



UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN

Optimisation de l'attribution des emplacements en entrepôt :

Une solution complète de long-terme
appliquée à Thales Belgium

CONFIDENTIEL

Promoteur : Chevalier Philippe

Maître de stage : Depierreux Benjamin

Mémoire-projet présenté par
Alexandre Kaczynski

en vue de l'obtention du titre de
Master en ingénieur de gestion

ANNEE ACADEMIQUE 2015-2016

Avant-propos

Je tiens à mettre en avant toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu à la réalisation de ce mémoire projet.

En particulier Benjamin Depierreux pour l'opportunité qu'il m'a offert de travailler dans de si bonnes conditions chez Thales Belgium avec tous les apprentissages qui en ont découlés, ainsi que mon frère Maximilien pour ses conseils précieux.

Mais aussi l'équipe logistique, Fred, Roch, Gaëtan et Christian, et de manière plus générale tous les employés de Thales Belgium que j'ai pu côtoyer pour leur disponibilité et enthousiasme.

Et finalement, mon promoteur Mr P. Chevalier sans qui ce mémoire n'aurait pas eu lieu, et pour ces remises en question sur le fond qui m'ont permis plusieurs fois de me remettre sur la bonne voie.

Pour tout ceci, merci.

Table des matières

Introduction.....	2
Glossaire des acronymes et du vocabulaire spécifique	4
Première Partie : Description du Problème	5
Thales group et Thales Belgium	5
Contexte de la mission	5
Choix de la méthode d'optimisation du flux de matières	7
Explication du problème mathématique sous-jacent	9
Problème du cas TBE : Impossibilité de calculer le temps exact économisé	12
Deuxième Partie : Choix de la Solution	14
Le problème des attributions des produits	14
Différentes propositions existantes au SALP : Une revue de littérature.....	14
Choix du modèle mathématique.....	20
Utilisation de la solution pour le futur utilisateur	22
Du modèle mathématique vers une solution.....	22
Une solution complète en un programme : AIMMS	23
Une solution en deux programmes : Comparaison entre le payant et non-payant	24
Une solution avec un algorithme adapté au problème	24
Choix du software.....	29
Les cadences de réaménagement	32
Solutions possibles	32
Choix de la solution	33
Troisième partie : Implémentation en pratique.....	34
Création d'un processus systématique	34
Interface simplifiée.....	35
Importance d'un management des données fiables.....	36
Collaboration avec les équipes concernées : La logistique et le Magasin.....	38
Résultats et Potentiel pour réduire le temps de picking.....	39
Conclusion	41
Bibliographie.....	42
Annexes	Erreur ! Signet non défini.

Introduction

Dans ce mémoire, une proposition d'organisation des articles en entrepôt de production en vue de diminuer le temps investi dans le processus de picking est proposée. Elle s'applique à l'entreprise Thales Belgium basée à Tubize. Ce mémoire s'est fait en parallèle de mon stage, quant à mon projet de stage il consistait à répondre à la requête logistique d'étudier les flux de matières entreposées en magasin en vue d'en proposer une organisation optimale en adéquation avec le picking. La grande particularité de cette réponse était son caractère de longue durée : Elle devait être applicable de nouveau à l'avenir afin de repropose une organisation optimale au moment où la précédente deviendrait désuète. Un tel projet doit sa réussite à une multitude de tenants et aboutissants.

Ce document présente les différents choix qui se posent dans la recherche d'une solution de ce type, et justifie les décisions qui ont été prises pour l'étude du cas Thales Belgium.

Les questions suivantes s'imposent :

- Quelle est la meilleure méthode d'optimisation du flux de matières ? On retrouve dans la littérature la gestion de localisation des articles, le choix du tracé du pickeur et le regroupement des listes de picking, laquelle doit être privilégiée ? ;
- Quel est le modèle mathématique le plus adéquat à la situation étudiée ? Les différents modèles mathématiques d'optimisation d'attributions des emplacements présentent des caractéristiques différentes, lequel est le plus pertinent ? ;
- Quel est le software le plus pertinent pour utiliser le modèle mathématique et l'algorithme associé ? Faut-il choisir un software spécialisé dans l'optimisation mathématique, un environnement de développement, ou une autre solution ? ;
- Quelle doit être la cadence et la séquence de réorganisation de l'entrepôt ? Un processus récurrent ou un calcul de bénéfice d'une nouvelle organisation ? ;

En pratique, le sujet de ce mémoire rencontre les enjeux suivants : 1. L'importance pour l'entreprise de disposer de données fiables et manipulables. 2. La nécessité de vulgariser la solution pour l'utilisateur. 3. La collaboration entre le département logistique et l'équipe en charge de l'entrepôt.

La conclusion finale de ce projet fut son acceptation par les différents départements concernés afin de l'implémenter lors de la réorganisation des articles prévue après la

destruction des articles inutiles de l'entrepôt, phase qui est en prérequis de ce sujet de fin d'étude.

Glossaire des acronymes et du vocabulaire spécifique

- Articles et composants : Ces deux termes sont utilisés sans distinction. L'un pouvant être remplacé par l'autre.
- BOM : Bill Of Material ou nomenclature, schéma décrivant l'ensemble des composants nécessaires à la fabrication d'un certain produit. Celle-ci se décompose en plusieurs étages, niveaux, en fonction des étapes de production.
- I/O point : « In/ Out point », point où le picking commence par la préparation du chariot et de la liste, et où il se fini par la mise à disposition du matériel prêt à être assemblé.
- Magasin : Nom utilisé chez Thales Belgium pour désigner l'entrepôt où sont stockés les composants le tout sous la responsabilité de la logistique.
- Phantom ou nomenclature phantom : Ce qualificatif d'une nomenclature désigne un niveau, qui n'est pas le niveau final, qui représente une étape de production plutôt qu'un niveau à part entière qui serait stocké tel quel en entrepôt.
- Pickeur / Picking : Processus de déplacement à travers l'entrepôt afin de collecter les différents articles nécessaires à compléter une liste de commande ou correspondant à un niveau de nomenclature. Ce terme n'a pas d'équivalent français connu, les termes les plus proches étant « prélèvement de stock » ou « préparation de commande » mais ne connotant pas exactement la même chose, ce terme francisé couramment utilisé, notamment chez Thales Belgium, a été choisi. Le Pickeur est la personne effectuant le picking.
- Stock stratégique : Stock destiné à couvrir un besoin de maintenance d'un produit qui n'est plus en production.
- TBE : Acronyme de l'entreprise Thales Belgium chez qui le projet de mémoire a été proposé.

Première Partie : Description du Problème

Thales group et Thales Belgium

Thales Belgium est une filiale du groupe Thales, la multinationale française spécialisée dans l'aérospatiale, la défense, la sécurité et le transport terrestre. De par son ouverture sur le monde dû à une présence dans 56 pays différents et sa stratégie guidée par l'innovation dans le secteur de l'électronique, Thales occupe une place de leader dans la haute technologie. On lui doit par exemple les systèmes d'avioniques sur les Airbus et Boeing, la fabrication de la sonde ExoMars qui représente la première mission Européenne d'atterrissage sur Mars, la signalisation des grandes lignes ferroviaires Européenne dans le projet ETCS, ou encore le service intégré de sécurité urbaine de Mexico pour ne citer que ceux-ci. On notera aussi que Thales emploie plus de 61 000 salariés à travers le monde.

C'est dans ces projets que l'on retrouve les 3 filiales belges de Thales : Thales Alenia Space Belgium, expert dans le domaine de l'aérospatial, Les Forges de Zeebrugge fabricant de rockets et de leur système de contrôle, et finalement Thales Belgium spécialiste en matière de télécommunications militaires et civiles couvrant les activités de radiocommunications tactiques et de traitement de données.

Cette dernière se situe à Tubize et compte aujourd'hui un peu plus de 140 collaborateurs. Le bâtiment dispose de sa propre ligne de production disposée en ateliers, avec aussi un centre de développement, de prototypage ainsi que différentes fonctions de support indispensables au fonctionnement d'une entreprise comme les services finance, RH et support informatique. Le bâtiment quant à lui est divisé en 3 étages eux-mêmes subdivisés selon les différents départements : Fonctions de support au RDC, les ateliers de production, de test et de qualité ainsi que la logistique au premier étage avec un accès direct à une annexe du bâtiment appelée Magasin qui est en fait l'entrepôt de production, et finalement les services de prototypages et de développement au dernier étage.

Contexte de la mission

La mission qui m'a été confiée complète une série de projets pour améliorer la logistique de Thales. Cette stratégie d'amélioration se traduit par 4 grands axes :

1. L'étude des processus afin de les changer tout en allant vers la direction d'un nouvel ERP ;

2. L'implémentation d'une culture LEAN dans tous les postes impliqués en supply chain ;
3. La mise en place d'un flux tiré sur les principaux produits récurrents en production ;
4. La partie dans laquelle mon propre projet se situe, la réorganisation du magasin.

Cette dernière s'organise selon le schéma suivant :



Figure 1: Graphique temporelle de la stratégie de réorganisation de l'entrepôt de production de Thales Belgium. La partie en gras représente celle concernée par mon projet.

1. Le tri des produits entre les récurrents, les stocks stratégiques et ce qui peut être jeté est en cours de mise en place. Ce processus en est à la négociation entre la logistique et les finances pour distinguer ces produits obsolètes.
2. Par réorganisation du magasin, cela signifie la réorganisation des différentes zones du magasin pour introduire le flux tiré et la philosophie LEAN, installer des emplacements spécifiques pour les stocks stratégiques, une zone picking, une zone de réception, et une zone d'expédition.
- 3. L'optimisation du flux de picking en magasin en organisant les produits dans les étagères de manière à réduire le temps total de picking.**
4. Trouver et implémenter des indicateurs clefs de pilotage de la performance.

Ma mission consistait à prendre en charge cette 3^{ème} partie de l'axe de réorganisation du magasin. Il me fallait étudier les flux de stocks en magasin en vue de proposer une réorganisation optimale, mathématiquement parlant, avec comme objectif de diminuer le temps du processus picking.

Cette implémentation devait se faire en accord avec les différents projets, et en prenant en compte l'ensemble des caractéristiques de la production de Thales Belgium, des articles manufacturés et achetés et de l'organisation de l'entrepôt.

Choix de la méthode d'optimisation du flux de matières

Selon Rouwenhorst B. & cie (2000), les décisions qui doivent être prises pour la gestion d'un entrepôt peuvent être subdivisées en 3 sous-ensembles stratégiques, tactiques et opérationnelles. Ces sous-ensembles sont décrits et implémentés chez TBE comme suit.

