée comme étant la plus efficiente, les politiques de traversée en zigzag et de retour sur ses pas sont les plus répandues et seront celles que l'on étudiera (ce point sera abordé plus en détail dans la partie traitant de la conception des zones avancées). Également, pour répondre à de nombreuses décisions d'ordre tactique et organisationnel au niveau de la conception des zones avancées, on se contentera de reproduire les pratiques déjà existantes dans l'organisation en postulant qu'elle est la plus à même de savoir ce qui est profitable pour ses activités. Ça sera le cas pour le choix de la politique de répartition des produits dans la zone avancée (cette question sera également abordée plus en détail par la suite).

Tous les auteurs mentionnés précédemment qui s'étaient interrogé sur la conception des zones de préparation de commandes (Goetschalckx et Ashayeri, 1988; Yoon et Sharp 1995;

Dallari et al. 2009), se sont intéressés systématiquement aux données de l'organisation lors de la première étape. La méthodologie ici présentée ne fait pas exception et débutera par l'étape de rassemblement et de traitement des données permettant d'aboutir à une base de données.

3.2 Traitement des données

Comme il a été expliqué plus tôt, le but de cette partie est de mettre en place une base de données (avec notamment l'information concernant la dernière année) qui permettra de répondre à de nombreuses problématiques, allant de l'affectation à la zone avancée, jusqu'aux calculs d'estimation des coûts en passant par l'assignation aux types d'unités d'entreposage. Ayant pour ambition d'être simple, cette méthode fait appel à des données qui sont généralement disponibles dans les organisations et qui permettent, en outre, une bonne compréhension de ses activités. Ainsi, les informations qui seront utilisées sont : 1) le fichier maître des produits et 2) le fichier des commandes (ou des expéditions). Le champ qui permettra de mettre en relation les deux fichiers est l'identifiant des produits qui est, dans le jargon utilisé pour décrire les bases de données, la clé primaire dans le fichier maître de produits et la clé lointaine dans celui des commandes.

3.2.1 Fichier maître des produits

Le fichier maître des produits, comme son nom l'indique, fournit l'information détaillée au niveau des différents produits qui sont identifiés de façon unique à l'aide d'un champ présentant un numéro ou une suite de caractères. Étant ainsi défini de façon unique, cet identifiant est souvent désigné par l'acronyme SKU faisant référence à l'appellation anglaise de *Stock Keeping Unit* qui est communément employée en pratique.

3.2.1.1 Organisation du centre de distribution

Dans le fichier maître des produits, de nombreuses informations utiles sont associées aux produits, informations dont la disponibilité varie d'une organisation à une autre. Parmi celles-ci, on retrouve les informations concernant les départements et les catégories des produits. Ces dernières peuvent s'avérer très utiles si dans le centre de distribution, les produits sont regroupés par départements ou par catégories. Prenons l'exemple des centres de distribution alimentaire où souvent ces derniers sont organisés en sections de température ou d'humidité contrôlées strictement séparées afin que les produits soient entreposés dans de bonnes conditions. Au sein de ces sections, on peut à nouveau retrouver une seconde division de la

zone d'entreposage basée cette fois sur des catégories de produits. Pour rester dans cet exemple des centres de distribution alimentaire, l'on constate que, souvent, ces derniers comprennent une section réfrigérée où différentes catégories comme celles des viandes (bœuf, poulet, porc, etc.) peuvent être entreposées. Pour éviter les problèmes de contamination des protéines, ces différentes catégories de viandes sont également séparées au sein de la même section. Il est important de tenir compte de ces divisions dans les questions de conception des zones avancées et spécialement celles concernant les zones strictement séparées étant donné qu'elles impliquent des cloisonnements qui morcellent le centre de distribution. Au cas où ce morcellement entraîne des zones avancées strictement séparées, ces dernières devront être étudiées et traitées de façon indépendante, d'où l'importance de pouvoir les identifier.

3.2.1.2 Caractéristiques physiques et conditions d'entrepôts

Toujours au niveau du fichier maître des produits, on retrouve des informations concernant les caractéristiques physiques des produits telles que les dimensions (longueur, largeur et hauteur), le volume et le poids. Ces caractéristiques sont généralement définies au niveau de la caisse. Il se peut que certains articles soient identifiés comme étant des produits aux formes peu conventionnelles (souvent désignés sous le terme de *odd shapes* en anglais). Par exemple, dans un centre de distribution œuvrant dans la quincaillerie il n'est pas rare de rencontrer ce genre de produits comme des pelles, auquel cas un entreposage adapté est alors utilisé. Il est intéressant d'identifier ce genre de produits, car on ne peut généralement pas les entreposer comme les autres. Pour cette raison, on recommande de les retirer de la base de données.

Il arrive également que l'unité de mesure dans laquelle le produit est expédié soit détaillée, permettant ainsi de faire la distinction entre les produits vendus à l'unité et ceux qui le sont à la caisse. En revanche, il arrive souvent qu'un même article soit vendu aussi bien à la caisse qu'à l'unité. Dans ce cas, la distinction se réalise au niveau de l'unité de mesure donnée dans le fichier des commandes au niveau de la ligne de commandes. Une autre information qui peut s'avérer utile si l'on souhaite convertir des caisses en unités et vice-versa est le nombre d'unités par caisse. Ce facteur de conversion d'unité de mesure pourrait s'avérer utile dans le cas où l'on souhaiterait définir un volume ou un poids pour l'unité du produit si seules les caractéristiques physiques de la caisse sont fournies (et vice-versa). Notons également qu'il y

a parfois deux niveaux d'emballage pour les produits. Dans cette situation, deux facteurs de conversion (ou plus) seront utiles pour obtenir toute l'information. Pour illustrer cette situation, prenons l'exemple d'une caisse de chocolats contenant des paquets, qui eux même renferment des tablettes. Si le chocolat peut être vendu par caisse, par paquet et par tablette, pour réaliser toutes les conversions, il faut alors connaître le nombre de tablettes par paquet et le nombre de paquets par caisse. Il se peut également que d'autres produits soient vendus et échangés dans d'autres unités de mesure, comme au poids ou encore au litre. C'est le cas par exemple pour certains engrais très demandés dans les coopératives agricoles où ces derniers sont entreposés dans des silos. Dans notre approche, nous ne considérerons que les produits transigés dans des unités de mesure conventionnelles (telles que les caisses, paquets, boîtes, unités, etc.), excluant ainsi les autres unités de mesure qui généralement utilisent des équipements d'entreposage spécifiques et qui sont difficilement changeables de saison en saison. Nous excluons aussi ceux qui sont simplement entreposés en vrac, auquel cas peu de décisions sont à prendre concernant l'équipement d'entreposage et les espaces spécifiques à assigner à chaque produit. Pour ces raisons, il est également recommandé d'ignorer ces produits dans la base de données.

Ce qui est à retenir du fichier maître des produits, c'est qu'il permet de comprendre l'organisation du centre de distribution et la nature des contraintes d'entreposage qui s'appliquent au niveau des produits. Il fournit les caractéristiques physiques des produits ainsi que le détail sur l'emballage. Ceci permettra, plus tard, d'uniformiser l'information en exprimant les expéditions à l'aide de valeurs indépendantes de l'unité de mesure (en poids et en volume ou encore en caisse ou unités équivalentes). Finalement, le fichier maître des produits permet également d'exclure les produits qui, de par leurs caractéristiques physiques ou plus généralement la spécificité des contraintes d'entreposage qui sont les leurs, seront simplement ignorés dans la base de données. Notons au passage que ces produits qui seront exclus représentent généralement une petite partie de la variété des produits. Si dans une organisation, le nombre de ces produits se révélait important, cela remettrait en cause l'application de cette approche.

Afin de pouvoir bâtir une base de données complète, il est nécessaire de pouvoir mettre en relation le fichier maître des produits avec l'information concernant de celui des commandes.

3.2.2 Fichier des commandes

Le fichier des commandes présente l'information relative aux commandes (ou expéditions) qui ont eu lieu et certains renseignements spécifiques aux transactions, comme les unités de mesure dans lesquelles elles se sont réalisées. Pour obtenir davantage d'informations spécifiques sur le produit concerné par la transaction il est nécessaire de mettre en relation le fichier maître des produits et celui des expéditions.

3.2.2.1 Présentation du fichier des commandes (ou expéditions)

Avant d'aller plus loin, une description sommaire des informations généralement disponibles dans le fichier s'impose. Ce dernier devrait répertorier toutes les commandes expédiées aux différents clients qui ont été effectuées en donnant le détail au niveau des lignes de commandes qui, pour les besoins de notre approche, devraient au minimum contenir les informations présentées dans l'exemple ci-dessous.

Figure 17 : Exemple de ligne de commande

SKU	Unité de mesure	Quantité	Date d'expédition	# de commandes
1452	Caisses	4	19/06/2014	125876

Cet exemple reprend le numéro du produit concerné, l'unité de mesure dans laquelle la transaction s'est effectuée, la quantité transigée, la date à laquelle la transaction a eu lieu et dans quelle commande cette transaction s'inscrit. Cette ligne de transaction signifie que la commande 125876 comprenait (entre autres) 4 caisses du produit 1452 qui ont été expédiées le 19 juin 2014. À noter qu'une commande se constitue d'une ou de plusieurs lignes et qu'une ligne de commande ne fait référence qu'à une seule commande. De plus, dans le fichier d'expédition il ne peut pas y avoir plusieurs fois des lignes concernant une transaction portant sur une même commande du même produit vendu dans la même unité de mesure à la même date d'expédition pour le même client.

Une autre information qui devrait être souvent disponible, mais qui n'est pas montrée dans notre exemple, car elle n'est généralement pas nécessaire à notre approche, est l'identification du client auquel l'expédition est destinée. Dans notre approche, cette information pourrait s'avérer nécessaire dans le cas particulier où l'organisation du centre de distribution est faite en fonction des clients. Cela se produit souvent avec les tierces parties logistiques (3PL) qui définissent des espaces d'entreposage exclusivement destinés à certains

de leurs clients importants, comme c'est le cas pour le groupe Robert Transport où un espace était spécifiquement destiné au produit de Danone, l'un de leurs clients les plus importants. Pour compléter l'information des lignes d'expédition et commencer à constituer la base de données, il est nécessaire de parfaire l'information des expéditions avec le détail des produits contenu dans le fichier maître des produits.

3.2.2.2 Mise en relation du fichier maître des produits et celui des expéditions
La base de données est constituée en procédant au croisement des deux fichiers mentionnés plus haut en utilisant l'identifiant des produits qui est la clé primaire du fichier maître des produits et la clé lointaine du fichier des expéditions.

La figure présente l'illustration du croisement des deux fichiers aboutissant à une première ébauche de la base de données.

Figure 18 : Fusion des deux fichiers sur la base de l'identifiant des produits

Fichier des commandes				
# de commandes	Unité de mesure	Quantité	Date d'expédition	SKU
125876	Caisses	4	19/06/2014	1452
168963	Unités	4	25/06/2014	1452
175221	Caisses	1	19/06/2014	1452
125876	Unités	7	19/06/2014	2567
168963	Caisses	2	25/06/2014	7895

Fichier maître des produits									
SKU	Département	Catégorie	Longueur (pouces)	Largeur (pouces)	Hauteur (pouces)	Volume (pieds cube)	Unités par caisses	Poids (livres)	
1452	SEC	Biscuit	12	6	15	0.6	6	23	
2567	SEC	Chips	14	8	14	0.9	10	16	
7895	CONGELÉ	POULET	18	12	20	2.5	4	55	

Cube décisionnel														
# de commandes	Unité de mesure	Quantité	Date d'expédition	SKU	Département	Catégorie	Longueur (pouces)	Largeur (pouces)	Hauteur (pouces)	Volume (pieds cube)	Unités par caisse	Poids (livres)	Quantité en caisses équivalentes	Pieds cubes expédiés
125876	Caisses	4	19/06/2014	1452	SEC	Biscuit	12	6	15	0.6	6	23	4.0	2.5
168963	Unités	4	25/06/2014	1452	SEC	Biscuit	12	6	15	0.6	6	23	0.7	0.4
175221	Caisses	1	19/06/2014	1452	SEC	Biscuit	12	6	15	0.6	6	23	1.0	0.6
125876	Unités	7	19/06/2014	2567	SEC	Chips	14	8	14	0.9	10	16	0.7	0.6
168963	Caisses	2	25/06/2014	7895	CONGELÉ	POULET	18	12	20	2.5	4	55	2.0	5.0

L'information relative aux lieux d'entreposage des différents produits est désormais associée aux expéditions. Il est alors possible de diviser les expéditions entre les différents départements ou les différentes catégories. Cette division, on le rappelle, révélera son utilité au cas où il faudrait définir une zone avancée pour chaque partie du centre de distribution. Par exemple dans le cas d'un centre de distribution alimentaire, ce dernier pourrait souhaiter définir une zone avancée pour le sec, une pour le réfrigéré et une autre pour le congelé. Cette division peut aussi se faire au niveau des unités de mesure avec une zone avancée pour les opérations à l'unité et une autre pour celle à la caisse. Il se peut aussi que l'identification des opérations à la caisse soit nécessaire lorsque l'organisation sépare strictement sa zone avancée de la réserve et où les opérations à la caisse se déroulent dans les espaces d'entreposage situés au niveau du sol dans la zone de réserve.

Le détail des produits étant disponible au niveau des lignes de commande, il est désormais possible de calculer de nouveaux champs tels que les quantités transigées en volume, caisses équivalentes, ou encore en unités équivalentes qui permettent de se doter d'une quantité exprimant l'importance relative des expéditions indépendamment de l'unité de mesure (caisses, unités ou autres) et de chiffrer des totaux de volumes expédiés ne tenant pas compte des unités de mesure pour les différents produits. Cela peut s'avérer particulièrement intéressant dans le cas où des produits sont expédiés dans plusieurs unités de mesure différentes, mais pour lesquelles la pige à la caisse et à l'unité se réalise au niveau des mêmes localisations. C'est-à-dire que pour un produit expédié en caisse et en unités et pour lequel une seule localisation dans la zone avancée est définie, l'évaluation des expéditions qui lui sont associées incluant celles réalisées à la caisse et à l'unité, nécessite de définir un champ utilisant une unité de mesure commune. Pour cela, il est recommandé que toutes les expéditions soient également exprimées en volume. Ainsi, de nombreuses décisions contenues dans les prochaines étapes de la méthodologie pourront utiliser l'information des expéditions exprimées en volume.

Il est également important de pouvoir identifier au mieux les lignes de commandes impliquant l'expédition d'une ou plusieurs palettes afin de pouvoir les ignorer dans la base de données. En effet, ces expéditions se font généralement à partir de la réserve et non pas à partir de la zone avancée même si le produit est également disponible dans la zone avancée. Pour éviter de compliquer davantage la méthode, ces transactions sont retirées en partant du principe que de toute façon, de telles opérations sont peu fréquentes et ne devraient donc pas, de par leur rareté, changer les conclusions de l'étude.

Une fois cette base de données établie, il devient possible de supprimer des produits qui avaient été identifiés préalablement. Il arrive souvent que le croisement entre les deux fichiers présentés ne soit pas parfait (que tous les produits ne soient pas présents dans les deux fichiers). Dans ce cas, il sera utile de compléter l'information manquante lorsque nécessaire.

3.2.4 Base de données finale

La base de données alors obtenue contient tous les champs nécessaires aux prochaines étapes. Toutefois, pour certains produits, des champs concernant des informations

importantes sont restés vides, car les produits en question n'étaient pas présents dans tous les fichiers.

Pour résumer les situations auxquelles on peut être confronté, on peut considérer les trois cas de figure possibles considérant les fichiers dans lesquels se trouvent les produits.

- 1) Présent dans les deux fichiers : Dans ce cas toutes les informations nécessaires devraient être disponibles.
- 2) Présent dans le fichier maître des produits, mais absent de celui des expéditions : L'information sur les expéditions des produits fait défaut et il n'est pas nécessaire de la rechercher, car probablement aucune expédition ne fut réalisée pendant l'horizon considéré pour les produits en question.
- 3) Présent dans le fichier des expéditions, mais absent de celui des produits : L'information sur les caractéristiques propres aux produits (empaquetage, volume, poids, dimensions) et les lieux d'entreposage (département, catégorie, etc.) fait défaut et il est nécessaire de déterminer ces paramètres. La reconstitution de ces données se fera en calculant les moyennes pondérées pour les informations pertinentes (poids, volume, longueur, largeur, hauteur et nombre d'unités par caisse, etc.). La pondération se fera en fonction de l'importance des volumes expédiés. Concernant les autres informations pertinentes qui ne sont pas quantitatives, les descriptions des produits qui sont parfois disponibles dans le fichier des commandes pourraient être utilisées pour essayer de compléter l'information.

La validité de cette étape consistant à compléter le manque informationnel de la base de données dépend grandement de la quantité d'informations disponibles et, bien entendu, du nombre de données manquantes. En effet, plus le nombre de produits contenus dans les trois fichiers est important et le nombre d'informations manquantes est faible, plus les moyennes pondérées calculées et utilisées seront fiables.

Une fois les informations manquantes complétées, il est possible de passer à l'étape suivante en s'intéressant aux questions de prévision de la demande et la division de l'année en saisons.

3.3 Prévisions et identification des saisons

Le but de cette partie est d'obtenir les prévisions qui avaient été réalisées pour la dernière année contenue dans la base de données et de réaliser le découpage de cette dernière en

différentes saisons. Dans un premier temps, la question de la division de l'année en saisons sera abordée pour ensuite se concentrer sur la question des prévisions (s'agissant aussi bien des volumes que de la variété des produits).

3.3.1 Identification des saisons

L'intérêt d'un tel découpage de l'année en saisons réside dans les économies potentiellement réalisables si l'on effectuait une reconfiguration de la zone avancée au début de chaque saison. Or l'importance de ces économies repose sur de très nombreux et très différents paramètres, ce qui rend la recherche de la division optimale de l'année extrêmement difficile. Pour cela, à défaut d'obtenir le découpage optimal, l'approche consistera en une division de l'année basée sur l'importance des saisons en termes d'expéditions. En effet, selon les travaux de Nguyen (2005), c'est la saisonnalité et les fluctuations de la demande des différents produits qui justifient l'intérêt à reconfigurer la zone avancée. Pour identifier des saisons en fonction de l'intensité des expéditions il est possible de se servir simplement de l'expertise de l'organisation, des données historiques et de paramètres de saisonnalité utilisés dans certaines méthodes de prévisions.

3.3.1.1 Expertise de l'organisation

Bien entendu, ce sont généralement les membres de l'organisation qui sont les mieux à même de connaître les fluctuations des activités d'expédition au cours de l'année. Il est possible que l'organisation ait déjà recours à des pratiques de segmentation de l'année en saisons en fonction de l'intensité de ses activités. Dans ce cas, une telle segmentation pourrait être utilisée directement pour identifier les saisons. Si les connaissances de l'organisation concernant ses activités d'expédition peuvent être relativement limitées, celle-ci connaît certainement bien son marché et pourrait en déduire, en fonction de l'évolution de sa demande, la détermination de différentes saisons au cours de l'année.

Toutefois, si les connaissances de l'organisation ne sont pas suffisamment riches ou si tout simplement elle souhaite confirmer ses impressions avec une approche plus quantitative, il est possible d'avoir recours à la base de données établie plus tôt en se servant des données historiques qu'elle contient pour appuyer l'identification des saisons.

3.3.1.2 Les données historiques

Pour faciliter la lecture des données historiques, il est recommandé de réaliser un sommaire des données à l'aide de regroupements au niveau des semaines en obtenant l'information

concernant la variété (nombre de produits), le volume des expéditions (en caisses, unités, volume, poids ou unités équivalentes), les lignes de commandes et les commandes. Un tel sommaire présente une information qui peut être utile à trois niveaux pour évaluer l'importance des saisons. Premièrement, les informations sur le nombre de commandes et de lignes de commande informent sur l'activité de pège. Le volume expédié est un bon indicateur de l'importance des quantités pégées et de l'importance d'éventuels réapprovisionnements. La dernière information intéressante qui ressort du sommaire concerne la variation du nombre de produits différents expédiés qui traduit une forme de saisonnalité relative à la variété des produits offerts.

Une troisième approche permettrait également d'évaluer la saisonnalité au cours de l'année. Toutefois, cette approche dépend des méthodes de prévision qui sont utilisées par l'organisation, car certaines utilisent des facteurs de saisonnalité qui expriment la composante saisonnière de la demande.

3.3.1.3 Les facteurs de saisonnalité

L'une des méthodes de prévision les plus connues employant un facteur de saisonnalité est celle de Holt-Winters (ou lissage exponentiel double pour série avec saisonnalité). Dans cette méthode, un facteur de saisonnalité est utilisé pour tenir compte de la déviation de la demande par rapport à la demande moyenne au cours des années. Lorsque ce facteur est proche de 1 cela signifie que la demande est dans une saison relativement moyenne (par rapport à la demande moyenne au long de l'année), plus la valeur du facteur est inférieure à 1 plus la saison est faible et plus le facteur est supérieur à 1 plus la saison est importante (toujours par rapport à la demande moyenne de l'année). Considérant cela, un tel facteur pourrait être utilisé afin de suivre l'évolution des saisons et d'appuyer leur identification, en étudiant les variations de ce dernier au cours de l'année.

En utilisant l'expérience de l'organisation croisée aux données historiques et en s'appuyant éventuellement sur les techniques de prévision, il devrait être possible d'identifier différentes saisons au cours de l'année. D'autant plus qu'une organisation qui s'intéresserait à la question des économies résultant de reconfigurations saisonnières devrait déjà être consciente d'une certaine forme de saisonnalité dans ses activités.

3.3.2 Les prévisions

La littérature regorge d'écrits sur les techniques de prévision de la demande et beaucoup d'entreprises sont dotées de techniques (plus ou moins élaborées) permettant de réaliser leurs prévisions. Le sujet de ce travail n'étant pas d'extrapoler sur les techniques de prévision, on se contentera des prévisions qui ont été réalisées par l'organisation pour la dernière année. Mais avant cela, il est important de préciser pourquoi dans l'évaluation de l'intérêt des reconfigurations saisonnières, on s'intéresse aux prévisions réalisées ainsi qu'aux données réelles de la dernière année.

3.3.2.1 Prévisions et données réelles de la dernière année

Lors de la conception des configurations des zones avancées permettant la réalisation d'économies lors des saisons à venir, l'organisation n'a pas connaissance des données réelles concernant ces saisons et n'a d'autre choix que de se baser sur ses prévisions pour planifier et réaliser les configurations à venir. C'est pour cela qu'il est question d'obtenir, dans cette partie, les prévisions réalisées par l'organisation, de façon à supporter la prise de décisions liées à la conception des zones avancées. Par la suite, pour estimer les coûts associés aux zones avancées conçues, il sera intéressant d'utiliser les données réelles reflétant les activités de l'organisation au cours de la dernière année afin d'évaluer le bien-fondé des décisions de conception prises sur la base des prévisions.

Maintenant que ce point a été clarifié, il est temps de se pencher sur la question des prévisions.

3.3.2.2 Prévision du volume des expéditions

Comme il a déjà été dit, ce sont les prévisions qui ont été réalisées par l'organisation pour la dernière année qui seront utilisées, car l'intérêt des reconfigurations saisonnières des zones avancées dépend également de la capacité de l'organisation à prévoir adéquatement l'évolution du volume d'activité afin de pouvoir réaliser les reconfigurations adéquates. En utilisant ces techniques de prévision, cela donne également l'opportunité d'évaluer indirectement la qualité de ces dernières. Car si dans la méthode proposée les décisions concernant les configurations des zones avancées se basent sur les données prédites pour la dernière année, l'estimation des coûts sera réalisée en utilisant les données réelles de la dernière année. À noter qu'il est nécessaire que les prévisions soient réalisées au niveau de chaque produit, car de nombreuses mesures qui seront prises par la suite dans la

méthodologie se décident au niveau des produits. Dans la mesure du possible, il est également recommandé d'utiliser des techniques de prévision utilisant des facteurs de saisonnalité comme celle de Holt-Winters mentionnée plus tôt. En effet, en se dotant de telles techniques, comme il l'a été expliqué plus haut, l'organisation se dote d'un outil supplémentaire (avec les facteurs de saisonnalité) pour appréhender la dimension saisonnière de ses activités.

Toutefois si la question de la prévision des volumes expédiés ainsi que les techniques permettant de les réaliser sont relativement connues et utilisées par les organisations, celles concernant l'évolution de la variété des produits (à savoir le nombre de produits différents expédiés) l'est moins.

3.3.2.3 Prévision de l'évolution de la variété

L'évolution de la variété des produits est très importante, car la logique des étapes qui suivent dans la méthode proposée s'opère au niveau du détail des produits. C'est l'organisation qui devrait être la plus à même de planifier l'évolution de la variété en se questionnant sur le nombre de produits qu'elle compte introduire ou retirer. Il faudrait également être en mesure d'estimer quels seront les volumes d'expédition des nouveaux produits. Si ces informations sont disponibles, il sera nécessaire de créer virtuellement les nouveaux produits dans la table qui contiendra les données prédites de la dernière année et de supprimer ceux que l'on prévoyait de ne plus expédier.

Toutefois, comme il n'est pas rare que les organisations délaissent ces questions et qu'il n'a pas été possible de trouver des écrits portant sur la prévision de l'évolution de la variété, une méthode simple faisant appel aux données historiques de l'organisation contenues dans la base de données est proposée pour générer virtuellement l'ajout et la suppression de produits afin de refléter l'évolution de la variété.

Tout d'abord il s'agit de conserver les données des deux dernières années qui précèdent celle à laquelle on s'intéresse (soit les années X et Y, où Y est l'année qui suit X).

Pour ces années, des catégories de vélocité seront définies en se basant sur l'importance relative des quantités expédiées par produit. Par exemple trois catégories ABC pourraient être considérées où la A contiendrait les 20% des produits les plus expédiés, la B les 30% prochains et la C les 50% derniers. Ensuite, deux listes de produits seront réalisées en gardant

les champs concernant leur catégorie de vitesse et leur identifiant. Chacune des deux listes correspondra à l'une des deux années afin de pouvoir calculer au niveau de chaque catégorie de vitesse le nombre de produits qui ont été supprimés (ceux qui se trouvent seulement dans X) et ajoutés (ceux qui se trouvent seulement dans Y). Il reste alors à supprimer et à ajouter à nouveau les mêmes nombres de produits selon les catégories de vitesse au niveau de la dernière année qui nous intéresse (où il sera également nécessaire de définir les catégories de vitesse). Concernant la suppression des produits dans les catégories, il est suggéré de supprimer les produits les moins populaires de la catégorie de vitesse en question afin d'éviter de sous-estimer les expéditions futures. Par exemple si dans la section congelée, les produits de catégorie vitesse B ont connu une suppression de N produits entre les années X et Y alors on admet que N produits devraient être à nouveau supprimés entre Y et la dernière année qui nous intéresse. Ces produits à supprimer seront les N moins populaires de la catégorie de vitesse B de la section des produits congelés. Pour ce qui est de l'ajout, à nouveau on rajoute le nombre de produits selon les catégories de vitesse. Dans ce cas, il sera en plus nécessaire de compléter l'information manquante concernant ces produits au niveau des expéditions (lignes de commandes et volumes expédiés). Ces valeurs seront obtenues à l'aide des moyennes pondérées des nombres de lignes de commandes et des volumes d'expéditions calculées au niveau des catégories de produits et de vitesse (la pondération se fera à nouveau par rapport à l'importance des expéditions). Par exemple, si la moyenne pondérée de produits secs de la catégorie de vitesse C est de deux pieds cubes et trois lignes de commandes par semaine alors, pour tous les produits ajoutés virtuellement dans le sec et pour la catégorie de vitesse C, on considèrera deux pieds cubes par semaine et trois lignes de commandes par semaine.

Une fois les prévisions obtenues tant au niveau des volumes que de la variété, les données de prévision de la dernière année sont disponibles. La prochaine sous-étape consiste à organiser les informations obtenues dans un format adéquat pour la prochaine étape de la méthode qui se focalisera au niveau du détail des produits.

3.3.3 Préparation des données

Dans les prochaines étapes, de nombreuses décisions seront prises au niveau des produits. C'est en ce sens qu'avant de pouvoir procéder, il est nécessaire de réaliser un regroupement des bases de données au niveau des produits et des saisons. Lors de cette opération, la

fréquence d'apparition des produits donnera le nombre total de lignes de commande lors de la saison. Il y aura également lieu de sommer les volumes expédiés. Des moyennes hebdomadaires seront ainsi obtenues en divisant les totaux calculés précédemment par le nombre des semaines contenu dans les saisons qui nous intéressent. L'utilisation de moyennes calculées au niveau des produits pour chaque saison pour la prise de décisions semble justifiée dans notre cas, considérant le fait que ces moyennes sont calculées dans des saisons où la demande est relativement stable.

Dans les deux prochaines étapes de la méthodologie, l'approche proposée s'applique au niveau des saisons identifiées en utilisant des données qui ont été regroupées au niveau des produits et des saisons et où l'information pertinente relative aux produits fut conservée.

3.4 Affectation des produits à la zone avancée

Maintenant que l'année à évaluer a été définie et divisée en saisons, il sera question dans cette étape de définir les différentes options de configurations qui seront évalués par saison ainsi que les produits pour lesquels une localisation dans la zone avancée aura été assignée selon les saisons et les options.

3.4.1 Six options par saison

Dans chacune des saisons qui seront définies, six options seront étudiées qui diffèrent par le nombre de produits qui auront des localisations dans la zone avancée, nous inspirant ainsi des travaux de Nguyen (2005) mentionnés dans le chapitre précédent. Dans son évaluation des reconfigurations saisonnières, l'auteur considère cinq configurations différentes où le pourcentage des produits auxquels une localisation sera assignée dans la zone avancée change d'une option à l'autre. Ainsi, tout comme dans la thèse de Nguyen, les options où 10%, 20%, 30%, 40% ou 50% des produits sont placés dans la zone avancée seront considérés. À ces options, un dernier cas où 100% des produits auront une localisation dans la zone avancée est rajouté de façon à évaluer l'intérêt de cette situation extrême. Au final, six options seront évalués par saison. Le choix d'un nombre fini d'options se justifie par l'importance du temps requis pour l'évaluation d'une option qui fait en sorte que si tous les cas de figure possibles étaient considérés cela impliquerait bien trop de temps pour mettre en œuvre la méthode proposée. De plus, selon la documentation disponible, il ressort que seul Nguyen a traité de

la question des reconfigurations saisonnières sur fond de problème avancée-réserve. D'où l'intérêt de s'en inspirer.

La partie qui suit concerne le choix des produits à placer dans la zone avancée selon les saisons et les options considérées.

3.4.2 Logique de sélection des produits affectés à la zone avancée

Il faut tout d'abord rappeler que l'affectation des produits à la zone avancée se fait avant tout sur la base des économies potentiellement réalisables via l'amélioration du processus de pige. Toutefois, mettre un produit dans la zone avancée implique de devoir effectuer régulièrement des réapprovisionnements. De plus, l'espace d'entreposage de la zone avancée est plus coûteux que celui de la réserve à cause de l'utilisation exclusive de localisations accessibles au niveau du sol et l'utilisation d'équipements spécialisés (Bhaskaran et Malmborg, 1990). Toutefois, le fait de cueillir les produits depuis la zone avancée est moins coûteux que de réaliser la cueillette depuis la réserve. Ainsi, le principal élément qui justifiera l'affectation d'un produit à la zone avancée sera la fréquence à laquelle il est pigé et, en ce sens, la variable qui nous semble la plus pertinente à l'affectation est le nombre de lignes de commandes associées aux produits. La technique simple que l'on recommande alors est de réaliser une priorisation basée sur le nombre de lignes de commandes, car il reflète les coûts de pige qui justifient l'affectation des produits aux localisations de la zone avancée. Cette approche s'inspire de celle qui fut utilisée par Hackman et Rosenblatt (1990) dans la mesure où il s'agit d'affecter à une zone dont la capacité est limitée un maximum de produits qui seront sélectionnés via une variable de priorisation. La raison pour laquelle on ne se préoccupe pas également de la question des réapprovisionnements et de la taille de la zone avancée pour décider de l'affectation est que, par la suite, l'heuristique qui réalisera le choix de l'équipement à utiliser et de l'espace à allouer permet de limiter le nombre de réapprovisionnements et l'espace alloué aux produits. Il reste encore à valider le fait que le nombre de lignes de commande soit un bon indicateur pour évaluer l'impact de l'affectation des produits sur les coûts de préparation des commandes. En effet, on pourrait se demander si le volume des expéditions est un meilleur indicateur de ces coûts. La réponse à cette question réside dans le fait de savoir si, dans un système de cueilleurs-vers-produits, il est plus coûteux de piger quatre fois une caisse d'un même produit ou de piger quatre caisses du même produit en une fois. Il semble que la première option soit la plus coûteuse, car elle

implique de se déplacer quatre fois vers la localisation du produit et qu'une fois qu'on est face à une localisation, il n'est pas bien plus long (comparer au temps de déplacements) de prendre quatre caisses que d'en prendre une. Ceci est appuyé par les conclusions de Tompkins (2010) qui estime que 50% des coûts de cueillette sont attribuables aux déplacements des préparateurs de commandes.

Toutefois, cette approche qui consiste à considérer seulement le nombre de lignes de commandes afin d'évaluer les coûts de préparation de commandes montre ses limites lorsque les quantités expédiées par ligne sont très importantes. C'est particulièrement le cas lorsque ces quantités sont si importantes qu'il est nécessaire d'envoyer plus d'un cueilleur (ou plusieurs fois le même) à la localisation du produit pour répondre à la ligne de commande. Toutefois pour tenir compte de l'importance des coûts de préparation de commandes lorsque les quantités expédiées par ligne de commande sont très importantes, il est proposé de définir un champ « lignes de commande équivalentes » qui exprimerait le nombre de lignes de commandes en considérant une quantité maximale qu'un cueilleur peut prendre à lui seul. Il est recommandé que cette quantité soit définie en volume pour tenir compte des dimensions des caisses. Ce maximum peut différer d'une organisation à l'autre en fonction des capacités de l'équipement de manutention utilisé pour la préparation de commandes. Une fois ce maximum défini on peut l'utiliser pour calculer le nombre de lignes de commandes équivalentes en appliquant la logique suivante.

- Lignes de commande équivalentes = Arrondies à l'unité supérieure (Volume expédié au niveau de la ligne de commande / Volume maximal permis)

Il est à noter que ce calcul devra s'effectuer au niveau de la base de données avant le regroupement au niveau des produits et des saisons.

La prochaine étape va être réalisée dans les différentes saisons identifiées au niveau des prévisions de la dernière année. Il s'agira d'affecter à la zone avancée, selon les saisons, les produits dépendamment du nombre de lignes de commande (ou lignes de commande équivalentes) et du pourcentage de produits à affecter relatif aux options (10%, 20%, 30%, 40% 50% et 100%). Par exemple, dans la saison 2 et dans l'option où 20 % des produits auront une localisation dans la zone avancée, les 20% de produits avec le plus de lignes de commandes (équivalentes) seront affectés à zone avancée.

Les étapes qui suivent vont permettre de concevoir les zones avancées selon les options et les saisons considérés. Mais avant de rentrer dans les détails des configurations, il est nécessaire de s'intéresser à certains types d'unités d'entreposage que l'on est susceptible de rencontrer.

3.5 Sélection des types d'unités d'entreposage

Dans cette partie, nous présentons l'heuristique permettant, dans chacune des saisons, la sélection du type d'unités d'entreposage pour chaque produit en fonction de l'importance de ses expéditions et de ses caractéristiques physiques. Avant cela, différents types d'équipements régulièrement utilisés dans les centres de distribution, où un système de cueillette de type cueilleurs-vers-produits est en place, seront décrits.

3.5.1 Type d'unité d'entreposage dans un système de cueilleurs-vers-produits

Dans le rapport « *Small parts order picking : design and operation* » de Choe et Sharp (1991), il est fait mention de nombreux types d'équipement d'entreposage dont ceux retrouvés dans les systèmes cueilleurs-vers-produits. Dans ces systèmes, on peut distinguer quatre catégories d'unités d'entreposage : les casiers, les étagères standards, les étagères à rouleaux à gravité inversée et les palettiers (dont le nombre de niveaux de profondeur et les logiques d'accumulation varient). Avant que l'heuristique ne soit présentée, une description de ces différents types d'unités d'entreposage conventionnels va être proposée de façon à mieux comprendre la logique de l'heuristique qui sera décrite par la suite.

