

2011.3553.7

HEC Montréal

HEC MONTRÉAL

Grade conféré à compter
du 4 octobre 2007

Université de Montréal

**Calcul du stock de sécurité dans un contexte de demande
instable**

par

Valérie Geoffroy

**Sciences de la gestion
(Logistique)**

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

No 63
2007

Mai 2007
© Valérie Geoffroy, 2007



**AVIS DE CONFORMITÉ À LA POLITIQUE EN MATIÈRE D'ÉTHIQUE
DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS DE HEC MONTRÉAL**

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains et qu'il satisfait les exigences de notre politique en cette matière.

Cet avis remplace celui émis en date du 18 janvier 2007. Étude de cas : modèles de gestion des stocks de sécurité dynamiques

Titre du projet de recherche:

Calcul du stock de sécurité dans un contexte de demande instable

Chercheur principal:

Chercheur : Valérie Geoffroy

Titre : Étudiant(e) Maîtrise

Service/Option : Logistique

Directeur : Federico Pasin

Titre : Professeur(e) titulaire

Service/Option : Gestion des opérations et de la logistique

Date de déclaration du projet au Comité d'éthique de la recherche:


15 janvier 2007

Date d'approbation du projet:

18 janvier 2007

Date de publication de l'avis:

07 mai 2007



Céline Bareil, Présidente
Comité d'éthique de la recherche

Sommaire

Les stocks représentent depuis longtemps un investissement indispensable, mais malheureusement monopolisent une grande partie des ressources financières d'une entreprise.

Dans cette optique, la présente recherche propose à l'aide d'un simulateur de mieux comprendre l'effet de divers modèles de calcul du stock de sécurité sur les coûts de pénuries et les coûts de stockage et particulièrement dans un environnement où la demande est instable.

La recension des écrits nous a permis dans un premier temps de cerner plusieurs facettes des stocks de sécurité et de voir l'intérêt des différentes études présentes dans la littérature, puis dans un deuxième temps, de présenter les principaux modèles de calcul du stock de sécurité dynamique.

Ainsi, nous avons modélisé, dans un chiffrier Excel, les méthodes sélectionnées dont celle qu'utilise Yoplait, une entreprise du secteur de l'alimentation qui a fourni les données pour cette recherche. La simulation nous a offert la possibilité de mesurer la performance de chaque modèle comparativement au modèle de base afin de voir l'efficacité de ce dernier dans un contexte de demande instable. Par la suite, nous avons sélectionné les modèles aux résultats les plus positifs pour effectuer quelques changements afin d'améliorer leurs résultats initiaux.

L'analyse de résultats obtenus a permis de comprendre l'impact des stocks de sécurité sur les coûts et la quantité de stocks à entreposer. D'un modèle à l'autre, nous avons pu observer tant des différences majeures que des statu quo, et ce, peu importe le niveau de service offert. En conclusion, nous présentons les contributions et les limites de cette recherche. Nous ouvrons également la voie sur des pistes d'études futures.

Table des matières

| | |
|---|------------|
| Sommaire | i |
| Table des matières | ii |
| Liste des tableaux | v |
| Liste des figures | vi |
| Remerciements | vii |
| | |
| CHAPITRE 1 : INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 Présentation du contexte | 1 |
| 1.2 Présentation de l'industrie laitière canadienne et de Yoplait | 2 |
| 1.3 Aperçu du problème | 4 |
| 1.3.1 Présentation du modèle de base de calcul des stocks de sécurité | 4 |
| 1.3.2 Présentation des objectifs de la recherche | 6 |
| 1.4 Approche de résolution préconisée | 7 |
| 1.5 Organisation de ce mémoire | 7 |
| | |
| CHAPITRE 2 : RECENSION DES ÉCRITS | 8 |
| 2.1 Présentation de concepts généraux des stocks de sécurité | 8 |
| 2.2 Définition et sources de l'instabilité de la demande | 10 |
| 2.3 Description des modèles retenus | 11 |
| 2.3.1 Richard Herrin (2005) | 11 |
| 2.3.2 Scott W. Hadley (2004) | 13 |
| 2.3.3 James A. G. Krupp (1997) | 15 |
| 2.4 Autres concepts afférents les stocks de sécurité | 18 |
| 2.4.1 Variabilité des délais de réapprovisionnement | 18 |
| 2.4.2 Effet de la taille des lots | 20 |
| 2.4.3 Autres recherches | 21 |
| 2.5 Conclusion | 22 |

| | |
|--|-----------|
| CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE | 23 |
| 3.1 Approche de résolution | 23 |
| 3.2 Origine des données | 25 |
| 3.3 Modélisation | 25 |
| 3.3.1 Intrants | 25 |
| 3.3.2 Extrant | 27 |
| 3.3.3 Critères de comparaison | 28 |
| 3.3.4 Procédure expérimentale | 29 |
| 3.4 Conclusion | 30 |
| CHAPITRE 4 : MÉTHODE DE RÉOLUTION | 31 |
| 4.1 Logique générale | 31 |
| 4.1.1 Détails des programmes | 33 |
| 4.2 Identification des produits sélectionnés | 34 |
| 4.3 Présentation du modèle de Yoplait | 34 |
| CHAPITRE 5 : PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS | 37 |
| 5.1 Comparaison et analyse des scénarios | 37 |
| 5.1.1 Présentation des paramètres de la simulation et des demandes | 37 |
| 5.1.2 Présentations des résultats | 39 |
| 5.2 Amélioration de la méthode de Yoplait (nouveau modèle 1) | 45 |
| 5.2.1 Présentation et analyse du modèle de Yoplait amélioré | 45 |
| 5.3 Amélioration du modèle de Krupp (nouveau modèle 2) | 47 |
| 5.3.1 Présentation et analyse des résultats du nouveau modèle | 48 |
| 5.4 Conclusion | 50 |
| CHAPITRE 6 : CONCLUSIONS | 52 |
| 6.1 Contribution de la recherche | 52 |
| 6.2 Limites de l'étude | 53 |
| 6.3 Avenues de recherches futures | 54 |
| BIBLIOGRAPHIE | 56 |

| | |
|---|----|
| Annexe 1 : Représentation Excel du modèle de Herrin (2005) | 59 |
| Annexe 2 : Représentation Excel du modèle de Hadley (2004) | 60 |
| Annexe 3 : Représentation Excel du modèle de Krupp (1997) | 61 |
| Annexe 4 : Représentation Excel du système de réapprovisionnement simplifié | 63 |
| Annexe 5 : Représentation Excel du modèle de Yoplait | 64 |
| Annexe 6 : Fichier de paramètres détaillés | 65 |
| Annexe 7 : Les résultats détaillés | 78 |
| Annexe 8 : Représentation Excel du modèle amélioré de Krupp | 79 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 4.1 Profils de couverture des stocks de sécurité de Yoplait | 36 |
| Tableau 5.1 Intrants de chaque article | 38 |
| Tableau 5.2 Caractéristique de la demande définissant la demande instable | 38 |
| Tableau 5.3 Niveaux de service qui minimisent les quantités de stocks moyens et/ou les coûts totaux | 39 |
| Tableau 5.4 Résultats du modèle de base | 40 |
| Tableau 5.5 Résultats du modèle de Herrin (2005) | 40 |
| Tableau 5.6 Résultats du modèle de Hadley (2004) | 41 |
| Tableau 5.7 Résultats du modèle de Krupp (1997) | 42 |
| Tableau 5.8 Résultats du modèle de Yoplait | 43 |
| Tableau 5.9 Performances des modèles pour les 13 articles | 44 |
| Tableau 5.10 Écarts de la méthode de Yoplait en fonction du modèle de Krupp (1997) | 44 |
| Tableau 5.11 Différences des coûts totaux de Yoplait et de Krupp en fonction de ceux du modèle de base | 44 |
| Tableau 5.12 Résultats du modèle de Yoplait amélioré (6 semaines ; 1 jour) | 45 |
| Tableau 5.13 Résultats du modèle de Yoplait amélioré (2 semaines ; 1 jour) | 46 |
| Tableau 5.14 Comparaison des coûts totaux du modèle de Yoplait et du modèle amélioré par rapport au modèle de Krupp | 46 |
| Tableau 5.15 Résultats du nouveau modèle | 48 |
| Tableau 5.16 Comparaisons des coûts totaux du nouveau modèle par rapport au modèle de base, au modèle de Krupp et au modèle de Yoplait amélioré | 49 |
| Tableau 5.17 Résumé des résultats des nouveaux modèles | 50 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1.1 Distribution de la demande selon la loi normale | 6 |
| Figure 3.1 Schéma de la modélisation | 24 |
| Figure 3.2 Schéma détaillé de la modélisation | 28 |

Remerciements

J'aimerais tout d'abord exprimer mes sincères remerciements à mon professeur et directeur de mémoire M. Federico Pasin qui a su m'encourager et me diriger dans la réalisation de mon projet. Je voudrais aussi le remercier pour le temps, la patience et les conseils qu'il m'a accordés tout au long de mon travail.

Je tiens également à remercier le directeur planification et gestion des stocks chez Yoplait pour son soutien technique. Je suis grandement reconnaissante de sa généreuse participation qui a permis l'accomplissement de ce projet de recherche.

Mes plus sincères remerciements vont aussi à ma famille et mes amis qui ont su me soutenir et m'encourager tout le long de mon cheminement académique. Ils m'ont tous été d'un réconfort précieux. J'aimerais dire merci plus particulièrement à ma mère qui a relu tous mes textes et travaux universitaires.

Enfin, je désire exprimer toute ma reconnaissance envers mon copain Alex qui a cru en moi et m'a toujours encouragé à persévérer dans ce défi de taille. Son soutien m'a permis de passer à travers les hauts et les bas de mon mémoire.

Sincèrement, merci à tous !

Chapitre 1

Introduction

1.1 Présentation du contexte

À l'époque de consommation actuelle, l'internationalisation des marchés et l'intensification de la concurrence forcent les gestionnaires à réaliser que la disponibilité des produits et le contrôle des coûts sont des éléments critiques de survie des entreprises. Pour répondre aux besoins des clients rapidement et efficacement, les entreprises misent sur la gestion des stocks. D'ailleurs, selon Tchokogué (1999), 20 % à 60 % des actifs d'une société correspondent à leurs stocks. De plus, les stocks de sécurité représentent pour plusieurs entreprises 50 % de l'ensemble des stocks conservés (Sandvig, 1998) et de 20 % à 40 % de leur coût total de stockage. (Sandvig & Reistad, 2000). Ces proportions évoquent bien l'ampleur des conséquences d'une mauvaise gestion, c'est-à-dire une rupture ou au contraire un excédent de stocks peut entraîner respectivement des coûts supplémentaires ou du gaspillage de ressources. Ainsi, malgré que les stocks et leur gestion aient été étudiés depuis longtemps, ils occupent encore, de nos jours, un rôle de premier plan dans la recherche en gestion des opérations (Caridi & Cigolini, 2002).

Pour atteindre le niveau de service désiré, en dépit des incertitudes de leur environnement, les entreprises s'appuient généralement sur un stock de sécurité. La méthode de calcul du stock de sécurité couramment utilisée est basée sur un modèle statistique qui cherche à déterminer, à l'aide du calcul de probabilité, le niveau de stock optimum à conserver pour atteindre un niveau de pénurie désiré à un coût minimum (Sandvig, 1998). Cet outil statistique, que nous présentons en détail dans la section 1.3.1, a prouvé son efficacité à établir le niveau du stock de sécurité approprié, et ce,

dans plusieurs environnements différents (Herrin, 2005; Nollet et al., 1994; Sandvig, 1998). Néanmoins, ce modèle suppose une certaine stabilité de la distribution de la demande que l'on ne retrouve pas nécessairement dans tous les secteurs d'activités. En effet, le transport aérien, la restauration, les services financiers et l'agroalimentaire constituent des exemples d'industries qui font face à une demande instable (Radas & Shugan, 1998), c'est-à-dire une demande dont le niveau moyen et la variabilité fluctuent de façon importante dans le temps.

Dans le cadre de ce projet de maîtrise, nous allons donc étudier le problème des stocks de sécurité dans un contexte de demande instable. Pour ce faire, nous présentons et décrivons, tout d'abord, les principaux modèles proposés dans la littérature. Ensuite, nous détaillons une méthode utilisée par une entreprise du secteur agroalimentaire dont la demande est instable. Enfin, ce travail vise également à proposer un nouveau modèle de calcul du stock de sécurité dans un environnement d'instabilité de la demande et à comparer son efficacité avec les autres modèles présentés dans ce mémoire, grâce à des données recueillies auprès de l'entreprise étudiée.

Les prochaines sections du présent chapitre proposent une brève description de l'entreprise agroalimentaire et de son secteur d'activité. Sont ensuite présentés un aperçu du problème traité dans ce mémoire et l'approche de résolution préconisée. La présentation de l'organisation générale du mémoire conclut ce premier chapitre.

1.2 Présentation de l'industrie laitière et de Yoplait

L'industrie laitière canadienne fait bonne figure au niveau de l'économie nationale et soutient plusieurs entreprises florissantes. En effet, dans le secteur agricole, l'industrie laitière se classe au 4^e rang avec des revenus de 4,8 milliards de dollars, en 2005 (Doyle & Bailey, 2005). Avec l'exploitation de nouveaux marchés, les exportations ont atteint 242,6 millions de dollars. D'un autre côté, le Canada a fait l'acquisition de produits de l'extérieur pour 597,6 millions de dollars (Doyle & Bailey, 2005). Le marché national étant mature, le défi prioritaire pour l'industrie est d'exporter ses produits. Dans les

circonstances, le Canada pourra miser sur les produits de transformation tels que le yogourt qui a vu croître sa production de 45 % depuis 2001 (Doyle & Bailey, 2005) et ses exportations de 31,4 % en 2004 (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2005).

Yoplait, une entreprise spécialisée dans la fabrication de yogourt, a vu le jour en France, en 1964. Grâce à son organisation de franchises, l'entreprise a pu développer sa marque à l'international. Par conséquent, depuis plus de 40 ans, Yoplait étend ses marchés à l'échelle mondiale et compte jusqu'à présent 37 franchises réparties sur cinq continents et 50 pays, dont le Canada depuis 1971 (Aliments Ultima inc., 2005). Pour se positionner ici, Yoplait s'est associé à la plus grande coopérative laitière canadienne, Agropur. De plus, depuis 1993, Agropur et Agrifood ont réuni leurs activités pour devenir Aliments Ultima qui s'occupent de la production et de la distribution des produits de Yoplait à l'échelle canadienne (Aliments Ultima inc., 2005).

Le siège social d'Aliments Ultima ainsi que le centre de distribution national se situent à Longueuil sur la Rive-Sud de Montréal. Toutefois, l'usine canadienne de production de yogourts est établie à Granby dans les Cantons de l'Est. Dans l'industrie agroalimentaire, la société qui compte près de 500 employés est reconnue pour la qualité de ses produits et surtout sa volonté d'innover (Aliments Ultima inc., 2005). En effet, il semble que l'innovation et la création de nouveaux produits ou nouveaux emballages sont des éléments clés de leur stratégie pour demeurer un chef de file (Smith, 2001).

Enfin, si nous considérons qu'Aliments Ultima s'occupe de neuf catégories de produits dont chacune d'elle regroupe plusieurs formats et saveurs de produits périssables et que la concurrence locale et étrangère est très vive, nous comprendrons que la gestion des stocks de façon générale et que le calcul du stock de sécurité en particulier constituent des enjeux majeurs pour Yoplait. La section suivante trace un portrait général du problème étudié.

1.3 Aperçu du problème

Malgré que plusieurs modèles pour calculer les stocks de sécurité aient été développés, et ce, depuis longtemps, il existe encore un engouement pour le sujet. En effet, les stocks représentent un investissement indispensable pour une entreprise, mais malheureusement ils monopolisent une grande partie des ressources financières. C'est pourquoi il est primordial pour les gestionnaires d'essayer d'abaisser le niveau de stocks le plus possible sans toutefois les éliminer, puisqu'ils offrent tout de même la possibilité d'assurer un niveau de service visé. Nous présentons ici le modèle de base duquel dérivent plusieurs autres modèles dont les principaux seront exposés au chapitre 2.

1.3.1 Présentation du modèle de base de calcul du stock de sécurité

Comme mentionné précédemment, le modèle le plus simple, sur lequel la majorité des études se base, est une analyse statistique qui détermine le niveau du stock de sécurité à partir de la distribution de la demande, des délais de livraison et un coefficient de sécurité qui s'établit selon le niveau de service que l'entreprise désire atteindre.

$$SS = z \cdot \sqrt{L} \cdot \sigma_d \quad (1)$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-1}} \quad (2)$$

SS = Stock de sécurité

z = Coefficient de sécurité ¹

L = Délai de livraison

σ_d = Écart type de la demande

e_i = Erreur de prévisions (prévision en i – demande en i)

n = Nombre de périodes

¹ Selon la table de la loi normale que l'on retrouve dans la majorité des manuels sur la gestion des stocks comme par exemple dans le livre de Nollet et al. (1994, p.655). On le calcul également à l'aide de la fonction LOI.NORMALE.INVERSE ou NORMINV dans le chiffrier excel.

Cette méthode est reconnue pour ses résultats très satisfaisants malgré sa facilité d'utilisation (Sandvig, 1998). De plus, le modèle de base est simple à adapter à des contextes particuliers, notamment quand l'entreprise commande à intervalle fixe. En effet, dans ce dernier cas, il suffit de fixer le terme L de l'équation (2) égal à $F+L$, soit l'intervalle entre deux commandes plus le délai de livraison. L'équation (3) représente ce contexte de commande à intervalle fixe.

$$SS = z \cdot \sqrt{F + L} \cdot \sigma_d \quad (3)$$

F = Intervalle fixe de commande

Comme nous pouvons le constater dans la formule du modèle de base, trois facteurs influencent le niveau du stock de sécurité :

- le niveau de service que l'entreprise désire offrir,
- la durée et l'incertitude du délai de livraison,
- la variabilité de la demande.

Le modèle de base repose sur des hypothèses qui simplifient le problème afin de cibler un contexte précis. Tout d'abord, le modèle assume que le délai de livraison soit connu et constant et que les demandes périodiques soient indépendantes (Chopra, Reinhardt, & Dada, 2004). De plus, il suppose aussi que les demandes périodiques suivent une loi normale de moyenne μ et d'écart type σ_d , ce qui signifie que les données sont symétriquement dispersées autour de la moyenne, comme le démontre la figure 1.1 (Arnold & Chapman, 2004; Cordeau, 2001; Nollet et al., 1994). Ces hypothèses ne sont pas toujours possibles, notamment celle qui tient pour acquis que la distribution de la demande peut être assimilée à une loi normale.

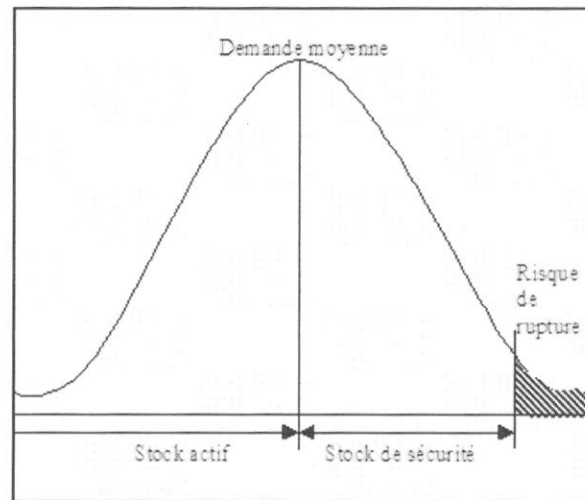


Figure 1.1 Distribution de la demande selon la loi normale (Tchokogué, 1999, p.19)

Plusieurs raisons font que cette normalité de la demande n'est pas réaliste pour les entreprises, particulièrement :

- les fortes saisonnalités,
- les tendances,
- les évènements qui bouleversent significativement, mais temporairement la demande telle que les promotions,
- les évènements qui bouleversent significativement et irréversiblement la demande telle que l'arrivée d'un nouveau produit.

D'ailleurs, certains auteurs et entreprises ont tenté de modifier le modèle pour tenir compte de cette réalité et nous allons présenter et analyser certains de ces modèles dans les prochains chapitres. La section suivante précisera nos objectifs de la recherche.

1.3.2 Présentation des objectifs de la recherche

❖ Est-ce que le modèle de base de calcul du stock de sécurité est approprié pour répondre à une demande instable?

De façon plus précise, les quatre principaux objectifs de ce mémoire, portant sur le calcul du stock de sécurité en contexte de demande instable, sont :

- faire état des principales méthodes proposées dans la littérature,
- décrire une méthode développée et utilisée par une entreprise du secteur de l'alimentation,
- proposer une nouvelle méthode de calcul,
- comparer et analyser l'efficacité des diverses méthodes.

1.4 Approche de résolution préconisée

Compte tenu des objectifs mentionnés ci-dessus, l'approche de résolution préconisée est la simulation. Tout d'abord, nous faisons la modélisation des différentes méthodes de calcul du stock de sécurité sélectionnées dans un chiffrier Excel afin de créer notre simulateur. De cette manière, nous pouvons déterminer les stocks de sécurité de chaque période. De plus, l'analyse des performances des divers modèles est basée sur la comparaison des coûts totaux annuels recueillis grâce à des données réelles provenant de l'entreprise étudiée.

1.5 Organisation de ce mémoire

Ce premier chapitre a exposé tout d'abord la mise en contexte du mémoire et de la compagnie agroalimentaire impliquée, pour ensuite proposer un aperçu du problème étudié et une brève explication de l'approche de résolution préconisée. Le second chapitre traite de la recension des écrits qui au premier abord permet de bien cibler les caractéristiques du problème et parallèlement, montrer les différents modèles sélectionnés. Par la suite, le troisième chapitre précise la méthodologie utilisée. S'enchaîne ensuite le chapitre quatre où la méthode de résolution est décrite, où les articles sélectionnés sont proposés et où le modèle de Yoplait ainsi que le nouveau modèle sont détaillés. Enfin, pour clore ce mémoire, le chapitre cinq présente les résultats des expérimentations ainsi que leurs analyses tandis que le sixième chapitre expose les grandes lignes de l'étude, en plus de démontrer les contributions et les limites de cette dernière. Pour conclure, quelques avenues de recherches en complément de ce mémoire sont relevées.

Chapitre 2

Recension des écrits

Le présent sujet a été abordé depuis plusieurs dizaines d'années et sous plusieurs angles. En effet, les premières techniques d'analyses statistiques du stock de sécurité ont débuté en 1934 (Plossl, 1994). Depuis, le nombre démesuré de références concernant les stocks de sécurité dénote bien l'intérêt pour la question. Conséquemment, cette recension des écrits n'a pas la prétention d'être exhaustive. Nous nous efforçons plutôt de structurer un aperçu sommaire des différents modèles de calcul du stock de sécurité en contexte de demande instable.

Dans les prochaines sections, nous tentons d'expliquer certaines approches connues pour réaliser une gestion fonctionnelle des stocks de sécurité. En premier lieu, nous avons cherché à faire une esquisse de certaines notions générales influençant la gestion des stocks de sécurité. Puis, nous définissons la demande instable et nous détaillons des modèles retenus pour effectuer notre analyse comparative. Finalement, d'autres recherches présentes dans la littérature en gestion des stocks de sécurité sont présentées brièvement.