Dans **les décisions stratégiques** nous retrouvons d'une part le processus de réception et d'acheminement des articles. Dans le cas de Thales, il est organisé de la manière la plus simple :

Contrôle réception – Entreposage – Préparation de la commande – Transfert en Production

Certains processus comme le tri après groupement des commandes et le remplissage de la zone du stock de gros vers les zones de préparation des commandes ne sont pas présents dans le cas de l'entreprise étudiée, et cela vaut la peine d'être mentionné car ces processus sont récurrents dans la gestion des entrepôts.

L'autre décision stratégique est le type de flux des matières (ou order picking en anglais) dès leur entrée au magasin jusqu'à leur sortie. Dans cette optique, TBE a choisi le système le plus commun de l'homme qui se déplace vers les articles qui sont stockés en rayon (picker-to-part), à l'inverse des articles qui sont déplacés par des machines depuis les rayons vers les préparateurs de commandes.

Certains points stratégiques ne sont pas mentionnés, le design de l'entrepôt en est exemple, car ces sujets sont très peu étudiés à l'heure d'aujourd'hui.

Les décisions tactiques ont un impact moins élevé par rapport aux décisions stratégiques. Néanmoins, elles demandent un certain investissement et ne sont donc pas à négliger. Parmi celles-ci, il y a les dimensionnements des différentes zones, présentés chez Thales dans l'annexe 1 (pg, 43), et le choix de la « politique de placement des articles en rayon » (Storage allocation policy en anglais). Historiquement, cette politique a été dans un premier temps de grouper les articles par type, et par la suite de placer les articles aléatoirement où il y avait de la place.

Quant **aux décisions opérationnelles**, elles concernent notamment le groupement des commandes à chercher en entrepôt pour créer un compromis entre éviter les allers-retours entre les points de départ du picking et les localisations en entrepôt et éviter une surcharge

du picker. Une autre décision opérationnelle valant la peine d’être mentionnée est le tracé des pickers en entrepôt ou en d’autres mots la route qu’ils adopteront pour se rendre aux différentes localisations afin de disposer des différents composants nécessaires pour satisfaire la commande (routing en anglais).

Parmi ces 3 types de décisions, 3 auraient pu être sujettes à une amélioration de ma part car toutes les 3 en lien avec l’optimisation du flux de matière et in fine la diminution du temps de picking. Ces 3 décisions sont les suivantes :

- (1) La politique de placement des articles en rayon
- (2) Le groupement des commandes
- (3) Le choix du tracé des pickers

Selon Petersen C. et Aase G. (2004) les améliorations potentielles en termes de diminution de distance parcourue par les pickers en fonction de ces 3 décisions se présentent comme tel :

Décision	Amélioration potentielle en diminution de la distance parcourue
(1) La politique de placement des articles en rayon	De 18 à 28%
(2) Le groupement des commandes	De 21% à 49%
(3) Le choix du tracé des pickers	De 7 à 17%

Tableau 1: Tableau des diminutions de distance potentielle parcourue par les pickers en fonction des décisions d’améliorations prises. Données reprises de Petersen C. et Aase G. (2004).

Ces fourchettes de valeurs d’améliorations varient en fonction de la situation étudiée.

Après une analyse de la situation en stage, et suite aux analyses apportées par Petersen C. et Aase G. (2004), les décisions (2) et (3) ont finalement été mises de côtés pour les raisons suivantes :

(2) Dans le cas basique et comme reconnu par de Koster R., Le-Duc T., et Roodbergen K. (2007), la décision du groupement de commandes devrait se situer au niveau opérationnel. Cela suppose que le groupement de plusieurs commandes à picker dans un même et seul picking est déjà une pratique courante dans l’entreprise. Cependant chez Thales, les pickings sont faits un à un en fonction, non pas des commandes étant donné que cela concerne un entrepôt de production, mais par niveau de nomenclature. Cela est dû au système informatique qui ne permet pas au logisticien de grouper plusieurs niveaux de nomenclature en même temps. De

plus, cela requiert pour le pickeur de ne pas mélanger les pièces d'une nomenclature avec l'autre, et donc demande une organisation spécifique. Le groupement des commandes chez Thales n'est donc plus une question de choix dans quelle commande grouper avec laquelle, mais plus complexe. Cette décision n'est dès lors plus aussi simple à prendre qu'une décision opérationnelle, mais relève d'un investissement plus conséquent.

De plus, dans le cas d'un entrepôt de production comme chez Thales Belgium le fonctionnement ne tourne pas autour des commandes clients mais par niveau dans la nomenclature du produit. Cela implique deux choses : d'une part que ce qui est pické arrivera directement dans les ateliers de production, alors que ceux-ci n'auront peut-être pas la main d'œuvre pour traiter le matériel qui arrivera et devra donc le stocker en attendant. D'autre part, et ceci est propre au cas Thales, les niveaux dans les nomenclatures peuvent être relativement large, pouvant prendre plus d'une demi-journée au picker pour rassembler l'ensemble des articles. Dans ces cas-là, pas plus d'une liste est effectuée par jour, il est donc difficile de concevoir que plusieurs peuvent être groupées surtout au regard des autres tâches du pickeur.

(3) Pour établir un tracé de picking à travers l'entrepôt, le pickeur s'en remet généralement à sa propre logique si aucun schéma n'est prédéfini. Ce tracé intuitif est souvent proche de l'optimalité (R. de Koster 2007). En plus particulier dans le cas de Thales, l'entrepôt de production étant constitué de seulement 4 allées cela le rend relativement simple. Il était normal de penser que les pistes d'améliorations étaient faibles.

C'est donc la solution (1) qui a été préférée aux autres, malgré ces performances prévues qui sont médianes. Néanmoins les deux dernières ont été suggérées au directeur logistique comme voie d'amélioration à analyser dans le futur, en particulier la (2).

Explication du problème mathématique sous-jacent

Ce problème se pose dans tout endroit où le placement d'un ensemble d'articles régulièrement utilisés est nécessaire. Cela peut être dans un bureau où l'on doit placer un clavier d'ordinateur, un stylo-à-bille, une armoire, .. Dans notre cas, nous nous intéresserons à un entrepôt de production.

Il est important d'insister sur le terme 'entrepôt de production', car dans la littérature scientifique ce sont essentiellement des entrepôts 'classiques' de produits finis prêt à être

livrer qui sont étudiés. Cela implique des listes de picking beaucoup plus variées que dans le cas d'un entrepôt de production, où les pickings sont définis par les BOMs. Néanmoins, le problème reste exactement le même, l'entrepôt de production n'étant qu'un cas spécifique de ce type de problème.

Voici un exemple simple du problème rencontré permettant de mettre en évidence les différents tenants et aboutissants :

- Nous devons placer 9 éléments {A,B,C,D,E,F,G,H,I} dans nos deux étagères en face à face dans notre entrepôt de production. Nos 9 éléments ont les tailles, en m² et vu de haut, de {1,3,1,1,1,2,1,4} respectivement. On suppose des hauteurs non contraignantes. Et une place de 10m*1m par armoire. Voici un placement aléatoire, vu de haut :

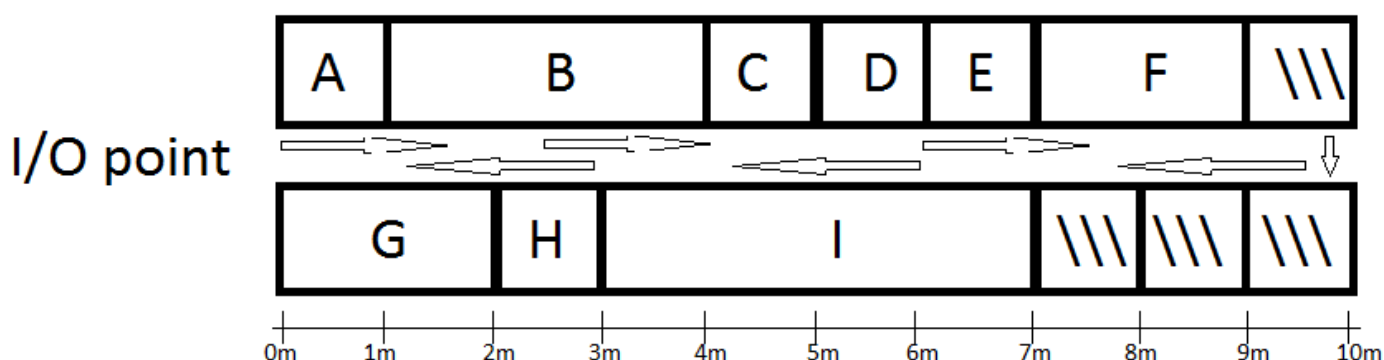


Figure 2: Exemple d'organisation dans un entrepôt de production en ligne.

Avec ce placement, un exemple de demande de production qui impliquerait un picking serait {G,H, I}. Pour aller chercher l'article I, on passe devant les articles G et H qui peuvent être pris en chemin. Cela implique de parcourir une distance totale de 14m. 7m à l'aller et 7m au retour, si l'on considère qu'il faut atteindre la fin d'une case contenant un article pour le prendre.

Le but pour un entrepôt serait de minimiser cette distance totale parcourue, pour tous les pickings futurs, afin de diminuer la charge induite sur les employés de l'entrepôt.

On peut déjà distinguer 3 caractéristiques qui influencent cette distance totale parcourue :

- Le bon sens voudrait que l'article qui a le plus haut taux d'utilisation se retrouve le plus proche du I/O point. Si par exemple A est pické 10 fois dans l'année à venir, contre 1 fois pour tous les autres éléments, il est normal de le mettre dans la position la plus proche du I/O point ;

- Par contre si un article prend plus de place en stock, même s'il est utilisé plus souvent, il peut se retrouver derrière un autre. Prenons un contre-exemple des articles *G* et *H*. Si, à de moments indépendants, *G* est pické 4 fois sur l'année à venir, et *H* 3 fois, il semble plus intéressant de le placer devant. Dans cet exemple la distance totale parcourue dans cette configuration est de $4 \times 2m + 3 \times 3m = 17m$. Or dans la configuration inverse, nous avons $3 \times 1m + 4 \times 3m = 15m$, soit 2m parcouru en moins. On comprend donc que la taille des articles est aussi un élément clef ;
- Une troisième caractéristique est le lien entre ces items dans leurs relations au picking. On peut retrouver cette information dans les BOMs, dans le cas d'un entrepôt de production. En effet, les articles seront pickés ensemble selon leur présence ou non dans un étage commun de la BOM. Si, pour faire un élément *B*, il faut systématiquement combiner un élément *F*, *A* et *C*, il convient de les mettre l'un à côté de l'autre comme le suggère l'exemple de BOM ci-contre :

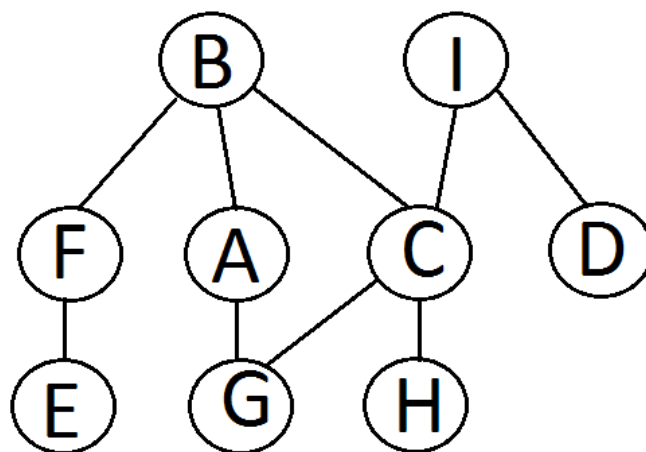


Figure 3: Exemple simplifié de Nomenclature.