3.5.1.1 Les casiers

Figure 19 : Exemple de casiers (« Shelvings »)



Source : PRWeb - Illustration de «Industrial Shelvings ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.prweb.com/releases/industrial-shelving/krazy-cap/prweb10817430.htm> (consulté le 5 février 2016)

L'image ci-dessus présente des casiers souvent appelés *Shelvings* en anglais. Bien que de telles unités d'entreposage seraient plus communément désignées comme étant des étagères, nous les appellerons casiers afin de réserver l'appellation d'étagères aux rayonnages standards où des plateformes furent installées pour permettre plusieurs niveaux de piges (ces unités d'entreposage sont appelées *handstack* en anglais et seront présentées prochainement). Il est généralement possible de placer les casiers au premier niveau de rayonnages simple profondeur afin de pouvoir profiter des niveaux supérieurs d'entreposage. Les types de localisations qu'offre ce genre d'équipement ont une capacité de stockage relativement faible, ce qui fait qu'en moyenne, à volume d'expédition équivalent, les produits entreposés dans ce type de localisation nécessiteront davantage de réapprovisionnements que ceux placés dans d'autres types d'unités d'entreposage. Toutefois, le nombre important de localisations qu'offrent les casiers peut s'avérer intéressant lorsqu'on a une variété de produits importante pour lesquels on a peu d'expéditions. Les produits placés dans ce genre de localisation possèdent généralement des volumes d'expédition relativement faibles afin d'éviter d'effectuer un nombre important d'expéditions. Il arrive également que dans ces localisations, tout le stock de certains produits soit contenu. C'est le cas pour ceux qui ont un très faible volume d'expédition. Il en résulte que le volume des stocks est suffisamment faible

pour être contenu entièrement dans la localisation de pige et que n'étant situé que dans le périmètre de la zone avancée, il ne nécessite pas de réapprovisionnements.

3.5.1.2 Étagères

Figure 20 : Exemple d'étagères



Source : China Quality Suppliers - Illustration d'étagère. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.nypolicyfinder.com/sale-5378423-three-tier-durable-warehouse-storage-racks-garage-storage-shelving-systems.html> (consulté le 5 mars 2016)

La figure 13 montre un exemple d'étagère (souvent appelées *handstack* en anglais) à trois niveaux. Par localisation, on a une plus grande capacité que pour les casiers montrés plus haut. Ainsi, pour un volume d'expédition équivalent, un produit auquel on aurait donné une localisation de pige dans une étagère standard aura généralement moins de réapprovisionnements que si on lui avait donné une localisation dans un casier. En revanche, des difficultés ergonomiques sont à craindre avec ce type d'équipement. En effet, si on a une étagère de quatre niveaux et qu'il faut se saisir d'un produit au quatrième niveau à 30 pouces de profondeur, cela peut s'avérer très compliqué pour un cueilleur, le mettant dans de mauvaises conditions ergonomiques, affectant par la même occasion l'efficacité du processus de pige.

3.5.1.3 Les étagères à rouleaux à gravité inversée

Figure 21 : Exemple d'étagères à rouleaux à gravité inversée



Source : The Performance People - Illustration de « Case Flow Rack » . [En ligne]. Disponible sur : <http://www.performancepeople.com/storage/warehouse-racking/carton-flow-racks> (consulté le 5 mars 2016)

Les étagères à rouleaux à gravité inversée vues de face peuvent être semblables aux étagères. La différence réside dans le fait que les caisses sont déposées sur une plateforme inclinée faite de rouleaux permettant le glissement des produits situés à l'arrière lorsqu'une caisse est pignée, facilitant ainsi le travail des cueilleurs. De plus, contrairement aux étagères standards, les rouleaux à gravité inversée occupent souvent l'équivalent de deux niveaux inférieurs de rayonnage comme cela est constaté sur le schéma représentant la vue de profil. Ainsi, ce type de rayonnages possède une plus grande capacité de stockage et, en ce sens, à volume d'expédition équivalent, nécessitera moins de réapprovisionnements que les étagères standards présentées plus tôt. De plus, comparés à ces dernières, les rouleaux à gravité inversée sont bien plus intéressants au niveau ergonomique, car les caisses glissent vers l'avant grâce aux rouleaux et il n'est plus nécessaire pour les cueilleurs de devoir aller les chercher au fond des rayonnages. Ce type d'unités d'entreposage présente également un intérêt particulier lorsque le roulement des produits est important, comme dans l'industrie alimentaire, car il force une politique du « premier entré premier sorti » permettant un meilleur suivi de la périssabilité des produits. Notons également que si ce genre d'unités d'entreposage est retenu, des contraintes au niveau du poids des caisses (ou des unités) qui

y seront entreposées devront être imposées (et devraient être fournies par le fournisseur du matériel d'entreposage).

3.5.1.4 Unité d'entreposage accueillant des palettes.

Figure 22 : Exemple de rayonnage simple profondeur



Source : Studyblue - Illustration de rayonnages simple profondeur. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.studyblue.com/notes/note/n/iae-449-material-handling-equipment-review/deck/13623250> (consulté le 5 mars 2016)

Dans cette partie, on retrouve les unités d'entreposage dont les localisations de pige accueillent directement des palettes dans leur intégralité à partir desquelles les cueilleurs prennent des caisses (et parfois des unités) pour préparer des commandes. Ce type de rayonnages possède une plus grande capacité de stockage comparativement aux autres types d'unités d'entreposage abordés auparavant. C'est pour cette raison que les palettiers, à volume expédié équivalent, nécessitent moins de réapprovisionnements que les autres types d'unités d'entreposage déjà mentionnés. De plus, il est possible d'avoir plusieurs niveaux de profondeur permettant de multiplier la capacité des localisations par le nombre de niveaux de profondeur. Parmi les unités d'entreposage offrant une meilleure densité avec un nombre de niveaux de profondeur relativement important, on retrouve les *drive in* comme l'illustre l'image ci-dessous.

Figure 23 : Exemple de "drive in"



Source : Kingdom shelves – section drive in – [En ligne] Disponible sur : <http://kingdomshelves.com/drive-in-thru.html> (consulté le 22 février 2016)

3.5.1.5 Synthèse

Le tableau suivant illustre les avantages et les inconvénients relatifs des différents types d'unités d'entreposage mentionnés précédemment.

Tableau 1 : Arbitrage entre les différents types d'unités d'entreposage

Type de rayonnages	Densité d'entreposage	Nombre de localisations	Réapprovisionnement à expéditions équivalentes
Casier	--	++	++
Étagères standards	-	+	+
Rouleaux à gravité inversée	+	+	-
Palettiers	++	-	--

La compréhension des types d'unités d'entreposage et des arbitrages qui s'opèrent dans le choix d'en retenir certains par rapport à d'autres, servira à la logique d'assignation des types d'unités d'entreposage de l'heuristique qui va être présentée.

3.5.2 Heuristique de sélection du type de rayonnages

Le but de l'heuristique qui va être présentée est de sélectionner un type d'unités d'entreposage pour chacun des produits selon les saisons en se basant sur les caractéristiques physiques de ces derniers, les localisations d'entreposage utilisées par l'organisation ainsi que les informations concernant les expéditions. À noter que cette heuristique s'inspire des pratiques en vigueur dans au moins deux firmes de consultation spécialisées dans les questions d'entreposage.

3.5.2.1 Paramètre de l'heuristique

Les unités d'entreposage qui sont utilisées par l'organisation seront celles considérées par l'heuristique. Pour l'exécution de cette dernière, il sera nécessaire de définir la valeur de nombreux paramètres en fonction des pratiques organisationnelles.

Paramètres concernant les types d'unités d'entreposage et leurs caractéristiques physiques

- Pour les casiers et les étagères, il sera nécessaire de définir : Hauteur / Largeur / Profondeur / Volume / Nombre de localisations par unité d'entreposage / Espace tampon

Définition et rôle de l'espace tampon: Pour être assignés à une localisation, il est nécessaire que les dimensions de la caisse (ou de l'unité) soient inférieures à celles de la localisation d'accueil. Si les dimensions de la caisse (ou de l'unité) sont inférieures, mais trop proches des dimensions des localisations, il peut alors être compliqué de retirer et de réapprovisionner le produit de la localisation, car il n'y aura pas suffisamment d'espace pour passer ses mains afin de saisir le produit. C'est pour cela qu'un espace tampon est ajouté virtuellement aux dimensions du produit afin de s'assurer que les cueilleurs et les réapprovisionneurs puissent accéder et placer les produits sans difficulté.

- Pour les étagères à rouleaux à gravité inversée, il sera nécessaire de définir : Hauteur / Largeur / Profondeur / Volume / Nombre de localisations par unité d'entreposage / Espace tampon / Poids maximal et poids minimal

Le poids de la caisse qui sera entreposée au niveau de l'unité d'entreposage est important dans ce cas, car, comme son nom l'indique, ce type d'unité d'entreposage se sert de la gravité afin de faire glisser les caisses le long des rouleaux et d'ainsi faciliter la pige. Toutefois, si la caisse est trop légère il se peut que les rouleaux ne soient pas suffisamment inclinés pour permettre un roulement efficace des produits. À l'opposé, si la caisse est trop lourde, cela

risquerait d'endommager l'unité d'entreposage en faisant plier les plateformes de rouleaux, entravant du coup le roulement des produits entreposés.

- Pour les palettières simples ou multi profondeurs, il sera nécessaire de définir : Hauteur / Largeur / Profondeur / Volume / Nombre de localisations par unité d'entreposage

On peut noter que pour ce type d'unité d'entreposage, qui est destiné à accueillir des palettes entières, il n'est pas nécessaire de considérer d'espace tampon, car les caisses sont entreposées sur des palettes et qu'il ne sera pas nécessaire de définir des contraintes au niveau des dimensions des caisses et des localisations.

Il reviendra à l'entreprise de déterminer le nombre de jours de stocks qui devrait minimalement être disponible dans les localisations pour chaque type d'unités d'entreposage considérant le volume d'expédition moyen défini plus tôt. À noter que se sont ces nombres de jours de stock qui seront utiles au contrôle du nombre de réapprovisionnements.

Nombre de jours de stock minimal qui devra être contenu dans les localisations par type d'unités d'entreposage

Permettant de contrôler le nombre de réapprovisionnements, ce paramètre de l'heuristique est essentiel. Pour chaque type d'unité d'entreposage, il sera nécessaire de définir (avec la participation de l'organisation), un nombre minimal de jours de stocks que la localisation devrait être en mesure de contenir en fonction du volume d'expédition de référence au niveau des différents types d'unités d'entreposage utilisés.

Exemple : soit une localisation ayant une capacité de cinq pieds cubes, pour laquelle l'organisation a défini un nombre minimal de deux jours de stock. Un produit ayant un volume d'expédition de référence de trois pieds cubes par jour ne pourra pas être assigné à la localisation présentée plus haut, car deux jours de stocks pour ce produit correspondent à six pieds cubes d'expéditions (de référence) qui excède les capacités de la localisation qui sont seulement de cinq pieds cubes.

Il est recommandé d'avoir des nombres de jours de stock plus importants pour les types d'unités d'entreposage qui n'accueillent pas des palettes. En effet, le réapprovisionnement de ce type d'unités se fait depuis des palettes se trouvant dans des localisations en hauteur et il est nécessaire de faire descendre les palettes, retirer les produits, replacer la palette et finalement réapprovisionner les localisations. Alors que pour les unités d'entreposage de type

palettiers, il est possible de prendre la palette des niveaux supérieurs et de directement la placer dans la localisation nécessitant le réapprovisionnement.

Paramètres opérationnels à définir

- Nombre de jours opérationnels : c'est-à-dire le nombre de jours où le centre de distribution est actif. Si par exemple le centre de distribution est opérationnel du lundi au vendredi alors le nombre de jours opérationnel sera de cinq.
- Le pourcentage d'ouverture : cela consiste en un nombre de localisations supplémentaires que l'on rajoutera afin de se doter d'une marge lors de la conception de la zone de préparation de commandes afin de prévenir d'éventuelles augmentations de la demande ou de la variété de produits offerts par rapport à ce qui avait été prévu.
Exemple : si l'heuristique donne un résultat de 110 unités d'entreposage et que l'on avait sélectionné un pourcentage d'ouverture de 10 %, cela signifie que sur les 110 unités d'entreposage, 10 sont des unités supplémentaires constituant la marge.
- Pourcentage d'utilisation des unités d'entreposage : ce pourcentage est destiné à représenter le fait qu'en raison de la forme des produits (caisses ou unités) et des localisations, il n'est pas possible d'utiliser la totalité de l'espace disponible des localisations. Pour pallier à cela, un taux d'utilisation de cet espace sera défini (de nombreuses organisations adoptent l'hypothèse d'une utilisation de 85%)
Exemple : si la capacité brute d'une localisation est de 5 pieds cubes, alors la capacité considérée sera de 5 pieds cubes x 85% d'utilisation soit 4.25 pieds (réellement utilisés en moyenne dans les localisations de cette dimension).

3.5.2.2 Description de la logique de l'assignation

Il serait possible de résumer la logique de l'heuristique en une phrase : choisir les types d'unités d'entreposage en utilisant peu d'espace d'entreposage tout en contrôlant le nombre de réapprovisionnements. Pour ce faire c'est une logique séquentielle qui est employée au niveau de chaque produit dans laquelle les différents types d'unités d'entreposage sont considérés en commençant par celui offrant le moins d'espace dans sa localisation et en finissant par celui qui en offre le plus. Au moment où, dans la séquence, un produit répond aux contraintes permettant l'assignation au type d'unité d'entreposage considéré, la logique séquentielle se termine et le produit est assigné au modèle en question. Le produit sera automatiquement assigné au dernier type d'unité d'entreposage (celui offrant le plus

d'espace dans sa localisation) dans le cas où il n'aurait pas pu convenir aux contraintes des autres types qui ont été considérés préalablement. En plus des contraintes, s'assurer que les caractéristiques physiques des localisations conviennent à celles des produits, l'une des conditions d'assignation étant que le nombre de jours de stocks minimum voulu qui peut être contenu dans la localisation soit respecté. Ainsi, la quantité des réapprovisionnements sera sous contrôle. En effet, si on a au minimum un jour de stock dans la localisation, il n'y aura en moyenne pas plus d'un réapprovisionnement par jour. Comme il a été déjà vu plus haut, la capacité en jours de stock des localisations dépend des volumes d'expédition des produits qu'elles contiennent, et c'est à ce niveau précisément que les volumes d'expéditions moyens des produits calculés plus tôt seront considérés.

La faille principale de la logique présentée concerne les avantages ergonomiques à réaliser la pige depuis un type de localisation plutôt qu'un autre qui ne sont pas considérés dans le séquençement des types d'unités d'entreposage. En effet, dans ce protocole, les produits les plus demandés finiront généralement dans des localisations accueillant des palettes alors qu'il est bien plus ergonomique, par exemple, de piger depuis les étagères à rouleaux à gravité inversée. Reste encore à savoir si les économies liées à l'avantage ergonomique excèdent celles réalisées grâce à la diminution des réapprovisionnements et à la meilleure utilisation de l'espace.

Afin d'illustrer l'heuristique qui vient d'être présentée, la prochaine partie décrira l'algorithme permettant sa réalisation dans le cadre d'une situation fictive.

3.5.2.3 Algorithme heuristique

Des valeurs arbitraires seront utilisées et attribuées aux paramètres afin d'illustrer l'algorithme. Trois types d'unités d'entreposage seront considérés : les casiers, les étagères à rouleaux à gravité inversée et les palettiers simple profondeur.

Exemples de paramètres

Paramètres généraux

- Pourcentage d'utilisation: 85% - Ouverture : 10% - Jours opérationnels : 5 jours

Pour les casiers

- Espace tampon = 0.1 pied - Profondeur : 1 pied - Largeur : 1 pied

- Hauteur : 1 pied
- Capacité : 1 pied cube
- Capacité opérationnelle : 0.85 pied cube
- Nombre de jours de stock : 5 jours
- Nombre de localisations par unité d'entreposage = 28

Pour les étagères à rouleaux à gravité inversée

- Espace tampon = 0.1 pied
- Profondeur : 1 pied
- Largeur : 2 pieds
- Hauteur : 1 pied
- Capacité : 2 pieds cubes
- Poids maximum : 60 Livres
- Poids minimum : 5 livres
- Capacité opérationnelle : 1.7 pied cube
- Nombre de jours de stock : 4 jours
- Nombre de localisations par unité d'entreposage = 21

Pour les palettiers simple profondeur

- Profondeur : 3.5 pieds
- Largeur : 3.5 pieds
- Hauteur : 4.5 pieds
- Capacité : 55.13 pieds cubes
- Capacité opérationnelle : 46.86 pieds cubes
- Nombre de jours de stock : 2 jours
- Nombre de localisations par unité d'entreposage = 2

Logique d'assignation séquentielle

- Assignation aux casiers
 - $SI \text{ (Expéditions hebdomadaires moyennes en pieds cubes / 5 [jours opérationnels])} \times 5 \text{ [jours de stocks]} < 0.85 \text{ pied cubes [Capacité opérationnelle]}$
 - $ET \text{ Hauteur} + 0.1 \text{ [Espace tampon]} < \text{[Hauteur localisation]}$
 - $ET \text{ Maximum (Longueur / Largeur)} + 0.1 \text{ [Espace tampon]} < \text{Maximum (1[Longueur] / 1[Largeur])}$
 - $ET \text{ Minimum (Longueur / Largeur)} + 0.1 \text{ [Espace tampon]} < \text{Minimum (1[Longueur] / 1[Largeur])}$
 - ALORS FAIRE :
 - Type d'unité d'entreposage = « Casier »
 - Nombre de localisations = $1 \times (1 + 10\%[\text{Ouverture}])$
 - Nombre d'unités d'entreposage = $\text{Nombre de localisations} / 28$
[Nombre de localisations par unité d'entreposage]

- Nombre d'unités d'entreposage équivalentes = Nombre d'unités d'entreposage
- Assignation aux rouleaux à gravité inversée
 - $\text{SINON SI (Expéditions hebdomadaires de référence en pieds cubes / 4 [jours opérationnels])} \times 4 \text{ [jours de stocks]} < 1.70 \text{ pieds cubes [Capacité opérationnelle]}$
 - $\text{ET Hauteur} + 0.1 \text{ [Espace tampon]} < \text{[Hauteur localisation]}$
 - $\text{ET Maximum (Longueur / Largeur)} + 0.1 \text{ [Espace tampon]} < \text{Maximum (1[Longueur] / 1[Largeur])}$
 - $\text{ET Minimum (Longueur / Largeur)} + 0.1 \text{ [Espace tampon]} < \text{Minimum (1[Longueur] / 1[Largeur])}$
 - $\text{ET5 [Poids minimum]} < \text{Poids} < 60 \text{ [Poids maximum]}$
 - ALORS FAIRE :
 - Type d'unité d'entreposage = « Rouleaux à gravité inversée »
 - Nombre de localisations = $1 \times (1 + 10\% \text{ [Ouverture]})$
 - Nombre d'unités d'entreposage = $\text{Nombre de localisations} / 21 \text{ [Nombre de localisations par unité d'entreposage]}$
 - Nombre d'unités d'entreposage équivalentes = $2 \times \text{Nombre d'unités d'entreposage}$
- Assignation aux rayonnages simple profondeur
 - SINON FAIRE
 - Type d'unité d'entreposage = « Rayonnages simple profondeur »
 - Nombre de localisations = $1 \times (1 + 10\% \text{ [Ouverture]})$
 - Nombre d'unités d'entreposage = $\text{Nombre de localisations} / 2 \text{ [Nombre de localisations par unité d'entreposage]}$
 - Nombre d'unités d'entreposage équivalentes = Nombre d'unités d'entreposage

Notons que :

- 1) La logique s'applique au niveau des produits et doit être réalisée pour chaque saison.
- 2) Concernant les contraintes s'appliquant au niveau des dimensions des produits, ces dernières considèrent les possibilités de placer les produits dans le sens de la largeur et celui de la longueur.

$$ET \text{ Maximum } (Longueur / Largeur) + 0.1 \text{ [Espace tampon]} < \text{Maximum } (1[Longueur] / 1[Largeur])$$

$$ET \text{ Minimum } (Longueur / Largeur) + 0.1 \text{ [Espace tampon]} < \text{Minimum } (1[Longueur] / 1[Largeur])$$

- 3) Il est possible, au besoin à l'aide de l'algorithme, de considérer la possibilité d'avoir plusieurs localisations pour un même produit en rajoutant un nouveau type d'unités d'entreposage dans la séquence. Les contraintes physiques sont alors les mêmes que celles présentes lorsqu'une seule localisation est donnée. En revanche, dans l'évaluation du nombre de jours de stock, les capacités d'entreposage sont multipliées par le nombre de localisations possibles. Retenir que ce nouveau type d'unités d'entreposage interviendra dans la séquence en fonction de l'importance relative de la capacité totale du nombre de localisations assignables par produit, de façon à ce que la séquence reste ordonnée en fonction des capacités offertes.
- 4) Un champ « Nombre d'unités d'entreposage » est calculé afin de pouvoir obtenir simplement le nombre d'unités d'entreposage total ou par option lors de regroupement en faisant la somme du nombre d'unités. Un champ « Nombre d'unités d'entreposage équivalentes » a également été défini, permettant de pallier au fait que toutes les unités d'entreposage ne sont pas similaires en termes de dimensions. Dans notre exemple, les étagères à rouleaux à gravité inversée sont deux fois plus profondes que les autres unités, ce qui explique que le nombre d'unités équivalentes est deux fois plus grand que le nombre d'unités.
- 5) Rien n'empêche que dans une même catégorie d'unités d'entreposage, on retrouve plusieurs types d'unités d'entreposage différents. Par exemple, une organisation pourrait utiliser deux différents types d'étagères, l'un avec trois niveaux et six localisations par niveau et un autre avec deux niveaux et quatre localisations par niveau. Il arrive

également que dans un même type d'unités d'entreposage, les localisations n'aient pas toutes les mêmes dimensions. Dans ce cas, les différents types devront être traités séparément dans l'heuristique comme s'il s'agissait de types d'unités d'entreposage différents.

À la fin de cette étape, pour chaque produit dans chaque saison, un type d'unité d'entreposage est assigné. Il est alors possible de connaître le nombre d'unités d'entreposage qui sera utilisé selon les saisons et selon le pourcentage de produits qui seront affectés à la zone avancée.

Il est maintenant possible de passer à la prochaine étape de la méthodologie qui est de loin la plus longue, celle des configurations de la zone avancée.

3.6 Conception de la zone avancée

Les différents types d'unités d'entreposage ayant été identifiés et les produits affectés aux zones avancées des différentes saisons, il est désormais possible de s'attaquer à la conception des zones avancées. Une option se définit par une saison et un pourcentage de produits affectés à la zone avancée (10%, 20%, 30%, 40%, 50% et 100%). Au final il y aura autant d'options que le nombre de saisons multiplié par 6. Cette partie où les configurations des zones avancées des différentes options sont réalisées, constitue de loin l'étape la plus longue de la méthodologie et cela malgré les hypothèses simplificatrices qui seront formulées. Maintenant que le nombre d'unités d'entreposage pour les différentes options est connu, il reste à déterminer comment organiser la zone avancée. Cette question est très importante, car elle déterminera en grande partie les coûts associés aux différentes options. Il s'agit de déterminer la longueur et la largeur de la zone avancée, le nombre d'allées et leurs longueurs, la question du dépôt étendu ou centralisé, l'orientation des allées de pignes et le nombre d'allées transversales ainsi que leur emplacement. Suite à cela, la question de la répartition des produits sera abordée et une approche permettant de modéliser virtuellement les zones avancées sera présentée.

3.6.1 Organisation de la zone avancée

3.6.1.1 Orientation des allées de pignes

Concernant l'orientation, c'est la configuration perpendiculaire des allées qui prédomine, aussi bien dans l'industrie que dans la littérature et qui selon McDowell (1991) permettrait

de réduire le temps de déplacement dans la zone de préparation des commandes (Brochu, 2011). Dans cette configuration, le cueilleur qui vient de rentrer dans la zone avancée fait face à la même direction que celle de la longueur des allées de pignes. Cette prédominance se justifie par la diminution des coûts liés aux déplacements des cueilleurs. Il existe également d'autres configurations plus originales et qui présentent certains avantages comme Gue et Meller (2009) qui ont pensé des allées en "arêtes de poisson". Toutefois, vu qu'aujourd'hui de telles façons de faire sont peu suivies dans la pratique, on ne se focalisera que sur l'orientation perpendiculaire mentionnée précédemment.

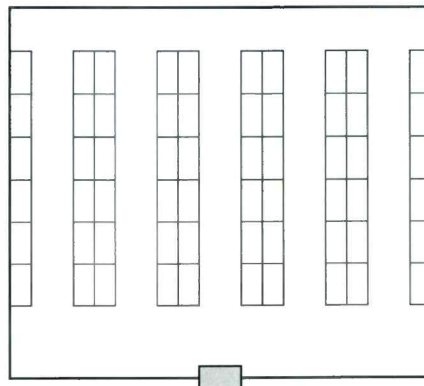
3.6.1.2 Ratio de la zone avancée largeur/profondeur

Pour ce qui est de la longueur et de la largeur de la zone avancée, cette question sera abordée sous l'angle d'un ratio entre la profondeur et la largeur qu'il s'agira de définir. Manzini et al. (2007) après avoir analysé 15 000 scénarios, sont arrivés à la conclusion qu'une zone deux fois plus large est la plus à même de réduire les déplacements des cueilleurs. Petersen et Aase (2004), qui se sont également penchés sur cette question, sont arrivés aux mêmes conclusions en réalisant en plus une analyse de sensibilité qui les a amenés à conclure que si la zone est aussi profonde que large, deux fois plus large que profonde ou encore trois fois plus profonde que large, cela a peu d'impact (moins de 1.3 %) sur le temps et donc sur les coûts de préparation des commandes. Ils ajoutent toutefois que la zone trois fois plus large a obtenu les résultats les moins performants. À la lumière de ces résultats, un ratio 2x1 sera souhaité, c'est-à-dire où la largeur de la zone de préparation de commandes sera deux fois plus large que profonde.

3.6.1.2 Question du dépôt

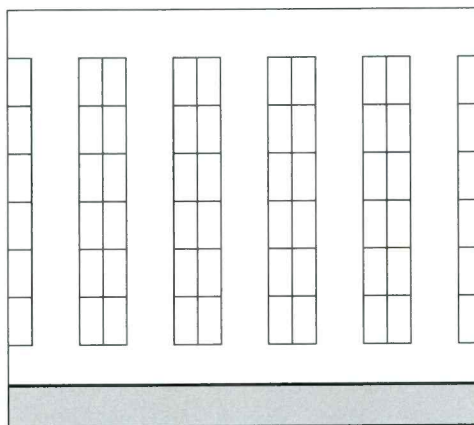
Au niveau du dépôt où les commandes préparées sont déposées, on distingue deux cas de figure, l'un où le dépôt est centralisé et l'autre où il est étendu.

Figure 24 : Exemple de dépôt centralisé



Dans le schéma ci-dessus, on retrouve le cas du dépôt centralisé. Petersen et Aase (2004) se sont interrogé sur la position optimale d'un dépôt centralisé dans le cas où les allées sont orientées de façon perpendiculaire. Il ressort de leur questionnement que la position la plus intéressante est celle du centre et que si la position était autre, cela conduirait à une augmentation des déplacements allant jusqu'à 4.8%.

Figure 25 : Exemple de dépôt étendu

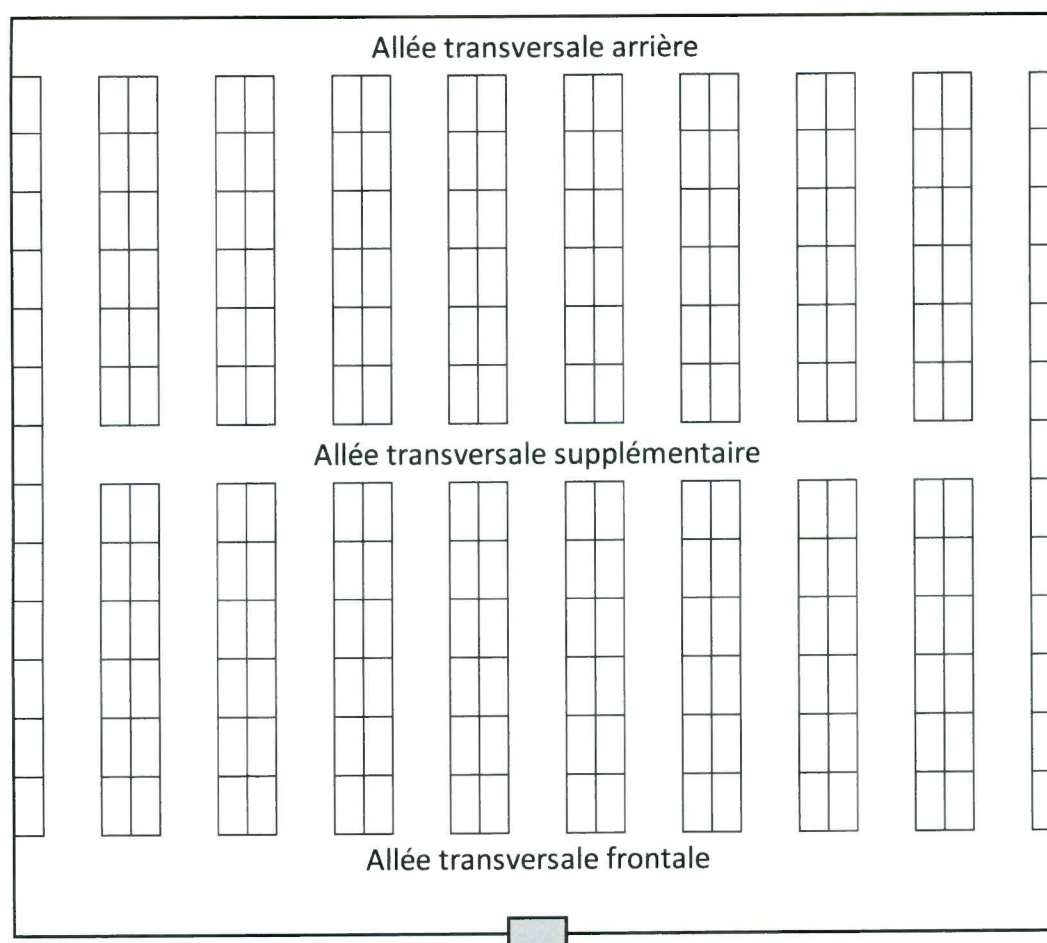


On peut également trouver des dépôts étendus comme dans l'image ci-dessus où le dépôt se décline sur toute la largeur de la zone. On retrouve ce cas de figure notamment lorsqu'on est en présence d'un quai d'expédition où l'on dépose les commandes préparées devant des portes de camion pour qu'elles y soient chargées. On peut affirmer que comparativement au cas de figure centralisé, le dépôt étendu offre une plus grande flexibilité opérationnelle qui

peut être intéressante au niveau des temps de déplacements. Toutefois, la contrepartie de cette flexibilité réside dans l'importance de l'espace qui est alors consacré au dépôt. Il restera alors à déterminer si la flexibilité justifie le coût d'utilisation de l'espace.

3.6.1.3 Les allées transversales

Figure 26 : Exemple d'allées transversales



Les allées transversales sont des allées perpendiculaires aux allées de pignes permettant le déplacement d'une allée de pigne à l'autre. Il est d'usage de trouver au moins deux allées transversales (dans les situations cueilleurs-vers-produits), la frontale, située à l'entrée des allées et l'arrière située de l'autre côté des allées de pignes permettant aux cueilleurs, une fois arrivés au bout de ces dernières, de pouvoir passer à une autre sans avoir à revenir sur leurs pas. Lorsque les allées de pignes deviennent suffisamment longues, il peut devenir intéressant

d'introduire des allées transversales supplémentaires permettant aux cueilleurs de se déplacer entre les allées de piges sans avoir à aller jusqu'au bout des allées. Cependant, il faut rester prudent dans l'ajout d'allées transversales, car elles augmentent la longueur des allées de piges, nonobstant la perte d'espace d'entreposage (bien que des tunnels puissent être conçus permettant d'obtenir des localisations d'entreposage dans les niveaux supérieurs). Roodbergen et de Koster (2001) se sont penchés sur la question et sont arrivés à la conclusion que si la longueur des allées est suffisamment importante, il devient intéressant d'avoir plus que deux allées transversales de base (frontale et arrière), car cela permettrait de diminuer le temps de pige de 15 %. Vaughan (1999) était également arrivé aux mêmes conclusions et avait ajouté que le bien fondé de rajouter des allées transversales dépendait de la longueur des allées de piges relativement à la largeur de la zone en présentant de nombreux résultats de simulation sans pour autant proposer une approche formelle permettant de calculer le nombre d'allées transversales qu'il faudrait avoir. Pour éviter de compliquer davantage la question de la configuration des zones avancées, seules les allées transversales arrière et frontale seront considérées. L'autre raison justifiant cette simplification est que dans la prochaine partie, il sera question de l'estimation des coûts et une méthode permettant d'évaluer les déplacements sera proposée. Cette dernière n'intègre dans sa logique que les allées transversales de base. Notons au passage qu'il est légitime de se questionner sur l'opportunité et l'intérêt d'avoir une allée transversale arrière dans le cas de parcours de pige avec retour sur ses pas, si le cueilleur utilise exclusivement l'allée transversale frontale pour passer d'une allée de piges à l'autre.

Pour résumer les points relatifs à la configuration des zones avancées abordés jusque-là : dans notre approche, le choix du dépôt centralisé ou de l'étendue dépendra des pratiques de l'organisation, l'orientation des allées de piges sera perpendiculaire, la conception de la zone de pige sera faite de façon à ce que la largeur soit deux fois plus importante que la profondeur et seulement deux allées transversales (la frontale et l'arrière) seront considérées.

La prochaine partie de la conception concernera la répartition des types d'unités d'entreposage le long des allées de piges.

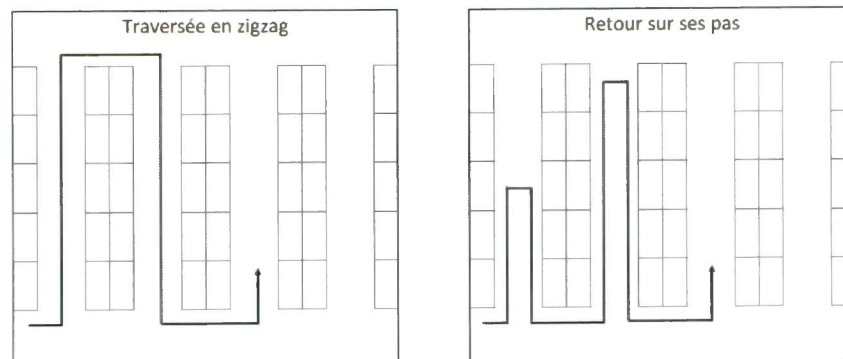
3.6.2 Répartition des types d'unités d'entreposage

Étant donné que le type d'unités d'entreposage est en grande partie choisi en fonction de la popularité des produits et avant de s'intéresser spécifiquement à la répartition des types d'unités d'entreposage, il est tout d'abord nécessaire de s'interroger sur les chemins de pige qui seront empruntés par les cueilleurs.

3.6.2.1 Chemins de pige

Il existe plusieurs politiques de chemin de pige telles que celles décrites par Petersen et Schmenner (1999), mais il en est deux qui sont plus répandues que les autres, celle du retour sur ses pas et celle de la traversée en zigzag.

Figure 27 : Illustration des deux types de politique de chemin de pige qui seront étudiés



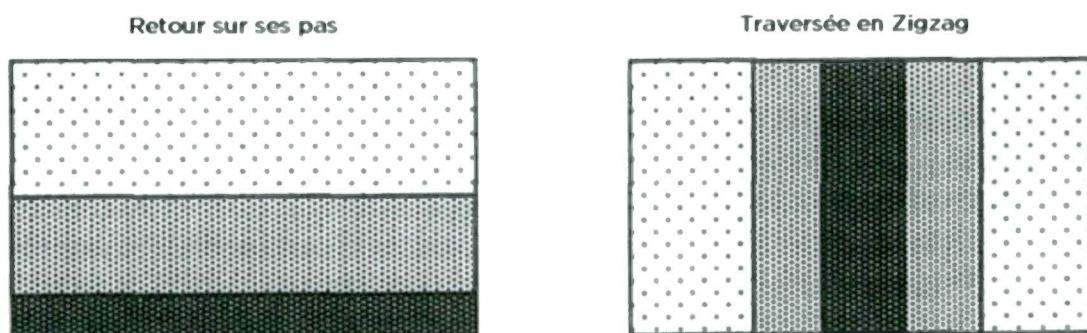
Cette popularité s'explique en grande partie par la simplicité de telles pratiques (Franco, Gino et Alessandro 2000). Toutefois, ces approches ne semblent pas les meilleures. En effet, Roodbergen et Iris (2006) ont réalisé des simulations afin d'établir quelle était la meilleure politique de chemin de pige et ont conclu que la plus efficace était celle de l'écart le plus grand croisée à la politique de traversée en zigzag où le cueilleur est invité à toujours choisir, après chaque pige, le chemin le plus court vers le prochain produit à piger, quitte à retourner sur ses pas. Toutefois, étant donné l'impopularité relative des autres politiques de chemin de pige, l'attention se portera exclusivement sur les deux parcours de pige présentés plus haut.