2.1 Présentation de concepts généraux des stocks de sécurité

Tout d'abord, il est important de comprendre l'intérêt réel des stocks de sécurité et leurs raisons d'être. Comme leur nom l'indique, cette catégorie des stocks sécurise l'entreprise quant aux besoins non prévus. Théoriquement, l'objectif premier des stocks de sécurité est de prévenir les pénuries causées par la variabilité de la demande et du

délai d'approvisionnement (Shim, 2006). Toutefois, en pratique, la liste des motifs pour lesquels les gens y ont recours peut être très longue en fonction de l'environnement de l'entreprise. Ploss (1994, p.144) soumet quelques exemples :

- demandes inattendues des clients,
- livraisons des fournisseurs en retard,
- arrêt des machines,
- dysfonctionnement technique,
- panne d'électricité,
- non-conformités des intrants,
- pertes,
- erreurs dans les données.

Pour se prémunir contre ces incertitudes, il est possible de faire usage de quelques stratégies de gestion. La plus connue et la plus populaire demeure les stocks de sécurité, mais on retrouve également d'autres stratégies telles que la capacité supplémentaire, les délais de sécurité ou encore la période gelée (*freezing period*) et les hausses des besoins bruts (*overplanning*) dans un système MRP. Ces différentes approches sont résumées dans quelques textes de la littérature (voir Caridi & Cigolini, 2002; Murthy & Ma, 1991). Les auteurs n'ont pas de conclusions définitives sur la performance de chacune puisque tout dépend des caractéristiques des entreprises. Ces stratégies, par contre, ne sont pas étudiées dans le cadre de ce travail.

De manière générale, les sources d'incertitudes se répartissent, dans la littérature, sous deux groupes ; l'incertitude de l'environnement et l'incertitude du système de production (Murthy & Ma, 1991). Le premier ensemble regroupe les erreurs de prévisions et la variabilité des fournisseurs, tandis le second groupe comprend, entre autres, les problèmes de qualité et les dysfonctionnements techniques. Il importe cependant de rappeler que la majorité des modèles de gestion des stocks de sécurité se concentre sur la variabilité de la demande puisqu'elle est la source d'incertitudes la plus difficilement maîtrisable. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous concentrons sur

l'instabilité de la demande. La définition de cette source d'incertitude ainsi que les modèles étudiés sont présentés dans les prochaines sections.

2.2 Définition et source de l'instabilité de la demande

Malgré que plusieurs modèles aient été développés, peu d'articles dans la littérature se rapportent à la gestion des stocks de sécurité dont la demande est instable. Nous avons réitéré quelques fois que la demande est la source d'incertitude le plus souvent étudiée, mais une demande instable a certaines caractéristiques qui la différencient. Ce type de demande est représenté par une courbe en dents de scie, ce qui correspond à des fluctuations importantes d'une période à l'autre (Verganti, 1997).

L'instabilité de la demande peut être produite par les saisonnalités, les tendances, les promotions de ventes ou les nouveaux produits sur le marché. Le texte récent de Man-Yi et Xiao-Wo (2006) propose une méthode pour évaluer le niveau de stock de sécurité nécessaire lorsque la demande est incertaine due à l'introduction d'un nouveau produit. Cette source d'incertitude sollicite des méthodes de calcul différentes puisque les données historiques des produits ne sont pas disponibles. Nous nous concentrons, pour notre part, sur les saisonnalités et les promotions de ventes.

D'une part, les saisonnalités sont des mouvements annuels ou de façon plus générale des mouvements périodiques plutôt stables qui sont souvent reliés à la température ou aux événements (Arnold & Chapman, 2004). D'autre part, les variations peuvent être plus instables dues aux promotions de ventes. Cette demande dynamique peut affecter les configurations des tendances et des saisonnalités (Arnold & Chapman, 2004). En effet, la demande augmente considérablement au cours d'une promotion, mais on observe aussi un décalage à la fin de cette période puisque majoritairement les détaillants haussent les niveaux des stocks (Schuster & Finch, 1990). Ce type de variations se doit d'être pris en considération, et pour ce faire, Schuster et Finch (1990) conseillent de les gérer comme les saisonnalités. Conformément, il importe donc d'évaluer les quantités du stock de sécurité en fonction des erreurs de prévisions et des variations dans le temps.

2.3 Description des modèles retenus

Dans la présente section, nous décrivons les modèles de calcul des stocks de sécurité sélectionnés. Il est nécessaire de bien les détailler puisqu'ils sont les bases de comparaison du modèle de Yoplait et du nouveau modèle. La compréhension de leur fonctionnement nous aidera à les représenter fidèlement dans un chiffrier Excel. Puisque l'objectif de la recherche est de comparer les performances des modèles choisis, il est nécessaire d'utiliser des modèles de natures semblables. C'est pourquoi, comme nous pouvons le constater ci-dessous, les modèles ont été sélectionnés plus particulièrement pour leur aspect dynamique des stocks de sécurité, ce qui veut dire qu'à chaque période le niveau du stock est variable. Certes, lorsque la demande est instable, les modèles de stock de sécurité statiques ne sont pas aussi efficaces (Krupp, 1997; Schuster & Finch, 1990).

Cet attribut dynamique des stocks de sécurité n'a que très peu été étudié. D'ailleurs, un article de Zizka (2005), concernant les deux types d'approche de gestion des stocks (analytique vs simulation), ne répertorie que trois méthodes avec des stocks de sécurité variables. Outre le texte de Krupp (1997) que nous allons expliquer subséquemment, l'auteur fait référence au texte de Mann (1979)¹ et celui de Horakova et Kubat (1999)². Ces derniers ne pourront pas être traités dans le cadre de ce mémoire puisque les documents sont écrits en tchèque. Cependant nous avons identifié d'autres méthodes, non répertoriées par Zizka (2005), à savoir celles de Herrin (2005) et de Hadley (2004).

2.3.1 Richard Herrin (2005)

La démarche de Herrin se concentre sur la source d'incertitude de la demande pour les produits hautement saisonniers. La plupart des systèmes ERP emploient le modèle de base pour définir le niveau du stock de sécurité tel qu'il a été représenté par les équations (1) et (2). Herrin a testé le modèle de base sur une demande saisonnière et les

¹ Mann, Q. (1979) *Optimizing Inventory Practice*. Prague: SNTL, 176pp.

² Horakova, H., J. Kubat (1999) *Inventory Management. Logistic Approaches, Methods, Applications, and Practical Task*. Prague: Process Consulting, 236 pp.

résultats ont montré l'inadéquation entre les demandes en période de pointes et le niveau du stock conservé. Pour combler cette déficience, l'auteur propose de calculer l'écart type par mois à l'aide de données historiques sur plusieurs années au lieu de calculer l'écart type sur une base annuelle. Dans cet article, le calcul s'effectue mensuellement, mais il serait possible de définir une unité de temps autre, tel qu'un trimestre ou une semaine. La représentation Excel du modèle de Herrin se retrouve en annexe 1.

Au moyen de cette méthode, les stocks de sécurité ont diminué pour tous les mois sauf pour la période de pointe, ce qui a entraîné une réduction du niveau du stock moyen de 47 %. Lors de la période de pointe, le surplus aurait permis à l'entreprise de ne pas subir de pénurie, donc d'offrir un meilleur service.

Démarche en trois étapes :

- 1) Faire la somme des écarts au carré des prévisions

$$P_i - d_i = e_i \quad (4)$$

$$\sum_i e_i^2 \quad (5)$$

- 2) Calculer l'écart type pour chaque période i

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_i e_i^2}{a - 1}} \quad (6)$$

- 3) Déterminer le niveau de stocks de sécurité de chaque période i

$$SS_i = z_i \cdot \sqrt{L} \cdot \sigma_i \quad (7)$$

P_i = Prévision pour la période i

d_i = Demande pour la période i

a = Nombre d'années (ou périodes équivalentes) de données

SS_i = Stocks de sécurité pour la période i

z_i = Coefficient de sécurité pour la période i

σ_i = Écart type de la période i

Avec la démarche précédente, les stocks de sécurité se calculent indépendamment pour chaque période selon l'écart type de la demande et le niveau de service désiré.

2.3.2 Scott W. Hadley (2004)

La démarche de Hadley se différencie du modèle de base puisqu'elle prend en considération le niveau de couverture des stocks disponibles. La nouvelle approche soumise dans l'article tente de répondre à une question principale : « *Quelle quantité de stocks est-il nécessaire pour répondre au moins à k % de la demande périodique y % du temps ?* » (traduction libre, Hadley, 2004, p.30). Afin d'y répondre, le modèle de Hadley se base sur les données historiques et les prévisions de la demande, tel qu'il est présenté dans la démarche suivante.

Démarche en trois phases :

1) Analyse de la couverture de la demande par les stocks disponibles

$$C_{Di} = q_i / d_i \quad (8)$$

$$w_{Di} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{Di}}{n} \quad (9)$$

$$\sigma_{Di} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n C_{Di}^2 - (\sum_{i=1}^n C_{Di})^2}{n(n-1)}} \quad (10)$$

$$m_{Di} = \text{loi normale inverse} ([1 - y]; w_{Di}; \sigma_{Di}) \quad (11)$$

$$g_{Di} = k - m_{Di} \quad (12)$$

C_{Di} = Couverture de la demande pour la période i

q_i = Quantité de stocks disponible pour la période i

d_i = Demande pour la période i

w_{Di} = Moyenne des couvertures de la demande pour les périodes 1 à n

σ_{Di} = Écart type des couvertures de la demande pour les périodes 1 à n

m_{Di} = Proportion de couverture de la demande pour un niveau de service y

g_{Di} = L'écart (*gap*) de couverture par les stocks disponibles pour la période i

y = % des périodes qui ont atteint k

k = % de la demande satisfaite

La deuxième phase de la méthode ressemble beaucoup à la première phase, à l'exception que l'analyse de la couverture se fait à partir des prévisions plutôt qu'à partir de la demande actuelle. Cette variante est logique puisqu'au moment de calculer le niveau du stock de sécurité à conserver pour une période i , la demande pour cette même période n'est pas encore connue. Donc, Hadley propose d'établir la quantité de stock de sécurité à l'aide de l'écart de couverture des stocks disponible ainsi que de l'écart de couverture de la prévision. La formule (18) sert à ce calcul. De plus, il est important de signaler que les stocks de sécurité sont dynamiques puisque les prévisions sont prises en considération. En outre, les moyennes et les écarts types tiennent compte de toutes les données historiques. Nous pouvons voir la représentation Excel du modèle à l'annexe 2.

2) Analyse de la couverture de la demande par les prévisions

$$C_{P_i} = P_i / d_i \quad (13)$$

$$w_{P_i} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{P_i}}{n} \quad (14)$$

$$\sigma_{P_i} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n C_{P_i}^2 - (\sum_{i=1}^n C_{P_i})^2}{n(n-1)}} \quad (15)$$

$$m_{P_i} = \text{loi normale inverse} ([1 - y]; w_{P_i}; \sigma_{P_i}) \quad (16)$$

$$g_{P_i} = 1 - m_{P_i} \quad (17)$$

3) Calcul des stocks de sécurité

$$SS_i = g_{D_i} \cdot P_i \cdot (1 + g_{P_i}) \quad (18)$$

C_{P_i} = Couverture de la demande par les prévisions pour la période i

P_i = Prévisions de la demande pour la période i

w_{P_i} = Moyenne des couvertures des prévisions pour les périodes 1 à n

σ_{P_i} = Écart type des couvertures des prévisions pour les périodes 1 à n

m_{P_i} = Proportion de couverture par les prévisions pour un niveau de service y

g_{P_i} = L'écart (*gap*) de couverture de la demande par les prévisions pour la période i

Tout bien considéré, cette méthode de calcul du stock de sécurité cherche à combler les écarts entre le niveau de stocks et la demande ainsi qu'entre la prévision et la demande. Ce qui requiert que nous déterminions la proportion de couverture de la demande (m_{Di}) afin de connaître la différence avec notre objectif de k %. Ce pourcentage de la demande correspond à une première partie des stocks de sécurité. Nous devons ensuite établir la proportion de couverture par les prévisions (m_{Pi}) pour calculer l'écart permettant d'atteindre une couverture entière de la demande. Ce deuxième pourcentage est l'autre partie des stocks de sécurité.

La démarche de Hadley (2004) cherche à remédier à quelques lacunes principales du modèle de base. L'auteur cherche tout d'abord à exprimer la distribution de la demande en tenant en compte des saisonnalités et des tendances, en utilisant des stocks de sécurité dynamiques et un niveau de service selon la couverture de la demande. D'autre part, les indices qu'utilise Hadley permettent au stock de sécurité de suivre proportionnellement les demandes futures. En effet, dans les conditions où les prévisions sont plus grandes que les demandes réelles, les stocks de sécurité diminuent puisque la disponibilité des produits ne sera pas affectée.

Finalement, un test effectué par Hadley, afin de comparer les performances de sa nouvelle démarche, montre que le modèle permet de réduire les stocks de sécurité à entreposer tout en permettant d'atteindre le niveau de service et le niveau de couverture désiré.

2.3.3 James A. G. Krupp (1997)

L'heuristique proposée par Krupp est une approche statistique qui s'appuie sur le modèle de base et qui gère les variations de la demande dans un contexte de demande instable. Cependant, comme nous le constatons avec l'équation (19), l'écart type de la demande, qui est la variable statistique qui prend en considération les erreurs de prévisions, est remplacé par l'écart absolu moyen (EAM).

$$SS = z \cdot (EAM) \cdot \sqrt{L} \quad (19)$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - d_i|}{n} \quad (20)$$

Ce modèle permet d'obtenir un niveau de stock de sécurité fixe qui ne répond pas proportionnellement aux demandes futures. En effet, pour une demande instable, la moyenne des demandes passées durant les délais de livraisons n'est pas garante du futur et c'est pourquoi il est préférable d'utiliser la prévision actuelle plutôt que la moyenne des demandes passées (Krupp, 1997; Schuster & Finch, 1990). Pour pallier ce manque, Krupp a modifié le modèle de base en exprimant l'écart absolu moyen en unité de temps sur un horizon roulant. En divisant l'écart absolu par les prévisions, il ressort un nouvel indice d'écart absolu pour chaque période. Par la suite, à l'aide de la moyenne mobile des indices d'écart absolu périodique, l'*EAM* devient un *TBM* (*Time-Based Mean Absolute Deviation*). Ainsi, Krupp transforme le modèle fixe en modèle de gestion des stocks dynamique tel qu'il a été représenté par les équations (21) et (22).

$$SS_t = z \cdot (TBM_n \cdot P_{t+1}) \cdot \sqrt{L} \quad (21)$$

$$TBM_n = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|P_i - d_i|}{P_i}}{n} \quad (22)$$

t = Période de planification future

D'une part, en utilisant la prévision future (P_{t+1}), les stocks de sécurité disponible à la fin de la période t correspondent aux besoins de la période suivante $t+1$. Par conséquent, les stocks de sécurité suivent la courbe de la demande.

D'un autre côté, dans un contexte de demande instable, la moyenne correspond rarement aux prévisions. Pour mesurer le degré de variabilité des erreurs de prévisions, Krupp utilise un indice de signal d'erreurs, *FETS* (*Forecast Errors Tracking Signal*) qui se calcule à l'aide de l'équation (25). De plus, cet indice n'utilisant pas les données en valeur absolue, les stocks de sécurité sont davantage en lien avec les erreurs. En effet,

les valeurs absolues ne permettent pas de définir si la prévision était plus grande ou plus petite que la demande réelle. Donc, si la valeur l'*EAM* ou le *TBM* augmente les stocks de sécurité augmentent également, ce qui pourrait entraîner des surplus de stocks. Étant donné que l'hypothèse des stocks de sécurité est de se protéger contre les demandes supplémentaires ($d_i > P_i$), lorsque l'écart est négatif le niveau de stocks de sécurité devrait décroître (Schuster, Unahabhokha, & Allen, 2005). Pour régler cette déficience, Krupp ajoute donc un facteur de réduction qui laissera les stocks de sécurité suivre les erreurs de prévisions et qui permettra de se conformer aux deux conditions suivantes.

Si $P_i - d_i < 0$ donc ($P_i < d_i$), alors SS augmentent

Si $P_i - d_i \geq 0$ donc ($P_i \geq d_i$), alors SS diminuent

Pour ce faire, le modèle de base avec lequel a débuté Krupp a été modifié en ajoutant un facteur de réduction comme l'indique l'équation (23).

$$SS_i = z \cdot (TBM_n \cdot P_{i+1}) \cdot \sqrt{L} \cdot s \quad (23)$$

$$s = \begin{cases} (1 - FETS) & \text{si } (0 < FETS) \\ 1 & \text{si non} \end{cases} \quad (24)$$

$$FETS_n = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i - d_i}{P_i} \right) / n}{TBM_n} \quad (25)$$

s = Facteur de réduction

$FETS$ = Indice de signal d'erreurs

Le facteur de réduction permet de diminuer le niveau de stocks à conserver lorsque l'écart entre la prévision et la demande est négatif. C'est pourquoi la formule (24) indique que la valeur de s est de 1 dans le cas contraire, ce qui aura un effet neutre sur les stocks de sécurité. Krupp propose également de calculer le facteur de réduction en

utilisant la racine carrée du *FETS* pour accélérer l'effet de la réduction des stocks de sécurité. L'annexe 3 schématise le modèle complet de Krupp dans un chiffrier Excel.

En définitive, il ressort de ce modèle un outil stratégique qui permet aux entreprises avec une demande instable de maintenir un niveau de service acceptable. D'ailleurs, Schuster utilise le modèle de Krupp dans deux études différentes. En premier lieu, il présente une technique de planification de la production à l'aide d'une simulation dans un chiffrier (Schuster & Finch, 1990). La seconde recherche porte sur l'amélioration de la stabilité du MRP à l'aide des stocks de sécurité dynamiques (Schuster et al., 2005). Cette dernière a obtenu des résultats qui démontraient que les stocks de sécurité dynamiques dans un MRP augmentaient la stabilité de 32 %. Cependant, si la demande fait face à de très grandes variations, ce modèle peut avoir des répercussions sur la planification et la capacité. Il faut donc faire l'arbitrage entre le niveau de service et l'instabilité au niveau des stocks.

Les dernières sections de ce chapitre de recensions décrivent d'autres concepts influençant le niveau du stock de sécurité à conserver pour répondre aux besoins des clients.

2.4 Autres concepts afférents aux stocks de sécurité

Sans être en lien direct avec notre problématique, les concepts suivants se doivent d'être abordés puisqu'ils sont amplement étudiés dans le domaine de la gestion des stocks de sécurité. Nous présentons les sources de variabilité des délais de réapprovisionnement et des tailles des lots ainsi que d'autres recherches pertinentes.

2.4.1 Variabilité des délais de réapprovisionnement

La variabilité des délais d'approvisionnement est une des sources d'incertitude qui intéresse largement les chercheurs. Par exemple, Talluri, Cetin, et Gardner (2004) suggèrent un modèle qui considère la variabilité de la demande et du délai de

réapprovisionnement. Pour ce faire, la méthode s'appuie sur le modèle de base et ajoute la demande moyenne périodique et l'écart type des délais de réapprovisionnement, comme l'illustre l'équation (26).

$$SS = F_s^{-1} \cdot CSL \cdot \sigma_L \quad (26)$$

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_d^2 \cdot L + \mu^2 \cdot \sigma_s^2} \quad (27)$$

F_s^{-1} = Distribution normale inverse

CSL = Niveau de service par période

σ_L = Écart type de la demande et des délais de réapprovisionnement

μ = Demande moyenne par période

σ_s = Écart type des délais de réapprovisionnement

Les conclusions tirées de cette étude montrent que le modèle présenté permet aux entreprises, dont les délais sont variables ou non, d'abaisser considérablement le niveau de stocks sans toutefois changer le niveau de service.

Selon Eppen et Martin (1988), les résultats positifs que fournit ce modèle demandent que les délais de réapprovisionnement suivent une distribution selon la loi normale. L'étude montre que la probabilité d'être en rupture de stock est élevée si les entreprises présument de façon erronée l'hypothèse de la distribution normale. D'ailleurs, en lien avec cet article, Chopra, Reinhardt et Dada (2004) ont étudié l'effet de la variabilité de délais de réapprovisionnement sur les stocks de sécurité et les conséquences sur les décisions de gestion. Partant des conclusions de Eppen et Martin (1988), les auteurs ont exploré l'influence de la distribution des délais de réapprovisionnement. Leurs analyses numériques ont démontré que l'utilisation de l'hypothèse de la distribution normale offre de bons résultats lorsque les délais suivent ce type de distribution. Néanmoins, l'étude tire une autre conclusion concernant les stocks de sécurité et les délais (Chopra et al., 2004, p.15):

Our analytical results and numerical experiments, however, indicate that for cycle service level between 50% and a threshold, the prescriptions of the normal approximation are flawed, and decreasing the lead time uncertainty, in fact, increases

the required safety stocks. In this range of cycle service level, a manager who wants to decrease inventories should focus on decreasing lead times rather than lead time variability.

2.4.2 Effet de la taille des lots

Un second facteur étudié est celui de l'influence des tailles de lots. En effet, les chercheurs remarquent que l'avènement du juste-à-temps entraîne la diminution des quantités commandées et conséquemment l'augmentation des risques de pénurie. Malgré que les stocks de sécurité ne semblent pas être compatibles avec les objectifs du juste-à-temps, l'article de Natarajan et Goyal (1994) montre qu'ils sont souvent un mal nécessaire et qu'il est difficile de les éliminer. Pour étudier les répercussions des tailles de lots sur les stocks de sécurité et surtout pour déterminer la quantité à conserver, les auteurs ont observé six modèles variés qui calculent le stock de sécurité. Il est nécessaire de signaler que les méthodes sélectionnées dans la littérature se rapportent toutes au système de gestion du point de commande. Conséquemment, les six modèles ne se diversifient que par les équations qui calculent le point de commande (R) et de ces résultats, ils quantifient les stocks de sécurité. Les équations (28) et (29) expliquent la logique des différentes approches.

$$SS = z \cdot \sigma_d \quad (28)$$

$$R = \mu + SS \quad (29)$$

Donc, les six modèles calculent la probabilité du risque de pénurie pour une période, à l'aide de diverses équations de tailles de lots. Puis, ils utilisent ces formules pour connaître la quantité de stock de sécurité à maintenir. Pour plus de détails sur les équations se rapportant aux démarches de calcul des points de commande, chacun des modèles est expliqué dans l'article (voir Natarajan & Goyal, 1994).

Il en ressort de cette recherche que les stocks de sécurité pallient pour l'augmentation des risques de pénurie provoqués par la diminution des quantités commandées. Pour chacun des modèles, nous pouvons remarquer la notion d'arbitrage entre les stocks de

sécurité et les tailles de lots qui signifient aussi un équilibre entre les coûts de gestion des stocks, c'est-à-dire les coûts de stockage pour les unités supplémentaires et les coûts de pénurie pour les unités manquantes.

2.4.3 Autres recherches

La variabilité des délais de réapprovisionnement et les tailles de lots sont des thèmes dominants de la littérature. Or, nous pouvons relever d'autres recherches de ce type telles que Mapes (1993) qui étudie l'influence de la capacité limitée des lieux de production sur les stocks de sécurité, tandis que Tallon (1993) et Das (1999) observent l'impact de la centralisation des stocks de sécurité.

On constate également, au contraire des modèles présentés précédemment, que certaines approches sont spécialement développées pour gérer les stocks de sécurité à l'intérieur d'un système MRP. En principe, les entreprises n'auraient pas besoin de stock de sécurité quand la demande est dépendante³. Néanmoins, en pratique les systèmes MRP prennent souvent en considération les stocks de sécurité parce que la production fait face à de nombreuses sources d'incertitudes, comme il a été cité au début de la section 2.1 (Guide Jr & Srivastava, 2000).