Ce petit exemple permet d'illustrer une partie de la complexité du problème.

La méthode permettant de retrouver la réponse optimale, en connaissant parfaitement les futurs pickings auxquels les articles seront soumis, est d'essayer toutes les organisations possibles en calculant systématiquement le temps de picking associé. Dans notre exemple, il y a $9! = 362\,880$ organisations différentes, et ce pour seulement 9 articles. Pour *X* article, il faut calculer factorielle de *X* différentes organisations. Ce problème est un « P-median problem » comme l'a montré Rosenwein (1994), et cette multitude de combinaison

possible est une des conséquences de faire partie de la famille des « p-median problème ». Pour un exemple à 30 articles à placer, il y a $2,65 * 10^{32}$ organisations possibles. Si le temps de calcul du temps de picking pour chacune d'entre elles est inférieur à un milliardième de seconde, ce qui est très optimiste, le temps de calcul est toujours complètement hors échelle humaine.

En pratique, le nombre d'articles étudiés s'élève rapidement au-dessus des 100, cette méthode devient donc inutilisable même pour des temps de calcul infime.

Il convient donc de prendre en compte les caractéristiques précitées pour trouver une méthode donnant une solution quasi-optimale dont le temps de calcul est à l'échelle des décisions tactiques d'une entreprise. La recherche de la méthode la plus adaptée est approfondie dans la sous-section *Le problème des attributions* dans la deuxième partie de ce document.

Problème du cas TBE : Impossibilité de calculer le temps exact économisé

Dans ce genre de sujet, il est intéressant de s'attarder sur les gains futurs pour Thales Belgium et son organisation.

Dans la littérature, la méthode la plus utilisée pour calculer le potentiel d'amélioration consiste à comparer une organisation par rapport à une autre. Pour ce faire, les distances qui seront parcourues dans le futur entre chaque localisation concernée dans chaque picking sont sommées pour chacune des organisations, et les deux totaux sont comparés pour voir lequel implique une distance parcourue la plus courte. Sans mettre en pratique les deux organisations pour les comparer, c'est la méthode la plus rigoureuse.

Cette méthode est utilisée notamment par Liu C.-L. (1999 et 2004), Zhang Y. (2016), ou encore Chiang Y.-F. (2011). Ils utilisent néanmoins un simulateur qui permet, une fois tous les articles placés dans certaines localisations, de calculer la distance totale parcourue lors des déplacements durant le picking. Ce calcul est possible grâce aux prévisions futurs de picking et la matrice de distance entre toutes les localisations, et suppose de faire face à des configurations simples d'entrepôt, souvent du Z-type qui est celui utilisé comme exemple dans *l'explication du problème sous-jacent* plus haut (voir Chiang 2011).

Si le premier élément est disponible chez Thales, les autres le sont moins et sont très difficiles à calculer. En effet, les groupes d'étagères A, B et le Kardex (voir Annexe 1 pg 43) sont en fait des armoires ou des étagères amovibles, qui ne sont accessibles qu'une à la fois en raison des rails mécaniques au-dessus de ceux-ci permettant leur déplacement. Ces armoires contiennent 72% des références présentes utilisées couramment. En conséquence, passer d'une localisation à une autre n'est plus une question de distance seulement, mais aussi une question de temps et de mesure lié au matériel utilisé. De plus, ces temps ne sont pas fixes, mais dépendent du nombre d'armoires/d'étagères à déplacer pour ouvrir celle qui contient l'article à picker. La matrice des distances devient une matrice de temps et distance compliquée.

Ce problème est rencontré aussi par Xiao & Zheng (2009 et 2012), où les rayons sont séparés de manière plus complexe. En effet, les machines devant effectuer certaines procédures pour passer d'un rayon à un autre, et le temps pour passer d'une localisation à une autre n'étant plus seulement une question de distance en mètre mais bien aussi de temps. Pour traiter ce problème, ces chercheurs ont préféré oublier la notion de distance parcourue pour se focaliser sur le nombre de zones visitées, et tenter d'en minimiser le nombre. Dans leur cas, le temps pour passer d'une zone à une autre n'est pas présenté ou utilisé, ils ne se concentrent donc plus sur le temps total économisé.

Nous ne pouvons donc que rester sur une estimation du temps de picking tel qu'il est suggéré dans littérature dans le cas d'un groupement par famille. Cette estimation est faite dans un chapitre ultérieur.

Deuxième Partie : Choix de la Solution

Le problème principal consiste donc à **(1)** attribuer aux produits des emplacements dans le magasin. La solution demandée étant de 'long-terme', il faut pouvoir proposer une nouvelle réorganisation de ces articles une fois que la précédente n'est plus pertinente avec les pickings futurs. Cela suppose 2 choses :

- **(2)** Savoir quand l'organisation n'est plus pertinente, et donc connaître quand la changer.
- **(3)** Laisser les compétences nécessaires à l'entreprise elle-même pour réorganiser son entrepôt après mon départ.

Cette deuxième partie propose de passer en revue ces **3 problèmes**.

Le problème des attributions des produits

Différentes propositions existantes au SALP : Une revue de littérature

Comme on ne peut trouver une solution optimale dans des délais de calculs raisonnables (voir la première partie, *explication du problème mathématique sous-jacent*), certaines solutions grossières ont été développées afin de s'approcher d'une réponse optimale.

Ces solutions ont été développées dans un contexte d'entrepôts de produits finis prêts à être livrés, mais s'appliquent très bien au cas de l'entrepôt de production dû aux caractéristiques principales communes :

- La gestion d'un nombre élevé de références ;
- La nécessité d'entreposer ces articles dans un bâtiment centralisé ;
- La nécessité de collecter certains groupements d'articles.

Ici se trouve une liste non-exhaustive de celles-ci qui permet de comprendre le cheminement vers celle qui a été préférée.

Organisation aléatoire

La première proposition au problème d'attribution d'emplacements aux articles, est celle de le faire de manière complètement aléatoire. Celle-ci à l'avantage de ne pas demander d'effort supplémentaire lors de la réception d'un nouvel article, on le met simplement dans n'importe

quel emplacement disponible. C'est la méthode qui est actuellement appliquée chez Thales. Celle-ci ne trouve évidemment pas sa source dans la littérature, mais est complètement heuristique.

Placement en fonction de la taille et du taux d'utilisation

Au-delà de la proposition citée avant, qui n'a pas d'objectif autre que de placer les articles, une première proposition pour tenter de diminuer le temps de picking a été mise en avant par Hesketh J. L. (1963). Dans sa proposition, le placement des articles se fait en fonction de l'index de densité-taux d'utilisation (COI : Cube per Order-Index, dans sa langue originel) qui reprend d'une part la taille d'un article et d'autre part le nombre de fois qu'un emplacement a été visité/sera visité.

$$C_j = \frac{V_j}{f_j}$$

Avec

C_j = l'index COI de l'article j

V_j = Volume dédié pour l'article j dans l'entrepôt

f_j = Taux d'utilisation de l'article j sur une période donnée

Un algorithme en 3 étapes est présenté afin de placer les articles en fonction du COI :

- 1) Tous les emplacements de l'entrepôt sont classés du plus proche de l'I/O point au plus éloigné.
- 2) Le COI est calculé pour l'ensemble des articles présents dans l'entrepôt.
- 3) L'article avec le COI le plus faible est placé à l'emplacement le plus proche de l'I/O point, le second COI le plus faible au second emplacement le plus proche, ainsi de suite jusqu'à avoir traité l'ensemble des articles.

Cette approche requiert une analyse de données que la méthode aléatoire ne demandait pas. De plus, du temps et des ressources supplémentaires sont dédiés aux calculs et remplacement des articles.

Cette méthode prend donc en compte plus d'information, mais pas encore la totalité de celle qui est disponible. Cela permet d'atteindre une solution simplifiée mais qui risque d'être moins performante dans la solution finale proposée.

La majorité des articles scientifiques proposant de nouvelles méthodes comparent leurs résultats à ceux obtenus par le COI, car la comparaison est facile à effectuer. On note dans les nouvelles méthodes un réel potentiel d'amélioration (Chiang, Y. et al 2011, Liu, C.-M. 1999, Xia, J., & Zheng, L. 2009 et 2012, Zhang, Y. 2016).

Groupement par famille : Première Approche

La seconde grande réponse au problème d'optimisation du placement des articles fût par groupement des articles en fonction de leur affinité dans le picking.

Ici, un seul index par article ne suffit plus. Il n'est pas possible de caractériser les relations d'un certain article X avec un article Y et en même temps un autre article Z avec un seul nombre, il faut un index qui caractérise les relations entre X et Y, et un autre pour les relations entre X et Z.

C'est ce qu'avancent les premiers chercheurs dans ce domaine, Frazelle & Sharp (1989), en proposant un premier ratio de mesure de la corrélation entre deux articles :

$$C(x, y) = \frac{\sum(x_i y_i)}{n}$$

Avec

$x_i = \{1 \text{ si l'article } x \text{ est demandé dans une certaine commande } i, 0 \text{ à l'inverse.}\}$

$y_i = \{1 \text{ si l'article } y \text{ est demandé dans une certaine commande } i, 0 \text{ à l'inverse.}\}$

$n = \text{le nombre de commandes total.}$

Quand $C(x,y)$ est large, on dira que x et y sont corrélés et devraient donc être entreposés ensemble.