3.6.2.2 Répartition des unités d'entreposage

Connaissant le trajet de pige des cueilleurs et la disposition des allées, il est désormais possible de définir la répartition des types d'unités d'entreposage. En effet, il est nécessaire

de tenir compte du chemin de pique afin de placer les types d'unités d'entreposage (définies, entre autres, par la vitesse des produits qu'elles accueilleront) de façon à réduire les déplacements, d'où la nécessité de connaître les parcours de pique des cueilleurs. Petersen et Schmenner (1999) ont étudié la relation entre diverses classes de produits selon l'emplacement du dépôt. Étant donné que nous avons défini que si le dépôt centralisé était utilisé alors celui-ci devrait se situer au niveau du milieu de l'allée transversale frontale. Du coup, seules les répartitions proposées par les auteurs où le dépôt est central seront considérées pour des politiques de pique de retour sur ses pas et de traversée en zigzag. Nous formulons aussi l'hypothèse que ces répartitions seraient les mêmes dans le cas d'un dépôt étendu.

Figure 28 : Politique de répartition des produits selon les politiques de chemin de pique avec dépôt centralisé.

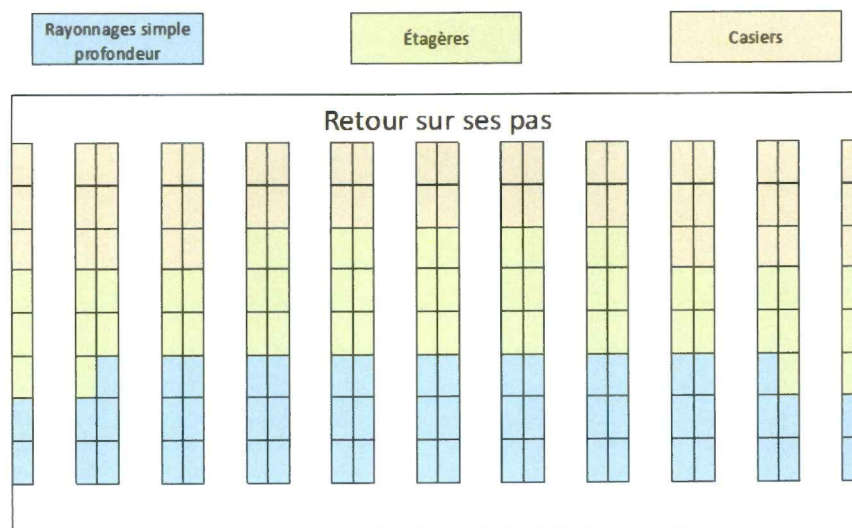


Traduit et simplifié de Petersen C. et Schmenner R. (1999) – « An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation » - Decision Sciences 30.2. p. 481-501.

Bien que ces répartitions soient initialement proposées pour des classes de produits, il est possible de transposer cette même logique à la répartition des unités d'entreposage, car ces dernières sont définies de façon à accueillir des produits en fonction notamment de leur vitesse. Ainsi, on pourrait considérer que les types d'unités d'entreposage contiennent différentes classes de produits. Les exemples qui suivent illustrent les logiques présentées ci-dessus.

a) Si on adopte une politique de chemin de pige de retour sur ses pas

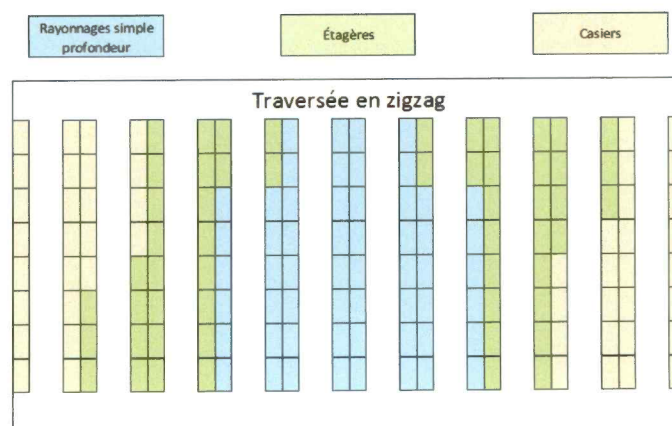
Figure 29 : Exemple de la répartition des types d'unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pige de retour sur ses pas inspiré de Petersen et Schmenner



Les unités d'entreposage destinées à accueillir les produits les plus demandés sont placés à l'avant des allées afin que les cueilleurs aient le moins possible à s'enfoncer dans la profondeur des allées de pige et par la même occasion réduire les temps de déplacement.

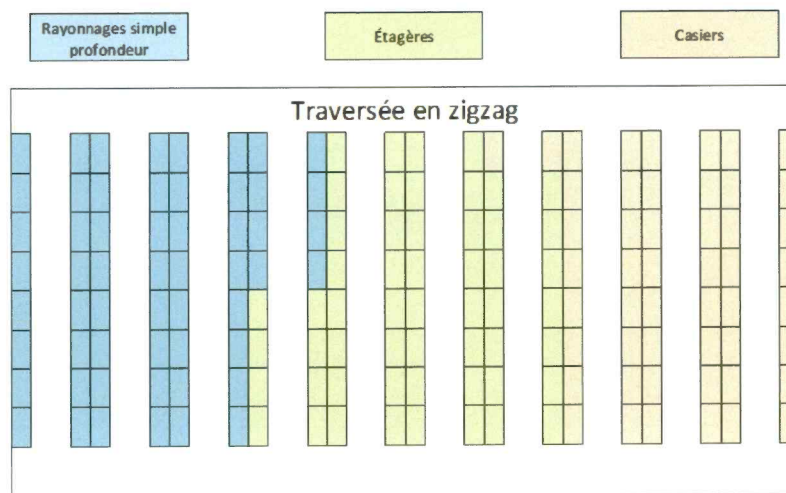
b) Si on adopte une politique de traversée en zigzag

Figure 30a : Exemple de la répartition des types d'unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pige de traversée en zigzag inspiré de Petersen et Schmenner



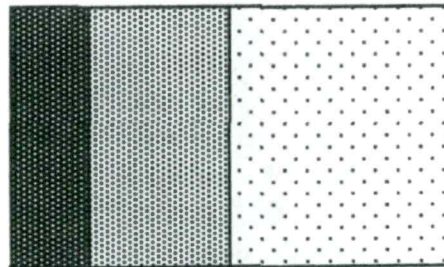
Si l'on suit les recommandations de Petersen et Schmenner (1999), on aurait dans cette situation les unités d'entreposage destinées à accueillir les produits les plus demandés placés au centre de la zone avancée de façon à ce que le cueilleur puisse compléter sa tournée en restant à proximité du dépôt tout en ayant à parcourir le moins de distance (notamment au niveau du déplacement latéral), toujours dans le but de réduire le temps de préparation de commandes. Toutefois, dans la pratique, lorsqu'on est en présence de chemins de pique de traversée en zigzag, il est plus commun de voir la répartition suivante.

Figure 30b : Exemple de la répartition des types d'unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pique de traversée en zigzag commune dans la pratique



Cette répartition correspond à la proposition de Petersen et Schmenner pour le cas où le dépôt centralisé est situé sur la gauche.

Figure 31 : Politique de répartition des produits selon les politiques de chemin de pique de traversée en zigzag avec dépôt centralisé sur la gauche



Traduit et simplifié de Petersen C. et Schmenner R. (1999) – « An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation » - *Decision Sciences* 30.2. p. 481-501.

Dans ce cas de figure plus populaire (du moins en Amérique du Nord pour de nombreux centres de distribution alimentaire), les produits sont répartis de façon à ce que les plus demandés soient rencontrés le plus tôt possible lorsqu'on débute le parcours depuis l'extrémité gauche de l'allée transversale frontale. Le défaut de cette répartition, c'est qu'elle ne tient pas compte de la position du dépôt, ce qui peut conduire à une forme d'inefficience lorsque le dépôt est au centre. Toutefois, considérant sa notoriété et le fait qu'en cas de dépôt étendu, les deux pratiques devraient être équivalentes, nous procéderons en considérant cette répartition pour les traversées en zigzag.

3.6.3 Assignation des produits aux localisations.

Il est à relever que l'assignation des produits aux localisations est une étape nécessaire à l'estimation des coûts et se fera donc en utilisant les données réelles de la dernière année et non pas les prévisions qui ont été utilisées jusqu'alors pour réaliser les conceptions des zones avancées. Avant de pouvoir réaliser l'assignation des produits aux localisations, il est nécessaire, dans un premier temps, de définir un identifiant unique pour chacune des localisations. La définition de cet identifiant sera également utile à l'estimation des coûts qui sera réalisée par la suite.

3.6.3.1 Identifiant des localisations

Comme c'est souvent le cas, cet identifiant est un code permettant de déterminer le positionnement exact de la localisation au sein de la zone avancée, en précisant généralement l'allée, l'unité d'entrepôt, la position (en largeur) et le niveau (en hauteur). Il arrive

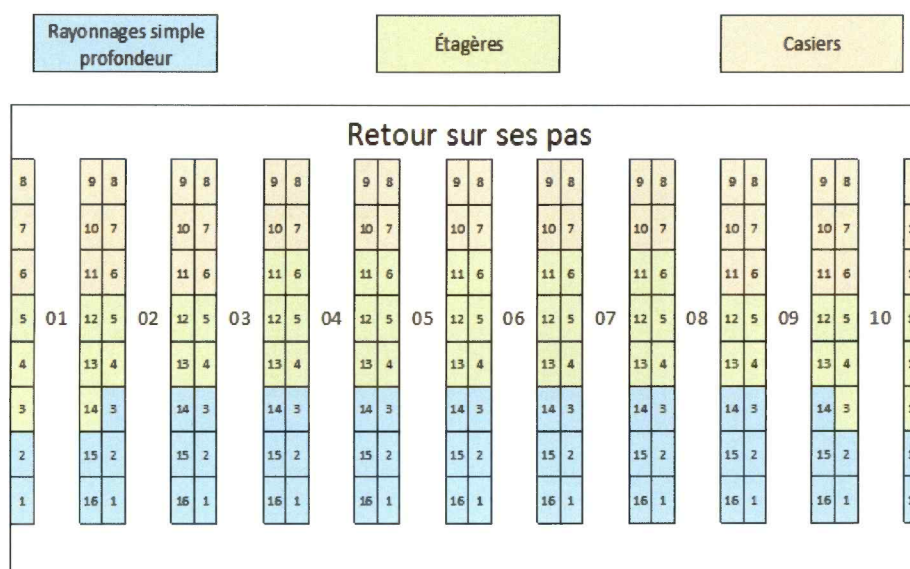
également, lorsque des produits sont entreposés à plusieurs niveaux de profondeur, qu'une partie du code serve à décrire cet aspect. La façon dont les allées, les unités d'entreposage, les positions et les niveaux sont référencés n'est pas aléatoire. Ils sont généralement numérotés de façon à refléter le parcours de pige qui sera emprunté par le cueilleur lors des préparations de commandes si ce dernier devait passer au travers de toutes les allées de piges de bout en bout. La séquence dans le code de localisation est généralement réalisée de la façon suivante : (département -) allée de piges - unités d'entreposage – position – niveau (– profondeur). Département est mis entre parenthèses, car il n'est pas toujours mentionné, spécialement lorsque le numéro d'allée suffit à l'identifier. La profondeur est également mise entre parenthèses, car il est relativement rare de voir plusieurs niveaux de profondeur d'entreposage dans une même localisation. On peut noter que le code commence par donner des éléments de haut niveau (l'allée) et précise au fur et à mesure l'emplacement exact de la localisation. La raison pour laquelle la position précède le niveau est d'éviter au cueilleur de revenir sur ses pas s'il réalise la préparation de commande dans l'ordre de numérotation des localisations. Considérant tout cela, il est recommandé de procéder avec le code de localisation défini comme suit.

AA-UU-P-N où AA est le numéro de l'allée de pige, UU le numéro de l'unité d'entreposage, P le numéro de position et N le numéro de niveau. Exemple : La localisation 03-22-4-1 signifie que la localisation se trouve dans la 3^e allée, dans la 22^e unité d'entreposage et à la 4^e position du 1^{er} niveau.

Il est également d'usage d'observer dans certains centres de distribution une utilisation de la parité des numéros d'unités d'entreposage afin de donner des repères aux cueilleurs. Par exemple, on essaye de faire en sorte dans les politiques de parcours de pige en traversée en zigzag que, quelle que soit l'allée lorsque le cueilleur parcourt les lignes de piges dans le sens du chemin défini, qu'il ait toujours les unités d'entreposage de numéros pairs à droite et ceux impairs à gauche.

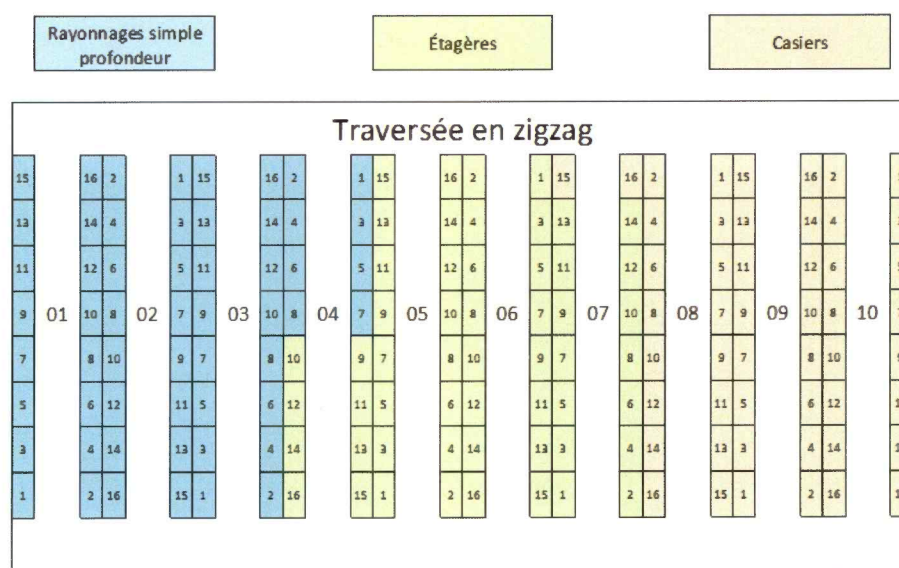
Dépendamment des politiques des chemins de pige, la numérotation des unités d'entreposage différera. Voici les exemples illustrant la numérotation des allées et les unités d'entreposage.

Figure 32 : Exemple de numérotation des allées et des unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pige de retour sur ses pas



La séquence de numérotation pour les unités d'entreposage dans les allées de pige a été sélectionnée en considérant que chaque allée est parcourue dans les deux sens.

Figure 33 : Exemple de numérotation des allées et des unités d'entreposage en présence d'une politique de chemin de pige de traversée en zigzag



Cette fois-ci, les allées de pignes sont censées être traversées dans un seul sens qui change d'une allée à l'autre (et cela se reflète sur le séquençement des numéros des unités d'entreposage). De plus, on peut observer que les numéros de pigne se trouvant à la gauche du cueilleur sont toujours impairs et que ceux se trouvant sur sa droite sont toujours pairs (dans le cas où le cueilleur traverserait successivement la totalité des allées de pigne). Maintenant que le plan de la zone avancée est conçu, il reste à modéliser virtuellement les localisations.

3.6.3.2 Modélisation virtuelle

Pour créer virtuellement ces localisations dans un système informatique, voici la démarche relativement rapide qui est proposée.

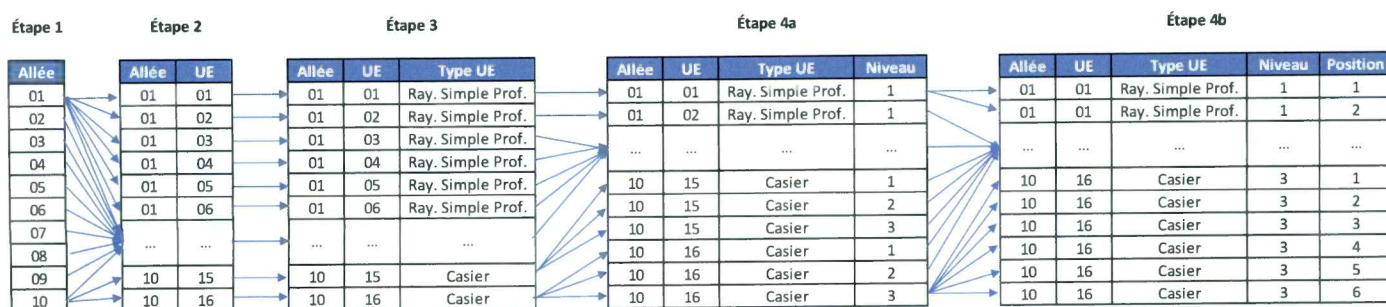
- 1) Créer une table avec un champ allée contenant autant d'observations qu'il y a d'allées de pigne dans la zone avancée (dans notre exemple on aurait 10 lignes).
- 2) Dupliquer chacune des lignes de la table par le nombre d'unités d'entreposage par allées de pigne (dans notre exemple il y en a 16, et, à la fin de cette étape, on comptera 160 lignes dans notre table).
- 3) utiliser les numéros d'allée et de l'unité d'entreposage afin d'identifier le type de rayonnage en se servant du schéma de la zone avancée numérotée présentée plus haut. Par exemple, l'identification des types d'unités d'entreposage pour la zone avancée présentée précédemment considérant une traversée en zigzag se fera de la façon suivante.
 - Si numéro d'allée ≤ 3 ou (numéro d'allée = 4 et numéro d'unité d'entreposage ≤ 8) alors Type d'unités d'entreposage = Simple Profondeur
 - Sinon, si numéro d'allée ≤ 6 ou (numéro d'allée = 7 et numéro d'unité d'entreposage ≤ 14) alors Type d'unités d'entreposage = Étagère
 - Sinon Type d'unités d'entreposage = Casier
- 4) Dans cette dernière étape, il s'agit de créer les localisations en définissant pour chaque unité d'entreposage le nombre de niveaux et le nombre de positions par niveaux. Cela se réalise en deux sous étapes.
 - a. En se basant sur le type d'unité d'entreposage, dupliquer chaque ligne de la table N fois où N est le nombre de niveaux de l'unité d'entreposage. On

s'assure de rajouter une variable « Niveau » qui prendra, pour chaque ligne dupliquée, une valeur différente, en allant de 1 jusqu'à N.

- b. En se basant à nouveau sur le type d'unité d'entreposage, dupliquer chaque ligne de la table (à laquelle on a rajouté les niveaux) P fois, où P est le nombre de positions par niveau de l'unité d'entreposage. On s'assure de rajouter une variable « Position » qui prendra, pour chaque ligne dupliquée, une valeur différente en allant de 1 jusqu'à P.

La figure 34 présente la synthèse de l'approche proposée.

Figure 34 : Processus de création virtuelle des localisations



Dans cet exemple on considère des rayonnages simple profondeur d'un seul niveau avec deux positions et des casiers de trois niveaux et de six positions par niveau.

En réalisant successivement ces étapes, qui peuvent être élaborées dans de nombreux environnements informatiques, on arrive à la création de toutes les informations nécessaires à la définition des localisations. Ce code de localisation peut s'obtenir en réalisant la concaténation de l'allée, l'unité d'entreposage, la position et le niveau. Il s'agit d'un modèle de base qui peut être modifié pour s'ajuster aux réalités des organisations.

Maintenant que la zone avancée a été conçue et que les localisations ont été créées virtuellement, il reste à réaliser l'affectation des produits aux localisations. Mais avant cela, il est important de se pencher sur les différentes politiques de répartition des produits dans les zones de préparation des commandes.

3.6.3.3 Politique de répartition des produits dans la zone avancée

Rappelons que cette assignation est réalisée afin de pouvoir simuler les temps de déplacement pour la préparation des commandes dans la zone avancée pour les différentes options.

De Koster et al. (2007) décrit cinq politiques de répartition des produits basées sur 1) la localisation la plus proche (qui consiste à laisser le cueilleur placer à sa discrétion les produits dans les localisations de pige qu'il juge les plus accessibles), 2) la répartition au hasard, 3) les classes de produits, 4) les localisations spécifiques et 5) l'importance des expéditions. Les politiques mentionnées ont été présentées en allant de celles qui génèrent le plus de déplacements des cueilleurs à celles qui en génèrent le moins. En effet, la répartition au hasard et l'utilisation de la localisation la plus proche permettent une très bonne utilisation de l'espace, mais ne prennent pas en considération la recherche de l'efficacité opérationnelle au niveau des déplacements des cueilleurs. C'est particulièrement le cas avec la politique de la localisation la plus proche qui peut engendrer beaucoup de déplacements des cueilleurs, car si on est en présence d'articles très populaires et d'autres qui le sont moins, après un certain temps, les produits étant les moins demandés devraient occuper en grande partie les localisations les plus facilement accessibles (car ils y restent plus longtemps) et les produits plus demandés se retrouveront dans des localisations difficiles d'accès. L'approche des classes de produits consiste à identifier des catégories de produits souvent en se basant sur leur vitesse. Bien qu'on retrouve régulièrement les trois classes ABC, si nécessaire, la classification peut utiliser plus de trois catégories. Une fois les catégories définies, il s'agira de déterminer l'espace dans la zone de pige à attribuer à chaque catégorie de vitesse et les produits affectés à la catégorie pourront occuper n'importe quelle localisation de la zone définie pour la catégorie de vitesse en question. Cette approche entraîne une moins bonne utilisation de l'espace et augmente le risque de congestion en rapprochant les articles les plus populaires les uns des autres. Toutefois, cette façon de faire engendre une nette amélioration des activités opérationnelles des cueilleurs (Le-Duc et de Koster, 2005) en organisant la zone avancée en fonction de la vitesse des produits par catégorie. La quatrième méthode consiste à assigner une localisation spécifique à chaque produit en se basant généralement sur sa forte demande et en considérant certaines contraintes physiques et opérationnelles. C'est-à-dire que, dans la mesure du possible, on souhaitera rapprocher les produits très demandés des

dépôts et en considérant certaines contraintes propres aux produits. Par exemple, lorsque des denrées alimentaires sont entreposées, on évite que certains produits soient mis les uns à côté des autres pour empêcher des échanges d'éthylène et par la même occasion un murissement prématuré des marchandises (ce qui réduirait leur durée de vie). Le problème, c'est qu'avec cette approche, si un article n'est pas porté en stock, aucun produit ne peut être entreposé à sa place étant donné que la localisation lui est spécifique. Cela engendrera une moins bonne utilisation de l'espace. De plus, tout comme pour la politique des classes de produits, si un nombre important de produits très demandés est placé à proximité, on risquerait de s'exposer au phénomène de congestion. En revanche, en permettant une assignation réfléchie tout en familiarisant les cueilleurs à des produits toujours situés au même endroit, on obtiendrait des activités de cueillette plus efficaces. Dans la cinquième et dernière politique de répartition, les produits sont rapprochés du dépôt en fonction de l'importance des expéditions et, en ce sens, cette politique ressemble à celle des localisations spécifiques dans le cas où on ne considérerait que l'importance des expéditions pour le choix des localisations. Le tableau qui suit résume les cinq pratiques qui viennent d'être présentées.

Tableau 2 : Tableau synthèse des politiques de répartition de produits

Politique de répartitions des produits	Utilisation de l'espace	Déplacement des cueilleurs	Familiarisation des cueilleurs	Congestion
Localisation la plus proche	++	---	--	-
Hasard	++	-	--	+
Classes de produits	+	+	+	-
Localisation spécifique	-	++	+++	--
Basée sur les expéditions	-	+++	++	--

Dans l'absolu, il n'y a pas de politique de répartition meilleure que les autres. La bonne politique dépendra des activités de l'organisation, par exemple dans des organisations où certains produits représentent une part importante du volume des ventes et où il y a relativement peu de variété, les localisations spécifiques sont courantes. En revanche, pour des organisations où la variété est importante et où les volumes de ventes sont mieux répartis, il est plus rare de rencontrer de telles pratiques. Étant donné que le choix de la politique de répartition devrait se faire au cas par cas, il est laissé à la discrétion de

l'organisation de choisir la répartition qu'elle juge la plus adéquate (ou simplement la répartition qui est déjà en place).

Étant donné que dans la méthodologie développée, les produits sont assignés à un type spécifique d'unité d'entreposage qui a été sélectionné en grande partie en se basant sur les volumes d'expéditions des produits, les politiques de répartition par hasard et de la localisation la plus proche ne sont pas permises dans leur forme classique. De ce fait, si la pratique de l'organisation est l'une des deux citées précédemment, on réalisera la répartition au niveau du type d'unités d'entreposage, c'est-à-dire si on recherche la localisation la plus proche, le produit sera alors mis dans la localisation la moins éloignée du type d'unités d'entreposage auquel il est assigné.

Pour réaliser l'affectation des produits aux localisations, une variable de priorité sera utilisée en plus du type d'unité d'entreposage auquel le produit doit être assigné. Dans la partie qui suit, une approche d'assignation sera proposée pour les différentes politiques de répartition.

3.6.3.4 Réalisation de l'assignation en fonction des politiques de répartitions

Ces priorités seront définies au niveau des types d'unités d'entreposages en attribuant un numéro de priorité considérant à quel moment la localisation serait rencontrée si on parcourait la zone avancée dans son intégralité. La première localisation rencontrée par le cueilleur par type d'unité d'entreposage aura le numéro de priorité 1, la seconde 2... et la dernière N, où N est le nombre de localisations disponibles pour le type d'unités d'entreposage en question.

La prochaine étape consiste à donner des numéros de priorité aux produits qui permettront de les mettre en relation avec les localisations. Ce numéro sera donné différemment selon la politique de répartition des produits voulue par l'organisation.

a) Répartition par hasard.

Dans le cas d'une répartition par hasard, il suffit de donner un numéro aléatoire différent à chaque produit en s'assurant qu'il soit inférieur ou égal au nombre total de localisations du type d'unités d'entreposage auquel il est associé. Rappelons que cette répartition au hasard est faite au niveau des types d'unités d'entreposage et étant donné que ces derniers ont été

définis en considérant la vitesse des produits, cette approche est similaire à celle des classes de produits où les catégories de vitesse ont été remplacées par les types d'unités d'entreposage.

b) Localisation la plus proche

Dans ce cas, ce n'est pas une distribution aléatoire qui est réalisée, car, comme expliqué plus tôt, avec une telle approche, les produits les moins demandés occuperont les localisations les plus accessibles et vice-versa. C'est pour cela que dans ce cas de figure, il sera donné aux produits, par type d'unités d'entreposage, un numéro de priorité basé sur les expéditions de référence en attribuant le numéro de priorité 1 au produit le moins demandé et N (où N est le nombre de localisations du type d'unités d'entreposage) au produit le plus sollicité. Il est possible que des produits aient les mêmes quantités expédiées. Dans ce cas, les numéros peuvent être attribués en considérant le volume des caisses et le poids en faisant en sorte que les produits les plus lourds et les plus volumineux se retrouvent dans les localisations les plus accessibles.

c) Classes de produits

S'il y a trois types d'unités d'entreposage ou plus, il est suggéré de ne pas rajouter de classes de produits, car le type d'unités d'entreposage réalise déjà d'une certaine façon une catégorisation basée sur la vitesse des produits qu'ils contiennent. Il serait alors possible de se contenter d'une répartition aléatoire au niveau des types d'unités d'entreposage comme fait plus tôt dans pour la politique de répartition aléatoire.

S'il y a moins de trois différents types d'unités d'entreposage, on pourrait définir des classes de produits par type d'unités d'entreposage, en réalisant au sein d'un même type des distinctions basées sur le volume des expéditions. Il sera alors nécessaire de définir, au niveau des localisations, une catégorie de vitesse, en associant aux localisations les plus accessibles les catégories de produits ayant beaucoup d'expéditions. Il est également nécessaire de s'assurer qu'il y ait suffisamment de localisations par catégorie. Tout comme pour la politique de répartition par hasard, on associe à tous les produits d'un même type d'unités d'entreposage et de la même catégorie de vitesse, un numéro aléatoire différent allant de 1

à N où N est le nombre de localisations du type d'unités d'entreposage pour la catégorie de vitesse en question.

d) Localisations spécifiques et répartition basée sur l'importance des expéditions

Dans ces cas, il s'agit de réaliser la numérotation des priorités de façon à ce que les produits les plus demandés se retrouvent dans les localisations les plus intéressantes opérationnellement (plus proche des dépôts considérant les chemins de pique). À demande équivalente, on favorisera le poids des produits et le volume en vue de la constitution des palettes. Car, lorsqu'on réalise des opérations de pique à la caisse où l'on monte des palettes, il est plus intéressant d'avoir les caisses les plus lourdes et volumineuses à la base. D'où l'intérêt de les rencontrer tôt dans le parcours de pique.

Une fois qu'on a attribué un numéro de priorité aux localisations et aux produits, la dernière étape consiste à mettre en relations les produits avec les localisations créées en utilisant comme champs communs, le type d'unités d'entreposage et le numéro de priorité (et éventuellement la catégorie de vitesse si applicable).

Notons que ces assignations sont critiquables, spécialement celles concernant les localisations spécifiques où on considère généralement d'autres éléments afin de réaliser l'assignation. Toutefois, dans le but d'estimer la durée des déplacements nécessaires à la préparation des commandes dans la zone avancée via une simulation, l'affectation réalisée devrait permettre une bonne estimation malgré quelques approximations.

L'approche de conception qui vient d'être présentée dans cette sous partie devra être appliquée pour les six options de chacune des saisons. De même, afin d'estimer les coûts de la dernière année au regard de ce qui avait été mis en place durant cette période, il sera aussi nécessaire de modéliser la configuration utilisée par l'organisation.

3.6.5 Configuration de l'existant

Comme il a été expliqué préalablement, pour évaluer l'intérêt d'effectuer des reconfigurations saisonnières, il est nécessaire de comparer les résultats obtenus avec ces reconfigurations aux pratiques en vigueur dans l'organisation. C'est pour cela qu'il est nécessaire de modéliser la situation existante de la zone avancée. Pour ce faire, il sera

nécessaire d'avoir un plan de la zone avancée, détaillant la numérotation des allées et unités d'entreposages. Les profils des différentes unités d'entreposage s'avèreront utiles et devrait présenter les logiques d'identification des localisations. Riche de ces informations, la modélisation virtuelle de la zone avancée sera réalisée en utilisant l'approche présentée précédemment. Ensuite, il sera nécessaire d'affecter les différents produits aux localisations modélisées. Pour ce faire, il faudrait idéalement utiliser le champ présentant l'identifiant de la localisation à laquelle le produit était assigné qui est généralement présent dans le fichier maître des produits (ce champ est souvent appelé PSN, faisant référence à l'acronyme anglais pour *present slot number*, il arrive aussi qu'il soit simplement intitulé *slot number*). Il devrait alors être possible de réaliser l'assignation sur la base de ce champ et des identifiants des localisations. Si l'information n'est pas disponible dans le fichier maître des produits, l'assignation des produits se fera en suivant l'approche utilisée pour les reconfigurations saisonnières.

Une fois que les modélisations des différentes zones avancées seront réalisées, la prochaine étape consistera à estimer les coûts générés par les différentes zones avancées en tenant compte des expéditions qui ont lieu lors de la dernière année.

3.7 Estimation des coûts

Dans cette partie, il sera question de l'estimation des coûts opérationnels permettant d'évaluer l'intérêt d'une configuration par rapport à une autre dépendamment des saisons. Parmi ces coûts, on retrouvera ceux de la préparation des commandes (dans la zone avancée et dans la réserve), des réapprovisionnements et de l'utilisation des équipements d'entreposage. L'estimation des coûts se fera en considérant les véritables expéditions de la dernière année. D'autres coûts opérationnels relatifs aux opérations ne seront pas considérés (comme ceux des mises en réserve, *put away* ou encore la consolidation des commandes). Car ces derniers, en proportion, sont relativement faibles par rapport à ceux déjà considérés et/ou devraient être relativement constants d'une option de configuration de la zone avancée à l'autre. Étant donné l'importance des coûts liés à la préparation des commandes (de Koster et al. 2007), notamment du fait des déplacements (Tompkins, 2010), un passage important de la partie sera consacré à leur estimation.

3.7.1 L'organisation de la préparation des commandes.

Pour être en mesure d'estimer ces coûts, il est nécessaire d'évaluer le temps de préparation des commandes. Pour ce faire, ce sont les expéditions réelles de la dernière année qui seront simulées dans les différentes configurations des zones avancées. Dans ce but, un algorithme adapté au traitement des données réalisé a été développé et différera dépendamment des politiques de chemins de pige empruntés par les cueilleurs et de l'organisation de la pige.

Selon les profils des commandes, des entreprises peuvent opter pour différentes façons de préparer les commandes que l'on peut diviser en trois catégories pour les besoins de l'exercice: un cueilleur pour une commande, un cueilleur pour plusieurs commandes ou plusieurs cueilleurs pour une commande. Il s'agit d'identifier clairement la pratique de l'organisation afin de pouvoir représenter correctement les déplacements des cueilleurs. Dans l'algorithme, un identifiant de passage sera défini et représentera l'ensemble des lignes de commandes qui ont été préparées lors d'un même passage par un même cueilleur.

Un cueilleur pour une commande

Cette situation est la plus simple car l'identifiant de passage existe déjà ; Il s'agit du numéro de commande du fait que chaque commande est préparée lors du passage d'un cueilleur. Faut-il encore s'assurer que la commande est bel et bien préparée en un seul passage. Si ce n'est pas le cas, il sera nécessaire de définir un champ supplémentaire qui précisera lors de quel passage la ligne de la commande a été pigée au niveau de la commande. Il suffira alors de concaténer l'identifiant de commande avec la valeur de ce champ supplémentaire afin d'obtenir l'identifiant du passage unique recherché.

Un cueilleur pour plusieurs commandes.

Dans cette situation, il faut accorder un même identifiant de passage à chaque groupe de commandes qui est collecté lors d'un même passage. Généralement, cette consolidation des commandes à préparer est réalisée par un logiciel de gestion d'entrepôts en essayant de minimiser le temps de préparation des commandes. Il s'agirait alors de se servir du logiciel afin d'identifier les commandes à regrouper et de leur attribuer leur identifiant unique.

Plusieurs cueilleurs pour une commande

La préparation des commandes est pensée au niveau des lignes des commandes. Dans le cas extrême où chaque cueilleur ne s'occupe que d'une seule ligne de commande par passage, l'identifiant unique sera différent pour chaque ligne de commande. Autrement dit, il faudra

être en mesure d'identifier les lignes de commande qui seront rassemblées lors d'un même passage et d'associer à ces regroupements des identifiants uniques de passage. À nouveau, l'identification sera facilitée en cas d'utilisation d'un logiciel assistant la préparation des commandes.

L'identification des passages réalisés par les cueilleurs est facilitée lorsque l'organisation utilise des technologies de l'information pour soutenir ses activités d'entreposage et de préparation de commandes. Sans cela, il pourrait être difficile pour l'organisation d'identifier les passages dans lesquels les lignes de commande ont été pigées. Dans ce cas, des hypothèses simplificatrices pourraient être réalisées en considérant, par exemple, un nombre moyen de commandes ou de lignes de commande réalisées par passage et de supposer que les lignes de commandes et les commandes qui se suivent sont celles réalisées lors des mêmes passages.

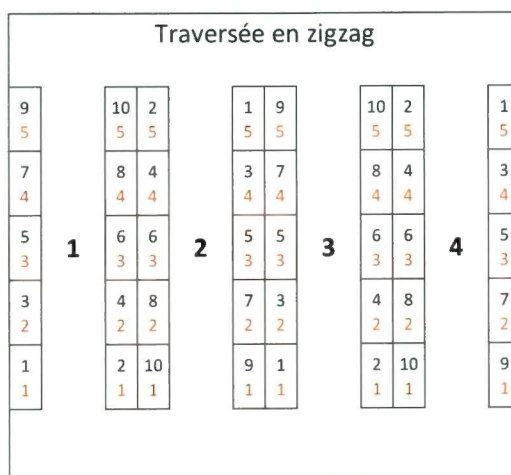
3.7.2 Consolidation au niveau de l'identifiant unique de passage

Cette étape consiste à consolider le fichier des commandes en réalisant dans un premier temps un sommaire au niveau des identifiants de passage tout en retenant certaines informations concernant les lignes de commande qui ont été consolidées. On souhaitera retenir : le nombre de lignes de commandes, la dernière allée de pige traversée et le nombre d'allées de pige empruntées au total. On s'intéressera également à la profondeur qui sera parcourue dans les allées de pige, le nombre de changements de côté réalisés dans ces dernières ainsi que la distance parcourue dans les allées transversales. L'approche suggérée pour extraire ces informations fait appel à la fonction *retain* souvent présente dans les logiciels de base de données qui permet une lecture verticale des tables de données permettant de retenir l'information voulue tout en réalisant différentes opérations. L'algorithme permettant l'évaluation des distances parcourues diffèrera dépendamment des parcours de pige employés. Mais, quelle que soit la politique de chemin de pige, il sera nécessaire de regrouper les données au niveau des identifiants de passage, des numéros d'allée et des numéros d'unités d'entreposage. Lors de cette première consolidation, la somme des volumes expédiés sera calculée et la fréquence (nombre de lignes par regroupement) sera retenue comme étant le nombre de lignes de commandes. Suite à cela, une seconde consolidation sera réalisée exclusivement au niveau de l'identifiant de passage et fera appel à un algorithme différent selon les parcours de pige.

