

$$W(\alpha, x, \xi) \Rightarrow \max$$

Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)

Revue Spécialisée de Mathématiques et Applications

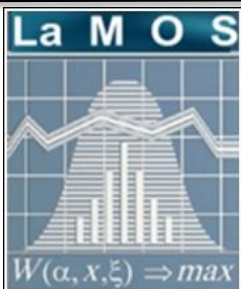
« Mathématiques industrielles 1:

*Gestion de la production,
Planification et optimisation
de la distribution, Coût et
restructuration tarifaire,
Gestion des stocks »*



Avec le Directeur Général et le staff dirigeant de la DRGB Sonatrach lors d'une visite pédagogique des étudiants de Recherche Opérationnelle (2018)

Sous la direction du Pr. Djamil Aïssani



Publication et Edition

LaMOS Research Unit
University of Béjaïa

<http://www.lamos.org>

Volume 20
Béjaïa 2021

ISSN (print): 1112-9433

E – ISSN (online): 2800 - 1214

$$W(\alpha, x, \xi) \Rightarrow \max$$

Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)

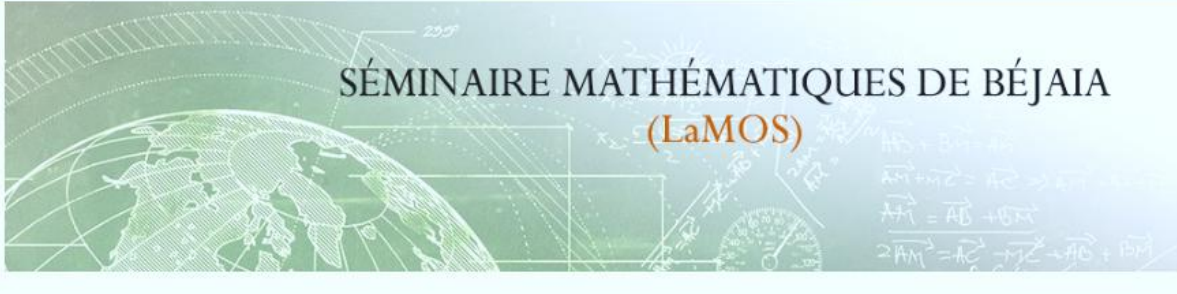
Revue Spécialisée de Mathématiques et Applications

« Mathématiques industrielles 1 :

Gestion de la production, Planification et optimisation de la distribution, Coût et restructuration tarifaire, Gestion des stocks »

Sous la direction du Pr. Djamil Aïssani

Editions 2021



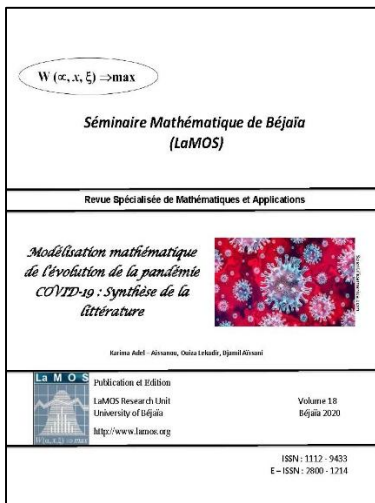
Revue spécialisée de Mathématiques et Applications

ISSN : 1112 – 9433. E – ISSN : 2800 - 1214

La revue «Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)» est éditée par l'Unité de Recherche LaMOS – Université de Béjaïa.

University of Bejaia, Targua Ouzamour, 06000, Algeria

E-Mail: lamos_bejaia@hotmail.com



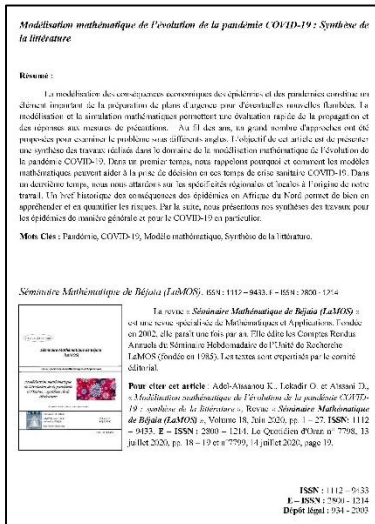
Editor (Directeur de la publication) :