L'algorithme proposé ici pour placer les articles se fait en 4 étapes :

- 1) On calcule d'abord le coefficient C pour l'ensemble des relations entre articles ;

- 2) Ensuite, on place dans l'ordre décroissant les $C(x,y)$ dans des armoires;
- 3) On détermine la popularité de chaque armoire en taux d'utilisation en additionnant l'ensemble des $C(x,y)$ présents ;
- 4) Et, finalement, on place les armoires en fonctions de leur popularité.

Dans leur analyse, ces deux chercheurs constatent deux freins potentiels à l'utilisation de cette méthode :

- Cette approche demande une quantité énorme de données qui doit non seulement être disponible mais qui doit être aussi manipulable.
- Si les nomenclatures changent souvent, ne laissant aucune vraie corrélation sur le moyen ou long-terme entre les articles, ce modèle de placement ne présente pas de proposition d'organisation pertinente.

De plus cette approche est critiquable puisque les $C(i,j)$ sont calculés par relation entre deux articles, mais ces articles sont ensuite placés comme si les $C(i,j)$ caractérisaient les articles indépendamment des autres.

Groupement par famille : Approche par formulation mathématique

Repartant sur le même principe de relation entre les articles, Liu C.-M. (1999) propose une formulation mathématique afin d'utiliser les méthodes mathématiques existantes pour résoudre le problème.

Le problème mathématique devient :

$$\max \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^P c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{sous contrainte de : } \sum_{j=1}^P x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, P \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq y_j, \quad i, j = 1, \dots, P \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^P y_j = K \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, \dots, P, \quad y_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, P \quad (5)$$

La fonction à maximiser est un indicateur de la corrélation totale (1), avec une contrainte d'un article maximum par emplacement (2), avec des contraintes qui limitent le nombre de groupe (3) et (4) et enfin la mise en place sur les variables non-nulles et binaires (5).

En d'autres mots, le problème consiste à trouver pour chaque groupe un article qui va être choisi comme référence pour le groupe. La corrélation entre un article et un groupe sera établie comme la corrélation entre cet article et l'article référence du groupe, qui doit faire partie du groupe pour être choisi comme tel.

Pour résoudre ce type de problème, on peut procéder à des analyses heuristiques, des algorithmes de « branch-and-bound », des scénarios, ou encore une relaxation linéaire (Liu C.-M. 1999). Cependant, Liu proposera d'utiliser le primal-dual afin d'arriver à une solution.

En 2011, Chuang proposera d'aller plus loin en ne caractérisant plus les groupes en fonctions d'un seul article, mais en tenant compte de la relation entre un article et tous ceux présents dans la même armoire, toujours en maximisant la corrélation totale.

Le coefficient de corrélation $C(x,y)$ se verra changé. Sa nouvelle écriture devient :

$$S_{ij} = 1 - \frac{P(i \cap j)}{[P(i) + P(j)]},$$

avec S_{ij} le nouveau terme de corrélation entre l'article i et j . $P(i \cap j)$ est le nombre de listes de pickings sur lesquels on retrouve simultanément les articles i et j . $P(i)$ est le nombre de listes sur lesquels on retrouve au moins l'article i .

On repère plusieurs différences avec le coefficient précédemment utilisé, néanmoins celles-ci ne sont pas justifiées par Chuang Y.-F. (2011). Il convient donc les analyser pour en déduire leurs impacts dans le résultat :

- La principale étant que celui-ci ne prend plus en compte les listes de pickings sur lesquels aucun des deux articles i ou j n'apparaît, comme il convient de faire dans le calcul d'une corrélation.

Dû à ce changement, l'information concernant les fréquences de picking disparaît totalement. Pour réintroduire cette information perdue, il est proposé de former X groupes, X étant un nombre à moduler en lui testant plusieurs valeurs jusqu'à obtenir la plus optimale, et de calculer la fréquence d'utilisation de ces groupes. Les groupes

sont ensuite placés selon la règle du plus utilisé au plus proche du I/O point, le second en 2^{ème}, etc...

- Le terme de corrélation est négatif, ce qui implique un coefficient qui grandit avec des corrélations plus fortes. On ne recherche donc plus à maximiser, mais bien à minimiser.

La formulation mathématique avec ce nouveau coefficient se présente comme suit :

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{j>i}^N \sum_{i=1}^{N-1} S_{ij} X_{ik} X_{jk} \quad (1)$$

$$\text{sous contrainte de: } \sum_{k=1}^K X_{ik} = 1; i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

$$X_{ik} \in \{0, 1\}, \quad X_{jk} \in \{0, 1\}, \quad i \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad j > i \quad (3)$$

Le problème tel que présenté par C-M Liu (1999) avait été simplifié pour s'adapter aux méthodes de résolutions mathématiques de l'époque. Chuang avance un problème qui est plus complet, mais plus difficile à résoudre car la fonction objectif est devenue quadratique.

Groupement par BOM

J. Xiao et L. Zheng (2008) proposent de grouper les articles en fonction de leur présence dans les nomenclatures (BOM, dans la langue originel). Cette méthode semble coller parfaitement à la situation de Thales, puisque d'une part elle concerne un entrepôt de production et donc des BOMs, mais aussi parce que celles-ci sont très fournies avec certains articles finaux constitués de plusieurs centaines de composants différents.

Cependant, la solution consiste à scinder les nomenclatures pour en trouver les parties les plus utilisées, et ne pas considérer les relations inter-nomenclatures. La raison derrière cette démarche, selon les auteurs, est l'impossibilité pour les pickeurs dans la situation étudiée de collecter une nomenclature complète en un seul picking dû à des contraintes de tailles.

La situation de Thalès ne présente pas les mêmes caractéristiques, c'est pourquoi cette solution a été mise de côté.

Cependant, dans la recherche d'un autre indicateur de performance que la distance totale parcourue par le pickeur, nous pouvons présenter une alternative intéressante abordée par ces auteurs (Xiao & Zheng 2012).

Choix du modèle mathématique

Ici, les 4 modèles disponibles dans la littérature pour répondre à ce problème ont été présentés. Deux ont été directement rejetés : Le placement aléatoire qui ne convenait pas à la demande initiale d'optimisation du flux de matière, et le groupement par BOM car celui-ci s'applique à une situation autre que celle présente chez Thales Belgium.

Si on ne tient pas compte des anciens modèles de groupement par famille, qui simplifient le problème pour s'adapter aux anciennes méthodes de résolution, il nous reste donc 2 modèles mathématiques à comparer, celui du plus récent groupement par corrélation, et le COI. Ces deux modèles sont les plus étudiés dans la littérature comme l'explique de Koster (2007) dans sa revue de littérature. Nombreux sont les chercheurs s'étant appuyés sur l'un de ces deux modèles.

Cependant aucun critère n'est clairement établi dans littérature scientifique pour aider la prise de décision vers l'une ou l'autre méthode. Je vais tenter ici d'avancer deux éléments pertinents qui ont déjà été cités comme condition de réussite d'un groupement par famille :

(1) Le premier est la stabilité des nomenclatures, mise en avant par Frazelle E. A. & Sharp G. P. (1989). Si celles-ci sont trop changeantes, les corrélations entre les articles ne sont pas pertinentes et le modèle doit être écarté. Cet élément est pertinent dans le cas où les corrélations sont calculées empiriquement, lorsqu'on ne connaît pas les pickings futurs. Dans le cas contraire où il existe une prévision des commandes clients, le cas d'un entrepôt de production par exemple, la fiabilité de ces prévisions sera préférée. Pour estimer la fiabilité des prévisions de futur picking je propose d'utiliser l'indicateur logistique plus classique de la fiabilité des prévisions de commandes client.

Chez Thales Belgium, cet indicateur s'élevait à 80% en mai 2016 (pour le détail du calcul, voir annexe 2 pg 43). On peut donc estimer que l'information est fiable. Dans le cas contraire, avec une valeur en dessous de 50% par exemple, il convient de reposer les calculs de placement sur d'autres critères car la production est complètement imprévisible. Dans ce cas, le risque

est fort de placer certains articles ensemble dans les armoires dû à leur présence dans certaines nomenclatures qui sont fortement appelées à être produite dans le futur mais sur de mauvaises prévisions. Des informations alternatives comme les nomenclatures elles-mêmes ou les productions passées sont à envisager dans ce cas.

(2) Chuang et al (2011) ajoutent que, pour assurer une amélioration du processus picking, il faut s'assurer d'une association forte entre les différentes composantes à picker, sans quoi l'utilisation de cette méthode pourrait être contre-productive. Ils avancent 3 indicateurs à étudier sur la matrice de corrélation pour déceler la qualité d'association entre les composants : Le pourcentage d'entrées dans la matrice à valeur 1 (donc d'une corrélation nulle), la plus petite valeur et la valeur moyenne de la matrice de corrélation.

Si l'on compare une à une les valeurs obtenues par Chuang et Al, sur des pickings fictifs créés de manière totalement aléatoire, à celles obtenues dans le cas d'une des parties de l'entrepôt de production, le local hygro, sur les prévisions de picking des 9 prochains mois, nous obtenons ceci :

- Pour le pourcentage d'entrées dans la matrice à valeur 1, Chuang avance une valeur de 68%. Dans le cas de chez Thales, 95% des valeurs sont égales à 1.
- Sur les valeurs restantes, la plus petite valeur est de 0,9115 dans les exemples étudiés par Chuang, alors qu'elle est de 0,5 dans le cas du local hygro de Thales.
- Sur les valeurs restantes, la moyenne est de 0.9889 chez Chuang, et de 0,56 chez Thales.

On pourrait penser qu'étant donné le pourcentage très élevé d'entrées égal à 1, et donc non corrélées, la situation étudiée chez Thales n'est pas propice à l'utilisation d'un groupement par famille. Or, le but est de placer les articles par groupes très corrélés. Avoir de la corrélation entre tous les articles ne présente que peu voir pas d'avantage, mais avoir une corrélation élevée dans des petits groupes d'articles permet d'assurer un gain de temps s'ils sont placés l'un à côté de l'autre. C'est ce qui est illustré ici dans le cas du local hygro par la combinaison de ces 3 indicateurs : Comme on peut le voir, il n'y a que 5% de valeurs différentes de 1 mais elles ont des valeurs beaucoup plus basses (et donc de corrélation plus élevée) que dans le cas étudié par Chuang, qui obtient une valeur moyenne proche de 1. Au contraire de chez Thales où la valeur est proche de 0,5.

Les valeurs des différentes zones du Magasin de Thales répondent de manière similaire aux indicateurs (voir Annexe 3 pg 43). Au vu des réponses aux deux conditions de réussite du groupement par famille, c'est cette méthode qui a été préférée au COI. La littérature n'ayant pas exploré de condition de choix d'une méthode par rapport à l'autre, il n'existe pas de valeur de référence pour l'utilisation d'une méthode plutôt que l'autre. Néanmoins les valeurs avancées ici peuvent servir d'indicateur.