3.7.2.1 Seconde consolidation pour la politique des chemins de pige de traversée en zigzag

Il est nécessaire de rajouter une variable pour évaluer la profondeur parcourue dans l'allée de pige. Pour illustrer la logique de définition de cette variable, la figure 28 montre un plan de zone avancée où une politique de pige de traversée en zigzag est appliquée. Le numéro en noir correspond au numéro d'unité d'entreposage et celui en rouge à la variable exprimant la profondeur dans l'allée de pige que l'on appellera numéro de profondeur.

Figure 35 : Illustration des numéros de profondeur dans le cas d'une politique de chemin de pige de traversée en zigzag



Voici une façon de définir le numéro de profondeur à un niveau informatique :

Soit N le nombre d'unités d'entreposage par allée de pigé, NoUE le champ numéro d'unité d'entreposage et NoProf le champ numéro de profondeur que l'on souhaite définir.

Si numéro d'allée est impair alors faire :

Si NoUE est impair alors NoProf = arrondi à l'unité supérieure de NoUE / 2

Sinon NoProf = NoUE / 2

Si numéro d'allée est pair alors faire :

Si NoUE est impair alors NoProf = (N / 2) - arrondi à l'unité inférieure de NoUE / 2

Sinon NoProf = (N / 2) - (NoUE / 2) + 1

Il est également nécessaire de rajouter une variable binaire (VarCote) permettant d'identifier les deux côtés des allées de piges. Pour ce faire, il est possible de se servir de la parité du numéro des unités d'entreposage (si le numéro d'unité d'entreposage est pair alors VarCote = 0, sinon VarCote = 1).

Voici l'étape de consolidation au niveau de l'identifiant de passage (en se servant de la fonction de lecture verticale *retain*) après avoir ordonné par ordre croissant les données par identifiant de passage, allée de piges et numéro d'unités d'entreposage.

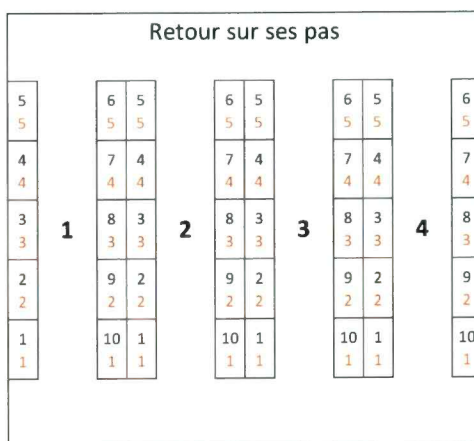
- À chaque nouveau numéro d'identifiant de passage unique lu
 - 1^{ère} ligne lue et initialisation, élément à retenir :
 - Numéro de la première allée = numéro d'allée
 - Numéro de l'allée précédente = numéro d'allée
 - Côté d'allée précédent = VarCote
 - Nombre de changements de côté = 0
 - Nombre d'articles différents pigés = nombre de lignes de commande
 - Quantité pigée totale = quantité pigée
 - Nombre d'allées traversées = 1
 - Numéro dernière allée = numéro d'allée
 - Profondeur de pige dans la dernière allée = numéro de profondeur
 - À chaque nouvelle ligne lue possédant le même identifiant de passage :
 - Nombre d'articles différents pigés = nombre d'articles différents pigés + nombre de lignes de commandes
 - Nombre d'allées traversées :
Si numéro d'allée précédente \neq numéro d'allée
alors nombre d'allées traversées = nombre d'allées traversées + 1
 - Changements de côté
Si coté d'allée précédent \neq VarCote
Et numéro d'allée Précédente = numéro d'allée
alors nombre changement de côté = nombre changement de côté + 1
 - Côté d'allée précédent = VarCote
 - Quantité pigée totale = quantité pigée totale + quantité pigée
 - Numéro de l'allée précédente = numéro d'allée

- Numéro dernière allée = numéro d'allée
- Profondeur de pige dans la dernière allée = numéro de profondeur

3.7.2.2 Seconde consolidation pour la politique des chemins de pige de retour sur ses pas

Dans le cas d'une politique de retour sur ses pas, il est aussi nécessaire de rajouter une variable pour évaluer la profondeur parcourue dans les allées de pige. Voici un schéma permettant d'illustrer la logique de définition de cette variable. À nouveau, le numéro en noir correspond au numéro d'unité d'entreposage et celui en rouge à la variable exprimant la profondeur parcourue dans les allées de pige que l'on appellera numéro de profondeur.

Figure 36 : Illustration des numéros de profondeur dans le cas d'une politique de chemin de pige de retour sur ses pas



Voici une façon de définir le numéro de profondeur.

Soit N le nombre d'unités d'entreposage par allée de pige, NoUE le champ numéro d'unité d'entreposage et NoProf le champ numéro de profondeur.

Si NoUE = 1 ou NoUE = N alors NoProf = 1

Sinon si NoUE = 2 ou NoUE = N - 1 alors NoProf = 2

Sinon si NoUE = 3 ou NoUE = N - 2 alors NoProf = 3

...

Sinon si NoUE = N/2 ou NoUE = N/2 + 1 alors NoProf = N/2

Une fois ce numéro de profondeur défini, il est nécessaire d'ordonner la table par ordre croissant d'identifiants de passage, ordre croissant de numéros d'allée et ordre décroissant de numéros de profondeur et ensuite appliquer l'algorithme suivant.

- À chaque nouveau numéro d'identifiant unique lu
 - 1^{ère} ligne lue :
 - Numéro première allée = numéro d'allée
 - Numéro de l'allée précédente = numéro d'allée
 - Nombre d'articles différents pigés au total = lignes de commandes
 - Quantité pigée totale = quantité pigée
 - Nombre d'allées traversées = 1
 - Numéro dernière allée = numéro d'allée
 - Distance en UE Eq = numéro de profondeur (où « UE Eq » correspond à « unité d'entreposage équivalente »)
 - À chaque nouvelle ligne lue ayant le même identifiant de passage :
 - Nombre d'articles différents pigés = nombre d'articles différents pigés + nombre de lignes de commandes
 - Nombre d'allées traversées :
Si Numéro d'allée Précédente \neq numéro d'allée
alors Nombre d'allées traversées = nombre d'allées traversées + 1
 - Quantité pigée totale = Quantité pigée totale + quantité pigée
 - Numéro dernière allée = numéro d'allée
 - Si Numéro d'allée Précédente \neq numéro d'allée
Distance en UE Eq = Distance en UE Eq + numéro de profondeur

La distance en UE Eq permettra de quantifier les déplacements en profondeur dans les allées de piges qui seront parcourues par les cueilleurs lors de leurs passages. Cette distance s'exprime en unités d'entreposage équivalentes (qui devraient posséder toutes la même largeur).

Étant donné que dans la politique de pige de traversée en zigzag, les cueilleurs sont censés traverser les allées de part en part, la distance en unité équivalente parcourue par traversées

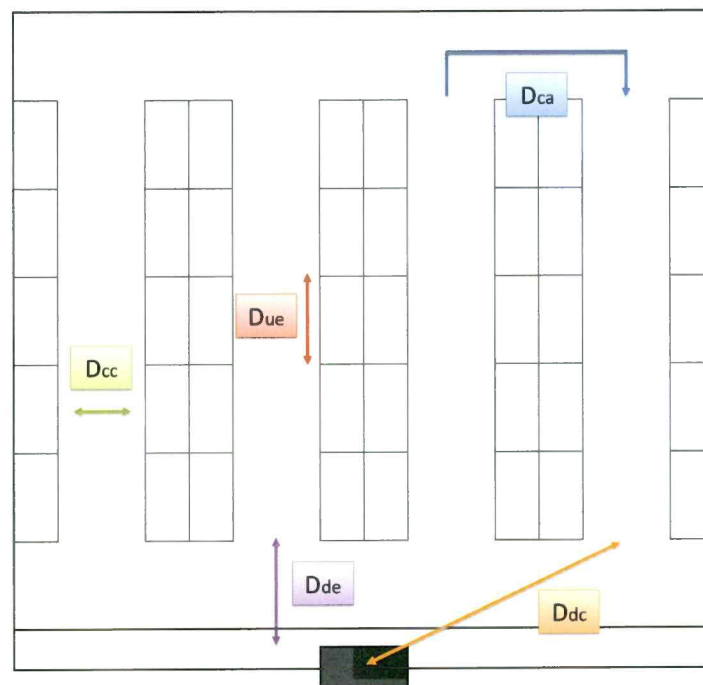
d'allées de pige est égale au nombre d'unités d'entreposage de l'allée divisé par deux (à l'exception de la dernière allée traversée sur laquelle on reviendra plus en détail par la suite).

3.7.3 Estimation des distances parcourues lors de la préparation des commandes

À nouveau, une distinction sera établie selon la politique de chemin de pige en place. Mais, avant cela, il est nécessaire de définir les distances standards qui seront utilisées pour les calculs dans les deux cas de figure.

3.7.3.1 Distances standards

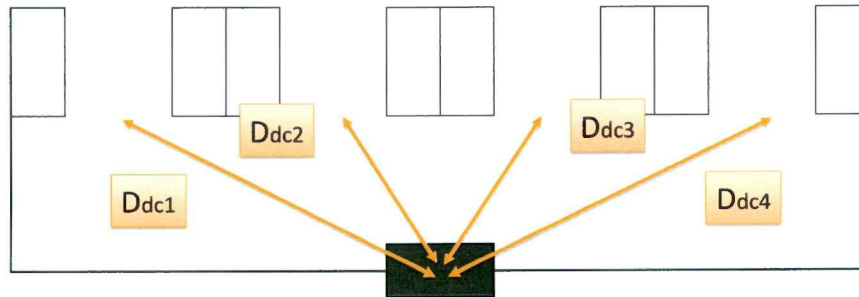
Figure 37 : Définition des distances standards



- D_{ca} : Distance à parcourir pour changer d'allée (en bleu)
- D_{cc} : Distance à parcourir pour changer de côté dans une même allée (en vert)
- D_{ue} : Largeur d'une unité d'entreposage (en rouge)
- D_{de} : Distance entre le bout de l'allée et le dépôt en situation de dépôt étendu (en violet)
- D_{dc} : Distance entre le bout de l'allée et le dépôt en situation de dépôt centralisé (en orange)

- Contrairement aux autres paramètres, D_{dc} prend des valeurs différentes dépendamment de l'allée concernée comme l'illustre le schéma ci-dessous.

Figure 38 : Distances entre les bouts des allées de pige et le dépôt centralisé



Il y aura au total M paramètres représentant ces distances ($D_{dc1}, D_{dc2}, \dots, D_{dcM}$), où M est le nombre d'allées de pige. La distance à considérer entre le bout des allées et le dépôt ne dépend pas du chemin de pige, mais seulement du fait que le dépôt soit étendu ou centralisé.

Dépôt étendu

Dans ce cas, une répartition uniforme des entrées et des sorties sera considérée le long du dépôt et une distance moyenne sera considérée par traversée. Cette distance moyenne sera égale à la longueur du dépôt divisée par deux que l'on multiplie par deux (pour considérer l'allée retour) à laquelle on additionne le double de la largeur de l'allée frontale (correspondant à la distance qu'il faut parcourir pour rentrer dans les allées de pige et les quitter).

Dépôt centralisé

Dans cette situation, il sera nécessaire avant tout de définir les différentes distances possibles entre le bout des allées et le dépôt centralisé dépendamment de l'allée de pige ($D_{dc1}, D_{dc2}, \dots, D_{dcM}$).

Ensuite, au niveau de chaque passage consolidé plus tôt, la distance parcourue au départ entre le dépôt et l'allée (D_{dep}) et la distance parcourue à la fin entre le bout de l'allée et le dépôt (D_{fin}) seront définies de la façon suivante.

Pour D_{fin}

Si numéro première allée = 01 alors $D_{dep} = D_{dc1}$

Sinon si numéro première allée = 02 alors $D_{dep} = D_{dc2}$

... ..

Sinon si numéro première allée = M alors $D_{dep} = D_{dcM}$

Pour D_{fin}

Si numéro dernière allée = 01 alors $D_{fin} = D_{dc1}$

Sinon si numéro dernière allée = 02 alors $D_{fin} = D_{dc2}$

... ..

Sinon si numéro dernière allée = M alors $D_{fin} = D_{dcM}$

Et, finalement, la distance totale qui sera parcourue entre le bout des allées de piges et le dépôt pour chaque passage ($DistDep$) sera la somme de D_{dep} et D_{fin} .

Cette distance sera rajoutée au reste des distances qui seront parcourues par les cueilleurs et qui vont être calculées dans la sous-partie suivante en fonction des chemins de pige empruntés.

3.7.3.2 Distances parcourues par les cueilleurs lors des passages dans la zone avancée

Ces distances comprendront les parcours suivis dans les allées de pige et dans les allées transversales ainsi que les changements d'un côté à l'autre et d'une allée à l'autre.

1) Pour la politique des chemins de pige de traversée en zigzag

a. Distance parcourue dans la longueur des allées de piges ($DistAP$)

Cette distance dépend de la direction dans laquelle la dernière allée de pige sera traversée, car si elle est empruntée en s'éloignant du dépôt, les cueilleurs reviendront alors sur leurs pas pour accéder au dépôt. Si le nombre d'allées de pige traversées est pair, alors il n'y aura pas besoin de faire demi-tour dans la dernière allée de pige. Si, en revanche, le nombre d'allées de pige traversées est impair, alors un retour sur ses pas sera considéré dans la dernière allée. Ceci se traduit par les calculs suivants.

Définissons N comme étant le nombre d'unités d'entreposage par allée de pige.

Si le nombre d'allées de piges traversées est pair alors $\text{DistAP} = D_{ue} \times \text{Nombre d'allées Traversée} \times N/2$.

Si le nombre d'allées de piges traversées est impair alors $\text{DistAP} = D_{ue} \times [(\text{Nombre d'allées Traversée} - 1) \times N/2 + 2 \times \text{Numéro de profondeur}]$.

(Le numéro de profondeur correspond au numéro de profondeur de la dernière unité d'entreposage qui sera rencontrée dans la traversée.)

b. Distance parcourue dans les allées transversales (DistAT)

Cette distance correspond au parcours réalisé dans les allées transversales afin de passer d'une allée de piges à l'autre.

$\text{DistAT} = D_{ca} \times (\text{No Dernière allée} - \text{No Première allée})$

c. Distance parcourue lors des changements de côté (DistCC)

Cette distance correspond aux déplacements d'un côté d'allée de piges à l'autre.

$\text{DistCC} = D_{cc} \times \text{Nombre changement de côté}$

Pour la politique des chemins de pige de retour sur ses pas

a. Distance parcourue dans la longueur des allées de piges (DistAP)

$\text{DistAP} = D_{ue} \times \text{Distance en UE Eq} \times 2$

b. Distance parcourue dans les allées transversales (DistAT)

Cette distance correspond aux changements d'allée de piges lors de la traversée.

$\text{DistAT} = D_{ca} \times (\text{No Dernière allée} - \text{No Première allée})$

c. Distance parcourue lors des changements de côté (DistCC)

Cette distance correspond aux déplacements d'un côté de l'allée de piges à l'autre.

$\text{DistCC} = D_{cc} \times \text{Nombre d'allées Traversée}$

Au final, dans les deux situations, la distance totale sera de :

$$\text{DistPigeAvance} = \text{DistAP} + \text{DistAT} + \text{DistCC} + \text{DistDep}$$

Cette distance de pige concerne la partie de préparation des commandes qui sera réalisée dans la zone avancée. Toutefois, il arrivera également que, pour certains des produits commandés, aucune localisation dans la zone avancée ne soit assignée, auquel cas il sera nécessaire de les piger depuis la réserve.

3.7.3.2 Pige des produits non affectés à la zone avancée

Dans un premier temps, il faut identifier le nombre de passages qui seront réalisés dans la réserve. Pour réaliser cela simplement, on peut utiliser le nombre de lignes de commande qui sera effectué en moyenne lors d'une traversée de la zone de réserve. Ce nombre pourrait être obtenu à l'aide des données historiques. Une fois ce nombre défini, on utilise la table contenant la liste des lignes de commande que l'on filtre en ne retenant que les produits qui n'ont pas été affectés à la zone avancée (dans l'option considérée). On calcul ensuite le nombre total de lignes de commandes que l'on divisera par le nombre de lignes de commandes réalisées en moyenne par passage dans la réserve pour obtenir le nombre total de passages dans la réserve qui seront considérés (que l'on appellera NbrPasRes).

Deux cas de figure se présentent alors : celui où la réserve est superposée aux localisations de pige et celui où elle est strictement séparée. Dans les deux cas, nous considérerons que la répartition des produits (non affectés à la zone avancée) est faite de manière aléatoire au sein de la réserve. Pour calculer la distance qui sera parcourue, l'approche recommandée consiste à faire le calcul de la distance moyenne parcourue par passage. On considérera que les produits sont répartis uniformément tant en largeur qu'en profondeur. Pour réaliser ce calcul de la distance espérée, l'on propose simplement de calculer les distances moyennes qui seront parcourues en largeur et en profondeur (DistResEsp). Le second élément à considérer est la distance escomptée qu'il faudra traverser pour rejoindre le dépôt, considérant toujours une distribution supposée uniforme, cette distance (ResDepEsp) sera la moyenne des deux distances extrêmes entre les sorties des allées de pige de la réserve et le dépôt. Une fois le déplacement moyen évalué, il s'agira de le multiplier par le nombre de traversées réalisées dans la réserve.

Maintenant que les distances de pige sont calculées, la prochaine étape consiste à évaluer le temps nécessaire à la pige qui inclura les délais consacrés aux déplacements qui viennent d'être estimés et, également, les durées liées aux impératifs de manutention des produits.

3.7.4 Estimation du temps nécessaire à la pige

Pour ce faire, il sera nécessaire de déterminer les paramètres suivants.

Vitesse des cueilleurs (VitCueil) : Il est possible de définir des vitesses des cueilleurs différentes en fonction du type d'activités auxquelles ils se livrent (pige dans la réserve, pige dans la zone avancée, opération à la caisse, à l'unité, etc.). Définir des vitesses différentes peut s'avérer particulièrement utile dans le cas où différents équipements de manutention sont utilisés, ce qui impliquerait des vitesses différentes.

Il sera également nécessaire de définir un temps pour la pige des caisses (TpsCs), des unités (TpsUn), d'autres unités de mesure au besoin et temps pour retirer une palette depuis les localisations des niveaux supérieurs (TpsHau). Ensuite, un sommaire des expéditions au niveau des zones (avancées ou réserves) et des formats (caisses, unité ou autres) en sommant le nombre de lignes de commandes, et les distances parcourues devra être réalisé. À partir du sommaire et des paramètres définis ci-dessus, il sera possible de calculer les temps de piges totaux.

Tableau 3 : Logique de calcul des temps nécessaires aux activités opérationnelles

Zone	Type de pige	Lignes de commande	Distance	Temps
Avancée	Caisses	a	b	$a \times \text{TpsCs} + b / \text{VitCueil}$
	Unités	c	d	$c \times \text{TpsUn} + d / \text{VitCueil}$
Réserve	Caisses	e	f	$e \times \text{TpsCs} + f / \text{VitCueil} + (e \times 2 \times \text{TpsHau})$
	Unités	g	h	$g \times \text{TpsCs} + h / \text{VitCueil} + (g \times 2 \times \text{TpsHau})$

Dans le calcul du temps nécessaire pour piger des produits situés en hauteur, le temps consacré à l'accès aux produits situés en hauteur a été multiplié par deux pour représenter le fait qu'une fois le produit cueilli, il sera nécessaire de replacer la palette dans sa localisation située en hauteur. On peut également observer que ce quatrième terme a été mis entre parenthèses, car dans le cas où la réserve est strictement séparée de la zone avancée, la réserve présente également des localisations situées au niveau du sol et que si un produit est

pigé depuis ces localisations, il ne sera pas nécessaire d'accéder à des palettes logées dans les niveaux supérieurs.

Pour obtenir le coût de la pige, il restera à définir les taux horaires qui seront multipliés par la durée de la charge de travail qui a été estimée.

3.7.5 Les réapprovisionnements

Comme il a déjà été expliqué, seuls les réapprovisionnements s'effectuant depuis la réserve jusqu'aux localisations de pige de la zone avancée seront considérés. Pour calculer les coûts qui leur sont associés, il est nécessaire, dans un premier temps, de calculer le nombre de réapprovisionnements réalisés. On peut obtenir ce nombre en divisant le volume expédié de produits par la capacité opérationnelle des localisations auxquelles ils ont été affectés. Exemple : Soit un produit, dont 20 pieds cubes sont expédiés par mois en moyenne, qui est placé dans une localisation ayant une capacité de cinq pieds cubes. Dans cet exemple le nombre de réapprovisionnements sera de quatre par mois en moyenne (20 pieds cubes expédiés divisés par les cinq pieds cubes de capacité dans la localisation).

L'étape qui suit consiste à définir un coût par réapprovisionnement et pour cela il est à nouveau nécessaire de faire la distinction entre la situation où la réserve est superposée à la zone avancée et celle où elle est strictement séparée. En effet, dans le cas où les deux zones sont confondues, souvent la réserve est organisée de façon à ce que les produits qui ont été affectés à la zone avancée soient gardés en stock à proximité des localisations dans lesquelles ils seront placés dans la zone avancée. C'est particulièrement le cas lorsque l'organisation fait usage de logiciels d'entreposage pour accompagner la mise en réserve des produits. L'objectif de ces logiciels est de réduire (entre autres) les déplacements nécessaires lors des réapprovisionnements. Dans ce cas, nous considérerons que le temps nécessaire à la réalisation d'un réapprovisionnement est celui pour accéder à une palette depuis la réserve et de la faire descendre au niveau des localisations de pige en plus du temps nécessaire pour se déplacer jusqu'aux localisations concernées depuis le dépôt et d'y retourner. Dans le cas où les localisations de la zone avancée ne reçoivent pas les palettes dans leur intégralité, il sera utile d'ajouter le temps nécessaire pour replacer les palettes dans leurs localisations de réserve. De plus, dans ce cas de figure, des caisses et des unités (voir autres unités de mesure) sont prises afin de réapprovisionner les localisations de pige. Par conséquent, il faudra également considérer le temps nécessaire à la manutention des produits.

Dans une configuration où la réserve est strictement séparée, on peut s'attendre à une distribution relativement aléatoire des produits dans la réserve (aussi bien pour les produits affectés à la zone avancée que les autres). Aussi, la distance séparant les produits de leurs localisations de pige est plus grande, engendrant ainsi un coût de réapprovisionnement plus important. À nouveau, pour évaluer cette distance, l'approche suggérée consiste à évaluer la distance moyenne qu'il faudra parcourir par réapprovisionnement en considérant une distribution uniforme. Toujours dans le cas de la zone avancée et de la réserve strictement séparées, il s'agit alors de calculer la distance moyenne qui sera parcourue par réapprovisionnement (en projetant les déplacements réalisés en profondeur et en largeur). À cette distance, il faudra ajouter le temps nécessaire pour venir et repartir au dépôt. Ce déplacement (entre le dépôt et la localisation) sera le seul qui sera fait pour le réapprovisionnement dans le cas où la réserve est nettement distincte de la zone avancée. Contrairement à la pigo en réserve où l'activité était répartie uniformément, étant donné que les types d'unité d'entreposage sont répartis considérant un séquençage spécifique et que l'heuristique contrôle le nombre de réapprovisionnements par type d'unités d'entreposage, on ne peut pas formuler l'hypothèse de l'uniformité des réapprovisionnements dans la zone avancée. Pour tenir compte de la répartition, les distances moyennes parcourues seront calculées en considérant des barycentres au niveau des déplacements en largeur et en profondeur, dont la pondération sera liée au nombre de jours de stocks minimum voulu dans les différentes unités d'entreposage. Cette logique de calcul sera présentée plus en détail dans le prochain chapitre lors de l'application de la méthodologie à des données réelles.

Dans le cas où il serait nécessaire de retirer et de replacer les palettes dans la réserve, il faudra aussi envisager un temps supplémentaire. Dans cet ordre d'idées, il ne faut pas omettre le fait qu'il soit possible que le réapprovisionnement se fasse depuis des localisations de la réserve situées au niveau du sol. Dans ce cas, l'opération prendra moins de temps, car il ne sera pas nécessaire d'accéder à des produits situés dans des localisations en hauteur. Il ressort alors que les temps standards nécessaires par réapprovisionnements diffèrent selon qu'il s'agisse de palettes pleines, de caisses, d'unités, ou que les réapprovisionnements soient effectués depuis les localisations au sol ou celles en hauteur dans la réserve. Pour déterminer alors les temps de réapprovisionnement, il suffira de multiplier le nombre de

réapprovisionnements par le temps standard estimé en fonction du type de réapprovisionnement considéré.

3.7.6 Autres coûts

Dans cette partie, il sera question des coûts liés à l'utilisation de l'équipement ainsi que de la question des reconfigurations.

3.7.6.1 Coût lié à l'équipement d'entreposage

Étant donné que l'équipement d'entreposage peut être utilisé sur des périodes relativement longues, il est nécessaire de considérer la partie du coût de l'équipement associé à son utilisation pendant la saison considérée. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître le temps d'amortissement en fonction des équipements ainsi que de leur coût initial. L'amortissement imputable à la saison considérant l'ensemble des unités d'entreposages utilisés sera ainsi calculé (et diffèrera selon les options considérées). Par exemple, si une unité d'entreposage a coûté initialement 500\$ et qu'elle est utilisable pendant 10 ans, alors le coût s'y rapportant pendant une saison de 6 mois serait de 25 \$.

3.7.6.2 La reconfiguration

Les coûts de reconfiguration pourraient différer radicalement d'une organisation à une autre dépendamment des technologies utilisées dans ses activités d'entreposage, des équipements en place ainsi que de l'expertise de la main-d'œuvre disponible. L'élaboration d'une approche destinée à l'estimation des coûts de reconfiguration devrait être en mesure d'évaluer l'importance des changements conformément aux options considérées et de présenter une certaine corrélation entre les coûts de reconfiguration et l'ampleur des changements. Peu de littérature et de documentation sont disponibles autour de la question des reconfigurations saisonnières. Si Nguyen (2005), dans ses travaux, fait état des coûts de reconfiguration liés à l'affectation des produits dans la zone avancée, ni les coûts par affectation ni la méthode pour les obtenir ne sont présentés. Devant le manque d'information concernant le calcul de ces coûts de reconfiguration et leur complexité, ces derniers ne seront pas calculés dans la méthodologie présentée. Ainsi, les résultats qui seront avancés lors de la comparaison des coûts entre les solutions identifiées et l'existant ne tiendront pas compte des coûts de reconfiguration. Toutefois, le modèle de sélection de la meilleure combinaison de

configurations saisonnières qui sera présenté dans la prochaine sous-partie intégrera dans sa logique des coûts de reconfiguration qui diffèrent selon les options considérées au cas où l'entreprise serait en mesure de les estimer.

Après avoir réalisé ces estimations de coûts pour chacune des options et pour la configuration qui fut en place lors de la dernière année, la prochaine étape consistera à choisir quelle option adopter selon les saisons à l'aide d'un modèle mathématique permettant de déterminer la combinaison optimale en considérant les coûts des différentes options et celui des reconfigurations.

3.8 Modèle de sélection des combinaisons et évaluation des résultats

Dans cette partie, le modèle d'optimisation développé qui permet de sélectionner la meilleure combinaison d'options va être présenté. Afin d'illustrer le modèle, nous utiliserons un exemple où trois saisons et où six options sont considérées (avec un pourcentage différent de produits placés dans la zone avancée par option : 10%, 20%, 30%, 40%, 50% et 100%).

3.8.1 Le Modèle d'optimisation (non linéaire)

Notation :

i : Numéro de la saison avec $I = \{1, 2, 3, 4, 5, \dots, N\}$ où N est la dernière saison considérée.

j : Pourcentage de produits affectés à la zone avancée dans la saison courante avec $J = \{10, 20, 30, 40, 50, 100\}$.

k : Pourcentage de produits affectés à la zone avancée dans la saison suivante.

Paramètres :

C_{ij} : Coûts estimés pour l'option j lors de la saison i .

D_{ijk} : Coûts estimés pour la reconfiguration lors du passage de la saison i à la saison $i + 1$ si lors de la saison i , l'option j est en place et si dans la saison $i + 1$ l'option k est en place.

Variables binaires :

$S_{ij} : \begin{cases} 1 & \text{si à la saison } i, j \text{ pourcent des produits sont affectés à la zone avancée} \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$

Fonction objective :

$$\text{Min } \sum_{i=1}^N \sum_{j \in J} C_{ij} S_{ij} + \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j \in J} \sum_{k \in J} D_{ijk} S_{ij} S_{(i+1)k}$$

Contraintes :

$$\sum_{j \in J} S_{ij} = 1 \quad \forall i \in I$$

3.8.2 Illustration

Les paramètres

Les paramètres du modèle sont les valeurs qui ont été obtenues à travers les calculs réalisés dans l'étape précédente, à savoir l'estimation des coûts liés à chaque saison pour les différentes options ainsi que ceux liés aux reconfigurations au cas où l'organisation est en mesure de les estimer.

Si l'on considère trois saisons avec six options chacune, on obtient les paramètres relatifs aux coûts des configurations qui sont rapportés à la figure 32.

Figure 39 : Illustration des paramètres correspondant aux coûts des différentes options

Coûts des options					
C-S01-10	A	C-S02-10	G	C-S03-10	M
C-S01-20	B	C-S02-20	H	C-S03-20	N
C-S01-30	C	C-S02-30	I	C-S03-30	O
C-S01-40	D	C-S02-40	J	C-S03-40	P
C-S01-50	E	C-S02-50	K	C-S03-50	Q
C-S01-100	F	C-S02-100	L	C-S03-100	R

Dans notre exemple, le nombre d'options est de 18, ce qui correspond au produit du nombre d'options par saison multiplié par le nombre de saisons.

Rappelons que ces coûts totaux pour les différentes options sont composés de l'ensemble des coûts estimés décrits précédemment, à savoir :

- Les coûts de préparation des commandes (dans la zone avancée et dans la réserve)
- Les coûts de réapprovisionnements
- Les coûts d'utilisation des équipements d'entreposage

Concernant les coûts associés aux reconfigurations, pour chaque changement de configuration possible un coût doit être estimé. Étant donné que dans l'exemple, trois saisons sont considérées où six options sont possibles, 72 reconfigurations différentes sont envisageables. En effet, à chaque changement de saison il y a 36 cas de figure possibles qui correspondent au nombre d'options possibles par saison multiplié par le nombre d'options possibles dans la prochaine saison (6 x 6). Comme trois saisons sont considérées, deux changements de saisons auront lieu, d'où $2 \times 36 = 72$ changements possibles. La formule qui ressort est que le nombre de paramètres de coût de reconfiguration sera égal à : nombre d'options de la saison 1 x nombre d'options de la saison 2 + nombre d'options de la saison 2 x nombre d'options de la saison 3 + ... + nombre d'options de la saison N-1 x nombre d'options de la saison N, où N est le nombre de saisons considérées.

Figure 40 : Illustration des paramètres correspondant aux coûts de reconfiguration

Coût de changement de configuration											
S01-10 à S02-10	a	S01-20 à S02-10	a'	S01-30 à S02-10	a''	S01-40 à S02-10	a'''	S01-50 à S02-10	a''''	S01-100 à S02-10	a'''''
S01-10 à S02-20	b	S01-20 à S02-20	b'	S01-30 à S02-20	b''	S01-40 à S02-20	b'''	S01-50 à S02-20	b''''	S01-100 à S02-20	b'''''
S01-10 à S02-30	c	S01-20 à S02-30	c'	S01-30 à S02-30	c''	S01-40 à S02-30	c'''	S01-50 à S02-30	c''''	S01-100 à S02-30	c'''''
S01-10 à S02-40	d	S01-20 à S02-40	d'	S01-30 à S02-40	d''	S01-40 à S02-40	d'''	S01-50 à S02-40	d''''	S01-100 à S02-40	d'''''
S01-10 à S02-50	e	S01-20 à S02-50	e'	S01-30 à S02-50	e''	S01-40 à S02-50	e'''	S01-50 à S02-50	e''''	S01-100 à S02-50	e'''''
S01-10 à S02-100	f	S01-20 à S02-100	f'	S01-30 à S02-100	f''	S01-40 à S02-100	f'''	S01-50 à S02-100	f''''	S01-100 à S02-100	f'''''
S02-10 à S03-10	g	S02-20 à S03-10	g'	S02-30 à S03-10	g''	S02-40 à S03-10	g'''	S02-50 à S03-10	g''''	S02-100 à S03-10	g'''''
S02-10 à S03-20	h	S02-20 à S03-20	h'	S02-30 à S03-20	h''	S02-40 à S03-20	h'''	S02-50 à S03-20	h''''	S02-100 à S03-20	h'''''
S02-10 à S03-30	i	S02-20 à S03-30	i'	S02-30 à S03-30	i''	S02-40 à S03-30	i'''	S02-50 à S03-30	i''''	S02-100 à S03-30	i'''''
S02-10 à S03-40	f	S02-20 à S03-40	f'	S02-30 à S03-40	f''	S02-40 à S03-40	f'''	S02-50 à S03-40	f''''	S02-100 à S03-40	f'''''
S02-10 à S03-50	k	S02-20 à S03-50	k'	S02-30 à S03-50	k''	S02-40 à S03-50	k'''	S02-50 à S03-50	k''''	S02-100 à S03-50	k'''''
S02-10 à S03-100	i	S02-20 à S03-100	i'	S02-30 à S03-100	i''	S02-40 à S03-100	i'''	S02-50 à S03-100	i''''	S02-100 à S03-100	i'''''

Les variables

Les seules variables de ce modèle sont des variables binaires indiquant si à la saison i , la configuration j est retenue. Ainsi, il y aura la variable binaire S01-10 qui prendra la valeur 1 si la configuration où 10% des produits sont affectés à la zone avancée est retenue pour la saison

1. Il y aura donc autant de variables que de combinaisons saison-option possibles (dans notre exemple de trois saisons avec six options par saison, il y aura 18 variables binaires au total : S01-10, S01-20, ..., S03-100).

Les contraintes

Les contraintes utilisées seront celle s'assurant de la binarité des variables et de celles permettant de s'assurer que dans chaque saison, une seule option soit retenue. Il y aura autant de contraintes de ce type qu'il y aura de saisons. Dans notre exemple, les contraintes seraient les suivantes.

Figure 41 : Illustration des contraintes

Contraintes
$S01-10 + S01-20 + S01-30 + S01-40 + S01-50 + S01-100 - 1 \geq 0$
$S02-10 + S02-20 + S02-30 + S02-40 + S02-50 + S02-100 - 1 \geq 0$
$S03-10 + S03-20 + S03-30 + S03-40 + S03-50 + S03-100 - 1 \geq 0$

La variable binaire SYY-XX est égale à 1 si à la saison YY, la configuration où XX % des produits sont affectés à la zone avancée est retenue. On peut se contenter d'un signe de supérieur ou égal dans notre cas car la fonction objectif, qui va être présentée maintenant, cherche à minimiser les coûts et qu'à l'ajout de n'importe quelle option dans une même saison, les coûts augmentent.

La fonction objectif

Comme il l'a été expliqué plus haut, la fonction objectif a pour but de minimiser les coûts. Ceux liés à l'application des options sont considérés en multipliant les variables binaires indiquant la réalisation de l'option lors d'une saison multiplié par le coût associé à l'option en question. Pour tenir compte des coûts de reconfiguration, les variables de réalisation d'options sont multipliées les unes par les autres pour identifier les reconfigurations qui ont lieu. Par exemple, si on passe de l'option S01-10% à l'option S02-40% alors les variables binaires S01-10 et S02-40 seront toutes deux égales à 1, ce qui fait que le produit des deux variables donnera 1 également. C'est pour cela que l'on effectue le produit avec les différentes combinaisons possibles que l'on multiplie aux coûts de reconfigurations associés. Voici la fonction objective que l'on aurait avec l'exemple présenté plus tôt.

Figure 42 : Illustration de la fonction objectif

Fonction Objectif	
Minimiser les coûts =	$A \times S01-10 + B \times S01-20 + \dots + F \times S01-100 +$ $G \times S02-10 + H \times S02-20 + \dots + L \times S02-100 +$ $M \times S03-10 + N \times S03-20 + \dots + R \times S03-100 +$ $a \times (S01-10 * S02-10) + b \times (S01-10 * S02-20) + \dots + i^{''''} \times (S02-100 * S03-100)$

Cette fonction n'est pas linéaire, car pour considérer les coûts de reconfiguration, les variables binaires seront multipliées les unes aux autres. Toutefois, malgré cette non-linéarité, il a été possible d'utiliser le modèle à l'aide du Solver d'Excel en considérant 72 options et le temps d'exécution fut très court. Toutefois, du fait de la non-linéarité de la fonction objectif, la difficulté de résolution deviendra grande rapidement en augmentant la taille du modèle. Précisons également que le Solver d'Excel n'étant pas spécialement adapté à la résolution de modèles non-linéaires, il se pourrait que la solution présentée par ce dernier ne soit pas optimale. Ceci ne sera problématique dans le prochain chapitre où la méthode sera appliquée car la non-linéarité ne concerne que les coûts de reconfiguration et que ces derniers ne seront pas considérés.