L'heuristique développée par Carlson et Yano (1986) est un exemple de modèle reconnu pour gérer la variabilité de la demande dans un système MRP. Il permet de déterminer le niveau du stock de sécurité nécessaire dans un contexte de mises en course « urgentes » causées par la planification de l'ordonnancement à chaque période. Effectivement, les révisions fréquentes de la planification augmentent l'instabilité du système MRP qui diminue son efficacité et ainsi augmente ses besoins en stock de sécurité (Chu & Hayya, 1988). Carlson et Yano (1986) ont montré que, dans un système MRP, les stocks de sécurité au niveau des composants permettaient de réduire considérablement le nombre

³ « Demande indépendante doit être prévue tandis que la demande dépendante peut être calculée puisqu'elle est directement reliée à un autre produit » (Plossl 1994, p.21)

de mises en course « urgentes » nécessaires et par le fait même de diminuer les coûts de production.

Comme le système de gestion MRP est l'un des plus utilisés pour la planification et le contrôle de la production et des stocks, plusieurs chercheurs ont exploré diverses façons de gérer l'incertitude dans les MRP. Conséquemment, la littérature est abondante et nous ne pouvons aborder tous les concepts présents. Cependant, certains textes de références font des recensions pertinentes de plusieurs modèles selon leurs sources d'incertitudes et leur stratégie de gestion (voir Caridi & Cigolini, 2002; Chu & Hayya, 1988; Guide Jr & Srivastava, 2000; Murthy & Ma, 1991).

Somme toute, les quelques concepts décrits (délai de réapprovisionnement, taille de lots, capacité, système de gestion des stocks) sont des paramètres et des variables de décisions plus ou moins communs à la grande majorité des études concernant les stocks de sécurité (Silver, Pyke, & Peterson, 1998). Ces éléments se comportent toutefois différemment en fonction de l'environnement des entreprises et de leurs systèmes de gestion des stocks. Les détails de certains paramètres seront présentés au chapitre 3 afin de définir notre problème.

2.5 Conclusion

Sur ce, nous concluons cette revue de la littérature qui a permis d'aborder certains concepts afférents aux stocks de sécurité, mais qui a surtout permis d'exposer les modèles qui sont étudiés dans les chapitres suivants. Les trois modèles ont été présentés en ordre croissant de complexité. Nous avons sélectionné les articles pour lesquels les stocks de sécurité sont dynamiques étant donné que le modèle interne de Yoplait employait cette démarche. Par la suite, nous allons analyser la performance des différentes méthodes ainsi que celle du nouveau modèle, à l'aide des bases de données de Yoplait qui fait face à un contexte de demande instable. Toutefois, avant de faire l'analyse comparative des modèles, il est important d'établir notre méthodologie dans le prochain chapitre.

Chapitre 3

Méthodologie

Le chapitre 3 porte sur la méthodologie de notre recherche. Nous commençons en expliquant l'approche de résolution choisie, puis nous décrivons l'origine des données. Par la suite, les éléments importants pour la modélisation sont exposés. Chacun des points abordés permet de définir notre problème en établissant les paramètres et les variables de décisions pertinents. Les critères de comparaison expliqués subséquentment permettront, lors du chapitre de l'analyse, de comparer les performances des différents modèles. Finalement, nous précisons notre démarche expérimentale.

3.1 Approche de résolution

Comme mentionné précédemment, l'objectif de ce mémoire est d'élaborer un nouveau modèle de gestion des stocks de sécurité et de comparer ses performances avec trois différentes méthodes présentes dans la littérature ainsi qu'avec la méthode interne de Yoplait. De plus, cette analyse s'établit dans un contexte de demande instable. Pour évaluer les stocks de sécurité, deux options sont possibles :

- 1) Approche analytique
- 2) Approche par simulation

Chacune des options offre des avantages et des inconvénients respectifs (Zizka, 2005). Tout d'abord, l'approche analytique a un aspect restrictif du problème, ce qui veut dire que la plupart des méthodes ne peuvent gérer qu'une à deux sources d'incertitude à la fois (Murthy & Ma, 1991). De plus, Zizka (2005) assume que les limites des méthodes

analytiques proviennent surtout des hypothèses. En effet, ce type de recherche présume souvent que la demande suit une loi normale. En outre, considérant une seule source d'incertitude les autres aspects du problème tel que les délais et les tailles de lots deviennent des éléments fixes qui n'influencent pas le niveau de stocks de sécurité, sinon le modèle devient trop complexe et pas pratique. Cependant, il reste que cette approche est souvent privilégiée par les gestionnaires puisqu'elle est relativement simple. Ils ont juste à modifier certains paramètres dans les formules et ils obtiennent facilement le niveau du stock de sécurité à conserver (Zizka, 2005).

D'un autre côté, la simulation est plutôt considérée comme un outil descriptif. En effet, c'est une bonne approche pour vérifier l'influence de certaines variables sur les stocks de sécurité (Zizka, 2005). Par cette démarche, un système réel est modélisé et les chercheurs expérimentent différentes options pour mieux comprendre les comportements du système. De plus, la simulation est parfois la seule façon de gérer des situations plus complexes, par exemple plusieurs produits ou plusieurs sources d'incertitude à la fois (Murthy & Ma, 1991).

Par conséquent, notre démarche de résolution n'utilise pas le modèle analytique puisque nous ne supposons pas que la demande suit une distribution théorique. Ainsi avec le simulateur, nous pourrions comparer les performances des différents modèles. La figure 3.1 représente globalement notre modélisation.

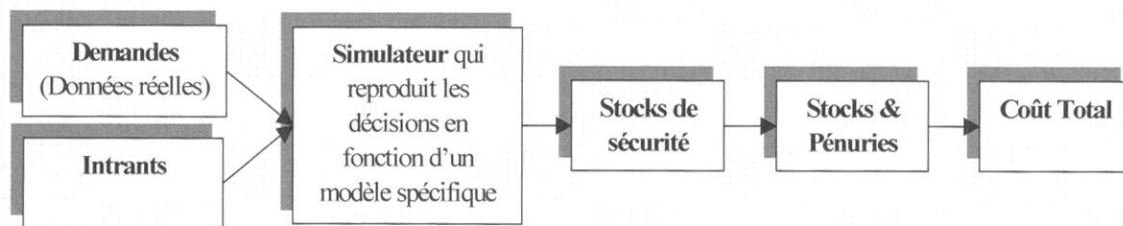


Figure 3.1 Schéma de la modélisation

3.2 Origines des données

Dans cette section, nous découvrons une fois encore que deux options s'offrent à nous en ce qui concerne le choix des données. L'analyse des méthodes de gestion des stocks de sécurité peut se faire à l'aide de :

- 1) Données réelles
- 2) Données générées

Dans son mémoire, Omar El yamani (2004, p.24) définit la première option comme étant « des données recueillies auprès d'entreprises ou extraites d'études précédentes » tandis que les données de la deuxième option sont « générées par des distributions statistiques. » La collaboration d'une entreprise dans notre recherche nous permet d'accéder à des bases de données réelles dont l'environnement correspond à une demande instable. C'est pourquoi en toute cohérence nous avons recueilli nos données chez Yoplait. De plus, la littérature en gestion des stocks de sécurité dispose de peu de recherches se rapportant à des données provenant d'entreprises qui pourtant procurent un peu de réalisme à la solution (Guide Jr & Srivastava, 2000). Nous pouvons ainsi observer les résultats de notre nouveau modèle dans un environnement existant. L'explication des produits sélectionnés sera faite dans le chapitre 4 et nous détaillons les différents paramètres et variables de modélisation dans les prochaines sections.

3.3 Modélisation

Les sections suivantes nous permettent de définir les différents éléments nécessaires à la modélisation des méthodes exploitées dans notre recherche.

3.3.1 Intrants

Chacun des intrants définis subséquentement a un effet sur le niveau du stock de sécurité et c'est pourquoi leur compréhension et leur uniformité permettent de soumettre une

analyse adéquate des résultats de chacune des méthodes présentes dans ce mémoire. Les intrants suivants sont communs pour la majorité des modèles.

- P_i : Les prévisions pour chacune des articles pour une période i . Les prévisions aident essentiellement à anticiper les demandes futures et ainsi planifier la capacité et les ressources en conséquence (Nollet et al., 1994). Les stocks de sécurité servent majoritairement à combler les erreurs de prévisions. Les prévisions de Yoplait s'étendent sur un horizon de six mois, mais elles sont révisées hebdomadairement et explosées sur une base quotidienne.
- d_i : Les demandes pour chacune des articles pour une période i . Les demandes des produits finis sont fournies, et à l'aide de la nomenclature, nous déterminons les demandes de chacune des articles.
- e_i : Les erreurs de prévisions pour une période i . Une erreur est la différence entre la prévision et la demande réelle. On remarque deux types d'erreurs ; les variations aléatoires et les biais (Arnold & Chapman, 2004). Le biais signifie que les prévisions seront toujours plus élevées ou plus basses que les demandes périodiques réelles. Dans ces conditions, il serait avantageux d'améliorer les prévisions pour obtenir plus de précisions (Arnold & Chapman, 2004). Les stocks de sécurité devraient surtout protéger les entreprises contre les variations aléatoires de la demande.
- L : Les délais de réapprovisionnement incluent davantage d'éléments que les délais de livraisons. En effet, on considère normalement la préparation de la commande, le temps d'attente, le temps de transport, la réception et le temps d'inspection. C'est la somme de ces différents concepts qui équivaut au délai de réapprovisionnement.
- Le niveau de service correspond à la probabilité de pénurie que l'entreprise accepte de tolérer compte tenu de l'arbitrage entre les coûts de pénurie et les coûts de stockage. Dans une majorité des cas, le *fill rate* est la mesure utilisée, c'est-à-dire qu'on détermine le « pourcentage de la

demande totale satisfaite » (Hadley, 2004, p.28). La définition de la demande satisfaite peut varier d'un environnement à l'autre, donc l'entreprise peut mesurer le nombre de livraison faite en temps ou encore le nombre de commandes livrées relativement au nombre de commandes reçues pour la période. Nous pouvons également interpréter le niveau de service comme «le pourcentage de produits expédiés au client sur réception de la commande» (Villers, Saint-Pierre, Létourneau, & Duguay, 1993). Ce deuxième concept est celui que nous utilisons dans le présent mémoire. De plus, dans le modèle de Hadley (2004) nous utilisons aussi un niveau de service de couverture, c'est-à-dire le « pourcentage de la période qui a répondu à 100% du *fill rate* » (Hadley, 2004, p.28)

- z : Coefficient de sécurité qui représente le niveau de service selon la loi normale centrée.
- C_s : Coût de stockage unitaire par unité de temps.
- C_p : Coût de pénurie unitaire pour chaque article.
 - Nous avons recours aux coûts pour analyser les résultats et ainsi démontrer le potentiel réel de la méthode et non pour calculer les stocks de sécurité. Il est important de noter que les coûts unitaires utilisés pour notre étude sont fictifs puisque l'entreprise n'était pas en mesure de nous fournir les coûts réels.

3.3.2 Extrant

Les modèles fournissent un seul paramètre de sortie qui servira à notre analyse dans le chapitre 5. L'extrant est le suivant :

- SS : Les quantités de stock de sécurité à conserver pour chaque période i . Ce paramètre est le résultat des modèles de gestion de stock de sécurité dynamique.

Les intrants et l'extrait présentés servent à développer les modèles dans un chiffrier Excel. La figure 3.2 reprend le schéma de modélisation précédent, mais de façon plus détaillée en ajoutant les intrants.

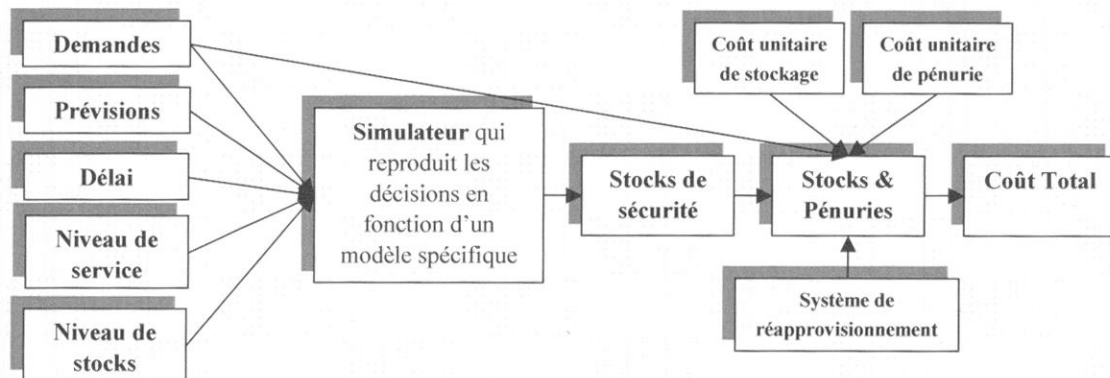


Figure 3.2 Schéma détaillé de la modélisation

3.3.3 Critère de comparaison

Une fois les niveaux du stock de sécurité pour un même niveau de service défini, les comparaisons des résultats peuvent s'effectuer en dollars ou en unités. Lorsque les résultats sont en unités, les chercheurs observent davantage l'effet des modèles sur le niveau de stock de sécurité moyen. Par contre, en évaluant les différents modèles en dollars, il semble possible d'inclure les répercussions financières des pénuries. De cette façon, nous pouvons pénaliser les modèles les moins performants. Donc, les coûts unitaires de stockage et les coûts unitaires de pénurie permettent d'établir les coûts périodiques et ainsi comparer les modèles sélectionnés. La formule prend la forme suivante : $C_s + C_p = CT$. Les coûts de commandes et les coûts d'acquisitions sont normalement considérés dans la formule du coût total des modèles de gestion des stocks. Toutefois, pour la gestion des stocks de sécurité, ces coûts n'ont pas d'impact direct. En effet, les réductions de prix sur quantité, par exemple, vont normalement influencer le niveau de stocks à entreposer, donc par ricochet le niveau du stock de sécurité va également varier. C'est pourquoi les coûts de commande et d'acquisition ne sont pas inclus.

Avec le niveau de stock de sécurité par période et les valeurs en dollars, nous pouvons ainsi déterminer le modèle le plus performant dans un contexte de demande instable. A priori, ces résultats serviront d'outils pour les gestionnaires. Ensuite, nous utilisons un modèle sujet à certaines modifications, dans le but d'élaborer une nouvelle démarche plus efficace.

3.3.4 Procédure expérimentale

La première étape de notre procédure est de reproduire, dans un chiffrier, les différents modèles sélectionnés, puis de les tester pour s'assurer que les modèles soient conformes. Par conséquent, nous nous servons des données et des résultats offerts dans les articles, dans la mesure où ils sont présentés.

Dans un deuxième temps, nous utilisons la simulation pour faire la collecte des données nécessaires à notre analyse comparative. Pour ce faire, l'entreprise étudiée a pu fournir deux années de données telles que les demandes, les prévisions et les niveaux de stocks pour la plupart des articles.

Ensuite, tout dépendant du modèle, nous faisons varier les paramètres dans le but de déterminer leurs impacts sur les coûts de chacun. Pour la majorité des modèles, le niveau de service est le seul paramètre qui varie. Donc, pour calculer les paramètres, nous employons les données de la première année par souci de bien inclure les saisonnalités et les variations de la demande. Pour chaque modèle, nous testons plusieurs configurations, puis nous retenons la meilleure, c'est-à-dire celle qui minimise le coût total annuel.

Chaque modèle va être analysé à l'aide de 13 articles. Le nombre 13 a été choisi en accord avec Yoplait afin d'avoir un aperçu significatif des résultats et des impacts de chacun des modèles. De plus, les articles étudiés semblent être représentatifs de l'ensemble des produits de l'entreprise.

Finalement, la dernière étape de cette procédure consiste à relever les résultats de chaque modèle, pour la deuxième année de données ; c'est-à-dire les quantités de stocks de sécurité, les coûts de pénurie, les coûts de stockage et bien sûr les coûts totaux. C'est à partir de ces résultats que nous effectuons l'analyse au chapitre 5.

3.4 Conclusion

En conclusion, l'objectif de notre modélisation est de déterminer la quantité de stocks de sécurité qui minimise le coût total selon un certain niveau de service que nous fixons à l'aide de la première année de données. Une fois les coûts totaux de chaque article et de chaque modèle calculés pour la deuxième année, nous pouvons trancher sur le modèle le plus efficace et le plus performant dans un contexte de demande instable. Toutefois, il est possible qu'un modèle soit performant pour un article et ne le soit pas pour un autre. Nous devons alors observer l'envergure des écarts et comparer les caractéristiques de chacun. Une fois les résultats obtenus, il est possible de tester quelques modifications des modèles pour obtenir une nouvelle méthode de calcul de stock de sécurité.

Chapitre 4

Méthode de résolution

Le contexte de l'étude et la méthodologie ayant été expliqués, il nous faut maintenant développer la méthode de résolution de la problématique. D'ores et déjà, nous avons présenté trois modèles de gestion des stocks de sécurité dynamiques provenant de la littérature. Dans ce chapitre, nous proposerons un autre modèle, soit celui utilisé par Yoplait pour répondre au contexte de demande instable. Avant de se lancer dans les explications du modèle, nous traitons de la logique générale de la résolution, de quelques détails de programmation et nous présentons brièvement les produits sélectionnés pour l'étude.

4.1 Logique générale

Dans cette partie, nous allons expliquer le mécanisme général de notre démarche de résolution.

Premièrement, les formules de chaque modèle sont mises en application afin de déterminer les différentes valeurs des paramètres nécessaires. Les stocks de sécurité et les coûts sont calculés dans les fichiers (calculs.xls) en considérant les données fixes de chacun des modèles, telles que le délai de réapprovisionnement. Ensuite, les données pour la première année sont récupérées par le fichier (paramètres.xls). Une fois les paramètres assignés, nous aurons à notre disposition les intrants de notre simulateur :

- Le délai de réapprovisionnement fixe
- Le niveau de service

Ces deux paramètres sont les plus importants, mais seul le niveau de service doit être établi à l'aide de calculs. En effet, les délais de réapprovisionnement de chacune des produits sont déterministes et fournis par l'entreprise. Tandis que le niveau de service est fixé en minimisant le coût total annuel pour chaque modèle. Ainsi, nous allons évaluer les quantités moyennes de stocks de sécurité et les coûts totaux selon une échelle de quatre niveaux de service, c'est-à-dire pour 90 %, 95 %, 98 % et 99 %. Ces pourcentages de satisfaction de la demande sont le plus fréquemment utilisés dans les différentes études. Dans le cas du modèle de Hadley (2004), des combinaisons des deux différents types de mesure de niveau de service ont permis de déterminer les paramètres, c'est-à-dire des valeurs de k de 90 %, 95 %, 98 % et 99 % pour évaluer la satisfaction de la demande et des valeurs de y égale à 80 %, 90 %, 95 % et 98 % pour la mesure de couverture.

Par la suite, nous pouvons lancer la simulation des divers articles pour la deuxième année afin de générer les stocks de sécurité dynamiques. Le but de la simulation est d'obtenir le niveau de stocks de sécurité convenable selon les paramètres déjà calculés. Une fois la période de simulation terminée nous pouvons calculer les coûts de stockage, les coûts de pénurie et les coûts totaux, et pour ce faire, nous avons reproduit, de façon simplifiée, le système de réapprovisionnement de Yoplait, représenté à l'annexe 4.

L'entreprise utilise un système de planification échelonnée dans le temps qui s'apparente à un système de point de commande, mais qui fluctue selon le niveau de stocks projetés (Nollet et al., 1994, p.299). D'une part, l'entreprise étudiée fixe son point de commande selon un nombre de jours de couverture conformément à un profil prédéfini pour chaque produit. Le nombre de jours de couverture représente la quantité de stocks de sécurité à conserver pour chaque période. Par conséquent, comme le niveau du stock de sécurité est dynamique le point de commande le devient automatiquement. Ainsi lorsque la différence entre le stock disponible au temps t et les prévisions de la demande durant le délai au temps $t+n$ sera plus petite que les stocks de sécurité de cette période, une commande sera lancée.

D'autre part, la quantité à commander est définie par une taille de lot fixe pour la majorité des produits. Dans certains cas, Yoplait utilise également un nombre de jours de couverture pour déterminer la quantité à commander, mais dans le cadre de ce mémoire nous sommes restreints à des tailles de lot fixe. Ainsi une fois les commandes et les réceptions déterminées pour chaque période, nous avons recueilli les coûts totaux tels qu'ils sont définis par les formules ci-dessous :

$$CT = \sum_{i=1}^{52} C_{pi} + \sum_{i=1}^{52} C_{si} \quad (30)$$

$$C_{si} = SD_i \cdot c_s \quad (31)$$

$$C_{pi} = BO_i \cdot c_p \quad (32)$$

CT = Coût total annuel

C_{pi} = Coût de pénurie pour la période i

C_{si} = Coût de stockage pour la période i

c_s = Coût de stockage unitaire

c_p = Coût de pénurie unitaire

SD_i = Stock disponible pour la période i

BO_i = Unités en pénurie à la période i

De cette manière, nous pouvons analyser les performances des modèles sélectionnés et préconiser un modèle selon les résultats obtenus.

4.1.1 Détails des programmes

Pour la simulation, les formules et les relations mathématiques de chaque modèle sont reproduites dans un chiffrier Excel.

Tels qu'il a été mentionné précédemment, les calculs préliminaires et les formules des différents modèles sont enregistrés dans les fichiers « calcul.xls ». Puis nous avons récupéré les quantités moyennes et les coûts totaux des articles, pour la première année de données, dans un fichier « paramètres.xls ». Une fois les paramètres définis, les

résultats sont instantanés, car nous avons utilisé des formules simples avec les fonctions Excel sans faire appel à la programmation avancée.

La représentation détaillée des feuilles est incluse en annexes pour ne pas alourdir le présent document.

4.2 Identification des produits sélectionnés

Comme la majorité des matières premières, telle que le lait, la crème et le sucre, sont communes à tous les différents types des produits périssables, nous avons décidé de concentrer notre étude sur les articles d'emballages. De cette façon, il était plus accessible pour Yoplait de nous fournir des données précises, évitant ainsi les erreurs dans les quantités dues aux combinaisons de recettes. Mentionnons aussi que ce type de stocks se retrouve entièrement à l'usine de fabrication.

La sélection des produits a été faite par Yoplait en considérant les articles fréquemment soumis à des promotions de ventes. De plus, il fallait tenir compte que des produits avec une quantité raisonnable d'informations. En effet, les emballages changeant souvent chez Yoplait, nous devons opter pour des articles avec au moins deux années consécutives de données afin de pouvoir estimer les composantes saisonnières, s'il y a lieu.

4.3 Présentation du modèle de Yoplait

Dans la présente section, nous présentons la méthode de calcul de stocks de sécurité de Yoplait. Dans les faits, l'entreprise a quatre options pour se prémunir des variations de la demande : un nombre de jours de couverture de la demande, une quantité fixe, un délai de sécurité ou encore une combinaison de deux techniques. Les quantités fixes correspondent souvent à des besoins de production et cette quantité de stock de sécurité devient un minimum à conserver pour éviter que la production soit interrompue. Pour ce qui est des délais de sécurité, le système calcule une date cible de réapprovisionnement

puis devance simplement cette date du nombre de jours désiré pour se protéger. Cette technique est surtout utilisée pour les produits finis au centre de distribution.