Utilisation de la solution pour le futur utilisateur

La solution a clairement été demandée comme utilisable sur les années à venir. Dans cette optique, il fallait que la solution soit réutilisable par une personne non-experte dans le domaine de l'optimisation mathématique et en codage, et potentiellement nouvelle chez TBE.

Voici une explication du besoin pour résoudre le modèle mathématique suivi des propositions de solutions qui ont été visitées, ainsi que l'explication du programme qui a finalement été choisi.

Du modèle mathématique vers une solution

Le modèle mathématique choisi plus haut peut être résolu par certains programmes déjà existants sur le marché.

Le programme doit avoir au moins deux fonctions pour passer du modèle mathématique présenté à une proposition de réorganisation :

- (1) Il faut tout d'abord 'traduire' le problème mathématique pour qu'il soit 'lisible' par un algorithme de résolution. Cette partie, si elle est entreprise indépendamment du reste, est faite par un environnement de programmation, MATLAB par exemple.
- (2) Une fois le problème 'traduit', il faut un programme qui contient plusieurs algorithmes de résolutions de problèmes mathématiques. Il faut plusieurs algorithmes pour trouver celui qui convient le mieux au problème. C'est-à-dire celui qui est le plus adapté pour manipuler les paramètres entrants, et trouver une meilleure solution dans des délais plus courts. Ces programmes sont des « solveurs ». Un des plus utilisé étant CPLEX, développé par IBM.

Certains programmes couplent ces deux parties, et sont des logiciels de modélisation pour aider les prises de décisions qui ont un aspect mathématique, comme AIMMS par exemple.

Il est aussi important de noter que l'utilisateur n'est probablement pas familier avec les applications proposées, ce qui suppose un passage par une troisième application pour interpréter les données en entrée et en sortie. En entrée en puisant directement les données depuis la base de données de l'entreprise et en sortie en demandant à l'utilisateur de passer par un outil d'analyse et de manipulation de donnée comme Excel.

Tous ces différents besoins impliquent des solutions qui ont leurs propres avantages et inconvénients. Il convient de les évaluer sur base de critères bien définis. Ceux choisis ont été : Le coût initial, le nombre total d'applications différentes à manipuler, la performance de la solution, et la facilité d'utilisation de l'interface.

Une solution complète en un programme : AIMMS

La première solution investiguée fut celle des programmes en solution complète, comprenant les deux parties environnement et solveur ce qui diminue le nombre d'applications différentes utilisées. Cela diminue la complexité de l'utilisation de la solution, mais aussi d'un potentiel support par le service IT de l'entreprise.

Mais comme ceux-ci comportent des solutions très larges pour de très nombreux problèmes différents, leur prix est relativement élevé, surtout pour une unique application en PME. Pour AIMMS, on parle d'une licence à plus de 14 700€ en montant initial avec plus de 1 800€ en frais annuel d'utilisation de licence (Voir annexe 4 pg 44).

Il est intéressant de s'intéresser rapidement à la rentabilité d'un tel investissement. Comme mentionné en Troisième partie (voir sous-section *méthode optimale*), le temps de picking économisé est difficile à estimer chez Thales, ce qui implique un bénéfice potentiel difficile lui aussi à évaluer. En se basant sur les cas pratiques trouvés dans la littérature on remarque des économies de temps sur le temps de déplacement dans le picking de 30% (Petersen C. et Aase G. 2004) à 50% (Chiang Y.-F. 2011). Dans les expérimentations de Chiang Y.-F. (2011), la plus basse estimation du temps économisé est de 44%, et considérant les pickeurs et leur charge annuelle (voir analyse faite chez Thales en Annexe 5 pg 44), on peut évaluer le temps

économisé à 320 heures/an, soit un temps plein pendant 2 mois, ou approximativement 6 937€ (Voir calcul du salaire Annexe 6 pg 45).

Avec ce calcul très grossier, on aperçoit un retour sur investissement au minimum sur 3 années. En accord avec mon maître de stage, aussi directeur logistique, et au vu des alternatives proposées, il a été décidé de mettre cette option coûteuse de côté.

Une solution en deux programmes : Comparaison entre le payant et non-payant

Le prix de la solution complète ayant été un frein, il convenait de se tourner vers des solutions en deux programmes.

Le problème reste le même pour les solveurs, qui représentent la partie complexe de la solution et qui représentent la plus grande proportion du coût d'une solution complète. Par exemple, le solveur CPLEX est vendu au prix de 9500€ sur l'environnement AMPL (annexe 7 pg 46).

Il existe cependant des solvers gratuits, dont la performance est amoindrie dû à des algorithmes moins optimaux. Cette différence de performance a été calculée par le Sandia National Laboratories, dans une étude sur la viabilité des solveurs gratuits vis-à-vis des solveurs traditionnels payants disponibles sur le marché. Ces chercheurs ont démontré que sur 201 problèmes de types et difficultés différentes, le meilleur solveur gratuit, CLP, était en moyenne 63% plus long que le solveur de référence CPLEX pour résoudre le même problème.

Pour ce qui est de l'environnement, ceux gratuits sont abondants. Les mêmes chercheurs en proposent plusieurs tel que CMPL, Coop et OptimJ.

Une solution avec un algorithme adapté au problème

Une dernière manière de procéder est de ne pas passer par un solveur mais d'avancer soit même un algorithme de placement comme de nombreux chercheurs l'ont fait : Hesketh J. L.(1963) pour l'utilisation du COI, Frazelle E. A. & Sharp G. P. (1989) pour le premier algorithme de groupement, ou encore Chuang Y.-F.(2011) pour le second algorithme de groupement.

L'algorithme étant totalement connu, il est possible de le coder directement sous l'environnement, ce qui évite de passer par les programmes d'algorithmes et donc ce qui facilitera la prise en main par l'utilisateur.

Le problème est de choisir parmi les nombreux algorithmes existants. Étant donné que le modèle mathématique choisi est basé sur celui de Chuang, il convient de réutiliser le même algorithme que lui. Cependant, celui-ci suppose de passer par une linéarisation du problème et un algorithme tous deux avancées par Adams, Warren, Serali & Hanif (1986) nécessitant d'utiliser des tests logiques, des Langrangian dual de MIP, des phases 'd'énumération', de trouver des intervalles via le programme linéaire knapsack, des Bender's cut, des générations de contraintes plus fortes, notamment.

Devant la quantité importante de méthodes d'optimisations demandées par cet algorithme, dont certaines dans lesquelles je ne suis pas compétent, il a été préférable de mettre cet algorithme de côté.

Comme expliqué par Liu C.-M. (1999), il y a de nombreux algorithmes exactes, d'heuristiques ou de mix de ces deux derniers qui permettent de résoudre ce type de problème. Dans mon cas, j'ai choisi deux heuristiques fortes comme deux premières étapes d'itérations afin de réduire la taille du problème, suivi d'un regroupement hiérarchique (hierarchical clustering) en lien simple (single-linkage clustering). Ceci permet de classer les articles en 3 types comme ceci :

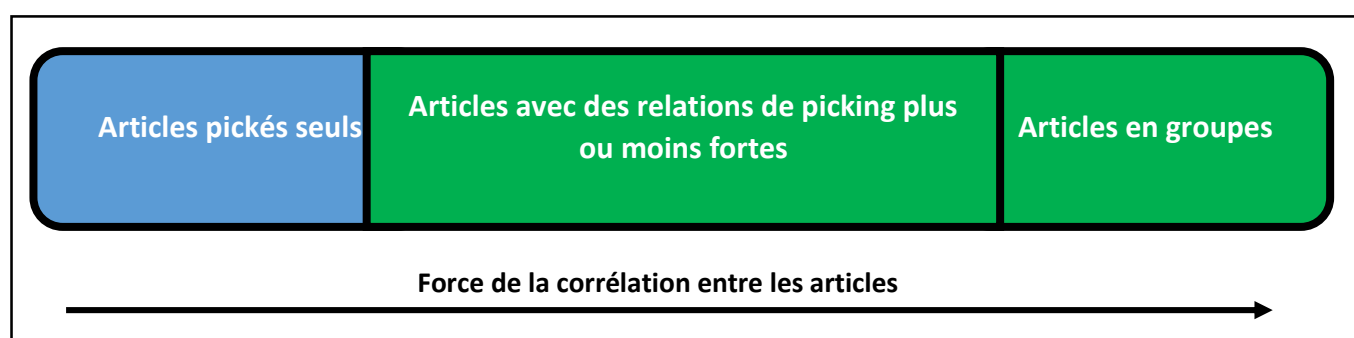


Figure 4: Graphique récapitulatif des différents groupement formés au travers des algorithmes de placement. En vert sont repris les articles concernés par la phase de placement par groupement hiérarchique.

Ces 3 groupes sont identifiés et considérés de manières différentes dans les placements.

1) Première heuristique : Mise à l'écart des articles pickés seuls

Certains articles ne sont inclus dans aucune nomenclature, ou unique dans leur niveau de nomenclature, ou encore, pour certaines raisons, systématiquement pickés seuls. Ces articles n'ont donc aucune corrélation de picking, et peuvent être placés n'importe où vis-à-vis du critère de groupement par famille.

Dans le but de diminuer le temps de calcul des étapes suivantes, ces articles sont dans un premier temps mis de côté. Ils ne seront placés qu'après l'algorithme de regroupement, dans les groupes ayant encore de la place.

2) Deuxième heuristique : Groupement des articles systématiquement pickés ensemble

À l'opposé des articles concernés par l'étape (1), certains articles réapparaissent systématiquement dans les mêmes nomenclatures. Un picking d'un de ses articles engendrera systématiquement le picking de l'autre. C'est une heuristique forte car considérer ces articles ensembles pour les placer l'un à côté de l'autre est très proche de l'optimum. Il n'y a que des cas très particuliers et rares dans lesquels cette hypothèse n'est pas optimale.

3) Algorithme de regroupement hiérarchique par lien simple

Le reste des articles et les groupes formés dans l'étape deux sont maintenant à placer en fonction de leur relation de corrélation dans les différents emplacements. Ils sont séparés par groupe, ou chaque groupe correspond à une armoire dans l'entrepôt.

Pour les placer, l'algorithme de regroupement hiérarchique par lien simple a été choisi au détriment de nombreux autres possibles. L'étude de la comparaison des différentes possibilités sort du cadre de ce mémoire, il est cependant important d'indiquer qu'il n'en existe pas qui permette d'assurer une optimalité dû à la nature du problème rencontré comme expliqué dans la première partie de ce travail, sous-section d'*explication du problème sous-jacent*. Néanmoins, l'avantage de cet algorithme par rapport aux autres est son efficacité à créer des groupements, sa simplicité de mise-en-place et de compréhension.