Maintenant que la combinaison de reconfigurations saisonnières optimale a été identifiée, il est temps de passer à la huitième et dernière étape de la méthodologie qui consiste en l'évaluation des résultats obtenus et de la comparaison aux pratiques existantes qui ignorent les considérations saisonnières.

3.9 Modèle de sélection des combinaisons et évaluation des résultats

La sensibilité de la combinaison optimale sélectionnée à la variation des différents coûts considérés par le modèle (les coûts de pège dans la zone avancée, dans la réserve et les coûts de réapprovisionnements) sera évaluée. Considérant les hypothèses posées dans la méthode ainsi que les variations relatives aux prévisions qui ont servi à la réalisation des configurations saisonnières proposées, une sensibilité relativement faible de la solution optimale renforcerait la crédibilité des résultats obtenus.

Dans le cadre de la comparaison des coûts estimés de la combinaison optimale de configurations saisonnières à ceux résultant de la configuration utilisée lors de la dernière année, il est aussi intéressant d'effectuer des analyses afin d'évaluer la sensibilité de l'intérêt

de procéder aux reconfigurations saisonnières (s'il y a lieu). Cet intérêt pourrait fluctuer dépendamment des variations qui seront exercées sur les différents coûts considérés. La sensibilité de ces résultats sera également évaluée en fonction de la variation de la demande réelle de la dernière année par rapport aux prévisions qui furent réalisées.

Dans le prochain chapitre, les différentes étapes de la méthode présentée seront appliquées en utilisant les données réelles d'une organisation et les analyses de sensibilité seront alors abordées plus en détail en fonction des résultats qui seront alors obtenus.

Chapitre IV : Application de la méthodologie

Dans ce chapitre, la méthodologie présentée précédemment va être appliquée aux données réelles d'un centre de distribution. Cette expérimentation devrait permettre, d'une part, de vérifier son applicabilité et, d'autre part, d'évaluer les économies opérationnelles qui résulteraient de reconfigurations saisonnières.

4.1 Présentation du centre de distribution

Les données qui seront utilisées dans cette partie concernent un centre de distribution œuvrant dans le domaine alimentaire. Ce centre ne comporte qu'une seule section d'entreposage offrant un environnement sec. Dans cette structure, la zone avancée et la zone de réserve ne sont pas strictement séparées, les localisations de pige étant situées aux niveaux accessibles au sol et celles de réserve dans les localisations qui ne le sont pas. Les expéditions auxquelles se livre le centre se font en caisses et en unités. Toutefois, ce sont les mêmes produits qui sont expédiés dans les deux unités de mesure. De plus, il n'y a pas de distinction entre les localisations en fonction de l'unité de mesure dans laquelle se fait la pige. En effet, si un produit est pigé à la fois à la caisse et à l'unité, les cueilleurs réalisent la pige à la caisse et à l'unité dans la même localisation de la zone avancée. Précisons que les opérations concernant la pige à l'unité sont limitées (en nombre de lignes de commande). Concernant les autres informations relatives à ce centre de distribution, elles seront présentées au fur et à mesure que la méthodologie sera appliquée.

Notons que le détail concernant les données relatives à la configuration du centre de distribution et à sa zone avancée lors de l'année qui nous intéresse ne sera pas présenté afin de respecter l'anonymat de l'organisation ayant bien voulu partager ses données.

4.2 Application de la méthodologie

Dans cette partie, la méthodologie décrite dans le précédent chapitre sera appliquée aux données réelles du centre de distribution qui vient d'être présenté brièvement. Avant de rentrer dans le détail de la méthodologie, précisons que tous les traitements informationnels qui seront présentés furent réalisés à l'aide de SAS et d'Excel et que des annexes présentant

les codes SAS utilisés pour aboutir aux résultats sont disponibles. 2013 est l'année la plus récente parmi les données recueillies. C'est donc cette année-là qui sera étudiée pour évaluer l'utilité des reconfigurations saisonnières.

4.2.1 Les données

Tels que décrits précédemment, les deux fichiers qui seront utilisés sont ceux des produits et des commandes. La figure 36 présente un exemple du fichier maître des produits qui fut utilisé avec les différents champs et trois lignes fictives

Figure 43 : Exemple du fichier maître des produits reçu

Numéro du produit	Description	Type de produits	Catégorie	Sous Catégorie	Localisation	Longueur (pouces)	Largeur (pouces)	Hauteur (pouces)	Volume (pieds cubes)	Poids (livres)	Unités par caisse
789546	Desc A	Produit fini	Cadeau	Marque	05221A	13.2	10.0	8.4	0.64	11.76	10
123789	Desc B	Intérmédiaire	Cuisine	Cuisson	02012B	11.8	10.9	2.3	0.17	8.71	4
179539	Desc C	Matière première	Divers	Vêtements	09017C	12.0	12.0	12.5	1.04	15.36	1

On retrouve les informations quantitatives, les unités de mesure ainsi que les identifiants qui permettront d'identifier les produits et de réaliser les mises en relation avec le fichier des commandes. Il y a aussi l'information sur les catégories et les sous-catégories qui permettra de rajouter des niveaux de granularité supplémentaire qui serviront à un calcul de moyennes pondérées plus précis. Au final, 6 412 produits différents sont contenus dans le fichier maître des produits.

Concernant le fichier des commandes qui fut utilisé, voici un exemple présentant les différents champs avec trois lignes fictives

Figure 44 : Exemple du fichier des commandes reçues

Numéro du produit	Numéro de commande	Numéro de client	Unité de mesure	Quantité commandée	Date de commande	Quantité expédiée	Date d'expédition
789546	N040901-02	7895	Caisse	2	10/02/2015	2	10/02/2015
123789	N100530	4789	Unité	5	22/05/2015	4	23/05/2015
179539	N081015-01	1580	Caisse	1	02/11/2015	1	04/11/2015

Dans le fichier des commandes, les champs mentionnés dans le chapitre précédent sont présents en plus de la distinction qui est faite entre l'information des commandes et celles des expéditions. En effet, avant qu'un produit ne soit expédié, il est nécessaire qu'il soit commandé. Or, bien que ça soit relativement rare, il arrive que l'entreprise ne soit pas en

mesure d'expédier tout ce qui fut commandé. Lorsqu'il y aura une différence entre les commandes et les expéditions, ce seront les informations concernant les expéditions qui seront retenues, car ce sont elles qui représentent le mieux l'activité opérationnelle du centre de distribution. Dans le fichier des commandes, il se trouve 3 660 produits différents pour 968 490 lignes de commande expédiées, correspondant à un volume total de 1 439 421 pieds cubes.

4.2.2 Les prévisions et l'identification des saisons

Dans cette sous-section, on s'intéressera aux données concernant les prévisions de 2013 ainsi que les données réelles pour ensuite réaliser l'identification des saisons et, finalement, définir les volumes de référence qui serviront aux prochaines étapes.

Concernant les prévisions pour l'année 2013, elles furent réalisées à partir des données de 2012 en considérant un pourcentage de croissance fixe pour les volumes d'expédition répartis de la même façon entre tous les produits. Il est entendu que les lignes de commandes connaîtront la même croissance que celles des volumes d'expédition. Concernant la variété de produit, l'organisation la considère stable et aucune variation n'est anticipée (toutefois, de légères fluctuations sont observables entre 2012 et 2013 dans les données réelles).

Pour ce qui est de l'identification des saisons, il se trouve que l'entreprise en question n'a pas pour habitude d'identifier des saisons dans ses activités et que les techniques de prévision (qui viennent d'être décrites) n'offrent pas d'informations particulières sur la saisonnalité. C'est pour cette raison que ce sont les données historiques qui seront utilisées pour réaliser la segmentation de l'année en différentes saisons. Pour ce faire, une consolidation au niveau des semaines a été réalisée en gardant l'information concernant la variété des produits, le nombre de commandes et de lignes de commandes et les expéditions en pieds cubes. Ainsi, le tableau ci-dessous fut obtenu.

Tableau 4 : Sommaire de l'activité hebdomadaire en 2013

Semaine	Produits différents	Commandes	Lignes de commande	Expéditions en pieds cubes	Expéditions en caisses équivalentes	Semaine	Produits différents	Commandes	Lignes de commande	Expéditions en pieds cubes	Expéditions en caisses équivalentes
12-Jan-13	1220	2173	16011	20527.73	56958	13-Jul-13	1512	1985	13300	22644.19	68981
19-Jan-13	1078	1978	16023	15184.89	44305	20-Jul-13	1428	1941	18132	23599.99	68867
26-Jan-13	1127	1839	13569	15861.2	41773	27-Jul-13	1436	1640	13887	32033.54	85793
02-Feb-13	1151	2065	16472	24437.74	65914	03-Aug-13	1597	3079	21663	49989.32	128948
09-Feb-13	1113	2038	13062	13406.01	39606	10-Aug-13	1476	1485	14291	29319.07	88320
16-Feb-13	1092	2024	12146	10436.09	30035	17-Aug-13	1539	1811	16526	28794.21	83301
23-Feb-13	1262	3614	20787	18276.34	53421	24-Aug-13	1448	1561	14332	25184.57	73490
02-Mar-13	1134	1728	12704	17962.55	44310	31-Aug-13	1381	1745	15481	27088.66	77610
09-Mar-13	1081	1505	11395	17602.2	50091	07-Sep-13	1460	1689	14286	30245.52	88325
16-Mar-13	1094	1572	13907	11871.4	35610	14-Sep-13	1465	1671	16175	26270.66	77665
23-Mar-13	1145	1547	11250	13586.57	38340	21-Sep-13	1516	2303	16596	33854.11	92493
30-Mar-13	1236	1576	13644	23158.66	65522	28-Sep-13	1479	2548	20317	33210.98	92698
06-Apr-13	1085	1142	9455	17181.03	49518	05-Oct-13	1582	2224	18661	39256.89	103815
13-Apr-13	1124	1429	11899	13992.94	39688	12-Oct-13	1548	2026	17169	38357.49	103947
20-Apr-13	1219	1419	12445	16501.08	48424	19-Oct-13	1713	3562	24635	38866.07	207285
27-Apr-13	1300	2844	18573	18095.47	53837	26-Oct-13	1741	2760	20967	63986.28	155492
04-May-13	1144	1532	12356	24093.29	63393	02-Nov-13	1611	3235	21303	46433.53	128028
11-May-13	1323	1806	13719	16701	50430	09-Nov-13	1482	2659	18926	28213.07	80253
18-May-13	1408	2486	17186	20669.75	61103	16-Nov-13	1623	3076	22029	41132.29	105113
25-May-13	1317	1554	15550	22159.76	66216	23-Nov-13	1681	4327	25464	43106.75	103101
01-Jun-13	1300	1719	20362	28579.61	85376	30-Nov-13	1819	7921	34946	43341.5	117262
08-Jun-13	1192	1317	11153	18870.54	53609	07-Dec-13	1915	17391	59510	63821.12	166785
15-Jun-13	1327	1715	12146	23466.3	63333	14-Dec-13	1896	30988	72911	77513.34	177427
22-Jun-13	1241	1340	11373	15785.08	46489	21-Dec-13	1881	27924	74667	75830.13	184289
29-Jun-13	1456	1310	13575	20045.87	62739	28-Dec-13	1450	3678	15914	29940.41	79490
06-Jul-13	1299	1335	11554	18874.91	53861						

Notons que seulement 51 semaines sont considérées, car dans la semaine correspondant à la période des fêtes de fin d'année, il y a très peu d'activités d'expédition avec un centre de distribution quasiment fermé.

À partir de ce sommaire, les figures suivantes furent obtenues, décrivant respectivement la variété de produits, les lignes de commande et les pieds cubes expédiés.

Figure 45 : Évolution du nombre de produits différents expédiés en 2013



Figure 46 : Évolution du nombre de lignes de commande expédiées en 2013

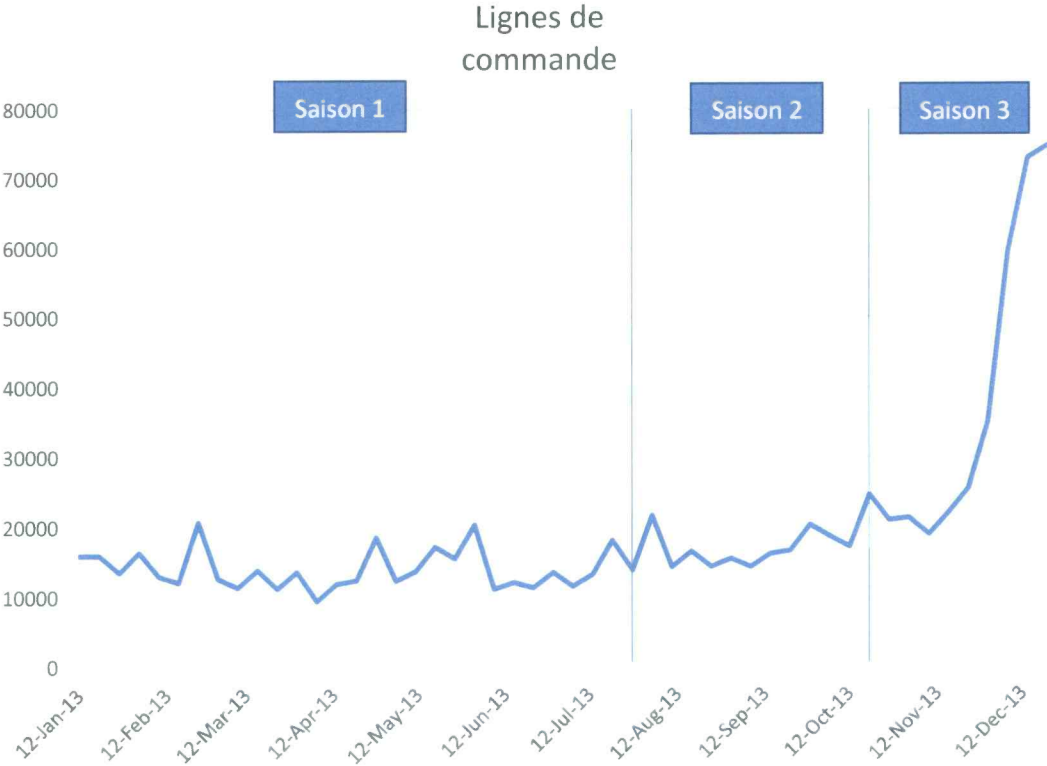


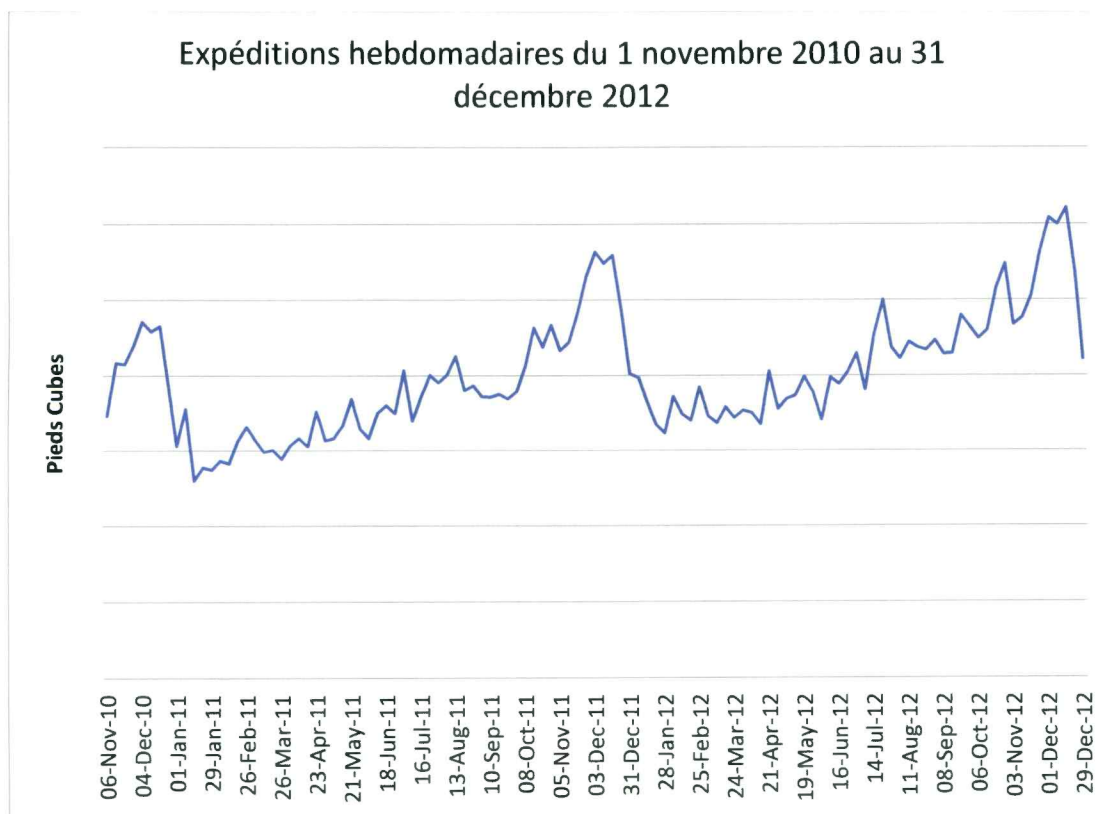
Figure 47 : Évolution du nombre de pieds cubes expédiés en 2013



Au regard des trois graphiques, trois saisons furent identifiées : la plus longue allant du 6 janvier au 27 juillet, la seconde allant du 28 juillet au 19 octobre et la dernière du 20 octobre au 28 décembre. Cette division se fonde essentiellement sur la base des quantités expédiées où l'on peut distinguer ces trois saisons et sur celle de la variété des produits qui varie au long de l'année. Notons toutefois que l'évolution des lignes de commande ne tend pas à justifier trois saisons, mais plutôt deux, mais comme la variété de produits et les quantités expédiées en justifient trois, nous procéderons ainsi. Dans chacune de ces saisons, des moyennes hebdomadaires, au niveau des produits, seront calculées pour les différentes informations quantitatives et serviront à la prise de décision lors des prochaines étapes.

Il est également intéressant d'observer une certaine forme de récurrence dans la saisonnalité en s'intéressant aux fluctuations du volume d'expédition lors des années précédentes présentées à la figure 41.

Figure 48 : Évolution du nombre de pieds cubes expédiés en 2011 et 2012



Dans la prochaine sous-section, il sera question de la sélection des produits à affecter à la zone avancée selon les saisons

4.2.3 Problème de la zone avancée réserve

Tels que décrits dans la méthodologie, six options vont être identifiés pour chacune des saisons où le pourcentage de produits affectés à la zone avancée variera (10%, 20%, 30%, 40%, 50% et 100%). Dans le centre de distribution, objet de notre étude, les quantités par ligne de commande sont suffisamment faibles pour ne pas à avoir à introduire la logique de lignes de commande équivalentes (décrite dans la méthodologie). Pour identifier les produits à affecter pour chacune des saisons, il suffit d'appliquer la logique suivante pour chacune des saisons : 1) regrouper l'information au niveau des produits en retenant l'information concernant les lignes de commande; 2) Classer les produits par ordre décroissant du nombre de lignes de commande; 3) Les 10 premiers pourcents de produits (apparaissant dans l'ordre défini) sont affectés à tous les options, les 10 prochains sont affectés à tous les options sauf

celui où seulement 10% des produits sont affectés à la zone avancée. Les 10 qui suivent seront affectés à tous les options sauf ceux de 10 et 20 pourcents et ainsi de suite.

Après avoir appliqué la logique décrite, les résultats suivants ont été obtenus.

Tableau 5 : Sommaire de l'affectation des produits aux zones avancées

Saison 1							
Pourcentage de produits affectés à la zone avancée	Nombre de produits différents	Lignes de commande pigées depuis la zone avancée		Expéditions réalisées depuis la zone avancée		Lignes de commande pigées depuis la réserve	
		en quantité	en pourcentage	en pieds cubes	en pourcentage	en quantité	en pourcentage
10%	271	307207	75%	362207	65%	100428	25%
20%	543	365971	90%	459525	83%	41664	10%
30%	815	382117	94%	487456	88%	25518	6%
40%	1087	391363	96%	499042	90%	16272	4%
50%	1359	397510	98%	511795	92%	10125	2%
100%	2718	407635	100%	555606	100%	0	0%

Saison 2							
Pourcentage de produits affectés à la zone avancée	Nombre de produits différents	Lignes de commande pigées depuis la zone avancée		Expéditions réalisées depuis la zone avancée		Lignes de commande pigées depuis la réserve	
		en quantité	en pourcentage	en pieds cubes	en pourcentage	en quantité	en pourcentage
10%	277	148680	71%	241485	60%	61452	29%
20%	554	183741	87%	304103	76%	26391	13%
30%	831	194373	93%	321545	80%	15759	7%
40%	1108	200069	95%	331495	83%	10063	5%
50%	1386	203735	97%	345500	86%	6397	3%
100%	2772	210132	100%	400438	100%	0	0%

Saison 3							
Pourcentage de produits affectés à la zone avancée	Nombre de produits différents	Lignes de commande pigées depuis la zone avancée		Expéditions réalisées depuis la zone avancée		Lignes de commande pigées depuis la réserve	
		en quantité	en pourcentage	en pieds cubes	en pourcentage	en quantité	en pourcentage
10%	286	243054	69%	268309	56%	107669	31%
20%	572	312546	89%	354763	73%	38177	11%
30%	858	331136	94%	388699	80%	19587	6%
40%	1145	338832	97%	400356	83%	11891	3%
50%	1431	343522	98%	443124	92%	7201	2%
100%	2863	350723	100%	483378	100%	0	0%

Il est intéressant de noter que dans tous les cas où au moins 20% des produits sont affectés à la zone avancée, au moins 87 % des lignes de commande sont pigées depuis la zone avancée. Bien que le pourcentage de pieds cubes expédié depuis la zone avancée augmente également au fur et à mesure que le pourcentage de produits affectés augmente, on peut noter que ce taux augmente plus lentement que celui des lignes de commandes.

La prochaine étape consistera en la sélection des différents types d'unités d'entreposage selon les saisons pour les données réelles de 2013 ainsi que pour les données obtenues grâce aux prévisions.

4.2.4 Sélection des types d'unités d'entreposage

On retrouve quatre types d'unités d'entreposage différentes, à savoir des casiers (CAS), des étagères à rouleaux à gravité inversée (GIV), des palettiers à simple profondeur destinés à recevoir des demi-palettes (SP2) et simple profondeur destinés à recevoir des palettes pleines (SP1). Les CAS sont organisés par groupes de trois installés sous les palettiers suspendus (comme les autres types d'unités d'entreposage), chacun des trois casiers est composé de cinq niveaux de haut et de quatre de large, pour un total de 20 localisations par casier et donc 60 localisations par unité d'entreposage (regroupant trois casiers). Les GIV qui, au niveau de la pige, occupent l'équivalent de deux unités d'entreposage et comportent trois niveaux de haut et comprenant chacun six localisations soit 18 localisations par unité d'entreposage. Également, il sera nécessaire de considérer pour les GIV des contraintes de poids sur les produits qui y seront entreposés. Les SP2 accueillent des demi-palettes et sont composés de deux niveaux avec deux localisations chacun soit quatre localisations par unité d'entreposage. Et, finalement, les SP1 avec un seul niveau de deux localisations. À noter que pour certains produits à très forte vélocité, deux localisations sont assignées, ce qui nous amène à considérer deux types de SP1, ceux qui accueillent deux produits différents, les SP1-1, et ceux qui accueillent le même produit dans les deux localisations, SP1-2. Concernant les paramètres opérationnels qui furent considérés, on retrouve 10% d'ouverture, 5 jours d'activités et une utilisation des capacités brutes d'entreposage de 85% (en moyenne). Pour ce qui concerne les capacités en jours de stocks pour les localisations des différents profils, on retrouve 10 jours pour les CAS, cinq pour les GIV, cinq pour les SP2 et un pour les SP1-1 et les SP1-2. Le tableau ci-dessous informe sur les dimensions des localisations.

Tableau 6 : Dimensions des différents types d'unités d'entreposage

Type d'unité d'entreposage	Longueur (en pouces)	Largeur (en pouces)	Hauteur (en pouces)	Capacité d'entreposage brute par localisation (en pieds cubes)
CAS	18	9	16	1.5
GIV	92	15	18	14.4
SP2	X	X	X	35
SP1-1 et SP1-2	X	X	X	55

Notons que les types d'unités d'entreposage ont été classés dans l'ordre séquentiel qui sera suivi dans la logique de l'heuristique qui a été programmée dans SAS tel que présenté en annexe.

Après avoir appliqué le code ci-dessus sur les données liées aux prévisions pour 2013, les résultats suivants sont obtenus pour la saison 1 (les résultats pour les autres saisons sont disponibles en annexe).

Tableau 7 : Besoins estimés en type d'unité d'entreposage

10%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
2-GIV	27	30	1.7	2	4
3-SP2	135	149	37.1	38	38
4-SP1-1	104	114	57.2	58	58
5-SP1-2	5	11	5.5	6	6

20%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	55	61	1.0	2	2
2-GIV	161	177	9.8	10	20
3-SP2	198	218	54.5	55	55
4-SP1-1	124	136	68.2	69	69
5-SP1-2	5	11	5.5	6	6

30%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	188	207	3.4	4	4
2-GIV	280	308	17.1	18	36
3-SP2	217	239	59.7	60	60
4-SP1-1	125	138	68.8	69	69
5-SP1-2	5	11	5.5	6	6

40%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	371	408	6.8	7	7
2-GIV	363	399	22.2	23	46
3-SP2	223	245	61.3	62	62
4-SP1-1	125	138	68.8	69	69
5-SP1-2	5	11	5.5	6	6

50%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	574	631	10.5	11	11
2-GIV	423	465	25.9	26	52
3-SP2	231	254	63.5	64	64
4-SP1-1	126	139	69.3	70	70
5-SP1-2	5	11	5.5	6	6

100%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	1803	1983	33.1	34	34
2-GIV	519	571	31.7	32	64
3-SP2	259	285	71.2	72	72
4-SP1-1	132	145	72.6	73	73
5-SP1-2	5	11	5.5	6	6

Logiquement, plus le pourcentage de produits affecté à la zone avancée est grand, plus le besoin en unités d'entreposage augmente. Ce qui est intéressant à observer, c'est la répartition de cette augmentation entre les différents types d'unités d'entreposage. Les tableaux ci-dessous montrent la croissance en pourcentage entre les différentes options avec le détail par types d'unités d'entreposage.

Tableau 8 : Évolution des besoins en types d'unités d'entreposage

10% à 20%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	-	-	-	-	-
2-GIV	496.30%	496.30%	496.30%	400.00%	400.00%
3-SP2	46.67%	46.67%	46.67%	44.74%	44.74%
4-SP1-1	19.23%	19.23%	19.23%	18.97%	18.97%
5-SP1-2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

20% à 30%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	241.82%	241.82%	241.83%	100.00%	100.00%
2-GIV	73.91%	73.91%	73.91%	80.00%	80.00%
3-SP2	9.60%	9.60%	9.60%	9.09%	9.09%
4-SP1-1	0.81%	0.81%	0.81%	0.00%	0.00%
5-SP1-2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

30% à 40%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	97.34%	97.34%	97.34%	75.00%	75.00%
2-GIV	29.64%	29.64%	29.64%	27.78%	27.78%
3-SP2	2.76%	2.76%	2.76%	3.33%	3.33%
4-SP1-1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5-SP1-2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

40% à 50%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	54.72%	54.72%	54.72%	57.14%	57.14%
2-GIV	16.53%	16.53%	16.53%	13.04%	13.04%
3-SP2	3.59%	3.59%	3.59%	3.23%	3.23%
4-SP1-1	0.80%	0.80%	0.80%	1.45%	1.45%
5-SP1-2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

50% à 100%					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieur	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	214.11%	214.11%	214.11%	209.09%	209.09%
2-GIV	22.70%	22.70%	22.70%	23.08%	23.08%
3-SP2	12.12%	12.12%	12.12%	12.50%	12.50%
4-SP1-1	4.76%	4.76%	4.76%	4.29%	4.29%
5-SP1-2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

On peut remarquer que plus on rajoute des produits dans la zone avancée, plus les besoins en type d'unités d'entreposage accueillant des produits à faible vitesse augmentent. En effet, on observe que c'est les CAS qui connaissent la plus grande augmentation suivie des GIV, des SP2 et SP1-1 (qui augmentent très faiblement). Le nombre d'unités correspondant au type SP1-2, accueillant les produits les plus demandés, n'augmente pas du tout.

Dans cette étape, il est aussi nécessaire d'associer des types d'unités d'entreposage aux produits contenus dans les données réelles de 2013, afin de pouvoir associer, plus tard, ces produits aux localisations qui seront définies dans les prochaines sous-sections pour réaliser l'estimation des coûts. L'assignation présentée (faite avec les données qui furent prévues pour 2013) sert seulement à la conception des zones avancées. Le problème qui peut survenir (ce qui n'a pas été le cas avec nos données) serait que les estimations qui furent réalisées à partir des données des prévisions amènent à sous-estimer le nombre d'unités requis et qu'il n'y ait pas suffisamment de localisations pour accueillir tous les produits. Si le problème survenait, nous recommanderions de faire varier le pourcentage d'ouverture afin d'ajuster le nombre d'unités d'entreposage (cet ajustement pourrait se faire par type d'unités d'entreposage si le manque d'unités ne concerne que certains types).

Maintenant que le nombre par type d'unités d'entreposage est connu, il est possible de passer à l'étape de conception des zones avancées.

4.2.5 Configuration des zones avancées

Le centre de distribution durant l'année 2013 était configuré sur la base d'un chemin de pège de traversée en zigzag, où, en partant de la gauche vers la droite, on retrouvait la séquence des types d'unités d'entreposage décrites plus tôt. Le dépôt n'est pas centralisé et tout le long de l'allée transversale frontale s'étend un quai d'expédition qui constitue le dépôt. À noter également que les localisations des différentes unités sont spécifiques à la variété des produits. La longueur d'une unité d'entreposage équivalente (LonUE) est de 100 pouces et sa largeur (LarUE) est de 48 pouces, la largeur des allées de pèges (LarAP) est de 116 pouces, la

largeur de l'allée transversale arrière (LarATA) est de 96 pouces et celle de la frontale (LarATF) est de 100 (précisons que l'allée frontale ne s'apparente pas au dépôt).

À l'aide de ces informations opérationnelles, de la sélection des produits à affecter à la zone avancée et des résultats obtenus suite à la sélection des types d'unités d'entreposage, il nous est possible de réaliser les différentes configurations de zone avancée selon les différentes saisons en s'assurant que le rapport entre la profondeur et la largeur de la zone tende vers le ratio souhaité (avec une zone avancée deux fois plus large que profonde). Afin d'illustrer la méthode décrite dans le chapitre précédent, prenons l'exemple de l'un des options identifiées que l'on détaillera. Par exemple, l'option de la saison 2 où 40% des produits ont (au moins) une localisation dans la zone avancée, les résultats qui furent obtenus suite à la sélection des types d'unités d'entreposage sont les suivants.

Tableau 9 : Besoin en unités d'entreposage de l'exemple retenu

40%				
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage en unité simple profondeur équivalente
1-CAS	293	322	5.4	5.4
2-GIV	385	424	23.5	47.1
3-SP2	215	237	59.1	59.1
4-SP1-1	207	228	113.9	113.9
5-SP1-2	8	9	4.4	8.8

Dans un premier temps nous nous intéresserons au nombre total d'unités d'entreposage équivalentes simple profondeur qui seront utilisées. Il y a lieu de bien considérer les unités équivalentes en présence de type d'unités d'entreposage où une unité occuperait l'espace de plusieurs unités équivalentes (c'est le cas pour les GIV, qui en occupe deux). Avant de faire la somme des unités équivalentes, il est nécessaire d'arrondir au chiffre supérieur les nombres pour être sûr de ne pas manquer d'unités pour certains types de cellules d'entreposage. Le total ainsi obtenu est de 237 unités équivalentes. Sachant que l'on souhaite obtenir une zone avancée où la largeur serait deux fois plus importante que la profondeur, on aboutit au système d'équations suivant.

Soit UnAP le nombre d'unités par allée de pignes et NbrAP nombre d'allées de pignes.

$$\begin{cases} \text{UnAP} \times \text{NbrAP} = 237 \\ \frac{\text{NbrAP} \times (\text{LarUE} \times 2 + \text{LarAP})}{\text{LarATA} + \text{LarATF} + \left(\frac{\text{UnAP}}{2}\right) \times \text{LonUE}} = 2 \end{cases}$$

Dans le système d'équation ci-dessus, la première équation s'assure que le nombre d'unités d'entreposage voulu soit atteint. La seconde équation, fait le rapport entre la largeur et la profondeur de la zone avancée et fait en sorte que ce dernier tende vers deux (pour avoir une zone avancée où la largeur est deux fois plus importante que la profondeur).

En remplaçant les paramètres par les chiffres définis plus haut, on arrive à :

$$\begin{cases} \text{UnAP} \times \text{NbrAP} = 237 \\ \frac{\text{NbrAP} \times (48 \times 2 + 116)}{96 + 100 + \left(\frac{\text{UnAP}}{2}\right) \times 100} = 2 \end{cases}$$

On obtient alors pour résultat : UnAP = 20,54 et NbrAP = 11,54. Ces valeurs vont devoir être arrondies à des entiers. Pour cela, plusieurs façons d'arrondir sont possibles. Précisons que le nombre d'unités par allées de piges doit être arrondi à un entier pair étant donné la configuration des allées.

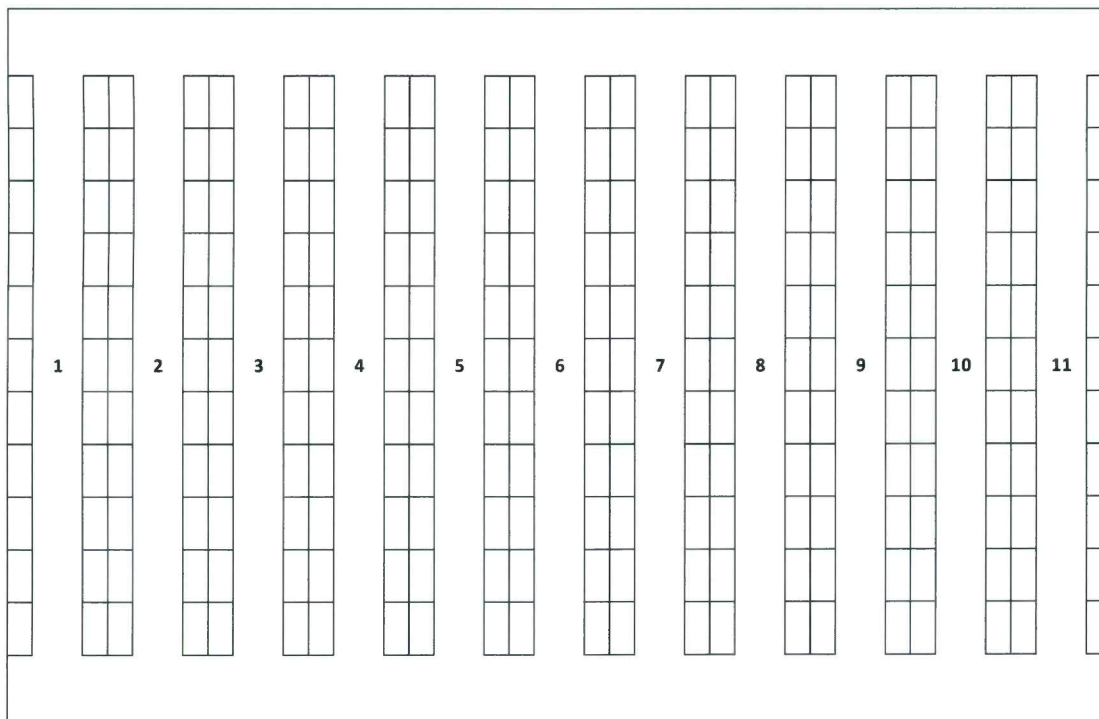
Tableau 10 : Les différentes façons d'arrondir

Arrondis possibles	Nombre d'unités équivalentes	Ratio (Largeur /Profondeur)
1) UnAP = 20 et NbrAP = 11	220	1,9
2) UnAP = 22 et NbrAP = 11	242	1,8
3) UnAP = 20 et NbrAP = 12	240	2,1
4) UnAP = 22 et NbrAP = 12	264	2,0

Il est nécessaire que le nombre total d'unités disponibles soit supérieur au besoin estimé. Dans notre exemple, on n'aurait que 220 unités, ce qui est inférieur aux 237 estimés. C'est la raison pour laquelle cette situation serait rejetée. Toutefois, dans certaines situations où la différence serait minime, on pourrait l'accepter, en considérant que grâce aux 10% de marge d'ouverture ajoutés, on aurait suffisamment de localisations au final (en plus de laisser des ouvertures libres). Après avoir considéré le nombre d'unités disponibles, on s'intéressera au ratio 2,0 que l'on souhaiterait idéalement obtenir. Le cas échéant, et, à défaut de pouvoir l'atteindre avec exactitude, on favorisera les ratios se rapprochant de un à ceux plus proches de trois conformément aux conclusions de Petersen et Aase (2004) qui furent présentées

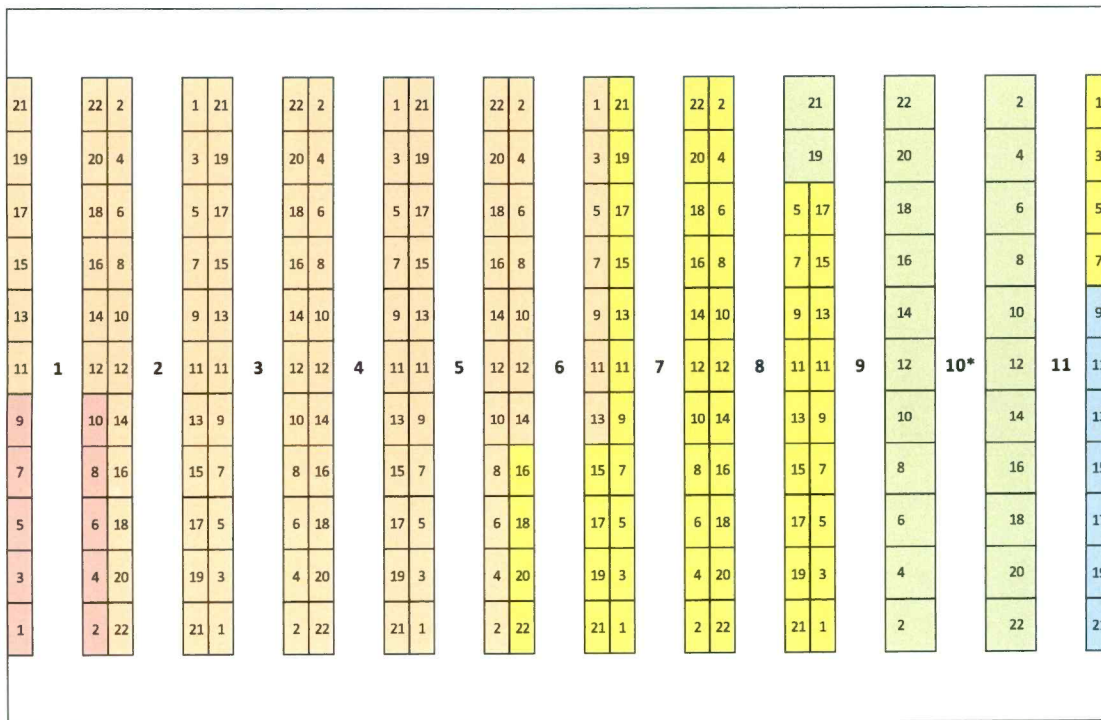
précédemment. Des exceptions peuvent être relevées dans le cas où le ratio se rapprochant de 1 serait bien trop éloigné de 2 comparé à celui un peu plus grand que 2. Par exemple, entre un ratio de 1.4 et un de 2.1, on favorisera le second des deux ratios. Dans notre cas, il nous reste trois ratios (après avoir éliminé la situation 1), à savoir 1,8, 2,1, et 2,0, du coup la situation 3) avec le ratio de 2,1 est retiré ce qui laisse les situations 2) et 4). On favorise alors la situation utilisant le moins d'unités d'entreposage qui est dans notre cas la 2) et cela même si le ratio de la situation 4) est plus intéressant. Bien entendu, ces recommandations sont faites à titre indicatif et les différentes situations de zones avancées à concevoir devront être traitées au cas par cas. Finalement, on retient 22 unités par allée de pige et 11 allées de pige, ce qui donne la situation suivante.