Dans le cadre de notre étude, nous nous concentrons sur la méthode de couverture de la demande étant un modèle de gestion des stocks de sécurité dynamique. Ce calcul réagit avec le niveau de la demande. Parfois, cette méthode pourra être combinée également avec une quantité fixe sans enlever le caractère dynamique important pour notre recherche.

Les gestionnaires établissent, pour chaque article, un profil de couverture qui s'évalue en fonction de la moyenne quotidienne de prévision des « X » semaines suivantes. La formule ci-dessous généralise ce concept.

$$SS_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{j} \cdot pc \quad (33)$$

n = Nombre de semaines utilisées pour calculer la moyenne quotidienne

j = Nombre de jours dans n

pc = Profil de couverture théorique des stocks de sécurité (en jour)

L'entreprise agroalimentaire à recours à neuf types de profil de couverture, tels qu'ils sont présentés dans le tableau 4.1. Le système vise une couverture théorique, mais il est parfois possible d'atteindre la borne inférieure ou supérieure avant d'émettre un message d'action, lorsque les gestionnaires le jugent pertinent. La moyenne quotidienne s'établit selon les prévisions. Pour faciliter la compréhension, voici un exemple du profil n° 3. Au temps t , on calcule la somme des prévisions des deux prochaines semaines [$P_{t+1} + P_{t+2}$], puis on la divise par 14 jours pour obtenir la moyenne quotidienne. On multiplie cette dernière par le profil de couverture théorique, dans ce cas deux jours, pour obtenir la quantité de stock de sécurité à conserver pour cette période. Si cet article nécessite une quantité fixe, il faut alors simplement l'ajouter à la quantité obtenue. La représentation Excel du modèle est à l'annexe 5.

| # | Nombre de semaines (n) | Profil de couverture minimum (en jour) | Profil de couverture théorique (en jour) | Profil de couverture maximum (en jour) |
|---|------------------------|--|--|--|
| 1 | Moyenne 3 semaines | 10 | 10 | 25 |
| 2 | Moyenne 6 semaines | 10 | 20 | 25 |
| 3 | Moyenne 2 semaines | 2 | 2 | 3 |
| 4 | Moyenne 2 semaines | 3 | 3 | 4 |
| 5 | Moyenne 2 semaines | 5 | 5 | 7 |
| 6 | Moyenne 2 semaines | 1 | 1 | 1 |
| 7 | Moyenne 2 semaines | 7 | 7 | 9 |
| 8 | Moyenne 6 semaines | - | 21 | - |
| 9 | Moyenne 6 semaines | - | 35 | - |

Tableau 4.1 : Profils de couverture des stocks de sécurité de Yoplait

Cette technique est très simple à implanter et, pour l'instant, semble pleinement satisfaire les gestionnaires et les clients de l'entreprise. Il importe d'observer que cette méthode de calcul ne tient pas compte du niveau de service tel qu'il a été défini précédemment. Ce paramètre est reconnu comme étant essentiel pour assurer la disponibilité des produits et répondre aux objectifs. Toutefois, cette notion de niveau de service semble incluse dans les profils de couverture en fonction du nombre de jours de couverture théorique. De plus, nous pouvons constater aussi que les données historiques ne sont pas nécessaires au calcul. L'entreprise ne cherche pas à quantifier le stock de sécurité selon des écarts entre les prévisions et les demandes réelles.

Ce chapitre a expliqué le fonctionnement et la construction de notre simulation. De plus, nous avons décrit une quatrième méthode de calcul des stocks de sécurité dynamique, celle de Yoplait. Le prochain chapitre montre et analyse les résultats recueillis pour les différents modèles de calcul de stocks de sécurité. Puis, nous présentons également les résultats obtenus grâce à des améliorations effectuées sur les méthodes les plus efficaces.

Chapitre 5

Présentation et analyse des résultats

Dans les chapitres précédents, nous avons présenté les modèles, les fichiers utilisés ainsi que la logique de notre simulation. La section suivante sera consacrée aux résultats des différentes méthodes de calcul du stock de sécurité.

5.1 Comparaison et analyse des modèles

Comme mentionné antérieurement, la simulation a été effectuée à l'aide de deux années de données fournies par une entreprise du secteur de l'alimentation. Les 52 premières semaines ont servi à fixer les paramètres et les 52 suivantes génèrent les résultats afin d'évaluer la performance des divers modèles. Nous analysons les stocks de sécurité dans un contexte de demande instable avec cinq modèles (Modèle de base, Herrin, Hadley, Krupp et Yoplait) et à l'aide de 13 articles. Une fois les simulations complétées, nous relevons les moyennes des quantités de stocks de sécurité moyens et des coûts totaux ainsi que leurs écarts par rapport au modèle de base.

5.1.1 Présentation des paramètres de la simulation et des demandes

Pour faire l'analyse, nous avons pris les données de Yoplait, qui sont résumées dans le tableau 5.1, et nous avons reproduit leur système de réapprovisionnement. Le coût unitaire de pénurie de 2 \$ et le coût de stockage de 0,5 \$ sont constants et il est important de rappeler qu'ils sont fictifs puisque l'entreprise n'était pas en mesure de

nous les procurer. Les intrants suivants sont la base de nos calculs de stock de sécurité et des coûts totaux pour les différentes méthodes.

| Article | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-----------------------------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| Taille de lot | 50 400 | 821 996 | 5 000 | 50 000 | 4 608 | 4 608 | 716 800 | 30 000 | 50 000 | 554 664 | 554 664 | 277 332 | 70 000 |
| Stock de sécurité fixe | 3 000 | 138 666 | 3 000 | 4 000 | 2 500 | 2 500 | 72 000 | 1 000 | 4 000 | 138 666 | 138 666 | 138 666 | 4 800 |
| Profil de couverture (jour) | 3 | 2 | 35 | 2 | 10 | 35 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Délai de commande (jour) | 8 | 8 | 56 | 7 | 56 | 56 | 28 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Délai de commande (semaine) | 1,14 | 1,14 | 8 | 1 | 8 | 8 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tableau 5.1 Intrants de chaque article

Le contexte de notre étude concerne les demandes instables. Nous entendons par instable une demande dont l'écart type est élevé et/ou dont le niveau moyen fluctue de façon importante. Le tableau 5.2 présente les moyennes et les écarts types de chaque article ainsi que la proportion de l'écart type par rapport à la moyenne afin de bien visualiser la variabilité de la demande avec laquelle l'entreprise doit jongler quotidiennement.

| Article | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--------------------------|--------|---------|-------|--------|------|------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| Moyenne de la demande | 32 429 | 672 976 | 1 450 | 20 962 | 722 | 698 | 167167 | 10 448 | 45 427 | 455 579 | 340 682 | 170 081 | 76 764 |
| Écart type de la demande | 7 498 | 144 541 | 549 | 8 263 | 485 | 493 | 45 068 | 2 817 | 21 618 | 110 915 | 91 974 | 69 817 | 20 703 |
| Coefficient de variation | 0,23 | 0,21 | 0,38 | 0,39 | 0,67 | 0,71 | 0,27 | 0,27 | 0,48 | 0,24 | 0,27 | 0,41 | 0,27 |
| Demande fluctuante | oui | oui | oui | oui | - | - | oui | oui | oui | oui | oui | oui | oui |
| Demande très fluctuante | - | - | - | - | oui | oui | - | - | - | - | - | - | - |

Tableau 5.2 Caractéristique de la demande définissant la demande instable

Nous pouvons constater que l'écart type représente plus du quart de la moyenne pour la majorité des articles. Si une demande modérément stable peut se définir par un écart type égal à la racine carrée de la moyenne (El yamani, 2004), par conséquent nous pouvons affirmer en observant les coefficients de variation que les demandes étudiées sont vraiment instables.

À la suite de la première série de simulation, nous avons recueilli les niveaux de service qui minimisaient la quantité de stocks de sécurité moyens et le coût total. Le tableau 5.3 résume les résultats, mais les détails de ces 65 simulations (5 modèles testés avec 13 articles) se retrouve à l'annexe 6.

| Article | Modèle de base | Hadley | Herrin | Krupp | Yoplait (semaine ; jour) |
|---------|----------------|-------------|--------|-------|--------------------------|
| 1 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 3 |
| 2 | 90 % | 98 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 3 |
| 3 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 6 ; 35 |
| 4 | 90 % | 98 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 2 |
| 5 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 3 ; 10 |
| 6 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 6 ; 35 |
| 7 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 5 |
| 8 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 2 |
| 9 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 2 |
| 10 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 2 |
| 11 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 2 |
| 12 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 2 |
| 13 | 90 % | 80 % ; 90 % | 90 % | 90 % | 2 ; 2 |

Tableau 5.3 Niveaux de service qui minimisent les quantités de stocks de sécurité moyens et/ou les coûts totaux

Le niveau de service de 90 % est de façon générale celui qui minimise la quantité de stocks de sécurité et le coût total. Comme nous pouvons le constater, les coûts changent peu et parfois pas du tout d'un modèle à l'autre, surtout pour les coûts de pénurie. Corollairement, nous pouvons supposer que les niveaux de stocks en main et les tailles de lots ont un effet considérable sur nos résultats. En effet, souvent les quantités disponibles en stocks sont suffisantes pour répondre à la demande et c'est pourquoi le système diminue son point de réapprovisionnement pour réduire les coûts. Par conséquent, un niveau de service minimal permet de réduire les quantités à entreposer sans toutefois causer de pénuries.

5.1.2 Présentation des résultats

Les tableaux 5.4 à 5.8 exposent les résultats des simulations pour chacune des méthodes de calcul du stock de sécurité selon les intrants et les paramètres présentés ci-dessus. Nous présentons les quantités moyennes de stocks de sécurité et les coûts pour les 13

articles. Nous évaluons la performance des modèles en observant l'écart par rapport au modèle de base, afin de répondre à notre question de recherche principale qui est d'analyser la performance du modèle de base dans un contexte de demande instable. Les détails des résultats se retrouvent à l'annexe 7.

| | Quantité moyenne de SS | C _p | C _s | CT |
|----------------|------------------------|----------------|----------------|------------|
| Moyenne | 48 875 | 3 589 331 | 5 497 395 | 9 086 727 |
| 1 | 7 232 | 0 | 841 525 | 841 525 |
| 2 | 194 678 | 903 543 | 10 114 096 | 11 017 638 |
| 3 | 1 016 | 0 | 679 076 | 679 076 |
| 4 | 9 404 | 33 114 | 876 704 | 909 818 |
| 5 | 667 | 0 | 460 570 | 460 570 |
| 6 | 1 019 | 0 | 425 607 | 425 607 |
| 7 | 76 460 | 0 | 33 081 702 | 33 081 702 |
| 8 | 2 389 | 0 | 478 997 | 478 997 |
| 9 | 17 146 | 12 775 458 | 13 270 | 12 788 728 |
| 10 | 120 970 | 23 848 152 | 5 847 877 | 29 696 029 |
| 11 | 97 191 | 0 | 11 302 044 | 11 302 044 |
| 12 | 92 823 | 0 | 7 340 481 | 7 340 481 |
| 13 | 14 379 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 |

Tableau 5.4 Résultats du modèle de base

| | Quantité moyenne de SS | C _p | C _s | CT |
|--|------------------------|----------------|----------------|------------|
| Moyenne | 52 728 | 3 589 331 | 5 038 413 | 8 627 745 |
| Écart par rapport au modèle de base | -7,31 % | 0,00 % | 9,11 % | 5,32 % |
| 1 | 7 430 | 0 | 791 125 | 791 125 |
| 2 | 215 721 | 903 543 | 10 114 096 | 11 017 638 |
| 3 | 1 083 | 0 | 909 026 | 909 026 |
| 4 | 9 233 | 33 114 | 851 704 | 884 818 |
| 5 | 746 | 0 | 480 460 | 480 460 |
| 6 | 923 | 0 | 403 820 | 403 820 |
| 7 | 84 200 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 |
| 8 | 2 631 | 0 | 463 997 | 463 997 |
| 9 | 15 475 | 12 775 458 | 63 270 | 12 838 728 |
| 10 | 125 544 | 23 848 152 | 5 847 877 | 29 696 029 |
| 11 | 100 948 | 0 | 10 747 380 | 10 747 380 |
| 12 | 106 036 | 0 | 7 479 147 | 7 479 147 |
| 13 | 15 491 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 |

Tableau 5.5 Résultats du modèle de Herrin (2005)

Le modèle de Herrin permet d'améliorer le coût total de 5,32 %. Cependant, on remarque que la quantité moyenne de stock de sécurité est accrue, ce qui va dans le sens

contraire des résultats présentés dans l'article. Herrin avait réussi à réduire le niveau de stocks moyen de 47 % pour un même niveau de service. Bref, malgré une petite hausse du niveau de stock de sécurité, cette méthode obtient des gains financiers comparativement le modèle de base.

| | Quantité moyenne de SS | C _p | C _s | CT |
|--|------------------------------|----------------|----------------|------------|
| Moyenne | 229 390 | 1 685 523 | 9 667 454 | 11 352 977 |
| Écart par rapport au modèle de base | -78,69 % | 112,95 % | -43,14 % | -19,96 % |
| 1 | 10 377 | 0 | 917 125 | 917 125 |
| 2 | 734 382 | 0 | 25 191 744 | 25 191 744 |
| 3 | 0 | 0 | 909 026 | 909 026 |
| 4 | 0 | 33 587 | 701 823 | 735 410 |
| 5 | 304 | 0 | 480 460 | 480 460 |
| 6 | 2 812 | 0 | 403 820 | 403 820 |
| 7 | 0 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 |
| 8 | 9 | 1 715 | 374 426 | 376 142 |
| 9 | 24 817 | 12 775 458 | 13 270 | 12 788 728 |
| 10 | 720 353 | 0 | 19 218 024 | 19 218 024 |
| 11 | 680 807 | 0 | 26 555 304 | 26 555 304 |
| 12 | 763 609 | 0 | 23 564 403 | 23 564 403 |
| 13 | 44 595 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 |

Tableau 5.6 Résultats du modèle de Hadley (2004)

Contrairement à ce que nous aurions pu croire, le modèle de Hadley n'offre pas d'amélioration par rapport au modèle de base. Les quantités en stock, les coûts de stockage et les coûts totaux se sont détériorés, et ce, avec des pourcentages tout à fait significatifs.

Cette technique utilise un niveau de service de couverture selon le niveau de stocks disponibles pour chaque période en plus du niveau de service de satisfaction de la demande. Les résultats montrent qu'à plusieurs reprises nous n'avons pas eu recours à des stocks de sécurité, ce qui signifie que le point de commande était à 0. Dans ces cas, les stocks de sécurité sont négatifs, ce qui veut dire que la méthode suggère de diminuer les quantités de stocks en main.

N'empêche que cette méthode a été la plus efficace pour trois articles, contrairement au modèle de Herrin qui n'en a aucun, tel qu'il est présenté dans le tableau 5.9. Les produits 4,7 et 8 ont obtenu des gains respectifs de 23,72 %, 20,99 % et 27,34 % par rapport au modèle de base. Ces résultats laissent croire que les écarts sont extrêmes et que les gains acquis pour certains articles sont complètement effacés par les pertes plus importantes des autres.

| | Quantité moyenne de SS | C_p | C_s | CT |
|--|------------------------|------------|------------|------------|
| Moyenne | 23 719 | 3 607 684 | 4 473 958 | 8 081 641 |
| Écart par rapport au modèle de base | 106,06 % | -0,51 % | 22,88 % | 12,44 % |
| 1 | 2 372 | 4 727 | 716 707 | 721 434 |
| 2 | 159 091 | 903 543 | 9 698 098 | 10 601 640 |
| 3 | 467 | 0 | 909 026 | 909 026 |
| 4 | 4 395 | 33 587 | 726 823 | 760 410 |
| 5 | 355 | 0 | 480 460 | 480 460 |
| 6 | 266 | 0 | 403 820 | 403 820 |
| 7 | 19 849 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 |
| 8 | 620 | 1 291 | 389 320 | 390 611 |
| 9 | 11 655 | 12 775 458 | 13 270 | 12 788 728 |
| 10 | 66 879 | 23 848 152 | 4 738 549 | 28 586 701 |
| 11 | 20 887 | 23 024 | 7 979 816 | 8 002 840 |
| 12 | 10 369 | 209 061 | 4 758 092 | 4 967 153 |
| 13 | 11 146 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 |

Tableau 5.7 Résultats du modèle de Krupp (1997)

Dans les modèles étudiés provenant de la littérature, celui de Krupp est celui qui semble le plus performant. Nous pouvons constater un gain de 12,44 % par rapport au modèle de base et une forte amélioration de 106,66 % du niveau de stocks de sécurité moyen. Le nombre de pénuries est plus grand, mais les coûts de stockage sont réellement inférieurs.

De plus, cette méthode est la plus performante pour 6 des 13 produits, tel qu'il est présenté dans le tableau 5.9. Le modèle créé par Krupp semble vraiment adapté au contexte de demande instable puisque pour un même niveau de service, et parfois pour un niveau de service supérieur, cette technique réussit à réduire considérablement les quantités moyennes de stocks de sécurité à conserver.

De ce fait, le facteur de suppression qu'emploie Krupp apparaît comme une manière efficace de compenser les erreurs de prévisions dans les cas où la demande ne suit pas une distribution normale. En effet, cette variable permet d'ajuster les stocks de sécurité à la hausse ou à la baisse pour chaque période face à une prévision trop élevée ou trop faible. Par contre, comme le mentionnait Schuster, Unahabhokha, & Allen (2005), cette technique fonctionne moins bien lorsque nous avons de très fortes variations négatives ou positives. Cet aspect du modèle pourrait expliquer pourquoi malgré sa bonne performance pour la majorité des produits, il n'a pas obtenu un aussi grand gain par rapport aux coûts totaux que le modèle de Yoplait, présenté ci-dessous.

| | Quantité moyenne de SS | C _P | C _S | CT |
|--|------------------------------|----------------|----------------|------------|
| Moyenne | 96 640 | 1 322 967 | 6 309 810 | 7 632 777 |
| Écart par rapport au modèle de base | -49,43 % | 171,31 % | -12,88 % | 19,05 % |
| 1 | 17 011 | 0 | 1 169 125 | 1 169 125 |
| 2 | 300 653 | 903 543 | 16 265 674 | 17 169 216 |
| 3 | 9 517 | 0 | 794 314 | 794 314 |
| 4 | 10 385 | 33 114 | 851 704 | 884 818 |
| 5 | 3 633 | 0 | 480 460 | 480 460 |
| 6 | 6 247 | 0 | 403 820 | 403 820 |
| 7 | 179 811 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 |
| 8 | 3 695 | 0 | 523 997 | 523 997 |
| 9 | 17 451 | 7 032 038 | 183 739 | 7 215 777 |
| 10 | 257 068 | 128 836 | 10 511 394 | 10 640 230 |
| 11 | 237 463 | 0 | 14 075 364 | 14 075 364 |
| 12 | 185 760 | 0 | 9 420 471 | 9 420 471 |
| 13 | 27 621 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 |

Tableau 5.8 Résultats du modèle de Yoplait

Finalement, nous pouvons dire que le modèle de Yoplait semble le meilleur avec une amélioration de 19,05 % du coût total par rapport au modèle de base. Les gains, contrairement au modèle de Krupp, se font au niveau des coûts de pénurie plutôt qu'au niveau de l'entreposage, d'autant plus que nous pouvons voir que les quantités moyennes en stocks de sécurité ont augmenté de 49,43 %. Cependant, nous devons prendre en considération que cette technique de calcul du stock de sécurité a été la plus performante seulement pour 2 des 13 articles, comme il est montré dans le tableau 5.9.

| Modèle | Nombre de fois où le modèle est le plus performant |
|---------|--|
| Krupp | 6 articles sur 13 |
| Hadley | 3 articles sur 13 |
| de base | 2 articles sur 13 |
| Yoplait | 2 articles sur 13 |
| Herrin | 0 article sur 13 |
| Total | (13/13) |

Tableau 5.9 Performances des modèles pour les 13 articles

De plus, le tableau 5.10 dénote que le gain général de Yoplait par rapport à Krupp est de 5,88 %. La différence majeure comme pour le modèle de base provient des coûts de pénurie.

| | Quantité moyenne de SS | C _p | C _s | CT |
|--------------------------------------|------------------------|----------------|----------------|--------|
| Écart par rapport au modèle de Krupp | -75,46 % | 172,70 % | -29,10 % | 5,88 % |

Tableau 5.10 Écarts de la méthode de Yoplait en fonction du modèle de Krupp (1997)

Nous pouvons donc relever que les gains de Yoplait, comme pour la méthode de Hadley, se font par des écarts considérables positifs sur quelques articles plutôt que des gains constants, tel qu'il est décelé dans le tableau 5.11. Par conséquent, il semble que, de façon générale, la méthode Krupp a des stocks de sécurité plus faible, mais elle est moins bien protégée par rapport à des scénarios plus difficiles à gérer, tandis qu'avec sa méthode, Yoplait se protège de ce type de fluctuations importantes.

| Article | Différence entre coûts totaux de Yoplait et ceux du modèle de base (\$) | Différence entre coûts totaux de Krupp et ceux du modèle de base (\$) |
|---------|---|---|
| 1 | 327 600 | -120 091 |
| 2 | 6 151 578 | -415 998 |
| 3 | 115 238 | 229 950 |
| 4 | -25 000 | -149 409 |
| 5 | 19 890 | 19 890 |
| 6 | -21 787 | -21 787 |
| 7 | -5 738 423 | -5 738 423 |
| 8 | 45 000 | -88 386 |
| 9 | -5 572 951 | 0 |
| 10 | -19 055 799 | -1 109 328 |
| 11 | 2 773 320 | -3 299 204 |
| 12 | 2 079 990 | -2 373 327 |
| 13 | 0 | 0 |
| Moyenne | -1 453 950 | -1 005 086 |

Tableau 5.11 Différences de coûts totaux de Yoplait et de Krupp en fonction de ceux du modèle de base

Ainsi, ces deux dernières méthodes font l'objet d'une étude plus détaillée afin de pouvoir les améliorer. Leurs modifications sont présentées dans les sections suivantes.

5.2 Amélioration de la méthode de Yoplait (nouveau modèle 1)

Le modèle de Yoplait se calcule à l'aide d'un ensemble de neuf profils de couverture qui est relié à tous les produits de l'entreprise. Ces profils se définissent par un nombre de semaines de couverture et un nombre de jours de sécurité. Conséquemment, l'entreprise établit ses besoins selon une moyenne de prévisions des prochaines périodes et se garde une quantité en stocks de sécurité selon un nombre de jours de couverture. Ainsi, pour faire nos améliorations, nous avons pris en considération ces deux facteurs. Nous avons donc évalué les résultats de deux options de la méthode pour un profil de couverture unique, c'est-à-dire un profil de six semaines de couverture et une journée de stocks de sécurité et un second profil de deux semaines de couverture et également une journée de stocks de sécurité. Les résultats sont présentés dans les tableaux 5.12 et 5.13.