Pr Djamil Aïssani, Director of the Research Unit **LaMOS**

Editorial Board :

- Pr Mohamed Saïd Radjef, Chef de la Division, ADRO
- Pr Smail Adjabi, Chef de la Division, MS2P
- Pr Bibi Mohand Ouamer, Chef de l'équipe OCO
- Pr Louiza Bouallouche, Chef de l'équipe EPSIRT
- Pr Redouane Laggoune, Chef de l'équipe MSF
- Dr Rabah Medjoudj, Chef de l'équipe FSE2
- Pr Mohamed Boualem, Chef de l'équipe SR2
- Pr Karim Abbas, Chef de l'équipe MAPPS
- Dr Fazia Rahmoune, Chef du Département RO
- Dr Kamal Kabyl, Responsable du Séminaire SMB

Fondation : année 2002. Dépôt légal : 934 - 2003



Présentation :

La revue «**Séminaire Mathématiques de Béjaïa (LaMOS)**» est une revue spécialisée de mathématiques et applications. Fondée en 2002, elle paraît une fois par an.

Elle édite les Comptes Rendus annuels du Séminaire Hebdomadaire de l'Unité de Recherche **LaMOS**. Elle peut également éditer des Actes de congrès, ou bien des monographies.

Depuis sa parution, près de 200 textes ont été édités. Ainsi, cette année 2020, sont parus un numéro spécial sur les «**modèles mathématiques et évolution de la pandémie COVID-19**» (Volume 18), ainsi que la monographie «**Approximations dans les Modèles Stochastiques**» (245 pages). Les textes sont reviewés par les membres du comité éditorial.

ISSN : 1112 – 9433. E – ISSN : 2800 - 1214

Copyright : Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)

Date : 2018

Séminaire Mathématique de Béjaïa.

Responsable : Dr Kamal KABYL.

Adresse : Unité de Recherche LaMOS (Modélisation et Optimisation des Systèmes).

Université de Béjaïa, Route Targa Ouzamour, 06000 (Algérie).

Tel/Fax : (213) 34 81 37 09.

E-mail : lamos _ Bejaia@hotmail.com

©Publications de l'Unité de Recherche LaMOS, 2021.

Tous droits de traduction, de reproduction
et d'adaptation réservés pour tous les pays.

ISSN : 1112 - 9433

E - ISSN : 2800 - 1214

Dépôt légal : 934 - 2003

"Mathématiques industrielles 1 : Gestion de la production, Planification et optimisation de la distribution, Coût et restructuration tarifaire, Gestion des stocks"

Avant - Propos

Ce volume (numéro 20, année 2021) [1] est le deuxième d'une trilogie que nous consacrons aux applications des *Méthodes et des Outils de la Recherche Opérationnelle* pour la prise en charge des problèmes posés par *des entreprises industrielles et des organismes socio-économiques*. Il regroupe dix articles qui concernent les rubriques suivantes : "*gestion de la production*" (Danone - Djurdjura, Candia - Tchén Lait, Meriplast), "*planification et optimisation de la distribution*" (SDE-Sonelgaz, Ministère de l'Agriculture, Cevital), "*coût et restructuration tarifaire*" (EPB - Port de Béjaïa), et enfin "*gestion des stocks*" (Sonatrach, Danone - Djurdjura, IFRI).

Le premier Volume de cette trilogie (numéro 18, année 2020) a consacré la première partie du contenu (05 articles sur 11) aux applications à la Covid19 et aux *systèmes de santé* (Hôpital Khelil Amrane, CHU Béjaïa, Cabinet Privé, Urgences de Kherrata et EPB - Port de Béjaïa) [2].

Quant au troisième Volume (numéro 21, année 2022), il contient 10 articles qui concerneront les rubriques : "*Retour d'expérience, fiabilité et maintenance*" (Sonelgaz, Mac Soum, Edemia - ADE et Sonatrach), "*Ordonnancement et gestion des projets*" (IFRI, Sonatrach) et "*Evaluation des Performances*" (ICOSNET Alger, Cevital et BMT) [3].