Figure 49 : Organisation des allées et des unités d'entreposage pour l'exemple considéré



Il reste alors à placer les différents types d'unités d'entreposage en s'assurant qu'il y en ait assez par catégorie. Il s'agira de les ranger de gauche à droite en commençant par les types destinés à accueillir les produits avec le plus de vélocité et de finir avec ceux en ayant le moins (SP1-2, SP1-1, SP2, GIV et finalement CAS). On obtient ainsi la configuration suivante pour l'option choisi en exemple.

Figure 50 : Répartition des unités d'entreposage et numérotation pour l'exemple considéré



Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre d'unités équivalentes
1-CAS	7	7
2-GIV	24	48
3-SP2	63	63
4-SP1-1	114	114
5-SP1-2	10	10
Total	218	242

La présence de types d'unité d'entreposage qui occupent deux unités équivalentes rend plus difficile l'attribution des unités disponibles ainsi que leur séquençement, car il n'est pas d'usage dans l'organisation de mettre dans le côté droit de la dernière allée des GIV et des CAS. Ceci est problématique étant donné que ces deux types d'unités d'entreposage accueillent les produits les moins demandés et se retrouvent souvent dans la dernière allée. La raison pour laquelle l'organisation fonctionne ainsi, c'est, d'une part, pour ne pas avoir un même côté d'allée avec des unités simple et double profondeur et, d'autre part, pour pouvoir coller le dos des GIV au mur. En effet, comme le réapprovisionnement des GIV se fait du côté opposé à la pigne, il n'est pas possible de poser ces unités dos au mur, car cela rendrait les réapprovisionnements impossibles. Malheureusement, à cause de cela, une forme d'inefficacité apparaît lorsqu'on est contraint de devoir placer des SP2 dans la dernière allée

comme vu dans notre exemple. À noter également que lorsque des allées de GIV se succèdent, en accord avec les pratiques de l'organisation, on oriente, quand c'est possible, les GIV de façon à ce que dans une allée il n'y ait que des activités de réapprovisionnement tout en évitant, autant que faire se peut, d'avoir à traverser des allées où la pige n'est possible que d'un côté. C'est pour cela que, quand dans l'exemple présenté, l'allée 10 est exclusivement destinée aux réapprovisionnements (pour les allées où seuls les réapprovisionnements sont possibles, une étoile sera rajoutée au numéro d'allée). De plus, procéder ainsi permet également de réduire les conflits entre les opérations de pige et celles de réapprovisionnement. Quant à la numérotation appliquée, elle est réalisée de la manière décrite dans la méthodologie présentée dans le chapitre précédent.

Il s'agit d'appliquer la logique qui vient d'être exposée aux 18 options de zones avancées pour obtenir les configurations qui seront étudiés et que l'on retrouvera dans les annexes. On peut observer, avec les différentes configurations, que plus le pourcentage de produits affecté à la zone avancée augmente, plus la proportion des types d'unité d'entreposage accueillant les produits à plus faible vitesse augmentent. Étant donné que ces catégories d'unités sont en mesure d'accueillir une plus grande variété de produits, plus le pourcentage de produits affecté augmente, moins il est nécessaire d'ajouter des unités.

Maintenant que la conception de la zone avancée a été réalisée, il reste à la modéliser virtuellement à l'aide de la logique présentée dans la méthodologie.

Maintenant que les localisations sont définies avec un numéro reflétant l'ordre d'apparition le long du chemin de pige, la prochaine étape consiste à associer une localisation spécifique aux différents produits contenus dans les données réelles (et non pas dans les prévisions) de l'année 2013. Cette étape sera réalisée fidèlement à notre méthodologie, en affectant des numéros de priorité par type d'unités d'entreposage au niveau des produits et des localisations afin de les mettre en relation. Pour ce faire, au niveau des produits, par type d'unités d'entreposage, ces derniers seront classés en ordre décroissant de nombre de lignes de commandes. Au niveau des types d'unités d'entreposage, un numéro entier unique sera associé à chaque produit en suivant le séquençage établi. Ainsi, le produit apparaissant en premier prendra le numéro de priorité 1, le second 2 et le dernier N, où N correspond au nombre de produits assignés au type d'unité d'entreposage en question. Pour ce qui est des localisations modélisées, au niveau des différents types d'unités d'entreposage, ces dernières

seront classées par ordre croissant de numéro d'allée, de numéro d'unité et de numéro de localisation. À nouveau, au niveau des types d'unités d'entreposage, un numéro entier unique sera associé à chaque localisation en suivant le séquençement conçu. Ainsi, la localisation apparaissant la première prendra le numéro de priorité un, la seconde deux et la dernière M, où M correspond au nombre de localisations du type d'unité d'entreposage en question. Pour finaliser la mise en relation, la dernière étape consiste à relier les produits et les localisations sur la base du type d'unités d'entreposage et du numéro de priorité.

Après avoir réalisé l'exercice décrit précédemment pour les 18 options identifiées, la prochaine étape consistera en l'estimation des coûts associés aux options qui sera réalisée dans la prochaine sous-section.

4.2.6 Estimation des coûts

Dans cette partie de l'étude, l'on s'intéressera à l'estimation des coûts liés à la préparation des commandes, aux réapprovisionnements et à l'utilisation d'équipement.

Concernant les coûts liés à la préparation des commandes, il est nécessaire de distinguer la pige réalisée dans la zone avancée de celle faite dans les localisations de réserve. Pour ce qui est de la pige dans la zone avancée, tel que décrit dans la méthodologie, il est nécessaire d'estimer les déplacements qui seront réalisés par les cueilleurs. Dans notre cas, à chaque traversée, un cueilleur ne s'occupera que de la préparation d'une commande, de sorte que c'est le numéro de commande qui servira d'identifiant de traversée. Étant donné que nous sommes en présence d'une situation de traversée en zigzag, il s'agira d'appliquer l'algorithme approprié présenté dans la méthodologie, dont le code informatique dans SAS est disponible en annexe (le code présenté est celui qui fut utilisé pour l'estimation des coûts liés à l'option de la saison 2 où 40% des produits sont affectés à la zone avancée).

En appliquant cette logique au cas de la saison 1 (29 semaines) où 50% des produits sont affectés à la zone avancée, on obtient une distance de 5 856 544 mètres parcourus pour la pige des produits affectés à la zone avancée.

Il sera également nécessaire de rajouter pour chaque pige dans la zone avancée le temps nécessaire à la manutention des caisses ou unités associées aux commandes. Pour cela, un temps additionnel de 15 secondes par ligne de commande fut retenu.

Largeur dépôt (en pouces) = Nombre d'allée de pige x (LarUE x 2 + LarAP)

$$= 11 \times (48 \times 2 + 116) = 2332$$

Profondeur de pige (en pouces) = LonUE x Nombre d'unités d'entreposage par allée / 2

+ LarATF

$$= 100 \times 20/2 + 100 = 1100$$

Distance moyenne parcourue par pige dans la réserve (aller-retour)

$$= (\text{Largeur dépôt} + \text{Profondeur de pige}) \times 2 / 2 = 2332 + 1100 = 3432 \text{ pouces}$$

Ceci équivaut à 87,17 mètres parcourus en moyenne par pige dans la réserve. Dans l'option considérée, on compte 10 325 lignes de commande pigées depuis la réserve. Ceci, considérant notre moyenne, correspond à 900 058,67 mètres parcourus. Rappelons que pour chaque ligne pigée dans la réserve, on rajoute également un temps représentant la durée nécessaire pour accéder à la palette, piger le produit et replacer la palette.

Pour ce qui concerne les réapprovisionnements, à nouveau on cherchera à déterminer une distance moyenne par réapprovisionnement. Toutefois, étant donné que les besoins en réapprovisionnement ne sont pas répartis uniformément (à cause de l'heuristique de sélection des types d'unités d'entreposage qui contrôle le nombre de réapprovisionnements), la logique basée sur les barycentres sera appliquée. Illustrons le calcul à l'aide de l'option de la saison où 50% des produits sont affectés à la zone avancée. Le tableau ci-dessous rappelle le nombre de jours de stocks minimum souhaité par l'heuristique appliquée par type d'unité d'entreposage.

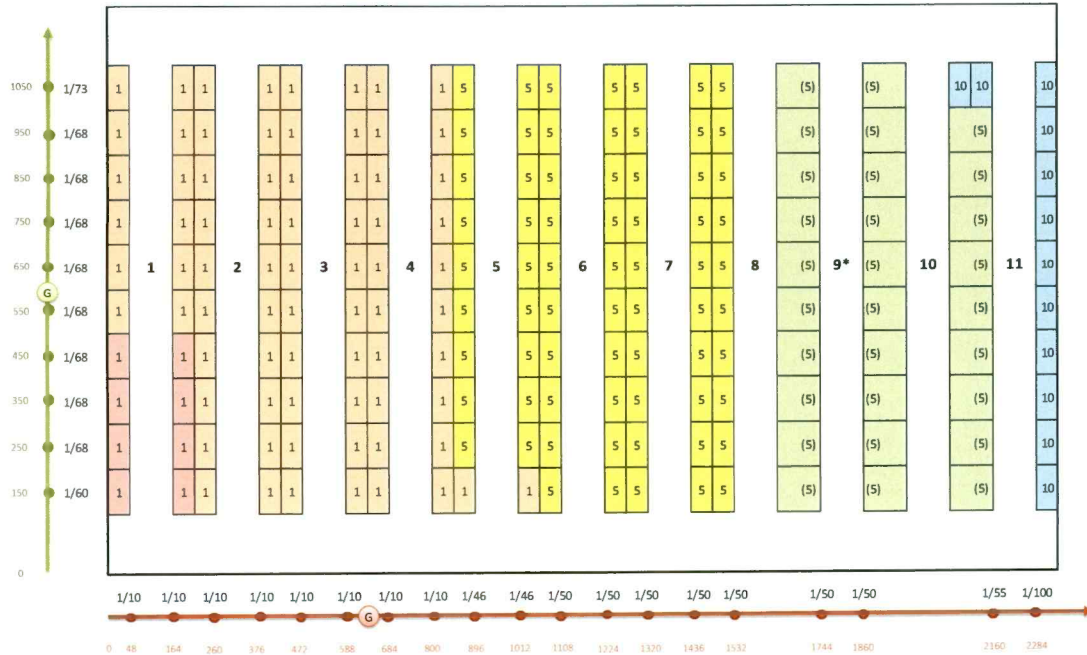
Tableau 11 : Nombre de jours de stocks selon les types d'unités d'entreposage

Type d'unités d'entreposage	Nombre de jours d'inventaires
CAS	10
GIV	5
SP2	5
SP1-1	1
SP1-2	1

Plus le nombre de jours de stocks est petit, plus le nombre de réapprovisionnements sera élevé. Considérant cela, deux centres de gravité seront définis sur deux axes, celui de la

largeur et celui de la profondeur. La figure qui suit illustre la zone avancée considérée avec le nombre de jours de stocks inscrit dans chacune des unités.

Figure 52 : Illustration du calcul des barycentres nécessaire à l'estimation des distances parcourues pour les réapprovisionnements



L'axe en vert correspond aux déplacements en profondeur et celui en rouge aux déplacements en largeur le long du dépôt. Le calcul des barycentres se fait en projetant sur les axes les sommes des nombres de jours de stocks afin de prendre la valeur inverse de ces sommes pour définir la pondération des points qui serviront aux calculs des barycentres.

Il est à noter qu'une attention particulière doit être prêtée aux GIV, car le réapprovisionnement ne se fait pas du côté d'où les produits sont pigés.

On doit aussi faire attention de ne pas considérer les lignes d'unités d'entreposage partielles telles que le côté droit de l'allée 10, car cela fausserait la pondération. Les deux axes (profondeur et largeur) ont pour unité le pouce. Les distances en pouces des différents points pondérés serviront de coordonnées et pour le calcul des deux barycentres (celui l'axe vertical et celui de l'horizontale). Ainsi, on obtient un barycentre situé à 640 pouces (DistbarPro) sur l'axe de la profondeur et l'autre situé à 581 pouces (DistBarLar) sur l'axe de la largeur du dépôt. La prochaine étape consiste à calculer la distance moyenne qui sera parcourue par réapprovisionnement. Distinguons, dans ce calcul, les distances parcourues imputables aux

déplacements en profondeur de celles se faisant en largeur. Pour ce qui est de la distance moyenne parcourue en profondeur (pour l'aller-retour), celle-ci sera de $\text{DistBarPro} \times 2$ soit 2×640 pouces = 1280 pouces (32,51 m). Au niveau de la distance moyenne parcourue en largeur (aller-retour), elle est obtenue au travers du calcul suivant.

$$2 \times \left(\left(\frac{\text{DistBarLar}}{2} \right) \times \left(\frac{\text{DistBarLar}}{\text{Largeur totale}} \right) + \left(\frac{\text{Largeur totale} - \text{DistBarLar}}{2} \right) \times \left(\frac{\text{Largeur totale} - \text{DistBarLar}}{\text{Largeur totale}} \right) \right)$$

$$2 \times \left(\left(\frac{581}{2} \right) \times \left(\frac{581}{2332} \right) + \left(\frac{2332 - 581}{2} \right) \times \left(\frac{2332 - 581}{2332} \right) \right) = 1460 \text{ pouces, soit } 37.08 \text{ m.}$$

Il reste alors à sommer les déplacements en profondeur et en largeur pour obtenir 69.59 mètres en moyenne par déplacement. Il s'agira de multiplier cette valeur par le nombre de réapprovisionnements qui, pour l'option en question, furent évalués à 19 984 pour obtenir une distance parcourue totale de 1 390 686 mètres. Il sera ensuite nécessaire de rajouter un temps de manutention des palettes et des produits en considérant 30 secondes pour les réapprovisionnements ou une palette entière est réapprovisionnée et 1 minute pour ceux impliquant des caisses (car il faut replacer les palettes après le réapprovisionnement).

Afin de pouvoir quantifier les coûts relatifs aux déplacements, ces derniers sont convertis en temps en considérant des vitesses de déplacement de 2 km/h pour les cueilleurs et les réapprovisionneurs (qui se déplacent avec des transpalettes ou des chariots élévateurs). Un coût horaire de 20 \$ est défini pour les cueilleurs réalisant la pige dans la zone avancée et un montant horaire de 25 \$ est défini pour les réapprovisionneurs et les cueilleurs qui pigent dans la réserve (coût horaire plus élevé, car nécessitant l'utilisation d'équipement de manutention spécialisé pouvant accéder aux produits entreposés en hauteur). Connaissant les taux horaires et les durées consacrées aux différentes activités, il est désormais possible de quantifier les coûts des activités décrites précédemment. Concernant les coûts liés à l'équipement, un amortissement linéaire a été effectué sur 5 ans pour chaque type d'équipement, et ce, en considérant les prix initiaux d'acquisition afin de calculer la partie des coûts imputables aux différentes saisons selon les options envisagées.

Maintenant que les coûts ont été calculés, il est possible d'identifier les solutions optimales de reconfiguration et de réaliser différentes analyses en faisant varier les divers paramètres identifiés afin d'évaluer l'intérêt de la problématique étudiée.

4.2.7 Sélection de la meilleure combinaison de reconfiguration saisonnière

Dans cette partie, l'on s'intéressera tout d'abord au modèle de sélection utilisé et au résultat qu'il a permis d'obtenir. Il s'agira ensuite de comparer les coûts estimés de la solution aux estimations faites pour la configuration telle qu'elle se présentait en 2013. Suite à cela, nous procéderons à des analyses de sensibilité afin d'évaluer d'une part, la constance dans la sélection des configurations optimales et, d'autre part, les économies permises par les reconfigurations.

4.2.7.1 Sélection de la solution optimale

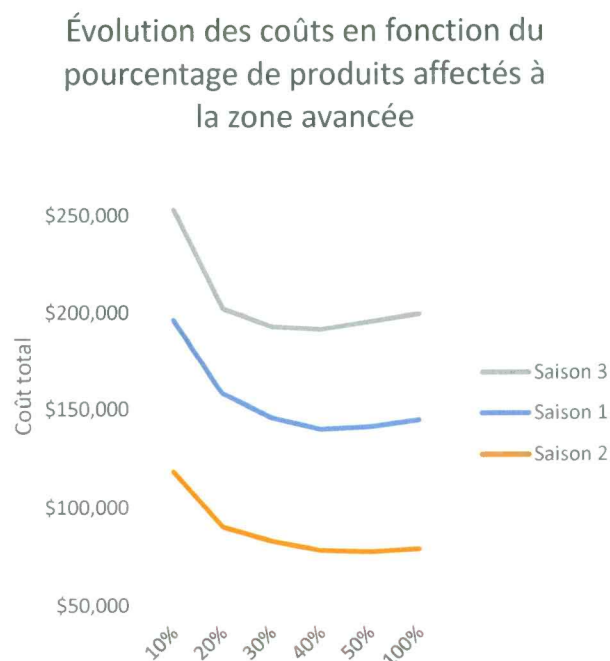
La combinaison optimale choisie par le modèle est celle où 40% des produits sont affectés à la zone avancée à la saison 1, 50% à la saison 2 et 40% à nouveau lors de la troisième saison. Cela correspond aux options générant le moins de coûts dans chaque saison comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 12 : Coûts estimés pour les différentes options selon les saisons

% des produits affectés à la zone avancée	Saison 1	Saison 2	Saison 3
10%	\$196,194	\$118,442	\$253,273
20%	\$158,006	\$90,155	\$202,126
30%	\$145,779	\$82,911	\$192,953
40%	\$139,871	\$78,032	\$191,578
50%	\$141,058	\$77,341	\$195,500
100%	\$144,534	\$78,639	\$199,272

On peut remarquer qu'en fonction du nombre de produits affectés à la zone avancée, les coûts totaux diminuent rapidement au fur et à mesure que des produits qui sont affectés à la zone avancée augmentent jusqu'à atteindre un minimum, puis les coûts se mettent à augmenter lentement. Cette observation se vérifie à l'aide du graphique suivant qui montre l'évolution des coûts totaux des différentes options pour les trois saisons étudiées en fonction du pourcentage de produits assignés à la zone avancée.

Figure 53 : Évolution des coûts en fonction du nombre de produits affectés à la zone avancée



Ces observations s'expliquent en grande partie par l'importance relative des coûts de pige dans la réserve dans les options où très peu de produits sont affectés à la zone avancée comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 13 : Pourcentage des coûts de pige en réserve et du pourcentage de ligne de commandes pigées en réserve selon les saisons et les options

% des produits affectés à la zone avancée	Saison 1		Saison 2		Saison 3	
	% des coûts liés la pige en réserve	% des lignes de commande pigées en réserve	% des coûts liés la pige en réserve	% des lignes de commande pigées en réserve	% des coûts liés la pige en réserve	% des lignes de commande pigées en réserve
10%	63%	25%	67%	29%	58%	30%
20%	37%	10%	42%	12%	30%	11%
30%	25%	6%	29%	7%	17%	6%
40%	17%	4%	20%	5%	11%	3%
50%	11%	3%	13%	3%	7%	2%
100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Il en résulte que dans les options avec le moins de produits en zone avancée, les coûts de pige dans la réserve occupent une portion très importante des coûts totaux malgré qu'une faible portion des produits commandés soit pigée depuis la réserve. Toutefois, le fait de réaliser de la pige dans la réserve en retirant des produits de la zone avancée permet de réduire la taille de la zone avancée et facilite par le fait même les activités de pige dans cette dernière et les réapprovisionnements. C'est pour cela qu'afin de bien cerner les arbitrages qui s'opèrent

entre les différents coûts et de mieux comprendre la configuration optimale sélectionnée, il est intéressant d'observer, entre chaque augmentation de produits affectés à la zone avancée, de combien les coûts de pige en réserve diminuent et dans quelles proportions les autres coûts augmentent.

Tableau 14 : Évolutions marginales des coûts entre options selon les saisons

Changements de configuration	Saison 1		Saison 2		Saison 3	
	Diminution des coûts de pige en réserve (en \$)	Augmentation des autres coûts (en \$)	Diminution des coûts de pige en réserve (en \$)	Augmentation des autres coûts (en \$)	Diminution des coûts de pige en réserve (en \$)	Augmentation des autres coûts (en \$)
10% à 20%	-\$64,962	\$26,774	-\$40,867	\$12,580	-\$86,231	\$35,084
20% à 30%	-\$21,733	\$9,506	-\$14,128	\$6,883	-\$27,231	\$18,058
30% à 40%	-\$12,831	\$6,924	-\$8,452	\$3,573	-\$11,819	\$10,444
40% à 50%	-\$8,310	\$9,496	-\$5,302	\$4,611	-\$7,720	\$11,643
50% à 100%	-\$15,553	\$19,030	-\$10,393	\$11,692	-\$13,138	\$16,909

En observant le tableau ci-dessus, il est possible de déterminer la meilleure option par saison en identifiant le premier passage entre deux options où la diminution des coûts de pige en réserve est inférieure à l'augmentation des autres coûts.

Si on s'intéresse plus en détail à la répartition des coûts de la solution optimale (en fonction des saisons), on obtient le tableau qui suit.

Tableau 15 : Détail de la solution optimale des reconfigurations saisonnières

		Reconfigurations optimales (ConfigOpti / 40-50 40)	
Saison 1	Coûts de pige dans la zone avancée	\$ 86,827.13	62%
	Coûts des réappro.	\$ 25,961.86	19%
	Coûts de pige dans la réserve	\$ 23,863.05	17%
	Coûts de l'équipement	\$ 3,219.00	2%
Total des coûts de la saison 1		\$ 139,871.03	100%
Saison 2	Coûts de pige dans la zone avancée	\$ 49,104.43	63%
	Coûts des réappro.	\$ 16,092.90	21%
	Coûts de pige dans la réserve	\$ 10,393.14	13%
	Coûts de l'équipement	\$ 1,750.15	2%
Total des coûts de la saison 2		\$ 77,340.63	100%
Saison 3	Coûts de pige dans la zone avancée	\$ 153,934.21	80%
	Coûts des réappro.	\$ 15,196.24	8%
	Coûts de pige dans la réserve	\$ 20,858.32	11%
	Coûts de l'équipement	\$ 1,589.23	1%
Total des coûts de la saison 3		\$ 191,578.00	100%
Tout l'année	Coûts de pige dans la zone avancée	\$ 289,865.77	71%
	Coûts des réappro.	\$ 57,251.00	14%
	Coûts de pige dans la réserve	\$ 55,114.51	13%
	Coûts de l'équipement	\$ 6,558.38	2%
Total des coûts de l'année		\$ 408,789.66	100%

Il apparait que c'est de loin les coûts de la pîge dans la zone avancée qui représentent la plus grande partie des coûts et cette proportion est encore plus importante lors de la troisième saison. La raison derrière cette accentuation de la prépondérance des coûts de pîge en zone avancée lors de la troisième saison est que cette dernière correspond à la période des fêtes de fin d'année et, qu'en conséquence, les écarts de popularité entre les produits les plus demandés et ceux qui le sont moins sont plus marqués. Loin derrière (en termes de proportions), on retrouve les coûts des réapprovisionnements et ceux de la pîge en réserve suivie des coûts liés à l'amortissement des équipements qui sont bien inférieurs aux autres coûts.

Le tableau suivant compare maintenant la solution obtenue aux coûts estimés de la configuration qui était celle en place en 2013 (Config2013).

Tableau 16 : Comparaison de la solution identifiée et de la situation en place en 2013

	Reconfigurations optimales (ConfigOpti / 40-50 40)		Configuration de l'organisation (Config2013)		Économies entre ConfigOpti et Config2013	
	\$	%	\$	%	\$	%
Coûts de pîge dans la zone avancée	\$ 289,865.77	71%	\$ 357,485.02	75%	-\$ 67,619.26	-14.21%
Coûts des réappro.	\$ 57,251.00	14%	\$ 104,345.15	22%	-\$ 47,094.15	-9.89%
Coûts de pîge dans la réserve	\$ 55,114.51	13%	\$ -	0%	\$ 55,114.51	11.58%
Coûts de l'équipement	\$ 6,558.38	2%	\$ 14,170.15	3%	-\$ 7,611.77	-1.60%
Total des coûts de l'année	\$ 408,789.66	100%	\$ 476,000.33	100%	-\$ 67,210.67	-14.12%

La solution impliquant les reconfigurations permettrait d'économiser 67 210,67 \$ par an soit 14,12% des coûts (auxquels il faudrait retirer les frais liés aux reconfigurations). Ces économies sont la conséquence de la réduction notable des coûts de pîge dans la zone avancée et ceux des réapprovisionnements. Il ressort de cela également que tant que l'impact financier des reconfigurations reste inférieur à 14,12% des coûts opérationnels totaux, les reconfigurations saisonnières restent avantageuses.

Rappelons que dans la configuration qui fut en place en 2013, la totalité des produits était assignée à la zone avancée, ce qui nous amène à nous questionner sur la provenance des économies calculées : sont-elles liées aux retraits de certains produits de la zone avancée ou aux reconfigurations saisonnières ? Pour répondre à cela, intéressons-nous à la solution de reconfiguration qui combine les trois options où 100% des produits sont affectés à la zone avancée (ignorant ainsi la problématique de la zone avancée-réserve).

Tableau 17 : Détail de la solution de reconfigurations saisonnières où la totalité des produits sont affectés aux zones avancées

		Reconfigurations avec 100% des produits affectés à la zone avancée (Config100 / 100-100-100)	
Saison 1	Coûts de pîge dans la zone avancée	\$ 97,038.44	67%
	Coûts des réappro.	\$ 43,226.83	30%
	Coûts de pîge dans la réserve	\$ -	0%
	Coûts de l'équipement	\$ 4,269.13	3%
Total des coûts de la saison 1		\$ 144,534.40	100%
Saison 2	Coûts de pîge dans la zone avancée	\$ 53,068.92	67%
	Coûts des réappro.	\$ 23,342.77	30%
	Coûts de pîge dans la réserve	\$ -	0%
	Coûts de l'équipement	\$ 2,227.62	3%
Total des coûts de la saison 2		\$ 78,639.30	100%
Saison 3	Coûts de pîge dans la zone avancée	\$ 172,814.61	87%
	Coûts des réappro.	\$ 24,117.14	12%
	Coûts de pîge dans la réserve	\$ -	0%
	Coûts de l'équipement	\$ 2,339.81	1%
Total des coûts de la saison 3		\$ 199,271.56	100%
Tout l'année	Coûts de pîge dans la zone avancée	\$ 322,921.97	76%
	Coûts des réappro.	\$ 90,686.74	21%
	Coûts de pîge dans la réserve	\$ -	0%
	Coûts de l'équipement	\$ 8,836.56	2%
Total des coûts de l'année		\$ 422,445.27	100%

Naturellement cette solution est moins avantageuse que la solution optimale qui fut présentée plus tôt, mais malgré cela, elle reste encore plus intéressante que celle de Config2013.

Tableau 18 : Comparaison de la solution où 100% des produits sont affectés à la zone avancée et de la situation en place en 2013

	Reconfigurations avec 100% des produits affectés à la zone avancée (Config100 / 100-100-100)		Configuration de l'organisation (Config2013)		Économies entre Config100 et Config2013	
Coûts de pîge dans la zone avancée	\$ 322,921.97	76%	\$ 357,485.02	75%	\$ 34,563.05	7.26%
Coûts des réappro.	\$ 90,686.74	21%	\$ 104,345.15	22%	\$ 13,658.41	2.87%
Coûts de pîge dans la réserve	\$ -	0%	\$ -	0%	\$ -	0.00%
Coûts de l'équipement	\$ 8,836.56	2%	\$ 14,170.15	3%	\$ 5,333.60	1.12%
Total des coûts de l'année	\$ 422,445.27	100%	\$ 476,000.33	100%	\$ 53,555.06	11.25%

En effet, elle permettrait de générer des économies de 53 555,06 \$ (soit 11.25%). Ceci nous amène à conclure que dans la solution optimale, la majeure partie des bénéfices découle davantage du fait de réaliser des reconfigurations en adaptant, dans chaque période de l'année, la zone avancée à la demande saisonnière.

Il ressort des analyses précédentes qu'il est bénéfique pour l'organisation de procéder à des reconfigurations saisonnières. Reste encore à déterminer la constance de cet intérêt face aux variations que pourraient subir les différents paramètres.

4.2.7.2 Analyse de sensibilité

Les analyses de sensibilité qui vont être présentées s'articulent autour des variations des coûts de pîge dans la zone avancée, des coûts de pîge dans la réserve et des coûts liés aux réapprovisionnements. Notons que nous ne nous attarderons pas aux variations des coûts liés aux équipements, car, d'une part, elles représentent une très petite portion des charges globales et que, d'autre part, ce sont les coûts qui sont le plus facilement calculables. Sur les autres coûts, des variations de - 50%, -25%, +25% et +50% seront appliquées. Elles le seront au niveau du total des différents centres de coûts mentionnés. De plus, des variations sur la demande totale seront réalisées en appliquant des variations de -20% -10% +10% et +20%. Elles seront appliquées au niveau des distances totales parcourues, du nombre de lignes de commande et du nombre de réapprovisionnements. Dans les analyses de sensibilité des différents paramètres, on s'intéressera, d'une part, aux combinaisons des reconfigurations retenues ainsi qu'aux pourcentages d'économies qui seront réalisées. Pour toutes les variations de coûts, le modèle de sélection sera exécuté afin d'identifier la meilleure combinaison, et les coûts associés aux options seront comparés à ceux de la configuration de l'organisation (ajustés en fonction de l'évolution des frais).

Tout d'abord, abordons la sensibilité relative à la charge financière la plus importante, à savoir celle de la préparation des commandes dans la zone avancée. Au niveau des combinaisons de configurations retenues, on obtient les résultats suivants.

Tableau 19 : Sensibilité de la solution optimale de reconfiguration aux variations des coûts de pîge en zone avancée

Coûts de pîge en zone avancée	Très Faibles (-50%)	Faibles (-25%)	Moyen (0%)	Forts (+25%)	Très Forts (+50%)
Combinaisons	50-100-100	50-50-40	40-50-40	40-50-30	40-40-30

Note : La combinaison XX-YY-ZZ signifie qu'à la saison 1, XX% des produits étaient affectés à la zone avancée, qu'à la saison 2, YY% et qu'à la saison 3, ZZ%.

On peut observer que plus les coûts de pîge dans la zone avancée sont faibles, plus les options avec le plus de produits affectés à la zone avancée sont favorisés et vice-versa. Plus ces coûts sont élevés, plus les options avec le moins de produits affectés à la zone avancée sont avantageuses. On observe également que les combinaisons restent relativement proches de la solution définie préalablement (40-50-40).

Tableau 20 : Sensibilité des économies potentiellement réalisables aux variations des coûts de pège en zone avancée

	Coûts de pège en zone avancée	Très Faibles (-50%)	Faibles (-25%)	Moyen (0%)	Forts (+25%)	Très Forts (+50%)
Variabilité de la demande	Très Forte (+20%)	12.25%	12.79%	13.92%	14.84%	15.80%
	Forte (+10%)	12.36%	12.90%	14.01%	14.92%	15.86%
	Moyenne (0%)	12.49%	13.02%	14.12%	15.01%	15.94%
	Faible (-10%)	12.64%	13.18%	14.25%	15.12%	16.04%
	Très Faible (-20%)	12.84%	13.37%	14.41%	15.26%	16.16%

Au niveau de la sensibilité des économies potentiellement réalisables, on peut noter que plus les coûts de pège dans la zone avancée sont importants, plus ces économies sont grandes. Cela s'explique par le fait que plus les coûts sont importants, plus l'inefficacité opérationnelle de la situation en 2013 se fait ressentir. De plus, la solution envisagée implique des options où dans des saisons une partie des produits n'est pas assignée à la zone avancée, ces produits ne seront pas affectés par la variation des coûts de pège en zone avancée alors qu'ils le seront dans le cas de Config2013 où tous les produits sont affectés à la zone avancée. Au final, la variation de ces coûts affecte les économies réalisables qui fluctuent (dépendamment de la variation des coûts et de la demande) entre 12,25% et 16,16%, et cela malgré des variations de coûts de 50%. Cela démontre que les économies potentiellement réalisables sont relativement constantes.

Intéressons-nous maintenant à la variation des coûts de réapprovisionnement.

Tableau 21 : Sensibilité de la solution optimale de reconfiguration aux variations des coûts de réapprovisionnement

Coûts de pège en zone avancée	Très Faibles (-50%)	Faibles (-25%)	Moyen (0%)	Forts (+25%)	Très Forts (+50%)
Combinaisons	100-100-40	40-100-40	40-50-40	40-50-40	40-40-40

La variation des coûts des réapprovisionnements influence les combinaisons retenues dans le même sens que la variation des coûts de pège en zone avancée. Toutefois, ces derniers influent moins le choix des options optimales selon les saisons comparées aux coûts de pège en zone avancée.

Tableau 22 : Sensibilité des économies potentiellement réalisables aux variations des coûts de réapprovisionnement

	Coûts en réappro.	Très Faibles (-50%)	Faibles (-25%)	Moyen (0%)	Forts (+25%)	Très Forts (+50%)
Variabilité de la demande	Très Forte (+20%)	11.61%	12.24%	13.92%	15.55%	17.07%
	Forte (+10%)	11.69%	12.33%	14.01%	15.63%	17.15%
	Moyenne (0%)	11.79%	12.44%	14.12%	15.73%	17.25%
	Faible (-10%)	11.90%	12.57%	14.25%	15.85%	17.36%
	Très Faible (-20%)	12.05%	12.73%	14.41%	16.00%	17.50%

Au niveau de la sensibilité par rapport aux économies réalisables, les mêmes observations que celles qui furent présentées pour la variation des coûts de pège dans la zone avancée sont à nouveau applicables, à la différence près que cette fois-ci, les fluctuations sont plus marquées avec des pourcentages d'économies variant entre 11,61% et 17,50%.

En ce qui concerne les variations des coûts à pège en réserve, ces dernières entraînent les variations les plus notables au niveau des combinaisons retenues et des économies réalisables.