5.2.1 Présentation et analyse du modèle de Yoplait amélioré

| | Quantité moyenne de SS | C _p | C _s | CT |
|---|------------------------|----------------|----------------|------------|
| Moyenne | 69 305 | 1 764 769 | 5 576 941 | 7 341 710 |
| Écart par rapport au modèle de base | -29,48 % | 103,39 % | -1,43 % | 23,77 % |
| Écart par rapport au modèle de Krupp | -65,78 % | 104,43 % | -19,78 % | 10,08 % |
| 1 | 7 441 | 0 | 866 725 | 866 725 |
| 2 | 216 403 | 903 543 | 10 114 096 | 11 017 638 |
| 3 | 3 209 | 0 | 898 447 | 898 447 |
| 4 | 6 996 | 33 114 | 801 704 | 834 818 |
| 5 | 2 607 | 0 | 480 460 | 480 460 |
| 6 | 2 607 | 0 | 403 820 | 403 820 |
| 7 | 92 478 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 |
| 8 | 2 280 | 0 | 478 997 | 478 997 |
| 9 | 10 479 | 12 775 458 | 13 270 | 12 788 728 |
| 10 | 195 035 | 128 836 | 9 124 734 | 9 253 570 |
| 11 | 185 438 | 0 | 13 243 368 | 13 243 368 |
| 12 | 160 235 | 0 | 8 727 141 | 8 727 141 |
| 13 | 15 752 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 |

Tableau 5.12 Résultats du modèle de Yoplait amélioré (6 semaines ; 1jour)

| | Quantité moyenne de SS | C _p | C _s | CT |
|---|------------------------|----------------|----------------|------------|
| Moyenne | 66 548 | 1 764 769 | 5 505 617 | 7 270 386 |
| Écart par rapport au modèle de base | -26,56 % | 103,39 % | -0,15 % | 24,98 % |
| Écart par rapport au modèle de Krupp | -64,36 % | 104,43 % | -18,74 % | 11,16 % |
| 1 | 7 670 | 0 | 866 725 | 866 725 |
| 2 | 219 660 | 903 543 | 10 114 096 | 11 017 638 |
| 3 | 3 559 | 0 | 803 235 | 803 235 |
| 4 | 7 192 | 33 114 | 801 704 | 834 818 |
| 5 | 2 670 | 0 | 480 460 | 480 460 |
| 6 | 2 821 | 0 | 403 820 | 403 820 |
| 7 | 86 375 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 |
| 8 | 2 348 | 0 | 478 997 | 478 997 |
| 9 | 8 484 | 12 775 458 | 13 270 | 12 788 728 |
| 10 | 178 133 | 128 836 | 8 847 402 | 8 976 238 |
| 11 | 171 598 | 0 | 12 966 036 | 12 966 036 |
| 12 | 162 213 | 0 | 8 449 809 | 8 449 809 |
| 13 | 12 407 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 |

Tableau 5.13 Résultats du modèle de Yoplait amélioré (2 semaines ; 1jour)

Alors, nous pouvons remarquer que le fait de s'en tenir à un seul profil de couverture semble être avantageux pour l'entreprise selon les deux options retenues. Il n'y a qu'un léger gain pour le profil de couverture de 2 semaines/1jour comparativement au profil de 6 semaines/1jour. Or, ce qui est le plus concluant ce sont les améliorations de 4,72 % et de 5,93 % par rapport à l'ancienne technique de Yoplait ainsi que les accroissements de presque le double par rapport au modèle de Krupp.

| Article | Différence entre coûts totaux de Yoplait et ceux du modèle de Krupp | Différence entre coûts totaux de Yoplait amélioré et ceux du modèle de Krupp |
|----------------|---|--|
| | (\$) | Krupp (\$) |
| 1 | 447 691 | 145 291 |
| 2 | 6 567 576 | 415 998 |
| 3 | -114 712 | -105 790 |
| 4 | 124 409 | 74 409 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 |
| 8 | 133 386 | 88 386 |
| 9 | -5 572 951 | 0 |
| 10 | -17 946 471 | -19 610 463 |
| 11 | 6 072 524 | 4 963 196 |
| 12 | 4 453 317 | 3 482 655 |
| 13 | 0 | 0 |
| Moyenne | -448 864 | -811 255 |

Tableau 5.14 Comparaisons des coûts totaux du modèle de Yoplait et du modèle amélioré par rapport au modèle de Krupp

Malgré les gains importants offerts par ce premier nouveau modèle, le tableau 5.14 décèle, par une comparaison du modèle avant et après, que le modèle de Krupp est tout de même le plus performant pour 6 des 13 articles. La principale différence se retrouve au niveau de l'article 9 où les coûts totaux des deux techniques sont maintenant équivalents.

5.3 Amélioration du modèle de Krupp (nouveau modèle 2)

À la suite de notre série de simulation de calculs du stock de sécurité, il nous semblait logique que les modèles susceptibles d'être améliorés étaient ceux de Yoplait et de Krupp. En combinant les deux modèles, nous pensions aller chercher l'efficacité de l'un et la stabilité de l'autre. C'est pourquoi nous avons choisi d'ajouter une facette du modèle de Yoplait dans le modèle de Krupp.

L'idée principale du modèle développé par Krupp en 1997 était d'intégrer les erreurs de prévisions dans le calcul du stock de sécurité. Parallèlement, le concept général de la méthode développée chez Yoplait, pour répondre à une demande instable, est de s'assurer une couverture de sécurité, et ainsi, les stocks disponibles représentent les besoins des prochains jours de demande.

Pour effectuer une intégration de ces deux techniques, de façon très simple, nous avons modifié la manière de calculer les écarts de prévisions dans le modèle de Krupp. Au lieu de simplement faire la différence entre les prévisions et les demandes réelles dans l'équation (22) du chapitre 2 afin de faire le calcul de l'indice d'écart absolu moyen en unité de temps (*Time-Based Mean Absolute Deviation*), nous avons pensé remplacer la prévision par la moyenne hebdomadaire des prévisions des « x » semaines suivantes, comme le fait Yoplait. Dans ce cas-ci, la valeur de x est de deux semaines, puisque c'est le profil de couverture le plus performant. La formule (34) ci-dessous représente la formule (22) du calcul de Krupp avec la modification de la valeur de P_i . La représentation du nouveau modèle 2 se retrouve à l'annexe 8.

$$TBM_n = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_i}{2} - d_i \right)}{n} \quad (34)$$

5.3.1 Présentation et analyse des résultats du nouveau modèle

Avec cette modification, nous n'avons pas eu de gains particuliers au niveau des coûts totaux, mais tout de même des améliorations au niveau de la quantité moyenne de stocks de sécurité. Le tableau 5.15 résume les résultats du nouveau modèle.

| | Quantité moyenne de SS | C _p | C _s | CT |
|---|------------------------|----------------|----------------|------------|
| Moyenne | 23 090 | 3 607 684 | 4 473 189 | 8 080 872 |
| Écart par rapport au modèle de base | 111,67 % | -0,51 % | 22,90 % | 12,45 % |
| Écart par rapport au modèle de Krupp | 2,73 % | 0,00 % | 0,02 % | 0,01 % |
| Écart par rapport au modèle de Yoplait amélioré | 188,22 % | -51,08 % | 23,08 % | -10,03 % |
| 1 | 2 320 | 4 727 | 716 707 | 721 434 |
| 2 | 145 406 | 903 543 | 9 698 098 | 10 601 640 |
| 3 | 61 | 0 | 909 026 | 909 026 |
| 4 | 802 | 33 587 | 701 823 | 735 410 |
| 5 | 239 | 0 | 480 460 | 480 460 |
| 6 | 40 | 0 | 403 820 | 403 820 |
| 7 | 31 337 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 |
| 8 | 979 | 1 291 | 404 320 | 405 611 |
| 9 | 12 479 | 12 775 458 | 13 270 | 12 788 728 |
| 10 | 61 306 | 23 848 152 | 4 738 549 | 28 586 701 |
| 11 | 18 653 | 23 024 | 7 979 816 | 8 002 840 |
| 12 | 11 293 | 209 061 | 4 758 092 | 4 967 153 |
| 13 | 15 251 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 |

Tableau 5.15 Résultats du nouveau modèle

Les résultats obtenus grâce à ce changement nous permettent de croire qu'il est possible de réduire son niveau de stock de sécurité de 111,67 % par rapport au modèle de base,

ce qui est une amélioration de 2,73 % en comparaison à Krupp, pour un même coût total. Dans la même logique, nous pouvons constater que pour une hausse de seulement 10,03 % du coût total, il serait envisageable de réduire le stock de sécurité moyen de 188,22 % en fonction du modèle amélioré de Yoplait (nouveau modèle 1). Par conséquent, si une entreprise avait un manque de capacité d'entreposage, il serait dans leur intérêt d'analyser les bienfaits de ce deuxième nouveau modèle. En effet, la firme pourrait comparer les coûts d'agrandir son volume de stockage versus les coûts engendrés par la méthode de calcul de stocks de sécurité proposée ici.

D'un autre côté, ce modèle a un avantage du point de vue de la stabilité de ses performances. En effet, le tableau 5.16 montre bien que le nouveau modèle 2 a une fréquence d'efficacité plus grande. Ce dernier obtient de meilleurs résultats 9 fois sur 13 s'il est comparé au modèle de base et 6 fois sur 13 s'il est comparé au modèle amélioré de Yoplait.

| Article | Différence entre coûts totaux du <u>nouveau modèle</u> et ceux du <u>modèle de base</u> (\$) | Nombre de fois où le <u>nouveau modèle</u> a des coûts totaux plus performants comparé au <u>modèle de base</u> | Différence entre coûts totaux du <u>nouveau modèle</u> et ceux du <u>modèle de Krupp</u> (\$) | Nombre de fois où le <u>nouveau modèle</u> a des coûts totaux plus performants comparé à <u>Krupp</u> | Différence entre coûts totaux du <u>nouveau modèle</u> et ceux du <u>modèle de Yoplait amélioré</u> (\$) | Nombre de fois où le <u>nouveau modèle</u> a des coûts totaux plus performants comparé à <u>Yoplait amélioré</u> |
|---------|--|---|---|---|--|--|
| 1 | -120 091 | 1 | 0 | | -145 291 | 1 |
| 2 | -415 998 | 1 | 0 | | -415 998 | 1 |
| 3 | 229 950 | | 0 | | 105 790 | |
| 4 | -174 409 | 1 | -25 000 | 1 | -99 409 | 1 |
| 5 | 19 890 | | 0 | | 0 | |
| 6 | -21 787 | 1 | 0 | | 0 | |
| 7 | -5 738 423 | 1 | 0 | | 0 | |
| 8 | -73 386 | 1 | 15 000 | | -73 386 | 1 |
| 9 | 0 | | 0 | | 0 | |
| 10 | -1 109 328 | 1 | 0 | | 19 610 463 | |
| 11 | -3 299 204 | 1 | 0 | | -4 963 196 | 1 |
| 12 | -2 373 327 | 1 | 0 | | -3 482 655 | 1 |
| 13 | 0 | | 0 | | 0 | |
| Moyenne | <u>-1 005 855</u> | 9 | <u>-769</u> | 1 | <u>810 486</u> | 6 |

Tableau 5.16 Comparaisons des coûts totaux du nouveau modèle par rapport au modèle de base, au modèle de Krupp et au modèle de Yoplait amélioré

5.4 Conclusion

En conclusion, les modèles améliorés dans la présente étude donnent de bons résultats par rapport au modèle de base et par rapport aux modèles initiaux. Ils sont soit équivalents, soit supérieurs aux méthodes de départ. Le tableau suivant résume les différents résultats obtenus grâce aux nouveaux modèles développés dans le cadre de ce mémoire.

| Modèle | Quantité moyenne de SS | C_p | C_s | CT |
|--------------------------|------------------------|----------|---------|---------|
| Modèle de Yoplait | | | | |
| nouveau modèle 1 | 45,22 % | -25,03 % | 14,61 % | 4,98 % |
| Modèle de Krupp | | | | |
| nouveau modèle 2 | 2,73 % | 0,00 % | 0,02 % | 0,01 % |
| Modèle de base | | | | |
| nouveau modèle 1 | -26,56 % | 103,39 % | -0,15 % | 24,98 % |
| nouveau modèle 2 | 111,67 % | -0,51 % | 22,90 % | 12,45 % |

Tableau 5.17 Résumé des résultats des nouveaux modèles

Ainsi à travers ce travail, les deux modèles les plus performants dans notre échantillon de départ, soit celui de Yoplait et de Krupp, ont été améliorés pour donner place à de nouveaux modèles. Ces deux méthodes offrent des gains significatifs, mais pas aux mêmes endroits. D'un côté, le modèle amélioré de Yoplait (nouveau modèle 1) permet de réduire les coûts totaux. De plus, nous pouvons conclure que le nouveau modèle 1 protège l'entreprise face à des scénarios où la demande est instable tout en améliorant les coûts totaux. Cette méthode semble plus stable face aux pénuries. D'un autre côté, le modèle amélioré de Krupp (nouveau modèle 2) offre la possibilité de réduire les stocks de sécurité moyens, ce qui peut être bénéfique lorsque l'entreprise manque de capacité d'entreposage. De même, cette dernière technique est celle qui obtient de meilleurs résultats pour la majorité des scénarios. Cependant, comme le modèle réduit de beaucoup les stocks de sécurité, l'entreprise aura davantage de difficulté à gérer les

variations de grandes ampleurs, ce qui peut expliquer la différence observée relativement aux gains des coûts totaux des deux méthodes.

De plus, nos résultats ont permis de voir que le modèle de base n'est pas la méthode de calcul du stock de sécurité la plus appropriée dans un contexte de demande instable. Il est effectivement possible pour une entreprise de faire des gains en employant des modèles plus adaptés tel que celui de Yoplait, de Krupp ou encore mieux les versions améliorées développées dans cette étude. Ces techniques de calculs ne sont pas réellement plus compliquées à utiliser et à implanter que celle du modèle de base, d'autant plus que nous avons simplifié le nouveau modèle de Yoplait en réduisant les profils de couvertures à une seule option.

Certes, il existe des avenues qui n'ont pas été explorées dans cette recherche et qui sont discutées au dernier chapitre. De plus, la conclusion permet de faire le point sur notre contribution et les limites de la recherche.

Chapitre 6

Conclusion

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressés à un problème de calcul de stocks de sécurité dans un contexte de demande instable. Notre approche de résolution a employé des données et le système de réapprovisionnement de la compagnie du secteur alimentaire Yoplait. Face à cette problématique, nous avons effectué une analyse comparative des résultats des principales méthodes présentes dans la littérature, de celle utilisée par Yoplait et également de deux nouveaux modèles développés dans le présent mémoire.

6.1 Contribution de la recherche

Ce projet de recherche a contribué à amener de nouveaux éléments dans l'environnement de la gestion des stocks de sécurité. Tout d'abord, notre premier objectif était de voir si le modèle de base, si répandu en pratique, répondait aux besoins des entreprises ayant une demande instable. Nous avons pu constater qu'il existait des méthodes offrant de meilleurs résultats sans toutefois augmenter le niveau de difficulté à l'utilisation. En effet, dans le cas de Yoplait, nous avons simplifié la méthode en réduisant les neufs profils de couvertures à une seule option, ce qui la rend dorénavant aussi facile à implanter que le modèle de base. Ainsi, notre analyse a permis de faire ressortir les gains possibles de chacune des méthodes par rapport au modèle de base.

De plus, nous avons présenté les principales méthodes de calcul du stock de sécurité dynamique. Les auteurs de ces modèles affirment que les stocks de sécurité variables

pour chaque période s'adaptent mieux aux demandes fluctuantes puisqu'ils prennent en considération les prévisions des demandes futures. Nos résultats soutiennent cette affirmation. Par ailleurs, parmi cet ensemble de méthodes, nous avons identifié les modèles qui s'avèrent les plus performants, soit la méthode de Krupp (1997) et la méthode utilisée par Yoplait. En outre, la présentation de cette dernière technique est une contribution en soit puisqu'elle utilise des stratégies différentes des autres. En nous basant sur ces deux modèles, nous avons proposé deux nouveaux modèles améliorés. Dans le cas du modèle de Yoplait (nouveau modèle 1), nous avons obtenu des gains par rapport aux résultats initiaux, sur la quantité moyenne de stocks de sécurité de 42,22 % et sur le coût total de 4,98%. D'un autre côté, avec le modèle de Krupp (nouveau modèle 2) les améliorations acquises de 2,73 % se font seulement au niveau des stocks de sécurité moyens.

6.1 Limites de l'étude

Nous nous devons de souligner ici les diverses limites que comporte ce projet de recherche. Tout d'abord, il est possible que la méthode de résolution employée afin de déterminer les coûts de stockage, de pénurie et les coûts totaux ne représente pas exactement la réalité de l'entreprise. En effet, nous avons dû simplifier le système de réapprovisionnement afin de répondre à plusieurs contraintes. Plus particulièrement, le système de réapprovisionnement utilisé fonctionne selon des périodes hebdomadaires puisque les prévisions et les demandes réelles fournies par Yoplait sont dans cette unité de temps. Cependant, dans la réalité, l'entreprise étudiée expose ses prévisions au quotidien pour aller en concordance avec la planification de la production.

De plus, le point de commande a été modifié. Au lieu d'utiliser le nombre de jours de couverture, nous avons préconisé la quantité de stocks de sécurité. En réalité, l'entreprise fixe sa couverture de sécurité (en jour) selon un profil préétabli et évalue la couverture réelle selon les transactions de rentrées ou de sorties de produits. Pour notre part, nous avons utilisé les stocks de sécurité dynamique (en unité) pour définir le point

de commande et pour faire la comparaison des différents modèles de calcul du stock de sécurité.

De même, pour répondre à la question combien nous devons commander, la taille des lots reste fixe. Dans les faits, celle-ci emploie, pour quelques articles, des tailles de lots variant selon un nombre de jours de couverture de la demande. Encore une fois comme le système de réapprovisionnement a été simplifié, il est plus convenable de fixer les quantités en toute logique avec les indications de Yoplait.

Enfin, il est à noter qu'une portion d'informations a fait défaut dans la réalisation de ce projet. En effet, Yoplait n'était pas en mesure de nous fournir les coûts unitaires de pénurie et de stockage. En soit, cette information ne perturbe pas le fonctionnement de notre simulation, mais les coûts recueillis ne sont pas dans le même ordre de grandeur que ceux observés dans la réalité.

6.2 Avenues de recherches futures

À travers ce travail de maîtrise, nous avons essayé d'ajouter une parcelle d'informations à l'ensemble des recherches concernant la gestion des stocks de sécurité. Toutefois, les avenues de recherche sur le sujet sont encore nombreuses.

Effectivement, il serait intéressant de réévaluer les différents modèles dans d'autres contextes de demande. De la sorte, nous pourrions voir si les modèles les plus performants demeurent inchangés même si la demande ne varie pas de la même façon. Cette avenue de recherche est encore plus intéressante puisque le modèle de Yoplait et le nouveau modèle 1 pourraient faire leurs preuves, une seconde fois, dans un environnement différent de celui où il a été élaboré.

Il serait aussi pertinent d'explorer d'autres modifications possibles sur les modèles de Krupp (1997) et de Yoplait pour voir s'il est possible d'aller chercher des gains supérieurs à ceux que nous avons trouvés. Il faudrait voir également l'effet des coûts

unitaires de pénurie et de stockage en évaluant différents scénarios de calcul de stocks de sécurité.

Finalement, l'analyse des modèles pourrait se refaire en ajoutant des contraintes différentes. Par exemple, il serait intéressant de voir les résultats des diverses méthodes de calculs avec une contrainte de capacité de volume d'entreposage. Effectivement, quelques études dont celle de Mapes (1993) ont souligné l'interrelation entre les stocks de sécurité et la variable de capacité. Donc, si la capacité d'entreposage était limitée, est-ce que ce seraient les mêmes modèles qui seront les plus performants ?

En conclusion, en présentant ce dernier chapitre, nous complétons la rédaction de ce mémoire. Sur plusieurs facettes, ce projet a étendu nos connaissances et nous espérons qu'il contribue à l'avancement de la recherche en gestion des stocks de sécurité.

Bibliographie

- Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2005). Commerce International, Les exportations. *Profil de l'industrie laitière canadienne*. Consulté le 17 décembre 2006, à http://ats.agr.ca/supply/4065_f.htm
- Aliments Ultima inc. (2005). Le monde de Yoplait. Consulté le 19 décembre 2006, à http://www.yoplait.ca/fr/histoire_history.aspx
- Arnold, J. R. T., & Chapman, S. N. (2004). *Introduction to Materials Management* (5e édition). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Caridi, M., & Cigolini, R. (2002). Improving materials management effectiveness: A step towards agile enterprise. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(7), 556-576.
- Carlson, R. C., & Yano, C. A. (1986). Safety Stocks in MRP -- Systems with Emergency Setups for Components. *Management Science*, 32(4), 403.
- Chopra, S., Reinhardt, G., & Dada, M. (2004). The Effect of Lead Time Uncertainty on Safety Stocks. *Decision Sciences*, 35(1), 1-24.
- Chu, C.-H., & Hayya, J. (1988). Buffering Decisions Under MRP Environment: A Review. *OMEGA International Journal of Management Science*, 16(4), 325-331.
- Cordeau, J.-F. (2001). La gestion des stocks dans un contexte de demande indépendante. HEC Montréal.
- Das, C., & Tyagi, R. (1999). Effect of Correlated Demands on Safety Stock Centralization: Patterns of Correlation versus Degree of Centralization. *Journal of Business Logistics*, 20(1), 205-213.
- Doyle, P., & Bailey, S. (2005). *L'industrie de l'agriculture, des aliments et des boissons au Canada*. Consulté en décembre 2006. à http://ats-sea.agr.ca/supply/factsheets/3299_f.pdf.
- El yamani, O. (2004). *Modèles de gestion des stocks - Produits Multiples, mémoire de maîtrise*, HEC Montréal, Montréal, 102.
- Eppen, G. D., & Martin, R. K. (1988). Determining Safety Stock in the Presence of Stochastic Lead Time and Demand. *Management Science*, 34(11), 1380-1390.

- Guide Jr, V. D. R., & Srivastava, R. (2000). A review of techniques for buffering against uncertainty with MRP systems. *Production Planning & Control*, 11(3), 223-233.
- Hadley, S. W. (2004). Safety Inventory Analysis. (Cover story). *Strategic Finance*, 86(3), 27-33.
- Herrin, R. (2005). How to Calculate Safety Stocks for Highly Seasonal Products. *The Journal of Business Forecasting*, 24(2), 6-10.
- Krupp, J. A. G. (1997). Safety stock management. *Production and Inventory Management Journal*, 38(3), 11-18.
- Man-Yi, T., & Xiao-Wo, T. (2006). The Further Study of Safety Stock under Uncertain Environment. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 5(2), 193-202.
- Mapes, J. (1993). The Effect of Capacity Limitations on Safety Stock. *International Journal of Operations & Production Management*, 13(10), 26-33.
- Murthy, D. N. P., & Ma, L. (1991). MRP With Uncertainty: A Review and Some Extensions. *International Journal of Production Economics*, 25(1-3), 51-64.
- Natarajan, R., & Goyal, S. K. (1994). Safety stocks in JIT environments. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(10), 64-71.
- Nollet, J., Kélada, J., Mattio, O. D., Deschamps, I., Duguay, R. C., & Handfield, R. (1994). La gestion des stocks dans un contexte de demande indépendante. Gaétan Morin ltée (Éditeur), *La gestion des opérations et de la production: Une approche systémique* (2 édition, pp. 682). Boucherville.
- Plossl, G. W. (1994). *Orlicky's Material requirements planning* (2 édition). New York: McGraw Hill, Inc.
- Radas, S., & Shugan, S. M. (1998). Seasonal marketing and timing new product introductions. *JMR, Journal of Marketing Research*, 35(3), 296-315.
- Sandvig, J. C. (1998). Simple solutions aren't the best ones. *IIE Solutions*, 30(12), 28-29.
- Sandvig, J. C., & Reistad, A. (2000). Safety stock decision support tool. *Production and Inventory Management Journal*, 41(4), 8-10.
- Schuster, E. W., & Finch, B. J. (1990). A Deterministic Spreadsheet Simulation Model for Production. *Production and Inventory Management Journal*, 31(1), 39-43.