Les étapes d'un algorithme de groupement hiérarchique par lien simple appliqué au cas de la matrice de corrélation sont les suivantes :

- (1) On repère dans la matrice des corrélations S_{ij} la corrélation la plus forte (représentée par le s_{ij} le plus faible) ;
- (2) On regroupe ces deux articles dans le même groupe, et on ne prend plus en compte la relation entre ces deux articles. Si un ou plusieurs articles ne sont pas encore dans un groupe, on revient à l'étape 1.

Voici un exemple pour l'illustrer sur une matrice exemple des S_{ij} :

Itération 1								Itération 2 & 3								Itération 4										
Sij	A	B	C	D	E	F	G	Sij	A	B	C	D	E	F	G	Sij	A	B	C	D	E	F	G			
A			1	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9	A			1	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9	A			1	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9
B		1		0,8	1	0,8	1	0,7	B		1		0,8	1	0,8	1	0,7	B		1		0,8	1	0,8	1	
C	0,9	0,8		0,6	1	0,9	1		C	0,9	0,8			1	0,9	1		C	0,9	0,8			1	0,9	1	
D	0,7	1	0,6		1	0,7	1		D	0,7	1			1	0,7	1		D	0,7	1			1	0,7	1	
E	0,9	0,8	1	1		0,8	1		E	0,9	0,8	1	1		0,8	1		E	0,9	0,8	1	1		0,8	1	
F	0,8	1	0,9	0,7	0,8		0,9		F	0,8	1	0,9	0,7	0,8		0,9		F	0,8	1	0,9	0,7	0,8		0,9	
G	0,9	0,7	1	1	1	0,9			G	0,9	0,7	1	1	1	0,9			G	0,9		1	1	1	0,9		

Figure 5: Évolution du Tableau des S_{ij} sur 4 itérations du regroupement hiérarchique par lien simple. Une fois dans le même groupe, les articles sont colorés dans la même couleur. C & D dans un premier groupe, ensuite B et G dans un second..

En pratique, l'algorithme est légèrement différent pour prendre en compte 3 contraintes supplémentaires, celle du nombre de groupes correspondant au nombre d'armoires, celle de la taille et celle du poids :

- (1) On repère dans la matrice des corrélations S_{ij} parmi les articles qui ne sont pas dans un groupe la corrélation la plus forte (représenté par le s_{ij} le plus faible) ;
- (2) On crée un nouveau groupe, constitué des articles concernés par la corrélation. S'il n'y a pas autant de groupe qu'il n'y a d'armoires, alors on revient à l'étape (1).
- (3) On repère dans la matrice des corrélations S_{ij} la corrélation la plus forte (représentée par le s_{ij} le plus faible) entre un élément présent dans un groupe et un élément qui n'a pas encore de groupe ;
- (4) On vérifie les conditions de poids et de taille des articles : Si la limite de capacité en poids ou en taille est dépassée par l'ajout de l'article, on élimine la relation entre ces

deux éléments de la matrice des S_{ij} pour qu'elle ne soit plus prise en compte ; Si le nombre d'articles placés dans des groupes n'est pas égal au nombre total d'articles, on passe à l'étape (3).

Ainsi, des chaînes sont formées au nombre d'armoires à remplir, et celles-ci se remplissent au fur et à mesure en fonction des corrélations les plus fortes existantes.

4) Placement des articles mis à l'écart

Comme mentionné en (2), les articles qui ont été mis de côté sont placés à la fin en vue de diminuer le nombre d'article à manipuler dans la 3^{ème} partie de l'algorithme. Cette manipulation est possible car ils n'ont pas d'impact sur les groupements.

Ces articles sont placés au fur et à mesure dans les armoires libres en s'assurant de respecter les capacités en taille et poids.

5) Classement par taux d'utilisation

Finalement, les taux d'utilisation des articles placés dans les armoires sont calculés en fonction des futurs pickings qui seront pratiqués. Les armoires sont ensuite classées de la plus fréquemment utilisée à la moins utilisée, afin de placer au plus proche l'armoire la plus utilisée. Cette manipulation est possible car les armoires ont les mêmes capacités si elles sont dans une zone similaire du magasin.

Un avantage conséquent de cette solution est sa possibilité d'être implémenté directement sous l'environnement de programmation d'Excel, VBA. En plus d'être connu des utilisateurs chez TBE, il permet une manipulation des données pour les organiser en une fiche plus simple de compréhension par le futur utilisateur, avec des ajouts d'informations supplémentaires sur la fiche. Cette manipulation a été demandée par les futurs utilisateurs du magasin, pour faciliter la réorganisation. Ceci permettant également la mise en place d'une procédure garantissant la répétition sur base définie.

L'ensemble du code se trouve en Annexe 8 (pg 47). On y trouve chaque étape de l'algorithme séparé en différentes fonctions. Des fonctions supplémentaires sont présentes, celles-ci

permettent de manipuler les données, et de trouver d'éventuelles erreurs dans les données qui sont entrées par l'utilisateur.

Choix du software

Pour choisir le software, une comparaison sur 4 critères a été effectuée. Ceux-ci étaient :

- Le coût initial : Investissement nécessaire à l'achat du software, sans tenir compte des frais annuels ou le temps d'investissement pour la prise en main.
- Le nombre d'applications : Certaines solutions impliquent de passer par plusieurs logiciels. Plus le nombre de logiciel est élevé, plus il est difficile pour l'utilisateur de calculer une solution, surtout en sachant le nombre d'erreurs qui peuvent et qui doivent être anticipées lors de l'utilisation augmentent grandement. Il convient donc de minimiser ce nombre.
- La performance : La performance d'une solution par rapport à une autre se calcule de deux façons. D'abord, par le temps moyen pour trouver une solution et ensuite par la qualité de la réorganisation proposée. Pour comparer la qualité, il est difficile de comparer l'impact direct sur le picking (comme expliqué dans la sous-section Potentiel et Résultat de la Partie 3). On utilise la fonction à minimiser dans la formule mathématique choisie comme un proxy statistique, on évalue le temps qui sera économisé par la capacité de l'algorithme à placer les articles corrélés ensemble.
- Facilité d'utilisation : La facilité de prise en main par l'utilisateur est très importante pour assurer l'utilisation future de la solution. Elle est caractérisée par la familiarité que les employés ont avec le programme proposé, et par le public cible du programme pour savoir s'il est tourné utilisateur ou technicien.

Voici un tableau récapitulatif des caractéristiques des solutions proposées :

Solutions	Programme spécialisé : AIMMS	Programme spécialisé non payant : solveur CPL sous CMPL	Algorithme de regroupement par hiérarchie sur Excel
Caractéristiques	avec CPLEX		
Coût initial	16 571€	Gratuit	Gratuit
Nombre d'applications	2*	2	1
Performance	??	63% plus long qu'un programme spécialisé payant	??
Facilité d'utilisation	Logiciel non familier, tourné utilisateur	Logiciel non familier, tourné programmation	Logiciel connu de l'utilisateur, avec une interface tournée utilisateur

*Tableau 2 : Tableau récapitulatif des solutions proposées et de leurs caractéristiques principales. (* En comptant un software supplémentaire pour manipuler les données afin de donner une fiche complète pour l'utilisateur).*

Au vu de son coût, la première solution qui consiste à utiliser un programme spécialisé dans le traitement de modèle mathématique de ce type, a été mise de côté. Même si l'utilisation d'un algorithme spécifique via le regroupement par hiérarchie constitue une solution préférée, on ne peut pas rigoureusement dire que cette solution soit meilleure. Il convient de tester l'élément clef de cette recherche : la capacité à fournir une proposition de réorganisation de qualité afin de diminuer le temps passé au processus picking.

Pour ce faire, nous allons utiliser le proxy mentionné plus haut, celui de la capacité à former des groupements. Avant de comparer l'algorithme aux solutions non-payantes, celui-ci a été comparé à la solution payante, AIMMS (sous une licence étudiante) qui a été démontré comme plus efficace que les solutions non-payantes par le Sandia National Laboratories (2013).

Un test de comparaison a été effectué sur les articles placés en local Hygro et les 6 armoires du local, avec des prévisions sur les 9 prochains mois. Après 30 minutes de calcul, le modèle sous AIMMS parvient à trouver une organisation donnant une valeur de 1721 à la fonction objectif alors que l'algorithme avancé plus haut nous donne une valeur de 1638, après un temps de calcul de 180 secondes (La configuration de l'ordinateur, ainsi que l'ensemble des résultats se situent en Annexe 9, pg 68). La fonction objectif étant une minimisation, la solution proposée par l'algorithme est donc meilleure.

Si on analyse ces valeurs, on observe une amélioration de seulement 4,8% d'un modèle à l'autre. Seulement, il convient de s'intéresser plus à la différence entre les deux de 83 qui est beaucoup plus explicite. En effet, chaque fois que deux articles systématiquement pickés ensemble sont mis dans le même groupe au lieu de groupes séparés, la valeur objectif diminue de 0,5. Si 3 articles systématiquement pickés ensemble passent de groupes différents au même groupe, ils diminuent la fonction objectif de 1,5. Ces petites différences dans la valeur de la fonction objectif ont en fait des impacts majeurs dans le picking, puisque ces 3 articles peuvent se situer dans des 3 localisations opposées de l'entrepôt. Cette différence de 83 représente donc une différence non négligeable.

En fait, c'est l'algorithme proposé par CPLEX qui est mal adapté au problème étudié. En preuve, la valeur maximale et donc la moins performante atteignable dans ce problème est, en considérant toutes les relations de corrélations dans une armoire comme complètement nulle en terme de $S(i,j)$ c'est-à-dire égal à 1, de 1796 (voir détail du calcul Annexe 10 pg 72). Cette valeur théorique est la pire valeur de groupement atteignable.

Si on compare maintenant les valeurs objectifs obtenues sur base de cette valeur de 1796, on remarque que le solveur a réussi à diminuer de seulement 75 la fonction objectif, et l'algorithme de 158. L'algorithme a donc, de ce point de vue, été plus de deux fois plus performant que le solveur.

En fait le solveur en 30 minutes est passé d'une valeur de 1749 à 1721 (Annexe 9, pg 68), soit une différence de 24, et donc une augmentation de performance de 33% par rapport à la diminution totale de 71. Mais après une heure, la valeur n'est descendue qu'à 1715, une progression de seulement 7% donc par rapport à la diminution totale. La performance est donc largement décroissante. Cette performance décroissante est liée à l'algorithme utilisé par le solveur CPLEX, qui est efficace pour trouver une solution faisable, mais inefficace pour l'améliorer au fur et à mesure du temps. Ceci est très probablement dû au problème complexe auquel nous faisons face, qui contient un très large nombre de solutions possibles dont une infime partie seulement respecte les contraintes, et est donc faisable.