Tableau 23 : Sensibilité de la solution optimale de reconfiguration aux variations des coûts de pège en réserve

Coûts de pège en zone avancée	Très Faibles (-50%)	Faibles (-25%)	Moyen (0%)	Forts (+25%)	Très Forts (+50%)
Combinaisons	30-40-20	40-40-30	40-50-40	100-100-40	100-100-100

En effet, au niveau des combinaisons sélectionnées, plus les coûts de pège en réserve sont faibles, plus les options avec peu de produits affectés à la zone avancée sont intéressants et inversement. Contrairement aux deux autres coûts précédents, les coûts de pège en réserve influencent notablement les combinaisons optimales. En effet, lorsque les coûts de pège en réserve sont augmentés de 50%, on arrive à la situation extrême où dans les trois saisons, la totalité des produits sont affectés à la zone avancée. Et dans le cas contraire, lorsque ces coûts sont diminués de 50%, une option où seulement 20% des produits sont affectés à la zone avancée est retenue. Ces importantes variations s'expliquent par la part importante des coûts (montrée précédemment) que la préparation des commandes représente dans les options où peu de produits sont affectés à la zone avancée.

Cette sensibilité par rapport aux coûts de pège dans la zone avancée s'exprime également au niveau des pourcentages d'économies potentiellement réalisables.

Tableau 24 : Sensibilité des économies potentiellement réalisables aux variations des coûts de pige en réserve

	Coûts de pige en réserve	Très Faibles (-50%)	Faibles (-25%)	Moyen (0%)	Forts (+25%)	Très Forts (+50%)
Variabilité de la demande	Très Forte (+20%)	22.12%	17.29%	13.92%	11.62%	11.12%
	Forte (+10%)	22.21%	17.37%	14.01%	11.69%	11.18%
	Moyenne (0%)	22.31%	17.48%	14.12%	11.77%	11.25%
	Faible (-10%)	22.44%	17.61%	14.25%	11.87%	11.34%
	Très Faible (-20%)	22.60%	17.77%	14.41%	12.00%	11.45%

Cette fois, les pourcentages d'économies varient entre 11,12% et 22,60%. Dans ce cas, et contrairement aux deux autres coûts étudiés précédemment, c'est lorsque le coût de pige en réserve est faible que les économies deviennent plus intéressantes. En effet, contrairement à la Config2013, les combinaisons envisagées tirent avantage du fait de pouvoir ne pas affecter des produits à la zone avancée pour réduire les coûts de pige en zone avancée et ceux de réapprovisionnement, approche qui est d'autant plus intéressante lorsque les coûts de pige en réserve diminuent.

On peut également noter, de façon générale, que plus la demande est faible par rapport à ce qui était prévu, plus les économies potentiellement réalisables sont importantes, et que plus cette dernière est forte par rapport à ce qui était prévu, moins les économies sont importantes. Cela s'explique par le fait que l'augmentation de la demande affecte davantage les coûts de pige en réserve qui sont présents seulement dans les combinaisons d'options où des produits ne sont pas affectés à la zone avancée. Précisons toutefois que ces variations dans les économies sont minimes (moins d'un demi pourcent).

Il ressort de l'analyse des résultats que dans tous les cas de figure, les reconfigurations saisonnières présentent un intérêt certain en permettant de réaliser des économies notables, dépendamment, bien entendu, des coûts des reconfigurations. Il est également avéré que les combinaisons sont particulièrement sensibles aux coûts liés aux activités de pige dans la réserve. Toutefois, ces conclusions sont à nuancer en tenant compte des critiques qui peuvent être adressées à la méthodologie employée, lesquelles seront présentées dans le prochain chapitre.

CHAPITRE V : Conclusion

Dans ce dernier chapitre, seront soulevées les principales critiques qui pourraient être formulées à l'égard de la méthodologie, ce qui permettra d'explorer les différentes pistes d'amélioration envisageables. Ces critiques concerneront la segmentation saisonnière, la conception des zones avancées, les estimations des coûts et la question des reconfigurations. Le chapitre se conclura par une synthèse du travail réalisé.

5.1 Critiques et voies d'amélioration

5.1.1 Segmentation saisonnière

Ce choix de diviser l'année en saisons a un impact certain sur l'intérêt des reconfigurations saisonnières. Bien qu'abordée, cette question n'était pas le sujet central de notre travail et c'est pour cela que la méthode utilisée pour procéder à la division de l'année en saisons relevait d'un raisonnement relativement simple. De ce fait, elle n'était certainement pas la plus optimale. Ce qui sous-entend qu'une division se rapprochant davantage de l'optimal laisserait espérer des bénéfices substantiels issus de l'adoption des reconfigurations, bénéfices qui pourraient même dépasser les prévisions établies. Pour se rapprocher de la division saisonnière optimale, il serait intéressant de travailler sur une approche formelle permettant de définir, à l'aide des données de l'organisation, le nombre de saisons à considérer et leurs durées respectives. Le problème dans la recherche de cette division saisonnière reste la multitude de paramètres à retenir dans l'identification du découpage saisonnier optimal.

5.1.2 Problème avancée réserve

Concernant la sélection des produits à affecter à la zone avancée, la méthode employée pour prioriser les produits est critiquable en raison de sa simplicité puisqu'elle ne tient compte que des lignes de commande (ou des lignes de commandes équivalentes). Il serait éventuellement intéressant de se pencher sur des logiques de priorisation plus complètes qui renforceraient l'intérêt à raisonner en termes de problème avancée-réserve. Il aurait été aussi intéressant de pouvoir penser, au sein d'une même saison, des réaffectations des produits entre la zone avancée et la réserve en fonction des fluctuations de la demande. Cette flexibilité opérationnelle supplémentaire permettrait de réduire davantage les coûts opérationnels des différentes options et, par le fait même, renforcer l'intérêt à effectuer des reconfigurations

saisonniers. En tout état de cause, cette flexibilité devrait être réfléchi lors de la conception des zones avancées.

5.1.3 Conception des zones avancées

Les différentes options étudiées ont été obtenus en s'inspirant de pratiques largement répandues ou présentes dans l'organisation. Il serait intéressant d'analyser les avantages que présentent les reconfigurations saisonnières en définissant des options où les configurations optimales de la zone avancée seraient recherchées, indépendamment des pratiques utilisées par l'organisme concerné. En effet, étant donné que nous avons maintenu de nombreuses décisions de l'organisation au niveau de la zone avancée, l'intérêt des reconfigurations saisonnières est valable dans l'optique où certaines des inefficiences opérationnelles liées aux pratiques de l'organisation seraient gardées en l'état, ce qui relativise les conclusions sur les gains potentiels que présentent les reconfigurations. Si l'étude de l'intérêt des reconfigurations saisonnières était réalisée en considérant des configurations des zones avancées qui se veulent optimales, il serait très important que les combinaisons optimales des options soient comparées à une configuration de la zone avancée utilisée à l'année longue qui, elle aussi, serait obtenue en utilisant les mêmes règles de conception que celles qui furent appliquées aux différentes options.

Il faut également préciser que certaines contraintes opérationnelles ne furent pas considérées dans la conception des zones avancées comme l'emplacement des piliers soutenant l'entrepôt qui limite la flexibilité des aménagements possibles dans la conception. L'autre obstacle de taille qui fut négligé concerne la capacité disponible pour les stocks lorsque la réserve est superposée à la zone avancée. En effet, dans ce cas de figure, la conception de la zone avancée influe indirectement sur les capacités d'entreposage de cette dernière. Les besoins en capacité de stockage s'expriment non seulement au niveau du volume qui peut être contenu dans la réserve, mais également au niveau du nombre de localisations disponibles. En effet, entre les produits qui seront pigés depuis la réserve et les réapprovisionnements qui devront être effectués, il faut s'assurer qu'un certain nombre de localisations soit disponible afin de pouvoir entreposer une variété de palettes contenant différents produits. Cette question devient des plus problématiques lorsque le nombre de produits affectés à la zone avancée est petit et que la taille de la zone avancée est restreinte.

La question de la congestion ne fut pas abordée dans le détail. On peut craindre que dans les configurations de zones avancées où la taille est relativement réduite et où seuls les produits les plus populaires sont affectés à la zone avancée, des problèmes de congestion apparaissent. Il serait intéressant d'introduire, dans la méthode de conception utilisée, une dimension permettant de traiter des problématiques de congestion.

5.1.4 Les estimations des coûts

Si les coûts liés aux équipements et aux déplacements pour la préparation des commandes dans la zone avancée furent obtenus avec une certaine précision, on ne peut pas en dire autant pour les autres coûts. En effet, pour le calcul de ceux liés à la préparation des commandes depuis les localisations de réserve et ceux des réapprovisionnements, des distances parcourues moyennes ont été utilisées en postulant des répartitions uniformes des entrées et des sorties le long du dépôt étendu. Cette simplification peut également amener à s'interroger sur la qualité des résultats enregistrés. Il serait judicieux de réaliser une simulation complète des activités du centre de distribution selon les différentes saisons et les différentes options afin d'obtenir des résultats d'une plus grande crédibilité.

Il serait également utile de se pencher sur les économies relatives à la superficie occupée par les zones avancées. En effet, en procédant à des reconfigurations saisonnières, une utilisation plus adéquate de l'espace du centre de distribution serait réalisée et permettrait de réaliser davantage d'économies. Il faudrait se demander ce qu'il serait possible de faire avec les espaces du centre de distribution non utilisés lors de certaines reconfigurations. Il se pourrait que l'entreprise loue ces espaces non exploités. Néanmoins, les reconfigurations régulières rendent inconstant l'espace louable, ce qui complique l'idée d'éventuelles locations. C'est pour cette raison que la question de la superficie fut mise de côté dans l'étude afin de nous concentrer davantage sur les gains liés aux économies opérationnelles qui sont mieux maîtrisables.

Notons aussi que d'autres coûts opérationnels ne figurent pas dans la nomenclature des thèmes abordés dans l'étude. Ce choix est motivé par notre souci de simplifier l'approche tout en gardant à l'esprit que ces derniers sont relativement faibles ou qu'ils ne sont pas affectés sensiblement par les reconfigurations saisonnières. Parmi ces coûts, on retrouve les chargements de commandes dans les camions ou encore la consolidation des commandes et

des palettes à expédier qui peuvent s'avérer plus problématiques quand des produits d'une même commande sont pigés à la fois dans la zone avancée et dans la réserve.

5.1.5 Les reconfigurations

La question des coûts liés à la reconfiguration des zones avancées est la grande absente du présent mémoire. Du fait du caractère complexe de la question, il est difficile de pouvoir se prononcer sur l'intérêt des reconfigurations saisonnières sans être en mesure de chiffrer les coûts relatifs à ce type d'opération. Le travail présenté permet de chiffrer des économies opérationnelles qui pourraient être réalisées indépendamment des coûts de reconfiguration. Toutefois, on peut légitimement se questionner sur la pertinence du choix de la combinaison optimale d'options durant l'année qui pourrait grandement être modifiée si les coûts de reconfigurations étaient connus sachant, quitte à se répéter, que plus le nombre de produits affectés varie entre deux saisons, plus ces coûts de reconfiguration risquent d'être élevés. Il serait intéressant de pouvoir procéder à une étude similaire en définissant une méthode permettant de calculer les coûts de reconfiguration entre les différentes combinaisons possibles d'options. Toujours dans le souci de la détermination des coûts de reconfiguration, il pourrait être fortement utile de permettre que des options puissent être maintenues d'une saison à l'autre (afin d'éviter d'avoir à supporter des coûts de reconfiguration). Si, dans la recherche des combinaisons optimales d'options, certains étaient maintenus sur plusieurs saisons, cela remettrait en cause la qualité de la segmentation de l'année en saisons.

Pour être en mesure de s'adapter, sur une base régulière, à des changements saisonniers, il faut que l'organisation soit en mesure de se procurer une forme de flexibilité au niveau de la main d'œuvre. En effet, si l'effort opérationnel nécessaire aux activités du centre de distribution est réduit, cela se traduira par une baisse des effectifs. Cela implique que l'organisation devra être en mesure, à la fois, de se départir et de recruter du personnel dépendamment des configurations choisies. Le problème, c'est que de telles pratiques peuvent avoir une incidence sur la qualité de la main-d'œuvre employée.

De plus, des changements fréquents de la configuration des zones avancées, risquent de compliquer la familiarisation des cueilleurs et des réapprovisionneurs avec la configuration des allées, ce qui peut impacter la performance de ces derniers.

La question concernant les équipements des unités d'entreposage qui ne sont pas utilisés lors de certaines saisons reste entière. Il serait précieux de savoir si des entreprises sont ou ont été confrontées à ce genre de problématiques par le passé et, si oui, quelles ont été les approches adoptées.

5.2 Conclusion

Ce mémoire avait pour ambition de proposer une méthodologie relativement simple qui permettrait aux organisations d'évaluer les économies opérationnelles qu'elles pourraient réaliser en procédant à des reconfigurations saisonnières. Afin d'évaluer l'efficacité de cette approche, la méthode préconisée a été appliquée aux données réelles d'un centre de distribution. De cette expérience, il est ressorti l'intérêt réel qu'il y a de procéder aux reconfigurations saisonnières. Ce résultat conforte ceux constatés par Nguyen qui, lui aussi, justifiait la rentabilité avérée de ces reconfigurations. Bien que la méthodologie exposée et appliquée dans le cadre de ce mémoire permette d'étudier la question de la reconfiguration avec une relative flexibilité et simplicité, cette dernière demeure perfectible sur les aspects discutés plus haut et présente, et c'est à la fois notre souhait et notre attente, un potentiel d'amélioration important.

Bibliographie

1. Ashayeri J, Goetschalckx M 1989 « Classification and design of order picking. » *Logistics Inf Manage* vol.2(2): p.99–106.
2. Berg, J.P., Sharp, G.P., Gademann, A.J.R.M. et Pochet, Y. 1998. « Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments. » *European Journal of Operational Research* vol.111(1): p.98-113.
3. Berg, J.P. et Zijm, W.H.M. 1999. « Models for warehouse management: Classification and examples. » *International Journal of Production Economics* vol.59(1-3): p.519-528.
4. Bhaskaran, K., Malmborg, C.J. 1990. « Economic tradeoffs in sizing warehouse reserve storage area. » *Applied Mathematical Modelling* vol.14(7): p.381-385.
5. Bloch, S. et Christiansen, C. H. 2008. *Simultaneously Optimizing Storage Location Assignment at Forward Area and Reserve Area - a Decomposition Based Heuristic from University of Aarhus, Aarhus School of Business, Department of Business Studies*
6. Bozer, Y. A. 1985. « Optimizing throughput performance in designing order picking systems. ». Ph. D. Dissertation, School of industrial and System Engineering, Georgia Institute of Technology.
7. Brochu, A.E. (2011). *L'intégration du problème de zone avancée-réserve lors de la conception d'une zone de préparation des commandes dans un centre de distribution. Mémoire de maîtrise, Montréal, HEC Montréal, 175 p.*
8. China Quality Suppliers - Illustration d'étagère. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.nypolicyfinder.com/sale-5378423-three-tier-durable-warehouse-storage-racks-garage-storage-shelving-systems.html> (consulté le 5 mars 2016)
9. Choe, K., Sharp, G.P. 1991. « Small parts order picking: design and operation. » [En ligne]. Disponible sur: <http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/Logistics%20Tutorial/order/article.htm> (Consulté le 28 février 2016)
10. Dallari, F., Marchet, G., Melacini, M. 2009. « Design of order picking system. » *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* vol.42(1): p.1-12.
11. De Koster, R., 2004. "How to assess a warehouse operation in a single tour." Report, RSM Erasmus University, Netherlands.

12. De Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, J.K.. 2007. « Design and control of warehouse order picking. » *European Journal of Operational Research* vol.182(2): p.481–501.
13. Franco, C., Gino, M., et Alessandro, P. 2000. « Layout design in manual picking systems: a simulation approach. » *Integrated Manufacturing Systems* vol.11(2): p.94-104.
14. Frazelle, E.H., Hackman, S.T., Passy,U., Platzman, L.K. . 1994. « The forward-reserve problem. » p. 43-61 in *Optimization in Industry 2*, edited by R.C.L. T.A. Ciriani: Wiley.
15. Gu, J. 2005. « The forward reserve warehouse sizing and dimensioning problem. » Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta p. 157
16. Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L. F. 2007. « Research on warehouse operation: A comprehensive review » *European Journal of Operational Research* vol.117(1) : p.1-21
17. Gue, K.R., et Meller, R.D. 2009. "Aisle configurations for unit-load warehouses." *IIE Transactions* vol.41(3) : p.171-182.
18. Hackman, S. T., Rosenblatt, M. J. 1990. « Allocating Items To An Automated Storage And Retrieval Syst. » *IIE Transactions*, vol.22(1): p.7-14.
19. Heragu, S.S., Du, L., Mantel, R.J., et Schuur, P.C. 2005. « Mathematical model for warehouse design and product allocation. » *International Journal of Production Research* vol.43(2): p.327-338
20. Kingdom shelves - Illustration de *drive in*. [En ligne] Disponible sur : <http://kingdomshelves.com/drive-in-thru.html> (consulté le 28 février 2015)
21. Le-Duc, T. et de Koster, R.B.M. 2005. « Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse. » *International Journal of Production Research* vol.43(17): p.3561-3581.
22. Manzini, R., Gamberi, M., Persona, A., Regattieri, A. 2007. « Design of a class based storage picker to product order picking system. » *International Journal of Advanced Manufacturing technology* vol.32: p.811-821.
23. McDowell, J.J.M. 1991. « Optimal product layout in a order picking warehouse. » *IIE Transactions* vol.23(1): p.93-102.
24. Nguyen, T.D., Usher, J. et DePuy, G. 2005. « The forward-reserve problem with seasonal demand. » *IIE Annual Conference. Proceedings (2005)*: p.1-6.
25. Office québécoise de la langue française - Définition du centre de distribution. [En ligne] Disponible sur : http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/terminologie_logistique/centre_de_distribution.html (consulté le 5 mars 2015)

26. Petersen, C.G. 1997. « An evaluation of order picking routing policies. » *International Journal of Operations & Production Management* vol.17(11): p.1098-1111.
27. Petersen, C.G. et Aase, G.R. 2004. « A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. » *International Journal of Production Economics* vol.92(1): p.11-19.
28. Petersen, C.G., Aase, G.R., Heiser, D.R. 2004. « Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage. » *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* vol.34(7/8): p.534-544.
29. Petersen, C.G. et Schmenner, R.W. 1999. « An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation. » *Decision Sciences* vol.30(2): p.481-501.
30. PRWeb - Illustration de « Industrial Shelvings ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.prweb.com/releases/industrial-shelving/krazy-cap/prweb10817430.htm> (consulté le 5 février 2016)
31. Roodbergen, K.J. et de Koster. 2001. « Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. » *European Journal of Operational Research* vol.133(1): p.32-43.
32. Roodbergen, K.J. et Iris, F.A.V. 2006. « A model for warehouse layout. » *IIE Transactions* vol.38(10): p.799-811.
33. Studyblue - Illustration de rayonnages simple profondeur. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.studyblue.com/notes/n/ioe-449-material-handling-equipment-review/deck/13623250> (consulté le 5 mars 2016)
34. The Performance People - Illustration de « Case Flow Rack ». [En ligne]. Disponible sur : <http://www.performancepeople.com/storage/warehouse-racking/carton-flow-racks> (consulté le 5 mars 2016)
35. Tompkins, J. A., White, J.A., Bozer, Y.A., Tanchoco, J.M.A. 2010. « Facilities Planning, 4th Ed. », John Wiley & Sons, Inc. [En ligne] Disponible sur: https://books.google.ca/books?id=-xBlq6Qm2SQ&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (consulté le 28 février 2016)
36. UNS (PTE) LTD. Illustration de palettiers. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.uns.com.sg/warehouse-racks.html> (consulté le 28 février 2015)
37. Vaughan, T.S. 1999. « The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency. » *International Journal of Production Research* vol.37(4): p.881-897.

38. Yoon, C.S. et G.P. Sharp. 1995. « Example application of the cognitive design procedure for an order pick system: Case study. » *European Journal of Operational Research* vol. 87(2): p.223-246.

Annexes

Annexe 1 : Programme SAS de sélection des types d'unités d'entreposage

```

Data Selection_Type_Unité;
set Donnee_SXX;          /* Sélection des données de la saison considérée*/

/*****
*/
/***** Paramètres Opérationnels Généraux
*****/
/*****
*/

Utilisation = 0.85;      /* Taux d'utilisation des capacités brutes d'entreposage */

Jours_Actifs = 5;        /* Jour d'activités dans le centre de distribution*/

Ouvertures = 1.10;      /* Pourcentages d'ouverture laisser comme marge */

Tampon = 2;             /* Espace tampon s'assurant que les produits puissent être saisi facilement */

/*****
*/
/***** Paramètres propres aux types d'unités d'entrepôts
*****/
/*****
*/

/***** Casiers (CAS)
*****/

CAS_Profondeur = 18;    /* Profondeur de la localisation en pouces*/
CAS_Largeur = 9;        /* Largeur de la localisation en pouces */
CAS_Hauteur = 16;       /* Hauteur de la localisation en pouces */
CAS_par_UE = 3;         /* Nombre de casiers par unité entreposage équivalente */

CAS_Niveaux = 5;        /* Nombre de niveaux */
CAS_Loc_Niv = 4;        /* Nombre de localisations par niveau */

CAS_Capacite = (CAS_Profondeur * CAS_Largeur * CAS_Hauteur / 1728) * Utilisation; /*
Capacités utilisables en pieds cubes */

CAS_Jours_Stocks= 10; /* Nombre de jours de stocks qui devraient être conservés en moyenne
dans la localisation */

/* Le code ci-dessous permet d'évaluer si, considérant les dimensions du produit, ce dernier
peut être mis dans la localisation */

/* LON et LAR correspondent respectivement à la longueur et à la largeur du produit */

IF LON + Tampon > CAS_Profondeur or LAR + Tampon > CAS_Profondeur THEN DO;
  CAS_Dim = 'NON';
END;
ELSE IF LON + Tampon <= CAS_Largeur AND LAR + Tampon > CAS_Largeur THEN DO;
  CAS_Dim = 'OUI';
END;
ELSE IF LON + Tampon > CAS_Largeur AND LAR + Tampon <= CAS_Largeur THEN DO;
  CAS_Dim = 'OUI';
END;
ELSE IF (LON + Tampon <= CAS_Largeur AND LAR + Tampon <= CAS_Largeur) THEN DO;
  CAS_Dim = 'OUI';
END;

/***** Étagères à rouleaux à gravité inversée (GIV)
*****/

GIV_Profondeur = 92;    /* Profondeur de la localisation en pouces*/
GIV_Largeur = 15;       /* Largeur de la localisation en pouces */
GIV_Hauteur = 18;       /* Hauteur de la localisation en pouces */

CAS_Niveaux = 3;        /* Nombre de niveaux */
CAS_Loc_Niv = 6;        /* Nombre de localisations par niveau */

GIV_Capacite = (GIV_Profondeur * GIV_Largeur * GIV_Hauteur / 1728) * Utilisation; /*
Capacités utilisables en pieds cubes */

```

```

GIV_Jours_Stocks= 5; /* Nombre de jours de stocks qui devraient être conservés en moyenne dans
la localisation */

/* Le code ci-dessous permet d'évaluer si, considérant les dimensions du produit, ce dernier
peut être mis dans la localisation */

/* LON et LAR correspondent respectivement à la longueur et à la largeur du produit */

IF LON + Tampon <= GIV_Largeur AND LAR + Tampon > GIV_Largeur THEN DO;
    GIV_Dim = 'OUI';
END;
ELSE IF LON + Tampon > GIV_Largeur AND LAR + Tampon <= GIV_Largeur THEN DO;
    GIV_Dim = 'OUI';
END;
ELSE IF (LON + Tampon <= GIV_Largeur AND LAR + Tampon <= GIV_Largeur) THEN DO;
    GIV_Dim = 'OUI';
END;

    GIVCSPL = FLOOR(GIV_Profondeur/GIV_Cote);

/***** Rayonnage simple profondeur pour demi-palettes (SP2)
*****/

SP2_Capacite = 35; /* Capacité d'entreposage en pieds cubes */
SP2_Jours_Stocks= 5; /* Nombre de jours de stocks */
SP2_Loc = 4/* Nombre de localisation par unité */

/***** Rayonnage simple profondeur pour palettes (SP1-1) *****/

SP1_Capacite = 55; /* Capacité d'entreposage en pieds cubes */
SP1_Jours_Stocks= 1; /* Nombre de jours de stocks */
SP1_1_Loc = 2/* Nombre de localisation par unité */

/**** Rayonnage simple profondeur pour palettes (SP1-2) deux localisations par produit ****/
SP1_2_Loc = 1/* Nombre de localisation par unité */

/*****
*/
/***** Logique Séquentielle de Sélection
*****/
/*****
*/

    length TypeRayonnages $8.;

/***** CAS *****/

IF (HAU + Tampon <= CAS_Hauteur) and (CAS_Dim = 'OUI') AND (Exp_Vol_Hebd / Jours_Actifs) *
CAS_Jours_Stocks<= CAS_Capacite THEN DO;
    TypeRayonnages = '1-CAS';
    Nbr_unites = (1 / CAS_Loc_Niv * CAS_Niveaux * CAS_par_UE) * Ouvertures;
    localisations = (1 * Ouvertures);
    Reappro_Hebd = Exp_Vol_Hebd / (CAS_Capacite * (localisations/Ouvertures));
END;

/***** GIV *****/

ELSE IF (HAU + Tampon <= GIV_Hauteur) and (GIV_Dim = 'OUI') AND (Exp_Vol_Hebd / Jours_Actifs)
* GIV_Jours_Stocks<= GIV_Capacite THEN DO;
    TypeRayonnages = '2-GIV';
    localisations = 1 * Ouvertures;
    Nbr_unites = localisations / (GIV_Loc_Niv * GIV_Niveaux);
    Reappro_Hebd = Exp_Vol_Hebd / (GIV_Capacite * (localisations/Ouvertures));
END;

/***** SP2 *****/

ELSE IF (Exp_Vol_Hebd / Jours_Actifs) * SP2_Jours_Stocks<= SP2_Capacite THEN DO;

```



```

    TypeRayonnages = '3-SP2';
    localisations = 1 * Ouvertures;
    Nbr_unites = localisations / SP2_Loc;
    Reappro_Hebd = Exp_Vol_Hebd / (SP2_Capacite * 1);
END;

/*****                               SP1-1                               *****/

ELSE IF (Exp_Vol_Hebd / Jours_Actifs) * SP1_Jours_Stocks <= SP1_Capacite THEN DO;

    TypeRayonnages = '4-SP1-1';
    localisations = 1 * Ouvertures;
    Nbr_unites = ((localisations / SP1_1_Loc));
    Reappro_Hebd = Exp_Vol_Hebd / (SP1_Capacite * 1);
END;

/*****                               SP1-2                               *****/

ELSE DO;
    TypeRayonnages = '5-SP1-2';
    localisations = 1 * Ouvertures;
    Nbr_unites = (localisations / SP1_2_Loc);
    Reappro_Hebd = Exp_Vol_Hebd / (SP1_Capacite * 2);
END;

run;
```

Annexe 2 : Besoins en unités d'entreposage par option et par saison

Saison 1

10% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
2-GIV	27	30	1.7	2.0	4.0
3-SP2	135	149	37.1	38.0	38.0
4-SP1-1	104	114	57.2	58.0	58.0
5-SP1-2	5	11	5.5	6.0	6.0
Total	271	304	101	104	106

20% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-CAS	55	61	1.0	2.0	2.0
2-GIV	161	177	9.8	10.0	20.0
3-SP2	198	218	54.5	55.0	55.0
4-SP1-1	124	136	68.2	69.0	69.0
5-SP1-2	5	11	5.5	6.0	6.0
Total	543	603	139	142	152

30% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-Casiers	188	207	3.4	4.0	4.0
2-GIV	280	308	17.1	18.0	36.0
3-SP2	217	239	59.7	60.0	60.0
4-SP1-1	125	138	68.8	69.0	69.0
5-SP1-2	5	11	5.5	6.0	6.0
Total	815	902	154	157	175

40% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-CAS	371	408	6.8	7.0	7.0
2-GIV	363	399	22.2	23.0	46.0
3-SP2	223	245	61.3	62.0	62.0
4-SP1-1	125	138	68.8	69.0	69.0
5-SP1-2	5	11	5.5	6.0	6.0
Total	1087	1201	165	167	190

50% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-CAS	574	631	10.5	11.0	11.0
2-GIV	423	465	25.9	26.0	52.0
3-SP2	231	254	63.5	64.0	64.0
4-SP1-1	126	139	69.3	70.0	70.0
5-SP1-2	5	11	5.5	6.0	6.0
Total	1359	1500	175	177	203

100% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-CAS	1803	1983	33.1	34.0	34.0
2-GIV	519	571	31.7	32.0	64.0
3-SP2	259	285	71.2	72.0	72.0
4-SP1-1	132	145	72.6	73.0	73.0
5-SP1-2	5	11	5.5	6.0	6.0
Total	2718	2995	214	217	249

Saison 2

10% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
2-GIV	18	20	1.1	2.0	4.0
3-SP2	93	102	25.6	26.0	26.0
4-SP1-1	158	174	86.9	87.0	87.0
5-SP1-2	8	18	8.8	9.0	9.0
Total	277	314	122	124	126

20% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-CAS	31	34	0.6	1.0	1.0
2-GIV	132	145	8.1	9.0	18.0
3-SP2	184	202	50.6	51.0	51.0
4-SP1-1	199	219	109.5	110.0	110.0
5-SP1-2	8	18	8.8	9.0	9.0
Total	554	618	177	180	189

30% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-CAS	138	152	2.5	3.0	3.0
2-GIV	277	305	16.9	17.0	34.0
3-SP2	203	223	55.8	56.0	56.0
4-SP1-1	205	226	112.8	113.0	113.0
5-SP1-2	8	18	8.8	9.0	9.0
Total	831	923	197	198	215

40% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-CAS	293	322	5.4	6.0	6.0
2-GIV	385	424	23.5	24.0	48.0
3-SP2	215	237	59.1	60.0	60.0
4-SP1-1	207	228	113.9	114.0	114.0
5-SP1-2	8	18	8.8	9.0	9.0
Total	1108	1228	211	213	237

50% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-CAS	464	510	8.5	9.0	9.0
2-GIV	477	525	29.2	30.0	60.0
3-SP2	225	248	61.9	62.0	62.0
4-SP1-1	210	231	115.5	116.0	116.0
5-SP1-2	10	22	11.0	11.0	11.0
Total	1386	1536	226	228	258

100% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondeur
1-CAS	1613	1774	29.6	30.0	30.0
2-GIV	677	745	41.4	42.0	84.0
3-SP2	249	274	68.5	69.0	69.0
4-SP1-1	221	243	121.6	122.0	122.0
5-SP1-2	12	26	13.2	14.0	14.0
Total	2772	3062	274	277	319

Saison 3

10% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondes
2-GIV	19	21	1.2	2.0	4.0
3-SP2	47	52	12.9	13.0	13.0
4-SP1-1	208	229	114.4	115.0	115.0
5-SP1-2	17	37	18.7	19.0	19.0
Total	291	339	147	149	151

20% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondes
1-CAS	9	10	0.2	1.0	1.0
2-GIV	87	96	5.3	6.0	12.0
3-SP2	166	183	45.7	46.0	46.0
4-SP1-1	303	333	166.7	167.0	167.0
5-SP1-2	17	37	18.7	19.0	19.0
Total	582	659	236	239	245

30% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondes
1-CAS	71	78	1.3	2.0	2.0
2-GIV	249	274	15.2	16.0	32.0
3-SP2	214	235	58.9	59.0	59.0
4-SP1-1	321	353	176.6	177.0	177.0
5-SP1-2	18	40	19.8	20.0	20.0
Total	873	980	272	274	290

40% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondes
1-CAS	191	210	3.5	4.0	4.0
2-GIV	404	444	24.7	25.0	50.0
3-SP2	227	250	62.4	63.0	63.0
4-SP1-1	324	356	178.2	179.0	179.0
5-SP1-2	18	40	19.8	20.0	20.0
Total	1164	1300	289	291	316

50% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondes
1-CAS	333	366	6.1	7.0	7.0
2-GIV	525	578	32.1	33.0	66.0
3-SP2	238	262	65.5	66.0	66.0
4-SP1-1	337	371	185.4	186.0	186.0
5-SP1-2	22	48	24.2	25.0	25.0
Total	1455	1625	313	317	350

100% des produits affectés à la zone avancée					
Type d'unités d'entreposage	Nombre de produits différents	Nombre de localisations	Nombre d'unités d'entreposage	Nombre d'unités d'entreposage arrondi à l'unité supérieure	Nombre d'unités d'entreposage en unités équivalentes simples profondes
1-CAS	1499	1649	27.5	28.0	28.0
2-GIV	764	840	46.7	47.0	94.0
3-SP2	267	294	73.4	74.0	74.0
4-SP1-1	354	389	194.7	195.0	195.0
5-SP1-2	26	57	28.6	29.0	29.0
Total	2910	3230	371	373	420

Annexe 3 : Programme SAS de création virtuelle des localisations utilisé pour l'option où 40% des produits sont affectés à la zone avancée dans la saison 2

```

/**/ Création des positions de la zone avancé Situation : Saison 2 - ANNEE 40% /**/

libname db 'J:\SAS eCourse\Froward-reserve Problem\Libraries';

/**/ Création des allées /**/

data allees_pige;
length allee_type 8.;
do allee = 01 to 11;
    if mod(allee,2) = 0 then allee_type = 'paire'; else allee_type = 'impaire'; output;
end;
run;

/**/ Création des unités d'entreposage /**/

data Unite_entreposage;
set allees_pige;

    if 01<= allee <= 11 THEN DO;
        do unite = 1 to 22; output; end;
    end;

run;

data Unite_entreposage;
set Unite_entreposage;

length allee_cote $9. TypeRayonnages $8;

    if mod(unite,2) = 0 then allee_cote = 'paire';
    else if mod(unite,2) ^= 0 then allee_cote = 'impaire';

/* Suppressions des unités d'entreposage en raison des unités doubles profondeur */
    if allee = 8 and unite in (13) then delete;
    else if allee = 10 then delete;

/* Identification des types d'unités d'entreposage */

ELSE IF allee = 1 and unite <= 10
then TypeRayonnages = '5-SP1-2';
ELSE IF allee in (1 2 3 4 5)
then TypeRayonnages = '4-SP1-1';
ELSE IF allee = 6 and unite <= 14
then TypeRayonnages = '4-SP1-1';
ELSE IF allee in (6 7 8)
then TypeRayonnages = '3-SP2';
ELSE IF allee = 9 and unite in (1 3 5 7 9 11 13 15 17)
then TypeRayonnages = '3-SP2';
ELSE IF allee = 11 and unite in (1 3 5 7)
then TypeRayonnages = '3-SP2';
ELSE IF allee = 11 and unite in (9 11 13 15 17 19 21)
then TypeRayonnages = '1-
CAS';
ELSE IF allee in (9 11)
then TypeRayonnages = '2-
GIV';

run;

data Unite_entreposage_pos (drop = x);
set Unite_entreposage;

/* Création des niveaux selon les types d'unités d'entreposage */

if TypeRayonnages in ('5-SP1-2' '4-SP1-1') then do x = 1; if x = 1 then niveau = 'A';
output; end;

else if TypeRayonnages = '3-SP2' then do x = 1 to 2;
    if x = 1 then niveau = 'A'; else if x = 2 then niveau = 'B';
output; end;
else if TypeRayonnages = '2-GIV' then do x = 1 to 3;
    if x = 1 then niveau = 'A'; else if x = 2 then niveau = 'B'; else if x = 3 then niveau =
'C'; output; end;
else if TypeRayonnages = '1-CAS' then do x = 1 to 5;
    if x = 1 then niveau = 'A'; else if x = 2 then niveau = 'B'; else if x = 3 then niveau =
'C';
    else if x = 4 then niveau = 'D'; else if x = 5 then niveau = 'E';
output; end;