- Schuster, E. W., Unahabhokha, C., & Allen, S. J. (2005). *Master Production Schedule Stability Under Conditions of Finite Capacity*. Article présenté au Proceedings of the 34th Annual Logistics Educators Conference, San Diego.
- Shim, J. K. (Ed.) (2006) *Dictionary of business terms* Mason, Ohio.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). Costs and other important factors. In *Inventory management and production planning and scheduling* (3e édition, pp. 48-50). New York J. Wiley & Sons.
- Smith, S. (2001). Kids' stuff: the yogurt market is booming and manufacturers are spurring even faster growth by developing package design innovations aimed at children and their parents. *Marketing Magazine*, 106(40), 17-21.
- Tallon, W. J. (1993). The Impact of Inventory Centralization on Aggregate Safety Stock: The Variable Supply Lead Time Case. *Journal of Business Logistics*, 14(1), 185-203.
- Talluri, S., Cetin, K., & Gardner, A. J. (2004). Integrating demand and supply variability into safety stock evaluations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(1/2), 62-69.
- Tchokogué, A. (1999). *La gestion des stocks pour un fabricant aux grandes chaînes*. Consulté en novembre 2006. à http://www.mdeie.gouv.qc.ca/mdercontent/000021780000/upload/publications/pdf/Entreprises/outils_gestion/gestion_stock_fabricant_chaines.pdf.
- Verganti, R. (1997). Order overplanning with uncertain lumpy demand: a simplified theory. *International Journal of Production Research* 35(12), 3229-3248.
- Villers, M.-E. d., Saint-Pierre, R., Létourneau, F., & Duguay, C. R. (Eds.). (1993) *Dictionnaire de la gestion de la production et des stocks*. Montréal.
- Zizka, M. (2005). The Analytic Approach vs. the Simulation Approach to Determining Safety Stock. *Problems & Perspectives in Management*(3), 119-127.

| Sem. | P _i | d _i | Période | Prévision | Demande | Écart | Écart ² | Écart type | SS |
|---------|----------------|----------------|---------|--------------------|------------|--------|--------------------|------------|-------|
| 1 | 62949 | 65370 | 1 | 62949 | 65370 | -2420 | 5857808 | | |
| 2 | 65928 | 65991 | 27 | 48732 | 43781 | -739 | 546498 | 2530,7 | 3243 |
| 3 | 69590 | 72273 | 53 | 77037 | 90184 | -13147 | 172847743 | 9467,1 | 12133 |
| 4 | 78767 | 96412 | 79 | 55026 | 58386 | 13405 | 179686690 | 10938,3 | 14018 |
| 5 | 67673 | 82373 | | | | | | | |
| 6 | 66812 | 82009 | | | | | | | |
| 7 | 81667 | 80125 | | | | | | | |
| 8 | 70360 | 66625 | | | | | | | |
| 9 | 77574 | 80840 | | | | | | | |
| 10 | 67698 | 66537 | | | | | | | |
| 11 | 70494 | 69981 | | | | | | | |
| 12 | 65060 | 61953 | | | | | | | |
| 13 | 63761 | 42853 | | | | | | | |
| 14 | 68656 | 68235 | | | | | | | |
| 15 | 68514 | 72558 | | | | | | | |
| 16 | 108002 | 90754 | | | | | | | |
| 17 | 76013 | 64953 | | | | | | | |
| 18 | 66261 | 56957 | | | | | | | |
| 19 | 69539 | 56788 | | | | | | | |
| 20 | 81760 | 69508 | | | | | | | |
| 21 | 62150 | 75169 | | | | | | | |
| 22 | 78384 | 71035 | | | | | | | |
| 23 | 53304 | 54043 | | | | | | | |
| 24 | 49879 | 48137 | | | | | | | |
| 25 | 49385 | 42933 | | | | | | | |
| 26 | 43868 | 50626 | | | | | | | |
| 27 | 48732 | 43781 | | | | | | | |
| 28 | 61614 | 52339 | | | | | | | |
| 29 | 60929 | 50617 | | | | | | | |
| 30 | 46443 | 60264 | | | | | | | |
| 31 | 109927 | 95269 | | | | | | | |
| 32 | 67361 | 79970 | | | | | | | |
| 33 | 49351 | 51282 | | | | | | | |
| 34 | 50261 | 47825 | | | | | | | |
| 35 | 69501 | 59325 | | | | | | | |
| 36 | 41035 | 65660 | | | | | | | |
| 37 | 81866 | 83627 | | | | | | | |
| 38 | 102902 | 107363 | | | | | | | |
| 39 | 55263 | 55698 | | | | | | | |
| 40 | 68728 | 65510 | | | | | | | |
| Période | Prévision | Demande | Écart | Écart ² | Écart type | SS | | | |
| 2 | 65928 | 65991 | -63 | 4010 | | | | | |
| 28 | 61614 | 52339 | -17 | 276 | 65,5 | 84 | | | |
| 54 | 118458 | 127589 | -9131 | 83374730 | 6456,7 | 8275 | | | |
| 80 | 63341 | 58806 | 2607 | 6795342 | 5482,5 | 7026 | | | |
| Période | Prévision | Demande | Écart | Écart ² | Écart type | SS | | | |
| 3 | 69590 | 72273 | -2682 | 7194507 | | | | | |
| 29 | 60929 | 50617 | -821 | 674681 | 2805,2 | 3595 | | | |
| 55 | 84702 | 81005 | 3697 | 13669809 | 3281,7 | 4206 | | | |
| 81 | 54853 | 47388 | -34813 | 1211917381 | 20276,9 | 25986 | | | |
| Période | Prévision | Demande | Écart | Écart ² | Écart type | SS | | | |
| 4 | 78767 | 96412 | -17645 | 311344416 | | | | | |
| 30 | 46443 | 60264 | -8616 | 74242717 | 19636,4 | 25165 | | | |
| 56 | 65314 | 75903 | -10589 | 112117065 | 15775,0 | 20217 | | | |
| 82 | 54972 | 65473 | 10132 | 102650797 | 14146,3 | 18129 | | | |
| Période | Prévision | Demande | Écart | Écart ² | Écart type | SS | | | |
| 5 | 67673 | 82373 | -14700 | 216088151 | | | | | |
| 31 | 109927 | 95269 | 14659 | 214877384 | 20759,7 | 26605 | | | |
| 57 | 74254 | 96223 | -21969 | 482641037 | 21373,0 | 27391 | | | |
| 83 | 69221 | 74577 | -5355 | 28678113 | 17722,7 | 22713 | | | |
| Période | Prévision | Demande | Écart | Écart ² | Écart type | SS | | | |
| 6 | 66812 | 82009 | -15197 | 230957507 | | | | | |
| 32 | 67361 | 79970 | -12609 | 158994891 | 19747,2 | 25307 | | | |
| 58 | 82311 | 89089 | -6778 | 45943714 | 14763,1 | 18920 | | | |
| 84 | 100485 | 93801 | 6685 | 44683381 | 12656,7 | 16220 | | | |

Annexe 2 Représentation Excel du modèle de Hadley (2004)

| Délai | y | k |
|-------|-------|-------|
| 1,00 | 98,0% | 95,0% |

| Semaine | Niveau de stocks | Prévision | Demande | C _{Di} | w _D | σ _D | m _D | g _D | C _P | w _P | σ _P | m _P | g _P | Stock de sécurité |
|---------|------------------|-----------|---------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 1 | 104142 | 62949 | 65370 | 1,593 | | | | | 0,963 | | | | | |
| 2 | 96890 | 65928 | 65991 | 1,468 | 1,593 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 0,999 | 0,963 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 0 |
| 3 | 85511 | 69590 | 72273 | 1,183 | 1,531 | 0,088 | 1,349 | -0,399 | 0,963 | 0,981 | 0,026 | 0,929 | 0,071 | -29771 |
| 4 | 44746 | 78767 | 96412 | 0,464 | 1,415 | 0,210 | 0,983 | -0,033 | 0,817 | 0,975 | 0,021 | 0,932 | 0,068 | -2801 |
| 5 | 24834 | 67673 | 82373 | 0,301 | 1,177 | 0,505 | 0,139 | 0,811 | 0,822 | 0,935 | 0,081 | 0,770 | 0,230 | 67512 |
| 6 | 75396 | 66812 | 82009 | 0,919 | 1,002 | 0,587 | -0,204 | 1,154 | 0,815 | 0,913 | 0,087 | 0,735 | 0,265 | 97551 |
| 7 | 20628 | 81667 | 80125 | 0,257 | 0,988 | 0,526 | -0,093 | 1,043 | 1,019 | 0,896 | 0,087 | 0,717 | 0,283 | 109231 |
| 8 | 74047 | 70360 | 66625 | 1,111 | 0,884 | 0,554 | -0,254 | 1,204 | 1,056 | 0,914 | 0,092 | 0,725 | 0,275 | 108073 |
| 9 | 76885 | 77574 | 80840 | 0,951 | 0,912 | 0,519 | -0,154 | 1,104 | 0,960 | 0,932 | 0,099 | 0,728 | 0,272 | 108946 |
| 10 | 45692 | 67698 | 66537 | 0,687 | 0,917 | 0,486 | -0,082 | 1,032 | 1,017 | 0,935 | 0,093 | 0,744 | 0,256 | 87739 |
| 11 | 95321 | 70494 | 69981 | 1,362 | 0,894 | 0,464 | -0,059 | 1,009 | 1,007 | 0,943 | 0,092 | 0,755 | 0,245 | 88576 |
| 12 | 64175 | 65060 | 61953 | 1,036 | 0,936 | 0,462 | -0,013 | 0,963 | 1,050 | 0,949 | 0,089 | 0,766 | 0,234 | 77320 |
| 13 | 29113 | 63761 | 42853 | 0,679 | 0,945 | 0,442 | 0,037 | 0,913 | 1,488 | 0,957 | 0,090 | 0,773 | 0,227 | 71397 |
| 14 | 35595 | 68656 | 68235 | 0,522 | 0,924 | 0,429 | 0,043 | 0,907 | 1,006 | 0,998 | 0,170 | 0,648 | 0,352 | 84218 |
| 15 | 56379 | 68514 | 72558 | 0,777 | 0,895 | 0,426 | 0,020 | 0,930 | 0,944 | 0,999 | 0,164 | 0,662 | 0,338 | 85219 |
| 16 | 59601 | 108002 | 90754 | 0,657 | 0,887 | 0,412 | 0,042 | 0,908 | 1,190 | 0,995 | 0,158 | 0,670 | 0,330 | 130494 |
| 17 | 79500 | 76013 | 64953 | 1,224 | 0,873 | 0,402 | 0,047 | 0,903 | 1,170 | 1,007 | 0,161 | 0,677 | 0,323 | 90740 |
| 18 | 100695 | 66261 | 56957 | 1,768 | 0,894 | 0,398 | 0,075 | 0,875 | 1,163 | 1,017 | 0,160 | 0,687 | 0,313 | 76073 |
| 19 | 77557 | 69539 | 56788 | 1,366 | 0,942 | 0,438 | 0,043 | 0,907 | 1,225 | 1,025 | 0,159 | 0,698 | 0,302 | 82182 |
| 20 | 55237 | 81760 | 69508 | 0,795 | 0,965 | 0,437 | 0,068 | 0,882 | 1,176 | 1,036 | 0,162 | 0,704 | 0,296 | 93503 |
| 21 | 52577 | 62150 | 75169 | 0,699 | 0,956 | 0,427 | 0,080 | 0,870 | 0,827 | 1,043 | 0,160 | 0,713 | 0,287 | 69602 |
| 22 | 80069 | 78384 | 71035 | 1,127 | 0,944 | 0,420 | 0,082 | 0,868 | 1,103 | 1,032 | 0,163 | 0,697 | 0,303 | 88654 |

Annexe 3 Représentation Excel du modèle de Krupp (1997)

| | | |
|---------------------|-------------------|-------------------------|
| Lead time (semaine) | Niveau de service | Coefficient de sécurité |
| 1,000 | 90,0% | 1,28 |

| Semaine | Prévision | Demande | Écart absolu (en unités) | EAM | Indices d'écart absolu | Indices d'écart absolu | TBM | FETS | FET (>0) | s | s* | SS (TBM) | SS(FETS) | SS(FETS) accélééré |
|---------|-----------|---------|--------------------------------|---------|------------------------------|------------------------------|-------|--------|-------------|-------|-------|-------------|----------|-----------------------|
| 1 | 62949 | 65370 | -2420 | | -0,038 | 0,038 | | | | | | | | |
| 2 | 65928 | 65991 | -63 | | -0,001 | 0,001 | | | | | | | | |
| 3 | 69590 | 72273 | -2682 | | -0,039 | 0,039 | | | | | | | | |
| 4 | 78767 | 96412 | -17645 | | -0,224 | 0,224 | | | | | | | | |
| 5 | 67673 | 82373 | -14700 | 5702,7 | -0,217 | 0,217 | 0,075 | -1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 6464 | 6464 | 6464 |
| 6 | 66812 | 82009 | -15197 | 8772,6 | -0,227 | 0,227 | 0,120 | -1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 12579 | 12579 | 12579 |
| 7 | 81667 | 80125 | 1542 | 12556,1 | 0,019 | 0,019 | 0,177 | -1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 15943 | 15943 | 15943 |
| 8 | 70360 | 66625 | 3735 | 12270,9 | 0,053 | 0,053 | 0,172 | -0,945 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 17089 | 17089 | 17089 |
| 9 | 77574 | 80840 | -3266 | 8793,3 | -0,042 | 0,042 | 0,129 | -0,721 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 11206 | 11206 | 11206 |
| 10 | 67698 | 66537 | 1162 | 5935,0 | 0,017 | 0,017 | 0,085 | -0,579 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 7714 | 7714 | 7714 |
| 11 | 70494 | 69981 | 513 | 2426,0 | 0,007 | 0,007 | 0,033 | 0,358 | 0,358 | 0,642 | 0,401 | 2735 | 1755 | 1098 |
| 12 | 65060 | 61953 | 3107 | 2168,9 | 0,048 | 0,048 | 0,030 | 0,296 | 0,296 | 0,704 | 0,456 | 2444 | 1720 | 1114 |
| 13 | 63761 | 42853 | 20908 | 2012,0 | 0,328 | 0,328 | 0,029 | 0,263 | 0,263 | 0,737 | 0,487 | 2514 | 1852 | 1224 |
| 14 | 68656 | 68235 | 421 | 6422,4 | 0,006 | 0,006 | 0,100 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 8783 | 0 | 0 |
| 15 | 68514 | 72558 | -4044 | 6237,2 | -0,059 | 0,059 | 0,097 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 13463 | 0 | 0 |
| 16 | 108002 | 90754 | 17248 | 7120,0 | 0,160 | 0,160 | 0,110 | 0,732 | 0,732 | 0,268 | 0,144 | 10736 | 2875 | 1549 |
| 17 | 76013 | 64953 | 11060 | 10655,3 | 0,146 | 0,146 | 0,138 | 0,786 | 0,786 | 0,214 | 0,113 | 11735 | 2506 | 1328 |
| 18 | 66261 | 56957 | 9304 | 8193,4 | 0,140 | 0,140 | 0,093 | 0,681 | 0,681 | 0,319 | 0,175 | 8251 | 2630 | 1441 |
| 19 | 69539 | 56788 | 12751 | 10414,3 | 0,183 | 0,183 | 0,126 | 0,766 | 0,766 | 0,234 | 0,125 | 13219 | 3093 | 1649 |
| 20 | 81760 | 69508 | 12252 | 12591,0 | 0,150 | 0,150 | 0,157 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 12525 | 0 | 0 |
| 21 | 62150 | 75169 | -13019 | 11342,0 | -0,209 | 0,209 | 0,155 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 15549 | 0 | 0 |
| 22 | 78384 | 71035 | 7350 | 11831,7 | 0,094 | 0,094 | 0,171 | 0,387 | 0,387 | 0,613 | 0,378 | 11666 | 7155 | 4412 |
| 23 | 53304 | 54043 | -739 | 11343,1 | -0,014 | 0,014 | 0,159 | 0,342 | 0,342 | 0,658 | 0,415 | 10171 | 6695 | 4225 |

Annexe 4 Représentation Excel du système de réapprovisionnement simplifié

| Taille de lot | Coût unitaire de pénurie | Coût unitaire de stockage | Stock en main au début | SS moyen | C _p | C _s | CT |
|---------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------|----------------|----------------|-----------|
| 277 332 | 2 \$ | 0,50 \$ | 277 332 | 303 049 | 0 | 3 506 328 | 3 506 328 |

| Semaine | Stock disponible | Prévision | Demande | Point de réappro | Stocks par jour min. | Stocks min. (SS) | S-P<SS | P-S>QEC | Achats | Réception | Unités en pénurie | Unités en stocks | C _p | C _s | CT |
|---------|------------------|-----------|---------|------------------|----------------------|------------------|----------|----------|---------|-----------|-------------------|------------------|----------------|----------------|---------|
| 1 | 101 700 | 259 633 | 175 632 | 1,54 | 65 830 | 329 148 | -163 267 | 163 267 | 277 332 | | 0 | 101 700 | 0 | 50 850 | 50 850 |
| 2 | 144 728 | 264 967 | 234 304 | 2,34 | 61 812 | 309 059 | -123 655 | 123 655 | 277 332 | 277 332 | 0 | 144 728 | 0 | 72 364 | 72 364 |
| 3 | 191 636 | 268 383 | 230 424 | 2,96 | 64 772 | 323 862 | -17 081 | 17 081 | 277 332 | 277 332 | 0 | 191 636 | 0 | 95 818 | 95 818 |
| 4 | 226 840 | 208 717 | 242 128 | 3,30 | 68 640 | 343 202 | -82 993 | 82 993 | 277 332 | 277 332 | 0 | 226 840 | 0 | 113 420 | 113 420 |
| 5 | 202 860 | 309 833 | 301 312 | 3,17 | 63 986 | 319 928 | -60 007 | 60 007 | 277 332 | 277 332 | 0 | 202 860 | 0 | 101 430 | 101 430 |
| 6 | 220 672 | 262 867 | 259 520 | 3,51 | 62 814 | 314 071 | -23 995 | 23 995 | 277 332 | 277 332 | 0 | 220 672 | 0 | 110 336 | 110 336 |
| 7 | 237 716 | 244 667 | 260 288 | 3,58 | 66 339 | 331 696 | -8 751 | 8 751 | 277 332 | 277 332 | 0 | 237 716 | 0 | 118 858 | 118 858 |
| 8 | 315 560 | 246 467 | 199 488 | 4,66 | 67 645 | 338 226 | 21 543 | -21 543 | 277 332 | 277 332 | 0 | 315 560 | 0 | 157 780 | 157 780 |
| 9 | 418 748 | 294 017 | 174 144 | 6,89 | 60 746 | 303 731 | 153 998 | -153 998 | 277 332 | 277 332 | 0 | 418 748 | 0 | 209 374 | 209 374 |
| 10 | 498 664 | 264 750 | 197 416 | 8,95 | 55 689 | 278 446 | 301 231 | -301 231 | 0 | 277 332 | 0 | 498 664 | 0 | 249 332 | 249 332 |
| 11 | 298 344 | 197 433 | 200 320 | 5,55 | 53 737 | 268 684 | 104 394 | -104 394 | 277 332 | 0 | 0 | 298 344 | 0 | 149 172 | 149 172 |
| 12 | 355 644 | 193 950 | 220 032 | 6,53 | 54 475 | 272 374 | 185 544 | -185 544 | 277 332 | 277 332 | 0 | 355 644 | 0 | 177 822 | 177 822 |
| 13 | 450 000 | 170 100 | 182 976 | 7,86 | 57 265 | 286 327 | 245 717 | -245 717 | 277 332 | 277 332 | 0 | 450 000 | 0 | 225 000 | 225 000 |
| 14 | 544 420 | 204 283 | 182 912 | 9,47 | 57 509 | 287 547 | 335 253 | -335 253 | 0 | 277 332 | 0 | 544 420 | 0 | 272 210 | 272 210 |
| 15 | 332 004 | 209 167 | 212 416 | 5,60 | 59 290 | 296 452 | 124 304 | -124 304 | 277 332 | 0 | 0 | 332 004 | 0 | 166 002 | 166 002 |
| 16 | 380 024 | 207 700 | 229 312 | 6,41 | 59 252 | 296 261 | 145 924 | -145 924 | 277 332 | 277 332 | 0 | 380 024 | 0 | 190 012 | 190 012 |
| 17 | 392 036 | 234 100 | 265 320 | 6,94 | 56 517 | 282 583 | 184 869 | -184 869 | 277 332 | 277 332 | 0 | 392 036 | 0 | 196 018 | 196 018 |
| 18 | 421 816 | 207 167 | 247 552 | 7,41 | 56 896 | 284 481 | 226 016 | -226 016 | 277 332 | 277 332 | 0 | 421 816 | 0 | 210 908 | 210 908 |
| 19 | 470 092 | 195 800 | 229 056 | 8,23 | 57 086 | 285 428 | 257 609 | -257 609 | 277 332 | 277 332 | 0 | 470 092 | 0 | 235 046 | 235 046 |
| 20 | 511 200 | 212 483 | 236 224 | 8,45 | 60 532 | 302 660 | 312 750 | -312 750 | 0 | 277 332 | 0 | 511 200 | 0 | 255 600 | 255 600 |
| 21 | 297 952 | 198 450 | 213 248 | 4,81 | 61 971 | 309 856 | 37 219 | -37 219 | 277 332 | 0 | 0 | 297 952 | 0 | 148 976 | 148 976 |

| Délai | Stock de sécurité | nombre de jours de couverture | SS [théorique] |
|-------|-------------------|-------------------------------|----------------|
| 1,0 | 4 800 | 14 | 1 |

| Semaine | Prévision | Demande | Total des demandes pour x semaine | Moyenne/ jour | Stock de sécurité |
|---------|-----------|---------|-----------------------------------|---------------|-------------------|
| 1 | 62949 | 65370 | 135518 | 9680 | 14480 |
| 2 | 65928 | 65991 | 148358 | 10597 | 15397 |
| 3 | 69590 | 72273 | 146440 | 10460 | 15260 |
| 4 | 78767 | 96412 | 134484 | 9606 | 14406 |
| 5 | 67673 | 82373 | 148478 | 10606 | 15406 |
| 6 | 66812 | 82009 | 152026 | 10859 | 15659 |
| 7 | 81667 | 80125 | 147933 | 10567 | 15367 |
| 8 | 70360 | 66625 | 145272 | 10377 | 15177 |
| 9 | 77574 | 80840 | 138192 | 9871 | 14671 |
| 10 | 67698 | 66537 | 135554 | 9682 | 14482 |
| 11 | 70494 | 69981 | 128821 | 9201 | 14001 |
| 12 | 65060 | 61953 | 132417 | 9458 | 14258 |
| 13 | 63761 | 42853 | 137170 | 9798 | 14598 |
| 14 | 68656 | 68235 | 176516 | 12608 | 17408 |
| 15 | 68514 | 72558 | 184015 | 13144 | 17944 |
| 16 | 108002 | 90754 | 142274 | 10162 | 14962 |
| 17 | 76013 | 64953 | 135800 | 9700 | 14500 |
| 18 | 66261 | 56957 | 151299 | 10807 | 15607 |
| 19 | 69539 | 56788 | 143910 | 10279 | 15079 |
| 20 | 81760 | 69508 | 140534 | 10038 | 14838 |
| 21 | 62150 | 75169 | 131688 | 9406 | 14206 |
| 22 | 78384 | 71035 | 103184 | 7370 | 12170 |
| 23 | 53304 | 54043 | 99264 | 7090 | 11890 |
| 24 | 49879 | 48137 | 93253 | 6661 | 11461 |
| 25 | 49385 | 42933 | 92601 | 6614 | 11414 |
| 26 | 43868 | 50626 | 110347 | 7882 | 12682 |
| 27 | 48732 | 43781 | 122544 | 8753 | 13553 |
| 28 | 61614 | 52339 | 107372 | 7669 | 12469 |
| 29 | 60929 | 50617 | 156370 | 11169 | 15969 |
| 30 | 46443 | 60264 | 177288 | 12663 | 17463 |
| 31 | 109927 | 95269 | 116712 | 8337 | 13137 |
| 32 | 67361 | 79970 | 99612 | 7115 | 11915 |
| 33 | 49351 | 51282 | 119761 | 8554 | 13354 |
| 34 | 50261 | 47825 | 110535 | 7895 | 12695 |
| 35 | 69501 | 59325 | 122901 | 8779 | 13579 |