Rappelons que 02 volumes de notre revue "*Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)*", à savoir les numéros 07, année 2009 [4] et le numéro 19, année 2019 [5] ont été consacrés aux problèmes de transport (trafic routier, maritime, aérien, de canalisation, de données,...), avec comme partenaires le Ministère des Travaux Publics, la Direction des Transports de la Wilaya de Béjaïa, l'A.D.A (Algérienne des Autoroutes) et l'AP.C. de Béjaïa. De même, le volume 8, année 2009 [5] a été consacré à l'Actuariat et aux Mathématiques Financières, avec comme partenaires : BNA, BADR, CNEP, SAA, CAAT, ...

D'autres problèmes réels sont détaillés dans plusieurs autres publications de l'Unité LaMOS, comme par exemple, les livres "*Méthodes et Outils d'Aide à la Décision*" (2022, 811 pages, ISBN : 978-9931-884-15-) [7], "*Evaluation des Performances et Qualité de Service*" (2013, 288 pages, ISBN : 978-9931-9140 - 0 - 6) [8],... avec comme partenaires : Alfaditex, Sonatrach, Naphtal, Général Emballage, Amimeur Energy, Ramdy, ANBT - Barrage de Béni

Haroun, CPA, COGB,...

Toutes les références des études que nous avons réalisé en entreprises sont classées dans un livre -synthèse "*Mathématiques industrielles*" (décembre 2022, 750 pages. ISBN : 978-9931-884-14-9.) [9]. Il présente, de manière structurée, 160 problèmes posés au niveau de 60 *entreprises industrielles et organismes socio-économiques* et résolus en appliquant *les Méthodes et les Outils de la Recherche Opérationnelle*, ainsi que les références des publications notamment dans des chapitres de livres internationaux (voir par exemple [10] pour BMT et [11] pour l'ENIP Skikda, l'EPB et Sonatrach).

Références :

[1] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 18, 2020, 150 pages. ISSN : 1112 - 9433. ("*Mathématiques et Systèmes de Santé*")

[2] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 20, 2021, 158 pages. ISSN : 1112 - 9433. ("*Mathématiques Industrielles 1 : "gestion de la production", "planification et optimisation de la distribution", "coût et restructuration tarifaire" et "gestion des stocks"*")

[3] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 21, 2022, xx pages. ISSN : 1112 - 9433. ("*Mathématiques Industrielles 1 : "retour d'expérience, fiabilité et maintenance", "ordonnancement et gestion de projets", "évaluation de performances"*")

[4] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 8, 2009, 55 pages. ISSN : 1112 - 9433. (Actes du Séminaire Spécialisé International sur le "*Transport : Enjeux et Perspectives*")

[5] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 19, 2019, 122 pages. ISSN : 1112 - 9433. (Actes des Journées d'Etudes MOSIPLIT", 2018 - 2013 - 2012 *Modélisation et Simulation pour la PLanification des Infrastructure de Transport*"). ISBN : 978 - 9931 - 884 - 12 -5.

[6] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 7, 2009, 28 pages. ISSN : 1112 - 9433. (Actes du Workshop National "*Actuariat et Mathématiques Financières*")

[7] Actes du **MOAD'2022** 5^{me} Colloque International "*Méthodes et Outils d'Aide à la Décision*", LaMOS Editions, Béjaia, novembre 2022, 811 pages. ISBN : 978-9931-884-15-

[8] Actes du Workshop International **EPQoS'2013** "Evaluation des Performances et Qualité de Service", LaMOS Editions, Béjaia, 2013, 288 pages. ISBN : 978-9931-9140 - 0 - 6.

[9] Djamil Aïssani et collaborateurs, "Les Mathématiques Industrielles dans la Wilaya de Béjaia : 160 problèmes posés au niveau de 60 entreprises industrielles et organismes socio-économiques et résolus en appliquant les Méthodes et les Outils de la Recherche Opérationnelle", LaMOS Editions, Avril 2022, 750 pages. ISBN : 978-9931-884-14-9

[10] Aïssani D., Adjabi S., Cherfaoui M., Benkhellat T. and Medjkoune N., *Forecast of the Traffic and Performance Evaluation of the BMT Container Terminal (Bejaia's Harbor)*, In the Book "Rapid Modelling for Increasing Competitiveness : Tools and Mindset", Springer Verlag Ed. (Germany), 2009, pp. 53 - 64. doi :10.1007/978-1-84882-748-6 (voir également le chapitre dans le livre) "*Rapid Modelling and Quick Response. Interaction of Theory and Practice*", 2010). http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84882-748-6_5

[11] Laggoune R. et Aïssani D. *Repeat Failure Analysis for Oil Refinery Maintenance Optimization : case study of Skikda Refinery Compressing Magnaforming*. In the Book *Mathematical Methods in Reliability*, Proceedings of the International Conference **MMR'2000**, Bordeaux, July 2000, Vol. 2, pp. 671 - 674. (voir également les 02 autres articles dans le volumes 02).