```

```
run;

data Liste_localisations (drop = x);
set Unite_entreposage_pos;

/* Création des position par niveau selon les types d'unités d'entreposage */

if TypeRayonnages in ('5-SP1-2' '4-SP1-1' '3-SP2') then do x = 1 to 2;
if x = 1 then position = '1'; else if x = 2 then position = '2';
output; end;

ELSE IF TypeRayonnages = '2-GIV' THEN DO x = 1 to 6;
if x = 1 then position = '1'; ELSE IF x = 2 then position = '2'; else if x = 3 then position =
'3';
else if x = 4 then position = '4'; else if x = 5 then position = '5';
else if x = 6 then position = '6';
output; end;

else if TypeRayonnages = '1-CAS' then do x = 1 to 12;
if x = 1 then pp = '1'; else if x = 2 then pp = '2'; else if x = 3 then pp = '3';
else if x = 4 then pp = '4'; else if x = 5 then pp = '5'; else if x = 6 then pp = '6';
else if x = 7 then pp = '7'; else if x = 8 then pp = '8'; else if x = 9 then pp = '9';
else if x = 10 then pp = '10'; else if x = 11 then pp = '11'; else if x = 12 then pp = '12';
output; end;
run;

data db.ZAC_S02_40_P5_1;
set Listpostion;

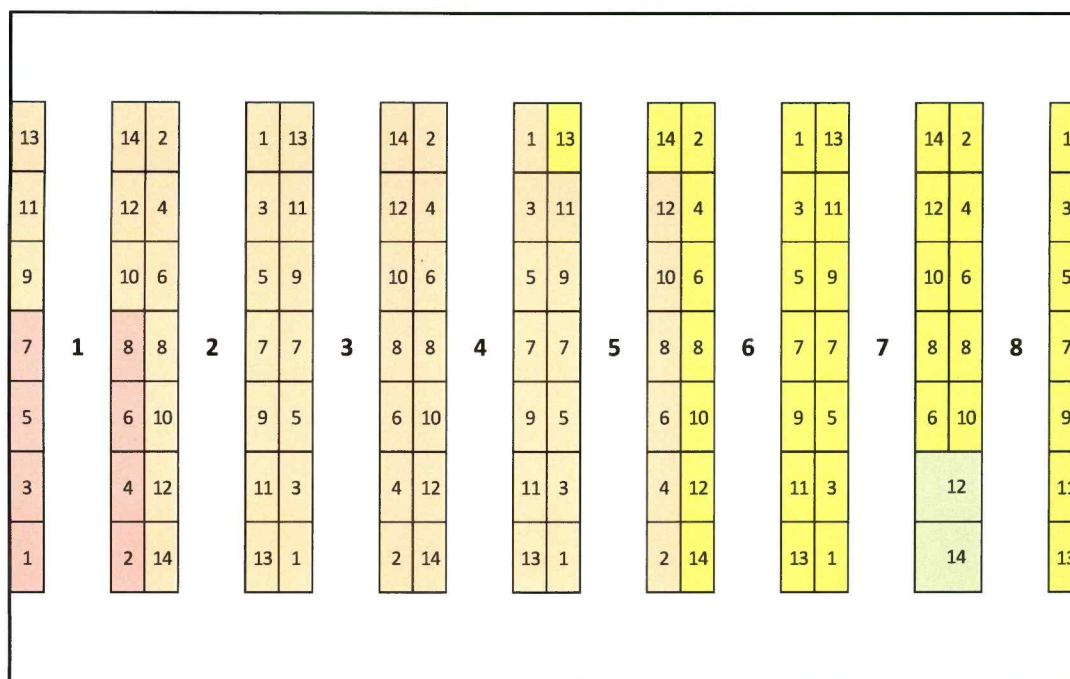
/* Supression de la seconde localisation des palettiers simple profondeur qui recoivent deux
palettes du même produit */

if TypeRayonnages = '5-SP1-2' and pp = '2' then delete;
run;
```

Annexe 4 : Configuration des zones avancées des différentes options selon les saisons

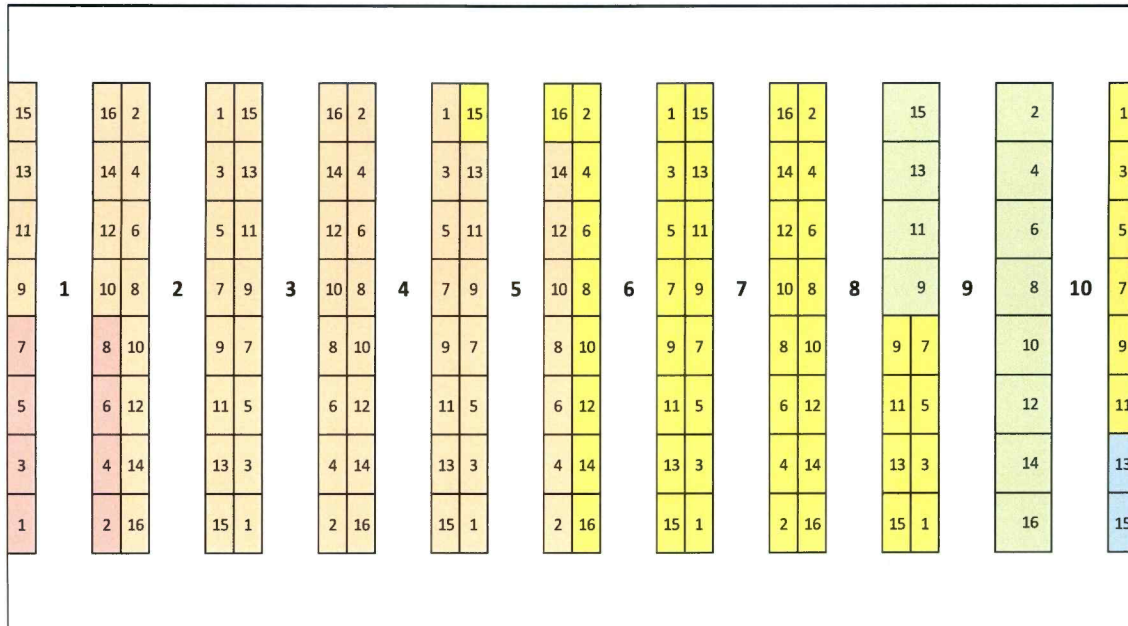
Saison 1

10 % des produits affectés à la zone avancée



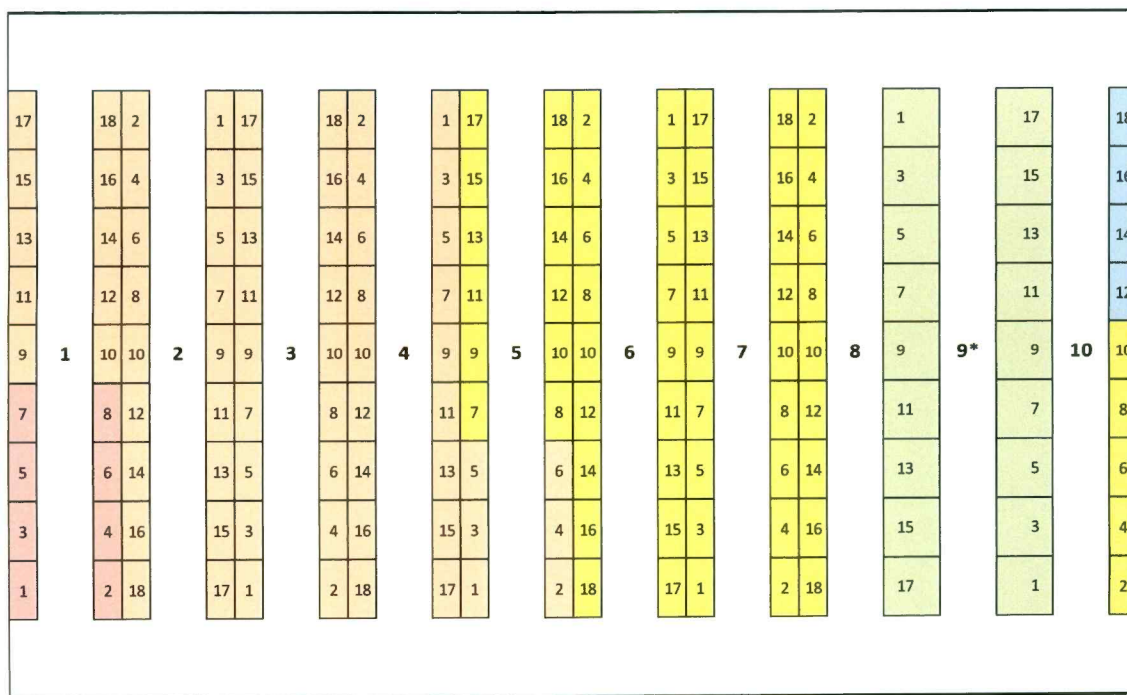
Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	0	0
2-GIV	2	36
3-SP2	40	160
4-SP1-1	60	120
5-SP1-2	8	8
Total	110	324

20 % des produits affectés à la zone avancée



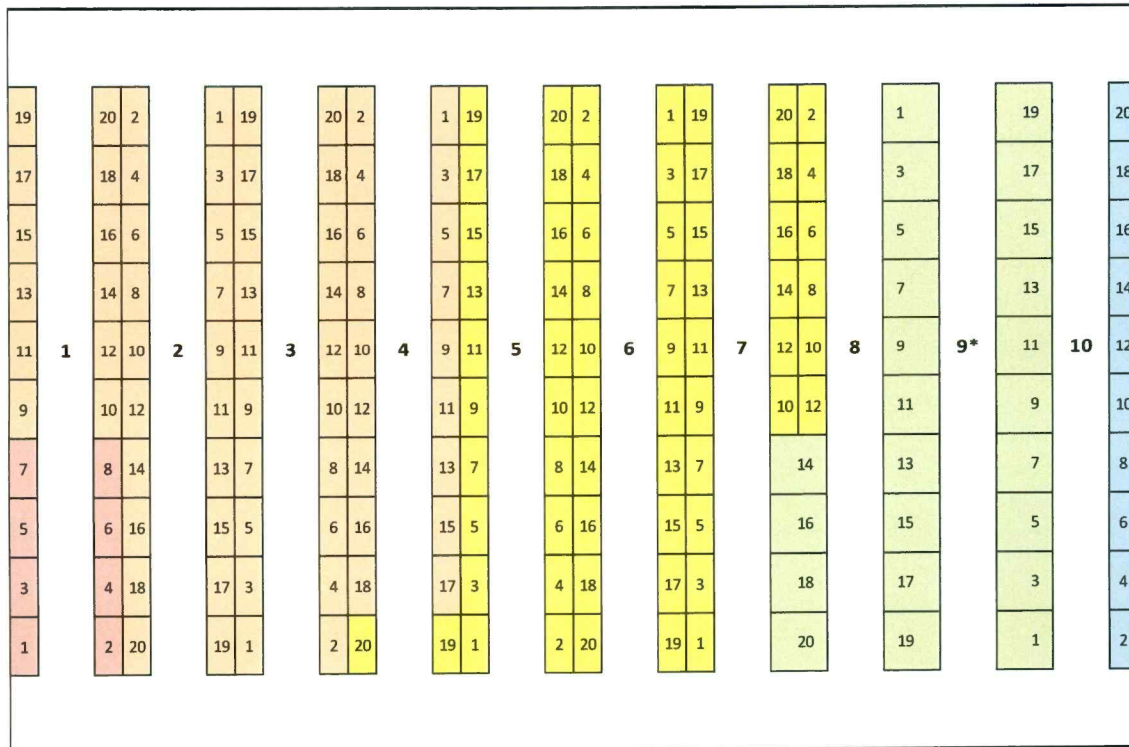
Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	2	120
2-GIV	12	216
3-SP2	56	224
4-SP1-1	70	140
5-SP1-2	8	8
Total	148	708

30 % des produits affectés à la zone avancée



Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	4	240
2-GIV	18	324
3-SP2	62	248
4-SP1-1	70	140
5-SP1-2	8	8
Total	162	960

40 % des produits affectés à la zone avancée



Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	10	600
2-GIV	24	432
3-SP2	64	256
4-SP1-1	70	140
5-SP1-2	8	8
Total	176	1436

50 % des produits affectés à la zone avancée

19	20 2	1 19	20 2	1 19	20 2	1 19	20 2	1	19	20 2	1
17	18 4	3 17	18 4	3 17	18 4	3 17	18 4	3	17	18	3
15	16 6	5 15	16 6	5 15	16 6	5 15	16 6	5	15	16	5
13	14 8	7 13	14 8	7 13	14 8	7 13	14 8	7	13	14	7
11	12 10	9 11	12 10	9 11	12 10	9 11	12 10	9	11	12	9
9	10 12	11 9	10 12	11 9	10 12	11 9	10 12	11	9	10	11
7	8 14	13 7	8 14	13 7	8 14	13 7	8 14	13	7	8	13
5	6 16	15 5	6 16	15 5	6 16	15 5	6 16	15	5	6	15
3	4 18	17 3	4 18	17 3	4 18	17 3	4 18	17	3	4	17
1	2 20	19 1	2 20	19 1	2 20	19 1	2 20	19	1	2	19
	1	2	3	4	5	6	7	8	9*	10	11

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	12	720
2-GIV	29	522
3-SP2	68	272
4-SP1-1	74	148
5-SP1-2	8	8
Total	191	1670

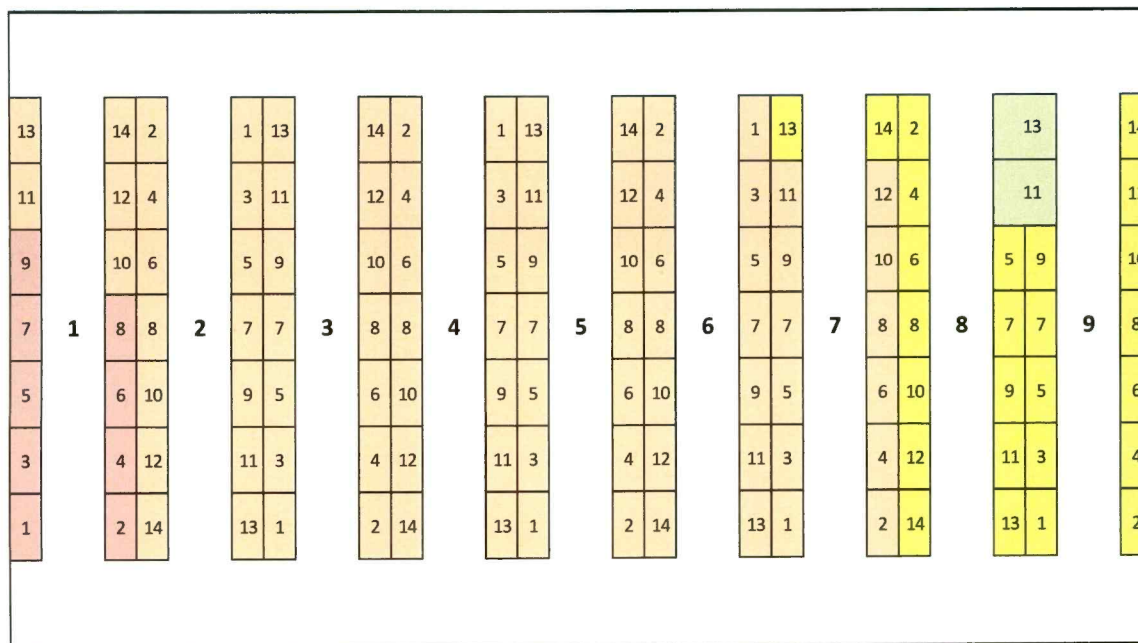
100 % des produits affectés à la zone avancée

21	22 2	1 21	22 2	1 21	22 2	1 21	22	2	1	19	22 2	1
19	20 4	3 19	20 4	3 19	20 4	3 19	20	4	3	19	20 4	3
17	18 6	5 17	18 6	5 17	18 6	5 17	18	6	5	17	18 6	5
15	16 8	7 15	16 8	7 15	16 8	7 15	16	8	7	15	16 8	7
13	14 10	9 13	14 10	9 13	14 10	9 13	14	10	9	13	14 10	9
11	12 12	11 11	12 12	11 11	12 12	11 11	12	12	11	11	12 12	11
9	10 14	13 9	10 14	13 9	10 14	13 9	10	14	13	9	10 14	13
7	8 16	15 7	8 16	15 7	8 16	15 7	8	16	15	7	8 16	15
5	6 18	17 5	6 18	17 5	6 18	17 5	6	18	17	5	6 18	17
3	4 20	19 3	4 20	19 3	4 20	19 3	4	20	19	3	4 20	19
1	2 22	21 1	2 22	21 1	2 22	21 1	2	22	21	1	2 22	21
	1	2	3	4	5	6	7	8*	9	10*	11	12

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	34	2040
2-GIV	33	594
3-SP2	65	260
4-SP1-1	80	160
5-SP1-2	8	8
Total	220	3062

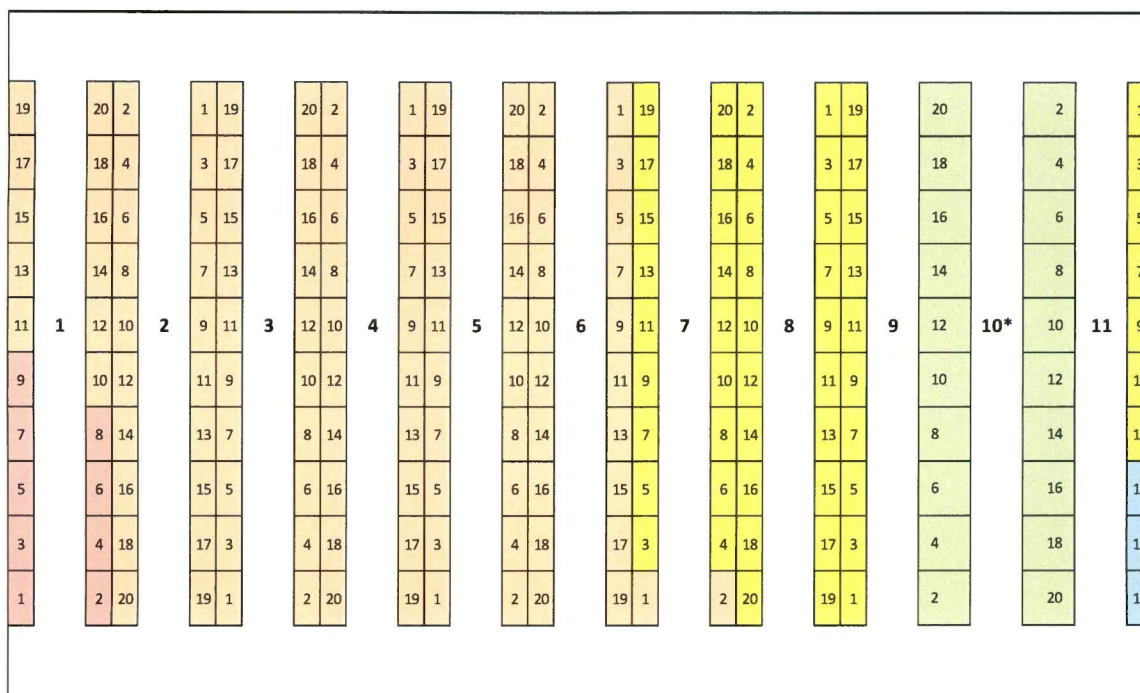
Saison 2

10 % des produits affectés à la zone avancée



Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	0	0
2-GIV	2	36
3-SP2	26	104
4-SP1-1	87	174
5-SP1-2	9	9
Total	124	323

30 % des produits affectés à la zone avancée



Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	3	180
2-GIV	20	360
3-SP2	55	220
4-SP1-1	113	226
5-SP1-2	9	9
Total	200	995

40 % des produits affectés à la zone avancée

21	22 2	1 21	22 2	1 21	22 2	1 21	22 2	21	22	2	1
19	20 4	3 19	20 4	3 19	20 4	3 19	20 4	19	20	4	3
17	18 6	5 17	18 6	5 17	18 6	5 17	18 6	5 17	18	6	5
15	16 8	7 15	16 8	7 15	16 8	7 15	16 8	7 15	16	8	7
13	14 10	9 13	14 10	9 13	14 10	9 13	14 10	9 13	14	10	9
11	12 12	11 11	12 12	11 11	12 12	11 11	12 12	11 11	12	10*	11
9	10 14	13 9	10 14	13 9	10 14	13 9	10 14	13 9	10	14	13
7	8 16	15 7	8 16	15 7	8 16	15 7	8 16	15 7	8	16	15
5	6 18	17 5	6 18	17 5	6 18	17 5	6 18	17 5	6	18	17
3	4 20	19 3	4 20	19 3	4 20	19 3	4 20	19 3	4	20	19
1	2 22	21 1	2 22	21 1	2 22	21 1	2 22	21 1	2	22	21

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	7	420
2-GIV	24	432
3-SP2	63	252
4-SP1-1	114	228
5-SP1-2	10	10
Total	218	1342

50 % des produits affectés à la zone avancée

21	22 2	1 21	22 2	1 21	22 2	1 21	22 2	22 2	21	22	2	1
19	20 4	3 19	20 4	3 19	20 4	3 19	20 4	20 4	19	20	4	3
17	18 6	5 17	18 6	5 17	18 6	5 17	18 6	18 6	17	18	6	5
15	16 8	7 15	16 8	7 15	16 8	7 15	16 8	16 8	15	16	8	7
13	14 10	9 13	14 10	9 13	14 10	9 13	14 10	14 10	13	14	10	9
11	12 12	11 11	12 12	11 11	12 12	11 11	12 12	12 12	11	12	12	11
9	10 14	13 9	10 14	13 9	10 14	13 9	10 14	10 14	9	10	14	13
7	8 16	15 7	8 16	15 7	8 16	15 7	8 16	8 16	7	8	16	15
5	6 18	17 5	6 18	17 5	6 18	17 5	6 18	6 18	5	6	18	17
3	4 20	19 3	4 20	19 3	4 20	19 3	4 20	4 20	3	4	20	19
1	2 22	21 1	2 22	21 1	2 22	21 1	2 22	2 22	21 1	2	22	21

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	11	660
2-GIV	32	576
3-SP2	61	244
4-SP1-1	116	232
5-SP1-2	12	12
Total	232	1724

100 % des produits affectés à la zone avancée

25	26 2	1 25	26 2	1 25	26 2	1 25	26 2	1	25	26	2	1 25	24
23	24 4	3 23	24 4	3 23	24 4	3 23	24 4	3	23	24	4	3 23	23
21	22 6	5 21	22 6	5 21	22 6	5 21	22 6	5	21	22	6	5 21	22
19	20 8	7 19	20 8	7 19	20 8	7 19	20 8	7	19	20	8	7 19	20
17	18 10	9 17	18 10	9 17	18 10	9 17	18 10	9	17	18	10	9 17	18
15	16 12	11 15	16 12	11 15	16 12	11 15	16 12	11	15	16	12	11 15	16
13	1 14 14	2 13 13	3 14 14	4 13 13	5 14 14	6 13 13	7 14 14	8 13	9*	10 13	11* 14	12 13 13	13 14
11	12 16	15 11	12 16	15 11	12 16	15 11	12 16	15	11	12	16	15 11	12
9	10 18	17 9	10 18	17 9	10 18	17 9	10 18	17	9	10	18	17 9	10
7	8 20	19 7	8 20	19 7	8 20	19 7	8 20	19	7	8	20	19 7	8
5	6 22	21 5	6 22	21 5	6 22	21 5	6 22	21	5	6	22	21 5	6
3	4 24	23 3	4 24	23 3	4 24	23 3	4 24	23	3	4	24	23 3	4
1	2 26	25 1	2 26	25 1	2 26	25 1	2 26	25	1	2	26	25 1	2

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	39	2340
2-GIV	39	702
3-SP2	72	288
4-SP1-1	122	244
5-SP1-2	14	14
Total	286	3588

Saison 3

10 % des produits affectés à la zone avancée

17		18 2		1 17		18 2		1 17		18 2		18					
15		16 4		3 15		16 4		3 15		16 4		16					
13		14 6		5 13		14 6		5 13		14 6		14					
11		12 8		7 11		12 8		7 11		12 8		12					
9	1	10 10	2	9 9	3	10 10	4	9 9	5	10 10	6	9	7	11	8	9	10
7		8 12		11 7		8 12		11 7		8 12		8					
5		6 14		13 5		6 14		13 5		6 14		6					
3		4 16		15 3		4 16		15 3		4 16		4					
1		2 18		17 1		2 18		17 1		2 18		2					

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	0	0
2-GIV	3	54
3-SP2	15	60
4-SP1-1	119	238
5-SP1-2	22	22
Total	159	374

30 % des produits affectés à la zone avancée

23	24 2	1 23	24 2	1 23	24 2	1 23	24 2	1 23	24 2	1 23	24 2	23	24	1
21	22 4	3 21	22 4	3 21	22 4	3 21	22 4	3 21	22 4	3 21	22 4	21	22	3
19	20 6	5 19	20 6	5 19	20 6	5 19	20 6	5 19	20 6	5 19	20 6	19	20	5
17	18 8	7 17	18 8	7 17	18 8	7 17	18 8	7 17	18 8	7 17	18 8	17	18	7
15	16 10	9 15	16 10	9 15	16 10	9 15	16 10	9 15	16 10	9 15	16 10	9 15	16	9
13	14 12	11 13	14 12	11 13	14 12	11 13	14 12	11 13	14 12	11 13	14 12	11 13	14	11
11	12 14	13 11	12 14	13 11	12 14	13 11	12 14	13 11	12 14	13 11	12 14	13 11	12	13
9	10 16	15 9	10 16	15 9	10 16	15 9	10 16	15 9	10 16	15 9	10 16	15 9	10	15
7	8 18	17 7	8 18	17 7	8 18	17 7	8 18	17 7	8 18	17 7	8 18	17 7	8	17
5	6 20	19 5	6 20	19 5	6 20	19 5	6 20	19 5	6 20	19 5	6 20	19 5	6	19
3	4 22	21 3	4 22	21 3	4 22	21 3	4 22	21 3	4 22	21 3	4 22	21 3	4	21
1	2 24	23 1	2 24	23 1	2 24	23 1	2 24	23 1	2 24	23 1	2 24	23 1	2	23

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	2	120
2-GIV	16	288
3-SP2	58	232
4-SP1-1	176	352
5-SP1-2	20	20
Total	272	1012

40 % des produits affectés à la zone avancée

23	24 2	1 23	24 2	1 23	24 2	1 23	24 2	1 23	24 2	1 23	24	2	1
21	22 4	3 21	22 4	3 21	22 4	3 21	22 4	3 21	22 4	3 21	22	4	3
19	20 6	5 19	20 6	5 19	20 6	5 19	20 6	5 19	20 6	5 19	20	6	5
17	18 8	7 17	18 8	7 17	18 8	7 17	18 8	7 17	18 8	7 17	18	8	7
15	16 10	9 15	16 10	9 15	16 10	9 15	16 10	9 15	16 10	9 15	16	10	9
13	1 14 12	2 11 13	3 14 12	4 11 13	5 14 12	6 11 13	7 14 12	8 11 13	9 14 12	10 11 13	11 14	12*	13 11
11	12 14	13 11	12 14	13 11	12 14	13 11	12 14	13 11	12 14	13 11	12	14	13
9	10 16	15 9	10 16	15 9	10 16	15 9	10 16	15 9	10 16	15 9	10	16	15
7	8 18	17 7	8 18	17 7	8 18	17 7	8 18	17 7	8 18	17 7	8	18	17
5	6 20	19 5	6 20	19 5	6 20	19 5	6 20	19 5	6 20	19 5	6	20	19
3	4 22	21 3	4 22	21 3	4 22	21 3	4 22	21 3	4 22	21 3	4	22	21
1	2 24	22 1	2 24	22 1	2 24	22 1	2 24	22 1	2 24	22 1	2	24	23

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	4	240
2-GIV	24	432
3-SP2	62	248
4-SP1-1	178	356
5-SP1-2	20	20
Total	288	1296

50 % des produits affectés à la zone avancée

25	26 2	1 25	26 2	1 25	26 2	1 25	26 2	1 25	26 2	1 25	26 2	1 25	26 2	1	25	26
23	24 4	3 23	24 4	3 23	24 4	3 23	24 4	3 23	24 4	3 23	24 4	3 23	24 4	3	23	24
21	22 6	5 21	22 6	5 21	22 6	5 21	22 6	5 21	22 6	5 21	22 6	5 21	22 6	5	21	22
19	20 8	7 19	20 8	7 19	20 8	7 19	20 8	7 19	20 8	7 19	20 8	7 19	20 8	7	19	20
17	18 10	9 17	18 10	9 17	18 10	9 17	18 10	9 17	18 10	9 17	18 10	9 17	18 10	9	17	18
15	16 12	11 15	16 12	11 15	16 12	11 15	16 12	11 15	16 12	11 15	16 12	11 15	16 12	11	15	16
13	1 14 14	2 13 13	3 14 14	4 13 13	5 14 14	6 13 13	7 14 14	8 13 13	9 14 14	10 13 13	11 14	12 13	13*	13	14	14
11	12 16	15 11	12 16	15 11	12 16	15 11	12 16	15 11	12 16	15 11	12 16	15 11	12 16	15	11	12
9	10 18	17 9	10 18	17 9	10 18	17 9	10 18	17 9	10 18	17 9	10 18	17 9	10 18	17	9	10
7	8 20	19 7	8 20	19 7	8 20	19 7	8 20	19 7	8 20	19 7	8 20	19 7	8 20	19	7	8
5	6 22	21 5	6 22	21 5	6 22	21 5	6 22	21 5	6 22	21 5	6 22	21 5	6 22	21	5	6
3	4 24	23 3	4 24	23 3	4 24	23 3	4 24	23 3	4 24	23 3	4 24	23 3	4 24	23	3	4
1	2 26	25 1	2 26	25 1	2 26	25 1	2 26	25 1	2 26	25 1	2 26	25 1	2 26	25	1	2

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	13	780
2-GIV	34	612
3-SP2	69	276
4-SP1-1	188	376
5-SP1-2	26	26
Total	330	2070

100 % des produits affectés à la zone avancée

27	28 2	1 27	28 2	1 27	28 2	1 27	28 2	1 27	28 2	1 27	28 2	1	27	28 2	1
25	26 4	3 25	26 4	3 25	26 4	3 25	26 4	3 25	26 4	3 25	26 4	3	25	26 4	3
23	24 6	5 23	24 6	5 23	24 6	5 23	24 6	5 23	24 6	5 23	6	5	23	24 6	5
21	22 8	7 21	22 8	7 21	22 8	7 21	22 8	7 21	22 8	7 21	8	7	21	22 8	7
19	20 10	9 19	20 10	9 19	20 10	9 19	20 10	9 19	20 10	9 19	10	9	19	20 10	9
17	18 12	11 17	18 12	11 17	18 12	11 17	18 12	11 17	18 12	11 17	12	11	17	18 12	11
15	1 16 14	2 13 15	3 16 14	4 13 15	5 16 14	6 13 15	7 16 14	8 13 15	9 16 14	10 13 15	11 14	12 13	13 15	14 16 14	15 13
13	14 16	15 13	14 16	15 13	14 16	15 13	14 16	15 13	14 16	15 13	16	15	13	14	15
11	12 18	17 11	12 18	17 11	12 18	17 11	12 18	17 11	12 18	17 11	18	17	11	12	17
9	10 20	19 9	10 20	19 9	10 20	19 9	10 20	19 9	10 20	19 9	20	19	9	10	19
7	8 22	21 7	8 22	21 7	8 22	21 7	8 22	21 7	8 22	21 7	22	21	7	8	21
5	6 24	23 5	6 24	23 5	6 24	23 5	6 24	23 5	6 24	23 5	24	23	5	6	23
3	4 26	25 3	4 26	25 3	4 26	25 3	4 26	25 3	4 26	25 3	26	25	3	4	25
1	2 28	27 1	2 28	27 1	2 28	27 1	2 28	27 1	2 28	27 1	28	27	1	2	27

Type d'unités d'entreposage	Nombre d'unités	Nombre de localisations
1-CAS	28	1680
2-GIV	47	846
3-SP2	74	296
4-SP1-1	195	390
5-SP1-2	29	29
Total	373	3241

Annexe 5 : Code SAS utilisé pour l'estimation des distances parcourues pour la pige dans la zone avancée dans l'option où 40% des produits sont affectés à la zone avancée dans la saison 2

```

/* Classé la liste des lignes de commandes (où les produits ont été associés aux
localisations) par ordre croissance de numéro de commande (num_comm), de numéro
d'allée et de numéro d'unité d'entreposage */

Proc sort data = commandes localisation;
by num_comm allee unite;
run;

/* Identification des paramètres définies dans la méthodologie */

data commandes localisation;
set commandes localisation;

/* Retain: Éléments qui seront retenus lors de la lecture verticale
num_comm : Numéro de commandes
allee_premiere : Première numéro allée rencontré dans la commande
allee_precedente : Numéro d'allée correspondant à la ligne de commande précédente
allee_derniere : Numéro de la dernière allée traversée dans la commande
unite_derniere : Numéro de la dernière unité d'entreposage rencontrée

CH_cote_allée : Nombre de changements de côtés dans les allée
nbr_allée_traversee : Nombre d'allée traversée
Nbr_lignes_comm : Nombre de ligne de commandes
cote_allée_precedent : Coté de l'allée lors de la précédente ligne de commande
cote_allée : peut prendre deux valeurs pour indiquer les coté paire et impaire dans
les allées */

retain num_comm allee_premiere allee_precedente allee_derniere unite_derniere
CH_coteallée nbr_aa_traversee Nbr_lignes_comm cote_allée_precedent;
by num_comm;

/* Identification des paramètres définies dans la méthodologie */
/* Définition des paramètres à la lecture de la première ligne de chaque commande
*/

if first.num_comm THEN DO;
    allee_premiere           = allee;
    allee_precedente        = allee;
    cote_allée_precedent    = cote_allée;
    CH_cote_allée          = 0;
    Nbr_lignes_comm        = 1;
    nbr_allée_traversee    = 1;
    allee_derniere         = allee;
end;

/* Définition des paramètres à la lecture des autres lignes de chaque commande
jusqu'à la rencontre d'un nouveau numéro de commande */

else do;

if allee ^= allee_precedente then nbr_allée_traversee = nbr_allée_traversee + 1;

if cote_allée ^= cote_allée_precedent and allee = allee_precedente
then CH_cote_allée = CH_cote_allée + 1;

Nbr_lignes_comm          = Nbr_lignes_comm +1;
cote_allée_precedent     = cote_allée;

```

```

        allee_precedente      = allee;
        unite_derniere       = unite;
        allee_derniere       = allee;

end;

run;

/* Retenir une ligne par commande contenant toutes les données nécessaires au
calcul des déplacements */

proc sort data = commandes localisation;
    by num_comm descending allee descending unite;
run;

proc sort data = commandes localisation nodupkeys;
    by num_comm;
run;

/*****
*/

data commandes localisation;
    set commandes localisation;

    longueur_allee_un = 11; /* Nombre de paires d'unités d'entreposage face à
face par allée */
    Nbr_allee_pige = 11; /* Nombre d'allée de pige */
    Largeur_UE_pouces = 48; /* Largeur des unités d'entreposage en pouces */
    Longueur_UE_pouces = 100; /* Longueur des unités d'entreposage en pouces */
    Largeur_allee_pouces = 116; /* Largeur des allées de pige en pouces */
    Dist_chang_cote = 90; /* Distance pour changer de côté */

/* Définition des niveaux de profondeurs tel que défini dans la méthodologie */

if mod(allee_derniere,2) ^= 0          THEN DO;

if mod(unite_derniere,2) ^= 0 then niv_profondeur = ceil(unite_derniere/2);
ELSE IF mod(unite_derniere,2) = 0 then niv_profondeur = (unite_derniere/2);

end;

ELSE IF mod(allee_derniere,2) = 0 THEN DO;

if mod(unite_derniere,2) ^= 0 then niv_profondeur = longueur_allee_un + 1 -
ceil(unite_derniere/2);
ELSE IF mod(unite_derniere,2) = 0 then niv_profondeur = longueur_allee_un + 1 -
(unite_derniere/2);

end;

/* Distance parcourue dans la dernière allée selon les cas de figure */

Fin_depl_SR = longueur_allee_un; /* Sans retour sur ses pas */
Fin_depl_AR = 2 * niv_profondeur; /* Avec retour sur ses pas */

/* Identification du cas de figure concernant la dernière allée */

if mod(nbr_allee_traversee,2) = 0      then Fin_depl = Fin_depl_SR;
if mod(nbr_allee_traversee,2) ^= 0    then Fin_depl = Fin_depl_AR;

/* Déplacement latérale pour changer d'allées */

depl_lateral      = allee_derniere - allee_premiere;
distance_uni_lateral_pied
Largeur_allee_pouces) / 12);
distance_uni_lateral_metre      = distance_uni_lateral_pied / 3.2808399;

```

```

distance_uni_pied          = Longueur_UE_pouces/12; /* Due (voir méthodologie)
*/

/* Longueur des allées (sans considérer les zones transversales arrière et frontale
*/

distance_allée_pied        = distance_uni_pied * longueur_allée_un;
distance_allée_mètre       = distance_allée_pied /3.2808399;

/* Distance parcourues pour changer de coté */

distance_chang_cote_pied   = CH_cote_allée * Dist_chang_cote /12;
distance_chang_cote_mètre = distance_chang_cote_pied /3.2808399;

/* Distance parcourues dans la dernière allée traversée pour compléter la commande
*/

distance_fin_depl_pied     = Fin_depl * distance_uni_pied;
distance_fin_depl_mètre   = distance_fin_depl_pied /3.2808399;

/* Distance entre zone avancée et dépôt (allée de retour) */

Largeur_allée_front = 100; /* la largeur de l'allée transversale frontale est de 100
pouces */

Distance_depot_pieds = (Nbr_allée_pige*(Largeur_UE_pouces * 2 +Largeur_allée_pouces)
+ (Largeur_allée_front*2)/12;

Distance_depot_mètre = Disance_depot_pieds /3.2808399;

distance_total_mètre = distance_lateral_mètre + distance_chang_cote_mètre +
distance_fin_depl_mètre + Distance_depot_mètre;

run;

```