| Article # 1 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------|
| Modèle de base | | 90% | 7 925 | 0 | 925 293 | 925 293 |
| | | 95% | 10 172 | 0 | 950 493 | 950 493 |
| | | 98% | 12 700 | 0 | 975 693 | 975 693 |
| | | 99% | 14 386 | 0 | 1 000 893 | 1 000 893 |
| Hadley | k = 80% | 90% | 5 211 | 19 722 | 804 223 | 823 945 |
| | | 95% | 13 709 | 19 722 | 955 423 | 975 145 |
| | | 98% | 24 138 | 0 | 1 227 693 | 1 227 693 |
| | | 99% | 31 601 | 0 | 1 404 093 | 1 404 093 |
| | k = 90% | 90% | 9 101 | 0 | 849 693 | 849 693 |
| | | 95% | 17 774 | 0 | 1 101 693 | 1 101 693 |
| | | 98% | 28 402 | 0 | 1 378 893 | 1 378 893 |
| | | 99% | 35 997 | 0 | 1 429 293 | 1 429 293 |
| | k = 95% | 90% | 11 046 | 0 | 950 493 | 950 493 |
| | | 95% | 19 807 | 0 | 1 152 093 | 1 152 093 |
| | | 98% | 30 534 | 0 | 1 404 093 | 1 404 093 |
| | | 99% | 38 195 | 0 | 1 479 693 | 1 479 693 |
| | k = 98% | 90% | 12 213 | 0 | 975 693 | 975 693 |
| | | 95% | 21 027 | 0 | 1 152 093 | 1 152 093 |
| | | 98% | 31 813 | 0 | 1 404 093 | 1 404 093 |
| | | 99% | 39 514 | 0 | 1 504 893 | 1 504 893 |
| Herrin | | 90% | 8 927 | 422 | 774 198 | 774 620 |
| | | 95% | 11 458 | 422 | 799 398 | 799 820 |
| | | 98% | 14 307 | 422 | 849 798 | 850 220 |
| | | 99% | 16 205 | 422 | 874 998 | 875 420 |
| Krupp | | 90% | 3 526 | 0 | 774 093 | 774 093 |
| | | 95% | 4 525 | 0 | 774 093 | 774 093 |
| | | 98% | 5 650 | 0 | 774 093 | 774 093 |
| | | 99% | 6 400 | 0 | 774 093 | 774 093 |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 50 754 | 0 | 1 857 693 | 1 857 693 |
| | 6 sem. | 20 | 99 302 | 0 | 2 916 093 | 2 916 093 |
| | 2 sem. | 2 | 12 536 | 0 | 975 693 | 975 693 |
| | 2 sem. | 3 | 17 304 | 0 | 1 026 093 | 1 026 093 |
| | 2 sem. | 5 | 26 840 | 0 | 1 328 493 | 1 328 493 |
| | 2 sem. | 1 | 7 768 | 0 | 925 293 | 925 293 |
| | 2 sem. | 7 | 36 376 | 0 | 1 504 893 | 1 504 893 |
| | 6 sem. | 21 | 104 117 | 0 | 2 966 493 | 2 966 493 |
| | 6 sem. | 35 | 171 529 | 0 | 4 428 093 | 4 428 093 |

(suite)

| Article # 2 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Modèle de base | | 90% | 195 613 | 78 452 | 11 420 066 | 11 498 518 |
| | | 95% | 251 066 | 78 452 | 13 084 058 | 13 162 510 |
| | | 98% | 313 479 | 78 452 | 13 500 056 | 13 578 508 |
| | | 99% | 355 087 | 78 452 | 16 828 040 | 16 906 492 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 1 111 716 | 345 855 | 17 726 887 | 18 072 741 |
| | | 95% | 1 435 182 | 345 855 | 18 142 885 | 18 488 739 |
| | | 98% | 1 828 345 | 345 855 | 26 046 847 | 26 392 701 |
| | | 99% | 2 107 574 | 345 855 | 26 462 845 | 26 808 699 |
| | k=90% | 90% | 1 193 715 | 345 855 | 17 726 887 | 18 072 741 |
| | | 95% | 1 521 014 | 345 855 | 24 798 853 | 25 144 707 |
| | | 98% | 1 918 489 | 345 855 | 26 462 845 | 26 808 699 |
| | | 99% | 2 200 592 | 345 855 | 26 462 845 | 26 808 699 |
| | k=95% | 90% | 1 234 715 | 345 855 | 17 726 887 | 18 072 741 |
| | | 95% | 1 563 929 | 345 855 | 24 798 853 | 25 144 707 |
| | | 98% | 1 963 561 | 345 855 | 26 462 845 | 26 808 699 |
| | | 99% | 2 247 101 | 345 855 | 26 462 845 | 26 808 699 |
| | k=98% | 90% | 1 259 315 | 345 855 | 17 726 887 | 18 072 741 |
| | | 95% | 1 589 679 | 345 855 | 24 798 853 | 25 144 707 |
| | | 98% | 1 990 604 | 345 855 | 26 462 845 | 26 808 699 |
| | | 99% | 2 275 007 | 345 855 | 26 878 843 | 27 224 697 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 240 814 | 345 855 | 9 406 927 | 9 752 781 |
| | | 95% | 309 082 | 345 855 | 9 822 925 | 10 168 779 |
| | | 98% | 385 917 | 345 855 | 11 486 917 | 11 832 771 |
| | | 99% | 437 139 | 345 855 | 11 902 915 | 12 248 769 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 146 010 | 80 688 | 9 340 635 | |
| | | 95% | 187 402 | 80 688 | 11 004 627 | 11 085 315 |
| | | 98% | 233 989 | 80 688 | 11 420 625 | 11 501 313 |
| | | 99% | 265 046 | 80 688 | 11 836 623 | 11 917 311 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 997 932 | 78 452 | 29 723 978 | 29 802 430 |
| | 6 sem. | 20 | 1 864 440 | 78 452 | 45 947 900 | 46 026 352 |
| | 2 sem. | 2 | 310 417 | 78 452 | 15 164 048 | 15 242 500 |
| | 2 sem. | 3 | 396 293 | 78 452 | 18 076 034 | 18 154 486 |
| | 2 sem. | 5 | 568 044 | 78 452 | 21 820 016 | 21 898 468 |
| | 2 sem. | 1 | 224 542 | 78 452 | 12 252 062 | 12 330 514 |
| | 2 sem. | 7 | 739 795 | 78 452 | 23 484 008 | 23 562 460 |
| | 6 sem. | 21 | 1 950 729 | 78 452 | 48 027 890 | 48 106 342 |
| | 6 sem. | 35 | 3 158 771 | 78 452 | 65 083 808 | 65 162 260 |

(suite)

| Article # 3 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------|----------|-----------------|----------------------|----------------------|-----------|
| Modèle de base | | 90% | 942 | 0 | 967 020 | 967 020 |
| | | 95% | 1 210 | 0 | 967 020 | 967 020 |
| | | 98% | 1 510 | 0 | 967 020 | 967 020 |
| | | 99% | 1 711 | 0 | 967 020 | 967 020 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 95% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 98% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 99% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | k=90% | 90% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 95% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 98% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 99% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | k=95% | 90% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 95% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 98% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 99% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | k=98% | 90% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 95% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 98% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 99% | 0 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 1 156 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 95% | 1 484 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 98% | 1 853 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 99% | 2 099 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 709 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 95% | 910 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 98% | 1 136 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| | | 99% | 1 287 | 1 594 | 1 276 026 | 1 277 620 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 5 065 | 0 | 645 788 | 645 788 |
| | 6 sem. | 20 | 7 172 | 0 | 653 596 | 653 596 |
| | 2 sem. | 2 | 3 414 | 0 | 724 635 | 724 635 |
| | 2 sem. | 3 | 3 621 | 0 | 724 635 | 724 635 |
| | 2 sem. | 5 | 4 034 | 0 | 724 635 | 724 635 |
| | 2 sem. | 1 | 3 207 | 0 | 898 447 | 898 447 |
| | 2 sem. | 7 | 4 448 | 0 | 724 635 | 724 635 |
| | 6 sem. | 21 | 7 380 | 0 | 653 596 | 653 596 |
| | 6 sem. | 35 | 10 301 | 0 | 728 596 | 728 596 |

(suite)

| Article # 4 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------|
| Modèle de base | | 90% | 3 891 | 44 682 | 737 939 | 782 621 |
| | | 95% | 4 994 | 44 682 | 762 939 | 807 621 |
| | | 98% | 6 235 | 44 682 | 762 939 | 807 621 |
| | | 99% | 7 063 | 44 682 | 812 939 | 857 621 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | -4 837 | 44 682 | 637 939 | 682 621 |
| | | 95% | 510 | 44 682 | 687 939 | 732 621 |
| | | 98% | 7 013 | 44 682 | 887 939 | 932 621 |
| | | 99% | 11 633 | 44 682 | 912 939 | 957 621 |
| | k=90% | 90% | -2 366 | 44 682 | 637 939 | 682 621 |
| | | 95% | 3 070 | 44 682 | 712 939 | 757 621 |
| | | 98% | 9 672 | 44 682 | 912 939 | 957 621 |
| | | 99% | 14 358 | 44 682 | 962 939 | 1 007 621 |
| | k=95% | 90% | -1 130 | 44 682 | 637 939 | 682 621 |
| | | 95% | 4 349 | 44 682 | 762 939 | 807 621 |
| | | 98% | 11 001 | 44 682 | 937 939 | 982 621 |
| | | 99% | 15 720 | 44 682 | 1 012 939 | 1 057 621 |
| | k=98% | 90% | -389 | 44 682 | 637 939 | |
| | | 95% | 5 117 | 44 682 | 812 939 | 857 621 |
| | | 98% | 11 799 | 44 682 | 937 939 | 982 621 |
| | | 99% | 16 538 | 44 682 | 1 012 939 | 1 057 621 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 5 643 | 44 682 | 762 939 | 807 621 |
| | | 95% | 7 243 | 44 682 | 762 939 | 807 621 |
| | | 98% | 9 043 | 44 682 | 787 939 | 832 621 |
| | | 99% | 10 243 | 44 682 | 787 939 | 832 621 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 1 769 | 44 682 | 662 939 | 707 621 |
| | | 95% | 2 270 | 44 682 | 662 939 | 707 621 |
| | | 98% | 2 834 | 44 682 | 662 939 | 707 621 |
| | | 99% | 3 211 | 44 682 | 662 939 | 707 621 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 35 430 | 44 682 | 1 487 939 | 1 532 621 |
| | 6 sem. | 20 | 68 172 | 44 682 | 2 212 939 | 2 257 621 |
| | 2 sem. | 2 | 10 278 | 44 682 | 962 939 | 1 007 621 |
| | 2 sem. | 3 | 13 417 | 44 682 | 962 939 | 1 007 621 |
| | 2 sem. | 5 | 19 694 | 44 682 | 1 137 939 | 1 182 621 |
| | 2 sem. | 1 | 7 139 | 44 682 | 837 939 | 882 621 |
| | 2 sem. | 7 | 25 972 | 44 682 | 1 262 939 | 1 307 621 |
| | 6 sem. | 21 | 71 381 | 44 682 | 2 312 939 | 2 357 621 |
| 6 sem. | 35 | 116 301 | 44 682 | 3 287 939 | 3 332 621 | |

(suite)

| Article # 5 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------|
| Modèle de base | | 90% | 612 | 25 384 | 831 197 | |
| | | 95% | 786 | 25 384 | 831 197 | 856 581 |
| | | 98% | 981 | 25 384 | 831 197 | 856 581 |
| | | 99% | 1 112 | 25 384 | 831 197 | 856 581 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 95% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 98% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 99% | 40 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | k=90% | 90% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 95% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 98% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 99% | 79 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | k=95% | 90% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 95% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 98% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 99% | 103 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | k=98% | 90% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 95% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 98% | 0 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 99% | 118 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 719 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 95% | 923 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 98% | 1 152 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 99% | 1 305 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 112 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 95% | 144 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 98% | 180 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | | 99% | 204 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 3 602 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | 6 sem. | 20 | 4 776 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | 2 sem. | 2 | 2 720 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | 2 sem. | 3 | 2 831 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | 2 sem. | 5 | 3 051 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | 2 sem. | 1 | 2 610 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | 2 sem. | 7 | 3 272 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | 6 sem. | 21 | 4 890 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |
| | 6 sem. | 35 | 6 483 | 25 384 | 867 246 | 892 631 |

(suite)

| Article # 6 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------|
| Modèle de base | | 90% | 616 | 5 446 | 914 674 | |
| | | 95% | 790 | 5 446 | 914 674 | 920 120 |
| | | 98% | 987 | 5 446 | 914 674 | 920 120 |
| | | 99% | 1 118 | 5 446 | 914 674 | 920 120 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 95% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 98% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 99% | 1 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | k=90% | 90% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 95% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 98% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 99% | 4 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | k=95% | 90% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 95% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 98% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 99% | 6 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | k=98% | 90% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 95% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 98% | 0 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 99% | 7 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 713 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 95% | 915 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 98% | 1 143 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 99% | 1 294 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 35 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 95% | 45 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 98% | 56 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | | 99% | 63 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 3 618 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | 6 sem. | 20 | 4 804 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | 2 sem. | 2 | 2 724 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | 2 sem. | 3 | 2 836 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | 2 sem. | 5 | 3 060 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | 2 sem. | 1 | 2 612 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | 2 sem. | 7 | 3 283 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | 6 sem. | 21 | 4 920 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |
| | 6 sem. | 35 | 6 533 | 5 446 | 967 506 | 972 952 |

(suite)

| Article # 7 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Modèle de base | | 90% | 92 418 | 583 584 | 37 818 299 | 38 401 883 |
| | | 95% | 118 617 | 583 584 | 38 176 699 | 38 760 283 |
| | | 98% | 148 104 | 583 584 | 41 043 899 | 41 627 483 |
| | | 99% | 167 761 | 583 584 | 41 043 899 | 41 627 483 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 0 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 95% | 13 735 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 98% | 95 903 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 99% | 172 083 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | k=90% | 90% | 0 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 95% | 23 273 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 98% | 112 490 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 99% | 195 251 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | k=95% | 90% | 0 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 95% | 28 704 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 98% | 122 251 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 99% | 207 357 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | k=98% | 90% | 0 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 95% | 32 068 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 98% | 128 558 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 99% | 214 620 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 112 471 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 95% | 144 355 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 98% | 180 240 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 99% | 204 163 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 16 873 | 583 584 | 37 136 676 | |
| | | 95% | 21 656 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 98% | 27 040 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | | 99% | 30 629 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 356 385 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | 6 sem. | 20 | 637 173 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | 2 sem. | 2 | 129 008 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | 2 sem. | 3 | 157 512 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | 2 sem. | 5 | 214 519 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | 2 sem. | 1 | 100 504 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | 2 sem. | 7 | 271 527 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | 6 sem. | 21 | 665 431 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |
| | 6 sem. | 35 | 1 061 052 | 583 584 | 37 136 676 | 37 720 260 |

(suite)

| Article # 8 | | z | SS moyen | C _p | C _s | CT |
|----------------|---------|-----|----------|----------------|----------------|-----------|
| Modèle de base | | 90% | 2 888 | 0 | 489 322 | 489 322 |
| | | 95% | 3 707 | 0 | 489 322 | 489 322 |
| | | 98% | 4 628 | 0 | 519 322 | 519 322 |
| | | 99% | 5 243 | 0 | 519 322 | 519 322 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 0 | 0 | 429 322 | 429 322 |
| | | 95% | 174 | 0 | 429 322 | 429 322 |
| | | 98% | 4 562 | 0 | 504 322 | 504 322 |
| | | 99% | 8 923 | 0 | 639 322 | 639 322 |
| | k=90% | 90% | 0 | 0 | 429 322 | 429 322 |
| | | 95% | 587 | 0 | 459 322 | 459 322 |
| | | 98% | 6 043 | 0 | 519 322 | 519 322 |
| | | 99% | 10 455 | 0 | 699 322 | 699 322 |
| | k=95% | 90% | 15 | 0 | 429 322 | 429 322 |
| | | 95% | 995 | 0 | 459 322 | 459 322 |
| | | 98% | 6 785 | 0 | 579 322 | 579 322 |
| | | 99% | 11 232 | 0 | 714 322 | 714 322 |
| | k=98% | 90% | 23 | 0 | 429 322 | 429 322 |
| | | 95% | 1 288 | 0 | 474 322 | 474 322 |
| | | 98% | 7 231 | 0 | 609 322 | 609 322 |
| | | 99% | 11 699 | 0 | 729 322 | 729 322 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 3 515 | 0 | 474 322 | 474 322 |
| | | 95% | 4 511 | 0 | 474 322 | 474 322 |
| | | 98% | 5 632 | 0 | 489 322 | 489 322 |
| | | 99% | 6 380 | 0 | 504 322 | 504 322 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 527 | 0 | 444 322 | 444 322 |
| | | 95% | 677 | 0 | 444 322 | 444 322 |
| | | 98% | 845 | 0 | 459 322 | 459 322 |
| | | 99% | 957 | 0 | 459 322 | 459 322 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | | | | |
| | 6 sem. | 20 | 36 426 | 0 | 1 344 322 | 1 344 322 |
| | 2 sem. | 2 | 4 563 | 0 | 519 322 | 519 322 |
| | 2 sem. | 3 | 6 344 | 0 | 594 322 | 594 322 |
| | 2 sem. | 5 | 9 907 | 0 | 669 322 | 669 322 |
| | 2 sem. | 1 | 2 781 | 0 | 489 322 | 489 322 |
| | 2 sem. | 7 | 13 470 | 0 | 744 322 | 744 322 |
| | 6 sem. | 21 | 38 197 | 0 | 1 374 322 | 1 374 322 |
| | 6 sem. | 35 | 62 995 | 0 | 1 944 322 | 1 944 322 |

(suite)

| Article # 9 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------|
| Modèle de base | | 90% | 14 286 | 0 | 1 018 484 | 1 018 484 |
| | | 95% | 18 336 | 0 | 1 171 266 | 1 171 266 |
| | | 98% | 22 895 | 0 | 1 246 266 | 1 246 266 |
| | | 99% | 25 933 | 0 | 1 271 266 | 1 271 266 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 10 078 | 1 020 | 793 739 | 794 759 |
| | | 95% | 20 706 | 1 020 | 1 071 521 | 1 072 540 |
| | | 98% | 34 073 | 1 020 | 1 358 421 | 1 359 440 |
| | | 99% | 43 760 | 1 020 | 1 445 241 | 1 446 261 |
| | k=90% | 90% | 14 604 | 1 020 | 921 521 | 922 540 |
| | | 95% | 25 564 | 1 020 | 1 183 421 | 1 184 440 |
| | | 98% | 39 234 | 1 020 | 1 383 421 | 1 384 440 |
| | | 99% | 49 150 | 1 020 | 1 545 241 | 1 546 261 |
| | k=95% | 90% | 16 906 | 1 020 | 946 521 | 947 540 |
| | | 95% | 27 993 | 1 020 | 1 208 421 | 1 209 440 |
| | | 98% | 41 840 | 1 020 | 1 445 241 | 1 446 261 |
| | | 99% | 51 852 | 1 020 | 1 545 241 | 1 546 261 |
| | k=98% | 90% | 18 288 | 1 020 | 946 521 | 947 540 |
| | | 95% | 29 464 | 1 020 | 1 233 421 | 1 234 440 |
| | | 98% | 43 403 | 1 020 | 1 445 241 | 1 446 261 |
| | | 99% | 53 473 | 1 020 | 1 570 241 | 1 571 261 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 13 879 | 5 913 | 769 962 | 775 875 |
| | | 95% | 17 813 | 1 020 | 868 739 | 869 759 |
| | | 98% | 22 241 | 1 020 | 893 739 | 894 759 |
| | | 99% | 25 193 | 1 020 | 893 739 | 894 759 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 5 677 | 5 913 | 744 962 | 750 875 |
| | | 95% | 7 287 | 5 913 | 744 962 | 750 875 |
| | | 98% | 9 098 | 5 913 | 769 962 | 775 875 |
| | | 99% | 10 306 | 1 020 | 818 739 | 819 759 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 64 060 | 0 | 1 994 972 | 1 994 972 |
| | 6 sem. | 20 | 124 800 | 0 | 3 331 872 | 3 331 872 |
| | 2 sem. | 2 | 15 965 | 0 | 996 266 | 996 266 |
| | 2 sem. | 3 | 21 947 | 0 | 1 146 266 | 1 146 266 |
| | 2 sem. | 5 | 33 911 | 0 | 1 408 166 | 1 408 166 |
| | 2 sem. | 1 | 9 982 | 0 | 893 484 | 893 484 |
| | 2 sem. | 7 | 45 876 | 0 | 1 569 986 | 1 569 986 |
| | 6 sem. | 21 | 130 840 | 0 | 3 381 872 | 3 381 872 |
| | 6 sem. | 35 | 215 400 | 0 | 4 681 872 | 4 681 872 |