Deux autres cas de figures ont été calculés sur des articles différents d'autres localisations et démontrent le même état de performance (Voir détail 9 pg 68).

La conclusion est double, non seulement l'algorithme proposé pour résoudre ce problème est plus efficace que les solveurs payant ou gratuits, qui traitent le problème comme un MIP (voir Annexe 9, pg 68). Mais qui plus est, ces solveurs sont en fait inefficaces pour résoudre ce genre de problème. C'est pourquoi un algorithme spécifique a été préféré, plus spécifiquement celui du groupement hiérarchique par lien simple.

Les cadences de réaménagement

Pour plusieurs raisons, des réorganisations sont nécessaires avec le temps :

- Tout d'abord parce que les BOMs peuvent être changés pour ajouter de nouveaux composants par exemple. Une BOM différente implique forcément des relations entre les articles différents.
- De même avec les produits nouveaux qui peuvent être développés.
- Les taux d'utilisations varient avec le temps, ce qui provoque aussi des relations dans les articles qui réapparaissent dans plusieurs BOM puisque les articles sont privilégiés aux endroits où ils sont le plus utilisés.

Pour ces différentes raisons, on ne peut que difficilement imaginer une réorganisation optimale et définitive d'un entrepôt sujet au picking. Il faut, à certains moments faire un calcul de coût/bénéfice pour envisager une nouvelle réorganisation.

Solutions possibles

La théorie ne faisant pas mention de piste de solution, deux solutions se sont présentées à moi :

(1) La méthode optimale est d'estimer le gain de temps provoqué par la réorganisation, et de la comparer directement au coût en temps de réorganiser les articles dans les différents rayons. Si la première prime sur la 2^{ème}, alors la réorganisation apporte un gain de temps et est donc bénéfique.

En pratique, cela suppose d'avoir d'une part un temps estimé de réorganisation, et d'autre part, de pouvoir calculer le temps pris par les pickings en fonction des différentes localisations.

Il est possible d'obtenir ces deux informations, mais la 2^{ème} s'obtient en passant par un simulateur qui prend en compte les distances entre chaque localisation dans le picking.

On peut estimer la première information de manière grossière, en calculant le temps pris pour la première fois que la réorganisation est faite, et en calculant un temps de remplacement moyen par localisation.

La deuxième information quant à elle nécessite l'utilisation d'un programme qui simule des durées de picking, ce qui complique le processus de réorganisation et s'écarte de la solution finale qui se veut simple d'utilisation pour le logisticien. De plus, cette deuxième information nécessite d'établir une matrice des distances, qui n'est pas calculable chez Thales (comme expliqué dans la sous-section *Problème du cas TBE : Impossibilité de calculé le temps exact économisé* de la 1^{ère} partie de ce travail).

(2) Implémenter la démarche dans un processus annuel

Cette deuxième méthode est suggérée par de Koster (2007), et consiste à changer l'organisation de l'entrepôt une fois par période. Il faut uniquement déterminer la période de réorganisation rendant le travail beaucoup plus simple. Néanmoins, cela nécessite une implémentation assez ancrée pour s'assurer que la solution sera utilisée dans le futur.

Choix de la solution

Étant donné les complications engendrées par la première méthode, c'est la seconde qui a été préférée. Pour autant, cela n'empêche pas Thales Belgique de se pencher vers l'utilisation de celle-ci dans le futur, si le calcul de durée des pickings devient utile dans d'autres domaines et donc calculée plus précisément.

Troisième partie : Implémentation en pratique

Au vu de la base théorique de la deuxième partie, les idées ont dû être mises en pratique. Ceci a impliqué de créer un processus annuel de long-terme, proposer une interface simplifiée pour l'utilisateur, disposer de données fiables et manipulables et réussir à faire collaborer les différents départements concernés, principalement logistique et magasin. Ces différents enjeux sont présentés ici. Le résultat ainsi que le potentiel pour diminuer le picking sont finalement présentés pour conclure la mise en pratique.

Création d'un processus systématique

Chez Thales, il n'existait encore aucun processus systématique entrepris entre magasin et logistique. Afin d'assurer l'utilisation de la solution sur le long-terme, deux actions ont été prises et demandées par le directeur logistique.

D'abord, des recherches dans l'entreprise ont été menées afin d'établir une liste des actions qui devaient être sujettes à traitement de manière annuelle afin qu'elles soient réalisées dans ce processus. Cette action devait permettre de légitimer la création d'un processus systématique. Cette recherche a débouché sur une mise en évidence des actions récurrentes qui devaient être prises sur deux types de stocks différents : Les Floor Stock et les Auxiliaires (pour plus d'information sur ces deux actions, voir Annexe 11 pg 72).

Ces actions ont ensuite été standardisées dans un tableau de responsabilités, tel que présenté ci-dessous, toujours dans l'optique d'assurer la pérennité du processus :

Processus d'actions annuelles

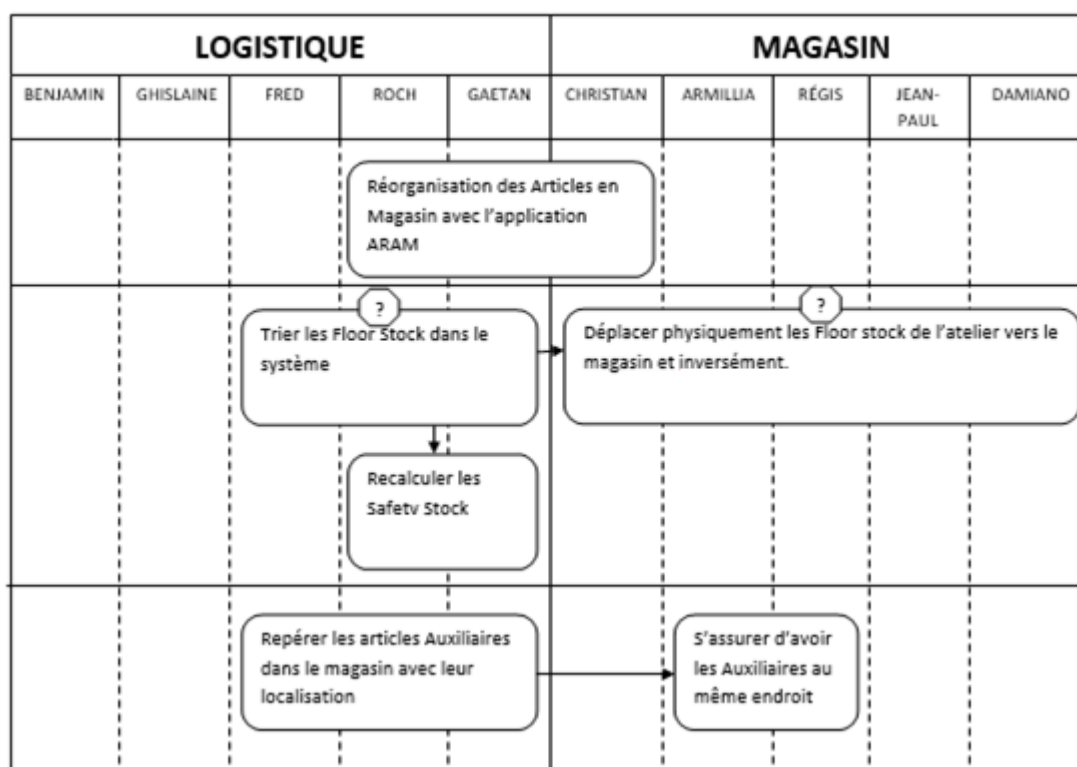


Figure 6: Tableau de responsabilités de l'action annuelle Logistique-Magasin tel que présenté en juin 2016. Les points d'interrogations représentent des actions actuellement sans responsable. ARAM est le nom donné à l'application de réorganisation des articles dans l'entreprise, soit Application de Réorganisation des Articles en Magasin.

Afin de mettre en pratique sur le long-terme les actions récurrentes identifiées, des sessions ont été organisées avec les équipes, le but principal étant d'étayer le processus systématique afin de légitimer mon projet. Dans ces sessions, la définition des actions était précisée et une recherche de date effective annuelle ainsi que de responsable était effectuée.

La première application de ce processus était planifiée entre la fin du processus de recyclage des articles non-utilisés prévue pour l'été 2016 et la fin de l'année 2016.

Interface simplifiée

Les seules parties intéressantes pour l'utilisateur étant les données en entrée et la fiche de réorganisation en sortie, l'interface s'est tournée le plus possible pour fonctionner sous forme de 'boîte noire', limitant les interactions à effectuer au strict minimum. Les feuilles correspondantes aux paramètres à entrer se retrouvent dans le manuel d'utilisation tel que présenté en Annexe 13 (pg 74) avec les différentes explications concernant les données à

entrer. Ces parties sont destinées à être utilisées par les logisticiens. Au vu des compétences nécessaires à la manipulation de données dans leur département, cette interface n'a posé aucun problème de réticence.

En ce qui concerne la fiche présentant la réorganisation, elle avait initialement été pensée comme présentée en Annexe 12 (pg 73). Sur base de ce qui avait été fait précédemment en termes de fiche de réorganisation (Annexe 14 pg 95), et pour offrir des informations supplémentaires offrant une certaine souplesse d'utilisation, la forme finale s'est finalement portée pour un visuel tel qu'on peut le voir dans le manuel d'utilisation (Annexe 13 pg 88).

L'application doit s'accompagner d'une documentation afin d'assurer son utilisation par de futurs nouveaux utilisateurs. Celle-ci est constituée de deux documents, un premier guide d'utilisation en une page expliquant où introduire les données, comment faire pour activer l'application et finalement où trouver la fiche finale de réorganisation. Celui-ci s'accompagnait d'un document plus complet, détaillant la démarche, les données et les différentes erreurs susceptibles d'apparaître en utilisant l'application et comment utiliser certaines des informations supplémentaires qui étaient calculées notamment sur les nomenclatures (Annexe 13 pg 73).