Table des matières

partie I Gestion de la production

1 Optimisation du plan de production au niveau de l'entreprise Danone Djurdjura Algérie	
<i>Medjkoune M., Remila K. et Aïssani D.</i>	3
2 Sur la gestion de la production et l'optimisation de la distribution à l'entreprise Tchén-Lait Candia	
<i>Merah R., Nasri S., Aoudia Z. et Aïssani D.</i>	21
3 Gestion de la production à l'entreprise Meriplast	
<i>Makhloufi Y., Mehani A., Aoudia Z. et Aïssani D.</i>	33

partie II Planification et optimisation de la distribution

4 Planification du réseau de distribution d'énergie électrique pour la nouvelle ville de Oued Ghir (Ighzer Ouzarif)	
<i>Bennour Z., Bouaziz O., Medjoudj R. et Aïssani D.</i>	47
5 Optimisation du plan de fertilisation de blé en zone saharienne	
<i>Tatah A., Rachedi K. et Aïssani D.</i>	67
6 Optimisation du plan de distribution des produits agro-alimentaires : Cas de l'entreprise Cevital, Algérie	
<i>Bouregba A., Chabane A., Idres L. et Aïssani D.</i>	81

partie III Coût et restructuration tarifaire

7 Analyse du système de tarification portuaire : cas de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa	
<i>Saaoui D., Moussaoui S., Adel-Aïssanou K. et Aïssani D.</i>	91

partie IV Gestion des Stocks

8 Gestion des Stocks des Matières Premières : Cas de l'entreprise Ifri Béjaia Algérie	
<i>Ait Habib N., Bouhali S., Aiane N. et Aïssani D.</i>	105
9 Application des flux tendus à la gestion du stock tampon de l'atelier process : cas de l'entrepris Danone Djurdjura Algérie	
<i>Hidja H. et Aïssani D.</i>	117
10 Gestion des stocks d'une famille de pièces de rechange : cas de l'entreprise Sonatrach Béjaia, Algérie	
<i>Anabi D., Djema N., Aiane N. et Aïssani D.</i>	129
<hr/>	
partie V Index des Auteurs	
<hr/>	
Index	149

Première partie

Gestion de la production

1

Optimisation du plan de production au niveau de l'entreprise Danone Djurdjura Algérie

Medjkoune M., Remila K. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com.

Résumé L'entreprise Danone Djurdjura se fixe plusieurs objectifs, chacun d'eux ayant une priorité avec un niveau d'aspiration souhaité. Ces objectifs se résument à :

- maximiser le profit,
- satisfaire la demande,
- maximiser la production.

L'objectif principal de ce travail est de réaliser un planning journalier de production afin d'assurer une planification optimale. En effet, il est essentiel de savoir ce qu'il faut produire et quelle quantité produire, en raison :

- du manque de matières premières,
- de la sous-utilisation des capacités des machines installées, d'où une productivité trop faible.

Key words: Plan optimal, Optimisation multiobjectif, Programmation de but, Variables de déviation.

Introduction

La nécessité de pouvoir produire à un prix concurrentiel des biens et services de plus haute qualité et la nécessité d'avoir des systèmes de production de plus en plus flexibles, pouvant fournir des produits qui répondent aux exigences variables du client ou du consommateur moderne, exercent une pression très importante sur les gestionnaires d'industrie.

Pour faire face à son environnement concurrentiel, l'entreprise doit recourir aux outils scientifiques afin d'organiser au mieux sa production dont l'optimisation joue un rôle primordial.

Les méthodes d'optimisation foisonnent dans la littérature. Elles se différencient par la nature du problème en question, la nature des contraintes prises en compte, les objectifs à satisfaire et la nature de l'approche de résolution adoptée.