(suite)

| Article # 10 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Modèle de base | | 90% | 126 661 | 87 441 | 9 287 314 | 9 374 755 |
| | | 95% | 162 568 | 87 441 | 9 841 978 | 9 929 419 |
| | | 98% | 202 980 | 87 441 | 10 673 974 | 10 761 415 |
| | | 99% | 229 922 | 456 621 | 11 808 619 | 12 265 240 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 1 017 875 | 48 752 | 12 166 336 | 12 215 088 |
| | | 95% | 1 361 700 | 48 752 | 12 998 332 | 13 047 084 |
| | | 98% | 1 787 809 | 48 752 | 13 275 664 | 13 324 416 |
| | | 99% | 2 094 905 | 48 752 | 13 552 996 | 13 601 748 |
| | k=90% | 90% | 1 077 101 | 48 752 | 12 443 668 | 12 492 420 |
| | | 95% | 1 424 574 | 48 752 | 12 998 332 | 13 047 084 |
| | | 98% | 1 854 791 | 48 752 | 13 275 664 | 13 324 416 |
| | | 99% | 2 164 625 | 48 752 | 13 552 996 | 13 601 748 |
| | k=95% | 90% | 1 106 714 | 48 752 | 12 443 668 | 12 492 420 |
| | | 95% | 1 456 011 | 48 752 | 12 998 332 | 13 047 084 |
| | | 98% | 1 888 281 | 48 752 | 13 552 996 | 13 601 748 |
| | | 99% | 2 199 484 | 48 752 | 13 552 996 | 13 601 748 |
| | k=98% | 90% | 1 124 481 | 48 752 | 12 443 668 | 12 492 420 |
| | | 95% | 1 474 874 | 48 752 | 12 998 332 | 13 047 084 |
| | | 98% | 1 908 376 | 48 752 | 13 552 996 | 13 601 748 |
| | | 99% | 2 220 400 | 48 752 | 13 552 996 | 13 601 748 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 141 839 | 136 193 | 7 912 842 | 8 049 035 |
| | | 95% | 182 049 | 136 193 | 7 912 842 | 8 049 035 |
| | | 98% | 227 304 | 136 193 | 8 190 174 | 8 326 367 |
| | | 99% | 257 474 | 136 193 | 8 190 174 | 8 326 367 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 67 025 | 107 633 | 7 351 038 | |
| | | 95% | 86 025 | 107 633 | 7 351 038 | 7 458 671 |
| | | 98% | 107 410 | 107 633 | 7 628 370 | 7 736 003 |
| | | 99% | 121 667 | 107 633 | 7 628 370 | 7 736 003 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 784 583 | 0 | 22 415 432 | 22 415 432 |
| | 6 sem. | 20 | 1 440 134 | 0 | 34 895 372 | 34 895 372 |
| | 2 sem. | 2 | 267 701 | 456 621 | 12 363 283 | 12 819 904 |
| | 2 sem. | 3 | 332 218 | 456 621 | 13 472 611 | 13 929 232 |
| | 2 sem. | 5 | 461 252 | 0 | 16 036 796 | 16 036 796 |
| | 2 sem. | 1 | 203 183 | 456 621 | 10 976 623 | 11 433 244 |
| | 2 sem. | 7 | 590 287 | 0 | 18 255 452 | 18 255 452 |
| | 6 sem. | 21 | 1 505 207 | 0 | 35 450 036 | 35 450 036 |
| 6 sem. | 35 | 2 416 235 | 0 | 48 761 972 | 48 761 972 | |

(suite)

| Article # 11 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Modèle de base | | 90% | 102 621 | 0 | 9 829 508 | 9 829 508 |
| | | 95% | 131 712 | 0 | 10 938 836 | 10 938 836 |
| | | 98% | 164 455 | 0 | 12 602 828 | 12 602 828 |
| | | 99% | 186 283 | 0 | 12 602 828 | 12 602 828 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 701 761 | 30 544 | 13 719 792 | 13 750 336 |
| | | 95% | 900 860 | 30 544 | 14 274 456 | 14 305 000 |
| | | 98% | 1 148 051 | 30 544 | 15 938 448 | 15 968 992 |
| | | 99% | 1 326 437 | 30 544 | 16 215 780 | 16 246 324 |
| | k=90% | 90% | 751 419 | 30 544 | 13 997 124 | 14 027 668 |
| | | 95% | 953 859 | 30 544 | 15 106 452 | 15 136 996 |
| | | 98% | 1 204 808 | 30 544 | 15 938 448 | 15 968 992 |
| | | 99% | 1 385 700 | 30 544 | 16 493 112 | 16 523 656 |
| | k=95% | 90% | 776 249 | 30 544 | 13 997 124 | 14 027 668 |
| | | 95% | 980 358 | 30 544 | 15 106 452 | 15 136 996 |
| | | 98% | 1 233 187 | 30 544 | 16 215 780 | 16 246 324 |
| | | 99% | 1 415 331 | 30 544 | 16 493 112 | 16 523 656 |
| | k=98% | 90% | 791 147 | 30 544 | 13 997 124 | 14 027 668 |
| | | 95% | 996 257 | 30 544 | 15 106 452 | 15 136 996 |
| | | 98% | 1 250 214 | 30 544 | 16 215 780 | 16 246 324 |
| | | 99% | 1 433 110 | 30 544 | 16 493 112 | 16 523 656 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 114 973 | 30 544 | 9 282 480 | 9 313 024 |
| | | 95% | 147 566 | 30 544 | 9 559 812 | 9 590 356 |
| | | 98% | 184 249 | 30 544 | 10 669 140 | 10 699 684 |
| | | 99% | 208 705 | 30 544 | 10 669 140 | 10 699 684 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 42 538 | 0 | 8 997 512 | 8 997 512 |
| | | 95% | 54 597 | 0 | 8 997 512 | 8 997 512 |
| | | 98% | 68 169 | 0 | 9 552 176 | 9 552 176 |
| | | 99% | 77 217 | 0 | 9 552 176 | 9 552 176 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 670 895 | 0 | 23 141 444 | 23 141 444 |
| | 6 sem. | 20 | 1 214 051 | 0 | 35 344 052 | 35 344 052 |
| | 2 sem. | 2 | 244 950 | 0 | 13 712 156 | 13 712 156 |
| | 2 sem. | 3 | 298 092 | 0 | 14 266 820 | 14 266 820 |
| | 2 sem. | 5 | 404 376 | 0 | 17 594 804 | 17 594 804 |
| | 2 sem. | 1 | 191 808 | 0 | 13 157 492 | 13 157 492 |
| | 2 sem. | 7 | 510 660 | 0 | 21 200 120 | 21 200 120 |
| | 6 sem. | 21 | 1 267 820 | 0 | 36 730 712 | 36 730 712 |
| | 6 sem. | 35 | 2 020 590 | 0 | 52 261 304 | 52 261 304 |

(suite)

| Article # 12 | | z | SS moyen | C_p | C_s | CT |
|-----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------|
| Modèle de base | | 90% | 83 340 | 9 120 | 5 626 163 | 5 635 283 |
| | | 95% | 106 965 | 9 120 | 6 180 827 | 6 189 947 |
| | | 98% | 133 556 | 9 120 | 6 735 491 | 6 744 611 |
| | | 99% | 151 283 | 9 120 | 6 874 157 | 6 883 277 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 575 844 | 9 120 | 5 626 163 | 5 635 283 |
| | | 95% | 794 265 | 9 120 | 6 042 161 | 6 051 281 |
| | | 98% | 1 070 545 | 9 120 | 6 180 827 | 6 189 947 |
| | | 99% | 1 272 642 | 9 120 | 6 319 493 | 6 328 613 |
| | k=90% | 90% | 605 406 | 9 120 | 5 626 163 | 5 635 283 |
| | | 95% | 826 145 | 9 120 | 6 042 161 | 6 051 281 |
| | | 98% | 1 105 032 | 9 120 | 6 319 493 | 6 328 613 |
| | | 99% | 1 308 869 | 9 120 | 6 319 493 | 6 328 613 |
| | k=95% | 90% | 620 187 | 9 120 | 5 626 163 | 5 635 283 |
| | | 95% | 842 084 | 9 120 | 6 042 161 | 6 051 281 |
| | | 98% | 1 122 276 | 9 120 | 6 319 493 | 6 328 613 |
| | | 99% | 1 326 982 | 9 120 | 6 319 493 | 6 328 613 |
| | k=98% | 90% | 629 055 | 9 120 | 5 626 163 | 5 635 283 |
| | | 95% | 851 648 | 9 120 | 6 042 161 | 6 051 281 |
| | | 98% | 1 132 622 | 9 120 | 6 319 493 | 6 328 613 |
| | | 99% | 1 337 849 | 9 120 | 6 319 493 | 6 328 613 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 52 372 | 9 120 | 5 071 499 | 5 080 619 |
| | | 95% | 67 219 | 9 120 | 5 210 165 | 5 219 285 |
| | | 98% | 83 929 | 9 120 | 5 626 163 | 5 635 283 |
| | | 99% | 95 069 | 9 120 | 5 626 163 | 5 635 283 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 34 110 | 9 120 | 4 655 501 | |
| | | 95% | 43 780 | 9 120 | 4 794 167 | 4 803 287 |
| | | 98% | 54 664 | 9 120 | 4 794 167 | 4 803 287 |
| | | 99% | 61 919 | 9 120 | 5 071 499 | 5 080 619 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 460 256 | 0 | 13 317 672 | 13 317 672 |
| | 6 sem. | 20 | 792 021 | 0 | 20 528 304 | 20 528 304 |
| | 2 sem. | 2 | 202 895 | 9 120 | 8 122 151 | 8 131 271 |
| | 2 sem. | 3 | 235 010 | 9 120 | 8 260 817 | 8 269 937 |
| | 2 sem. | 5 | 299 239 | 0 | 10 405 686 | 10 405 686 |
| | 2 sem. | 1 | 170 781 | 9 120 | 7 151 489 | 7 160 609 |
| | 2 sem. | 7 | 363 469 | 0 | 11 237 682 | 11 237 682 |
| | 6 sem. | 21 | 824 689 | 0 | 20 666 970 | 20 666 970 |
| 6 sem. | 35 | 1 282 038 | 0 | 28 293 600 | 28 293 600 | |

(suite)

| Article # 13 | | z | SS moyen | C _p | C _s | CT |
|----------------|---------|-----|----------|----------------|----------------|-----------|
| Modèle de base | | 90% | 12 838 | 1 336 769 | 624 538 | 1 961 307 |
| | | 95% | 16 478 | 1 336 769 | 624 538 | 1 961 307 |
| | | 98% | 20 574 | 1 336 769 | 624 538 | 1 961 307 |
| | | 99% | 23 304 | 1 336 769 | 624 538 | 1 961 307 |
| ----- | | | | | | |
| Hadley | k = 80% | 90% | 28 838 | 1 336 769 | 624 538 | 1 961 307 |
| | | 95% | 43 916 | 1 336 769 | 659 538 | 1 996 307 |
| | | 98% | 62 274 | 1 336 769 | 813 575 | 2 150 344 |
| | | 99% | 75 328 | 1 336 769 | 813 575 | 2 150 344 |
| | k=90% | 90% | 36 638 | 1 336 769 | 624 538 | 1 961 307 |
| | | 95% | 52 054 | 1 336 769 | 778 575 | 2 115 344 |
| | | 98% | 70 791 | 1 336 769 | 813 575 | 2 150 344 |
| | | 99% | 84 099 | 1 336 769 | 1 290 998 | 2 627 767 |
| | k=95% | 90% | 40 538 | 1 336 769 | 659 538 | 1 996 307 |
| | | 95% | 56 123 | 1 336 769 | 813 575 | 2 150 344 |
| | | 98% | 75 050 | 1 336 769 | 813 575 | 2 150 344 |
| | | 99% | 88 484 | 1 336 769 | 1 325 998 | 2 662 767 |
| | k=98% | 90% | 42 878 | 1 336 769 | 659 538 | 1 996 307 |
| | | 95% | 58 564 | 1 336 769 | 813 575 | 2 150 344 |
| | | 98% | 77 605 | 1 336 769 | 1 255 998 | 2 592 767 |
| | | 99% | 91 115 | 1 336 769 | 1 360 998 | 2 697 767 |
| ----- | | | | | | |
| Herrin | | 90% | 14 286 | 1 336 769 | 449 538 | 1 786 307 |
| | | 95% | 18 336 | 1 336 769 | 449 538 | 1 786 307 |
| | | 98% | 22 894 | 1 336 769 | 449 538 | 1 786 307 |
| | | 99% | 25 932 | 1 336 769 | 449 538 | 1 786 307 |
| ----- | | | | | | |
| Krupp | | 90% | 8 141 | 1 336 769 | 519 538 | 1 856 307 |
| | | 95% | 10 449 | 1 336 769 | 519 538 | 1 856 307 |
| | | 98% | 13 047 | 1 336 769 | 554 538 | 1 891 307 |
| | | 99% | 14 779 | 1 336 769 | 554 538 | 1 891 307 |
| ----- | | | | | | |
| Yoplait | 3 sem. | 10 | 100 262 | 1 336 769 | 1 360 998 | 2 697 767 |
| | 6 sem. | 20 | 201 506 | 1 336 769 | 2 165 998 | 3 502 767 |
| | 2 sem. | 2 | 24 330 | 1 336 769 | 624 538 | 1 961 307 |
| | 2 sem. | 3 | 34 095 | 1 336 769 | 624 538 | 1 961 307 |
| | 2 sem. | 5 | 53 624 | 1 336 769 | 813 575 | 2 150 344 |
| | 2 sem. | 1 | 14 565 | 1 336 769 | 624 538 | 1 961 307 |
| | 2 sem. | 7 | 73 154 | 1 336 769 | 883 575 | 2 220 344 |
| | 6 sem. | 21 | 211 341 | 1 336 769 | 2 165 998 | 3 502 767 |
| | 6 sem. | 35 | 349 035 | 1 336 769 | 2 165 998 | 3 502 767 |

| Items | Modèle | Niveau de service | Quantité moyenne de SS | C _p | C _s | CT | Gain par rapport au modèle de base |
|----------|---------|------------------------|------------------------|----------------|----------------|------------|------------------------------------|
| 1 | de base | z: 90% | 7 232 | 0 | 841 525 | 841 525 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 10 377 | 0 | 917 125 | 917 125 | -8,24% |
| | Herrin | z: 90% | 7 430 | 0 | 791 125 | 791 125 | 6,37% |
| | Krupp | z: 90% | 2 372 | 4 727 | 716 707 | 721 434 | 16,65% |
| | Yoplait | 2 semaines 3 jours | 17 011 | 0 | 1 169 125 | 1 169 125 | -28,02% |
| 2 | de base | z: 90% | 194 678 | 903 543 | 10 114 096 | 11 017 638 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 734 382 | 0 | 25 191 744 | 25 191 744 | -56,26% |
| | Herrin | z: 90% | 215 721 | 903 543 | 10 114 096 | 11 017 638 | 0,00% |
| | Krupp | z: 90% | 159 091 | 903 543 | 9 698 098 | 10 601 640 | 3,92% |
| | Yoplait | 2 semaines 2 jours | 300 653 | 903 543 | 16 265 674 | 17 169 216 | -35,83% |
| 3 | de base | z: 90% | 1 016 | 0 | 679 076 | 679 076 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 0 | 0 | 909 026 | 909 026 | -25,30% |
| | Herrin | z: 90% | 1 083 | 0 | 909 026 | 909 026 | -25,30% |
| | Krupp | z: 90% | 467 | 0 | 909 026 | 909 026 | -25,30% |
| | Yoplait | 6 semaines 35 jours | 9 517 | 0 | 794 314 | 794 314 | -14,51% |
| 4 | de base | z: 90% | 9 404 | 33 114 | 876 704 | 909 818 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 0 | 33 587 | 701 823 | 735 410 | 23,72% |
| | Herrin | z: 90% | 9 233 | 33 114 | 851 704 | 884 818 | 2,83% |
| | Krupp | z: 90% | 4 395 | 33 587 | 726 823 | 760 410 | 19,65% |
| | Yoplait | 2 semaines 2 jours | 10 385 | 33 114 | 851 704 | 884 818 | 2,83% |
| 5 | de base | z: 90% | 667 | 0 | 460 570 | 460 570 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 304 | 0 | 480 460 | 480 460 | -4,14% |
| | Herrin | z: 90% | 746 | 0 | 480 460 | 480 460 | -4,14% |
| | Krupp | z: 90% | 355 | 0 | 480 460 | 480 460 | -4,14% |
| | Yoplait | 3 semaines 10 jours | 3 633 | 0 | 480 460 | 480 460 | -4,14% |
| 6 | de base | z: 90% | 1 019 | 0 | 425 607 | 425 607 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 2 812 | 0 | 403 820 | 403 820 | 5,40% |
| | Herrin | z: 90% | 923 | 0 | 403 820 | 403 820 | 5,40% |
| | Krupp | z: 90% | 266 | 0 | 403 820 | 403 820 | 5,40% |
| | Yoplait | 6 semaines 35 jours | 6 247 | 0 | 403 820 | 403 820 | 5,40% |

(suite)

| | | | | | | | |
|----|---------|-----------------------|---------|------------|------------|------------|---------|
| 7 | de base | z: 90% | 76 460 | 0 | 33 081 702 | 33 081 702 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 0 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 | 20,99% |
| | Herrin | z: 90% | 84 200 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 | 20,99% |
| | Krupp | z: 90% | 19 849 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 | 20,99% |
| | Yoplait | 2 semaines 5 jours | 179 811 | 0 | 27 343 279 | 27 343 279 | 20,99% |
| 8 | de base | z: 90% | 2 389 | 0 | 478 997 | 478 997 | 0,00% |
| | | k: 80% y: 90% | 9 | 1 715 | 374 426 | 376 142 | 27,34% |
| | Herrin | z: 90% | 2 631 | 0 | 463 997 | 463 997 | 3,23% |
| | Krupp | z: 90% | 620 | 1 291 | 389 320 | 390 611 | 22,63% |
| | Yoplait | 2 semaines 2 jours | 3 695 | 0 | 523 997 | 523 997 | -8,59% |
| 9 | de base | z: 90% | 17 146 | 12 775 458 | 13 270 | 12 788 728 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 24 817 | 12 775 458 | 13 270 | 12 788 728 | 0,00% |
| | Herrin | z: 90% | 15 475 | 12 775 458 | 63 270 | 12 838 728 | -0,39% |
| | Krupp | z: 90% | 11 655 | 12 775 458 | 13 270 | 12 788 728 | 0,00% |
| | Yoplait | 2 semaines 2 jours | 17 451 | 7 032 038 | 183 739 | 7 215 777 | 77,23% |
| 10 | de base | z: 90% | 120 970 | 23 848 152 | 5 847 877 | 29 696 029 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 720 353 | 0 | 19 218 024 | 19 218 024 | 54,52% |
| | Herrin | z: 90% | 125 544 | 23 848 152 | 5 847 877 | 29 696 029 | 0,00% |
| | Krupp | z: 90% | 66 879 | 23 848 152 | 4 738 549 | 28 586 701 | 3,88% |
| | | 2 semaines 2 jours | 257 068 | 128 836 | 10 511 394 | 10 640 230 | 179,09% |
| 11 | de base | z: 90% | 97 191 | 0 | 11 302 044 | 11 302 044 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 680 807 | 0 | 26 555 304 | 26 555 304 | -57,44% |
| | Herrin | z: 90% | 100 948 | 0 | 10 747 380 | 10 747 380 | 5,16% |
| | Krupp | z: 90% | 20 887 | 23 024 | 7 979 816 | 8 002 840 | 41,23% |
| | Yoplait | 2 semaines 2 jours | 237 463 | 0 | 14 075 364 | 14 075 364 | -19,70% |
| 12 | de base | z: 90% | 92 823 | 0 | 7 340 481 | 7 340 481 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 763 609 | 0 | 23 564 403 | 23 564 403 | -68,85% |
| | Herrin | z: 90% | 106 036 | 0 | 7 479 147 | 7 479 147 | -1,85% |
| | | z: 90% | 10 369 | 209 061 | 4 758 092 | 4 967 153 | 47,78% |
| | Yoplait | 2 semaines 2 jours | 185 760 | 0 | 9 420 471 | 9 420 471 | -22,08% |
| 13 | de base | z: 90% | 14 379 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 | 0,00% |
| | Hadley | k: 80% y: 90% | 44 595 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 | 0,00% |
| | Herrin | z: 90% | 15 491 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 | 0,00% |
| | Krupp | z: 90% | 11 146 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 | 0,00% |
| | Yoplait | 2 semaines 2 jours | 27 621 | 9 101 043 | 4 193 | 9 105 235 | 0,00% |

Annexe 8 Représentation Excel du modèle amélioré de Krupp (nouveau modèle 2)

| Délai (semaine) | Niveau de service | Coefficient de sécurité | | Couverture |
|-----------------|-------------------|-------------------------|--|------------|
| | | | | |
| 1,00 | 90,0% | 1,28 | | 2 semaines |

| Semaine | Prévision | Demande | Moyenne des prévisions pour 2 semaines de couverture | Écart absolu ju-di | EAM | Indices d'écart absolu | Indices d'écart | TBM | FETS | FET (>0) | s | s* accéléré | SS (TBM) | SS (FETS) | SS (FETS) accéléré |
|---------|-----------|---------|--|---------------------|--------|------------------------|-----------------|--------|-------|----------|-------|-------------|----------|-----------|--------------------|
| 1 | 352100 | 339920 | 372467 | 32547 | 32547 | 0,092 | | 0,092 | | | | | | | |
| 2 | 377983 | 474688 | 354592 | -120096 | 120096 | -0,318 | | 0,318 | | | | | | | |
| 3 | 366950 | 402880 | 364458 | -38422 | 38422 | -0,105 | | 0,105 | | | | | | | |
| 4 | 342233 | 427352 | 364192 | -63160 | 63160 | 63688,2 | | 0,185 | 0,172 | -0,641 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 85049 | 85049 |
| 5 | 386683 | 457600 | 385233 | -72367 | 72367 | 73892,8 | | 0,187 | 0,202 | -1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 88601 | 88601 |
| 6 | 341700 | 381440 | 412917 | 31477 | 31477 | 57982,9 | | 0,092 | 0,159 | -1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 87260 | 87260 |
| 7 | 428767 | 452160 | 427192 | -24968 | 24968 | 55667,9 | | 0,058 | 0,155 | -0,603 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 78673 | 78673 |
| 8 | 397067 | 333888 | 430050 | 96162 | 96162 | 42937,2 | | 0,242 | 0,112 | -0,454 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 65933 | 65933 |
| 9 | 457317 | 322752 | 378517 | 55765 | 55765 | 50869,0 | | 0,122 | 0,131 | 0,703 | 0,703 | 0,297 | 0,161 | 67540 | 20039 |
| 10 | 402783 | 344256 | 350183 | 5927 | 5927 | 58965,0 | | 0,015 | 0,141 | 0,724 | 0,724 | 0,276 | 0,149 | 63915 | 17625 |
| 11 | 354250 | 369920 | 328525 | -41395 | 41395 | 52618,0 | | -0,117 | 0,126 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 56013 | 0 |
| 12 | 346117 | 379072 | 333733 | -45339 | 45339 | 34362,3 | | -0,131 | 0,131 | 0,085 | 0,078 | 0,922 | 0,721 | 33672 | 31042 |
| 13 | 310933 | 300160 | 364183 | 64023 | 64023 | 30887,0 | | 0,206 | 0,088 | -0,888 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 39989 | 39989 |
| 14 | 356533 | 290624 | 366742 | 76118 | 76118 | 50252,3 | | 0,213 | 0,151 | -0,092 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 72074 | 72074 |
| 15 | 371833 | 383808 | 379133 | -4675 | 4675 | 61826,6 | | -0,013 | 0,183 | 0,524 | 0,524 | 0,476 | 0,276 | 85031 | 40474 |
| 16 | 361650 | 325008 | 379067 | 54059 | 54059 | 48271,9 | | 0,149 | 0,144 | 0,942 | 0,942 | 0,058 | 0,030 | 73188 | 4260 |
| 17 | 396617 | 397968 | 354650 | -43318 | 43318 | 44950,3 | | -0,109 | 0,125 | 0,933 | 0,933 | 0,067 | 0,034 | 57997 | 3883 |
| 18 | 361517 | 361216 | 357792 | -3424 | 3424 | 34017,1 | | -0,009 | 0,090 | 0,102 | 0,102 | 0,898 | 0,681 | 40302 | 36188 |
| 19 | 347783 | 370176 | 355850 | -14326 | 14326 | 33600,3 | | -0,041 | 0,089 | 0,115 | 0,115 | 0,885 | 0,661 | 42134 | 37297 |