Importance d'un management des données fiables

Un des grands enjeux pour un calcul pertinent de l'organisation des articles est la disposition de données fiables, sous une forme manipulable. Dans le cadre de la méthode utilisée, les données nécessaires sont :

- (1) **Les prévisions futures de consommations et les nomenclatures de fabrication des produits finis.** Avec ces deux informations, il est possible d'induire tous les articles futurs qui nécessiteront un picking. On peut en déduire leurs futures fréquences d'utilisation ainsi que les relations de picking entre les différents articles.
- (2) Les articles 'phantom' : Ces articles sont des assemblages, spécifications, parties d'un ou plusieurs articles qui nécessitent un certain travail pour être fabriqué. Ils ont la spécificité d'être appelés dans les nomenclatures mais ne pas être entreposés. Le picking d'un produit phantom implique de chercher les articles nécessaires à sa fabrication.

Ces articles doivent être identifiés dans les fiches articles, sans quoi une perte d'information est induite, ce qui rend le résultat faussé.

- (3) Les 'Floor Stock'. Ces articles sont présents en quantité élevée dans les nomenclatures et sont généralement petits et peu coûteux. En conséquence, ils sont présents en abondance dans les différents postes de travail, et ne font donc pas l'objet d'un picking (visserie, colles,...).

Ceux-ci doivent être identifiés dans les fiches articles, et sont gérés de manière séparée en accord avec l'équipe Magasin en les plaçant dans une localisation commune.

- (4) Tailles et poids. Afin de pouvoir proposer une localisation précise pour chaque article, il convient de connaître sa taille, pour la contrainte de place dans une armoire, et le poids pour la contrainte en capacité d'une armoire. Chez Thales ces informations n'étant pas encore collectées sur les composants, une solution adaptée a été implémentée pour pouvoir travailler sans ces informations, et pour pouvoir travailler avec une fois qu'elles seront disponibles (pour plus d'information, voir Annexe 15 pg 95).

- (5) Informations sur les localisations. Il s'agit de toutes les informations de capacité en poids et en taille des localisations/armoires, ainsi que le type de conditionnement (t°, humidité,...).

Seule l'information (1) est réellement critique. Elle peut être substitué de deux façons : Premièrement en ne prenant pas en compte les prévisions futures de consommations, ou deuxièmement en ne prenant aucune de ces deux informations mais les données empiriques de picking effectué sur la période précédente. Dans un cas comme dans l'autre la perte d'information est telle que le modèle peut devenir inefficace dans la diminution du temps de picking. Il suffit de penser aux composants qui se retrouvent dans plusieurs nomenclatures, et qui seraient corrélés avec un même poids pour chacune des nomenclatures, alors que certaines d'entre elles ne seront que peu, ou même pas, appelées dans la période future.

Les autres informations n'engendrent qu'une perte de qualité mineure dans la proposition finale d'organisation des articles.

Collaboration avec les équipes concernées : La logistique et le Magasin

Pour s'assurer de l'implémentation du projet, il a fallu s'assurer d'avoir l'accord des deux équipes qui seront impliquées dans le futur. En plus de leur accord individuel, une composante supplémentaire était la collaboration entre ces deux équipes sous l'égide du même responsable, le directeur logistique.

La logistique est mobilisée dans l'utilisation du programme de réorganisation et ce pour deux raisons : 1. Les informations clefs relatives aux commandes futures des clients sont entre les mains de ce service. 2. Même si la compréhension de la solution sortie par le programme est claire, la collecte des données pour les utiliser dans Excel requiert des compétences qui n'ont pas été retrouvées chez le personnel du magasin, et qui ne font pas partie des compétences requises pour la gestion d'un entrepôt de production. En logistique, qui est un service souvent en interaction avec le Magasin, ces compétences sont présentes. Ces deux raisons ont justifié l'implication de ce département dans la gestion du projet.

Il est évident que le magasin est aussi impliqué, principalement parce que c'est ce département qui est le responsable des composants dans l'entrepôt. De plus, il est chargé de la mise en place physique de la nouvelle organisation. Et aussi parce qu'il est bénéficiaire de ce projet par la diminution du temps de picking.

Une des clefs pratiques de la réussite de ce projet est la collaboration entre les deux équipes visées.

Pour assurer l'implication de ces deux départements mais aussi leurs collaborations, plusieurs actions ont été entreprises :

(1) Magasin. Une fois les solutions possibles étudiées, une concertation continue a été faite avec les différents membres du magasin pour savoir quelles étaient les contraintes liées au picking et aux articles. Le visuel final sorti par le programme s'est aussi décidé en concertation avec le magasin, et s'est porté sur une forme similaire à celle qui avait utilisé au-par-avant pour la réorganisation des stocks stratégiques.

(2) Logistique. L'accord de la logistique a été demandé et un responsable ainsi qu'un backup se sont désignées pour assurer sa première mise en place. Un travail de suggestions sur l'application a été fait au cours de plusieurs séances avec ces deux personnes afin d'assurer une utilisation simplifiée, ainsi qu'une formation à l'utilisation de l'application.

(3) Logistique et Magasin. Deux réunions ont été organisées en fin de projet entre ces deux départements, le directeur logistique et moi-même. La première des deux réunions avait pour objectif de réexpliquer le projet ainsi que de mettre en avant les avantages. Il a été discuté de ce qui avait pu être pris en compte dans l'optimisation de la réorganisation et de ce qui n'avait pu l'être. C'est aussi et surtout à ce moment que les personnes responsables se sont portées volontaires dans les deux départements.

La seconde réunion fut une réunion de présentation finale du projet dédiée aux deux services concernés mais aussi aux cadres, le directeur de production et le directeur des opérations industrielles.

Cette collaboration fut simplifiée grâce à deux autres actions entamées à peu près au même moment, celle de la détection et de la relocalisation des stocks stratégiques ainsi que la détection et la mise en recyclage des stocks inutiles ou devenus obsolètes. Ces deux actions étant très similaires en termes de processus et de leur responsabilité, c'est-à-dire manipulation de l'information par la logistique et déplacement physique par le magasin, on comprend que ce projet ait été bien compris et accepté.

Résultats et Potentiel pour réduire le temps de picking

Le résultat final du projet fut son acceptation par les différents départements. Son implémentation fut acceptée dans le cadre du processus systématique, et serait mis en place pour la première fois après le recyclage des composants non-utilisés afin de pouvoir libérer de la place et faciliter l'implémentation de la nouvelle organisation.

Pour ce qui est du potentiel de ces nouvelles implémentations futures pour poursuivre l'objectif initial de proposer une organisation optimale en adéquation avec le picking, en vue de diminuer le temps total consacré à ce processus, il a été expliqué en première partie de ce travail, sous-section sur *Problème du cas TBE : Impossibilité de calculer le temps exact économisé*, que ce potentiel n'était que difficilement calculable rigoureusement.

Nous ne pouvons donc que rester sur une estimation du temps de picking tel que ce qui est suggéré dans littérature dans le cas d'un groupement par famille, comme nous avons pu le voir dans la sous-section de la solution complète AIMMS en partie deux, soit 320h. Le détail

du calcul se trouve en Annexe 5 (pg 44). On note cependant que cette valeur est faible, par comparaison aux 5 mois de stage passés principalement à la création et l'implémentation de cette solution.

Ce chiffre est relativement faible surtout à cause de la faible proportion du temps de picking qui est passé à se déplacer (18%, Annexe 5, pg 44). Cet élément est lié à la taille de l'entrepôt qui est relativement faible. Alors que le temps absolu consacré aux autres tâches reste fixe au fur et à mesure que l'entreprise grandit, et donc son entrepôt, le temps consacré au déplacement peut augmenter de manière croissante. Plus une entreprise est grande, plus l'intérêt devient grand pour une démarche de ce type.

Conclusion

Avec un système de picking efficace, une entreprise est à même de réduire le temps que passe un article en entrepôt et de diminuer les coûts d'opération et de gestion d'entrepôt. L'amélioration de ce processus par l'optimisation de l'attribution des emplacements en entrepôt passe par la création d'une solution adaptée, qui demande des choix et une analyse des contraintes liées au picking et une analyse de données.

Dans la création d'une solution de ce type chez Thales, les grandes questions ont été mises en avant et une piste de généralisation de réponse a été développée dans le choix d'un des deux grands modèles historiquement connus, entre le placement par taux d'utilisation et le placement par groupement. Pour faire ce choix, des indicateurs clefs ont été avancés ainsi que des premières valeurs de références. L'utilisation d'un logiciel expert dans l'optimisation mathématique pour résoudre ce problème a montré son inefficacité, montrant qu'un algorithme de groupement simple, ici statistique, pouvait obtenir des solutions d'une meilleure qualité dans des délais plus courts.

Quant à l'utilité d'une telle démarche dans une PME, elle reste à priori limitée. En effet, celle-ci n'affecte que la partie liée au déplacement dans le picking qui est une composante qui croît rapidement avec la taille de l'entrepôt. Les temps de préparation, de clôture et surtout de comptage des pièces étant proportionnellement plus important. Même si, dû à la complexité de l'entrepôt de production de Thales Belgium, il est difficile de calculer précisément l'impact d'une telle politique de placement, on a pu estimer que son impact est faible par rapport au temps investi dans le projet.

Bibliographie

- Adames, W. P., & Sherali, H. D. (1986). A tight linearization and an algorithm for zero-one quadratic programming problems. *Management Science*, 32(10), 1274-1290.
- Chuang, Y., Lee, H.-T., & Lai, Y.-C. (2011). Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems. *Computers & Industrial Engineering*, 63, 1171-1177.
- De Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K. (2007). Design and control of warehouse order picking : A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501.
- Frazelle, E. A., & Sharp, G. P. (1989) Correlated assignment strategy can improve any order-picking operation. *Industrial Engineering*, 21(4), 33-37.
- Heskett, J.L. (1963). Cube-per-order index – A key to warehouse stock location. *Transport and Distribution Management*, 3, 27-31.
- Liu, C.-M. (1999). Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center. *Computers and Operations Research*, 26(10-11), 989-1002.
- Petersen, C., & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 11-19.
- Rosenwein, M. B. (1994). An application of cluster analysis to the problem of locating items within a warehouse. *IIE Transactions*, 26(1), 101-103.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G.J., Mantel, R.J., & Zijm, W.H.M (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review, *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515-533.
- Sandia National Laboratories. (2013). Comparison of Open-Source linear programming solvers. Repéré à <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2013/138847.pdf>
- Xiao, J., & Zheng, L. (2009). A correlated storage location assignment problem in a single-block-multi aisles warehouse considering BOM information. *International Journal of Production Research*, 48(5), 1321-1338.
- Xiao, J., & Zheng, L. (2012). Correlated storage assignment to minimize zone visits for BOM picking. *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(5-8), 797-807
- Zhang, Y. (2016). Correlated Storage Assignment Strategy to reduce Travail Distance in Order Picking. *IFAC-PapersOnLine*, 49(2), 30-35.