Aujourd'hui, Danone Djurdjura Algérie dispose de 3 grands ateliers :

- Atelier process : C'est l'atelier de préparation de la mass blanche, là où les ingrédients nécessaires à sa réalisation sont stockés (poudre de lait, sucre, . . .). Elle compte les chambres froides pour la conservation des ferments, une autre pour les jus et les arômes et enfin une chambre chaude pour le conditionnement de la matière grasse ;
- Atelier1 : C'est le magasin tampon de production, il contient sept lignes de production ;

– Atelier2 : C'est le magasin tampon de production, il contient cinq lignes de production.

Actuellement, Danone Djurdjura Algérie compte 13 conditionneuses. Elle produit 36 articles laitiers différents (Activia, yaoumi, crème dessert, Danone brassé, new danino, Dan'up, danao, Lait fraise à boire).

Comme les produits laitiers sont largement consommés, l'entreprise adopte la stratégie de production à la commande. Danone envisage d'augmenter sa production afin de pouvoir faire face à la demande des clients. C'est pourquoi les gestionnaires nous ont suggéré de considérer l'optimisation de leur système de production.

La prise de décisions au sein d'une entreprise doit se faire de manière à satisfaire les différents objectifs, souvent contradictoires qu'elle s'est fixée. Le choix d'une méthode d'optimisation doit lui aussi se plier à cet aspect multicritère.

Le système de production est soumis, d'une part, à des contraintes physiques (capacité de production, rentabilité de production, capacité de stockage et disponibilité des lignes de production) et d'autre part, il doit minimiser les déviations indésirables des niveaux d'aspiration (buts) fixés par l'entreprise. L'approche de résolution qui décrit le plus fidèlement cette situation est la méthode de **programmation de but**.

Position du problème

Notre problème s'inscrit dans le cadre d'une planification de la production. S'agissant d'une entreprise produisant plusieurs biens dans un marché concurrentiel, le problème consiste à déterminer pour chaque bien la quantité optimale à produire.

Ces quantités doivent donc respecter certaines contraintes exigées d'une part, par le système physique : contraintes de capacités de production et contraintes de capacités de stockage du produit fini, contraintes de disponibilité des lignes de production et d'autre part, satisfaire les niveaux d'aspiration fixés par l'entreprise.

C'est dans cette optique que l'entreprise Djurdjura envisage de bien utiliser ses ressources de production afin de pouvoir faire face à la demande des clients, tout en minimisant ses dépenses, afin d'en tirer les plus grands profits de la vente de chaque produit.

C'est pour cela qu'un planning de production prenant en considération ces différents objectifs s'impose.

Formulation mathématique du problème

Nous formulons le modèle de base de production de l'entreprise Danone qui se présente comme un ensemble de programmes de but ayant un objectif de maximisation de profit jour-

nalier et 36 buts sur la production des produits pris en compte dans notre étude. Ce modèle est soumis à des contraintes de capacité de production, rentabilité des conditionneuses, disponibilité des machines et contrainte de capacité de stockage. Les buts auront comme niveaux d'aspiration les objectifs de production de chaque produit pour chaque jour pendant le mois de juin. Les priorités des buts sont attribuées en fonction de l'importance relative de chaque but.

Définition des variables de décision

Soient les variables de décision suivantes :

x_i : La quantité à fabriquer du produit i , $i = \overline{1, 36}$.

où

$$x_i = \sum_{j=1}^{13} x_i^j, \quad i = \overline{1, 36}.$$

x_i^j est la quantité à lancer en production du produit i sur la ligne de production j .

Les variables $(x_i)_{1 \leq i \leq 36}$ sont définies dans le tableau suivant :

Variable	Désignation (en pots produits par jour)
x_5	Quantité à produire en Fruit fraise biscuit 90g
x_6	Quantité à produire en Fruit fruits des bois 90g
x_7	Quantité à produire en New danino abricot 45g
x_8	Quantité à produire en New danino fraise 45g
x_9	Quantité à produire en Danette caramel 90g
x_{10}	Quantité à produire en Danette chocolat 90g
x_{17}	Quantité à produire en New danino nature sucré 45g
x_{18j}	Quantité à produire en Mini prix ferme abricot 75g
x_{19}	Quantité à produire en Mini prix ferme fraise 75g
x_{20}	Quantité à produire en Mini danette 75g
x_2	Quantité à produire en Lait fraise à boire 90g
x_{22}	Quantité à produire en Activea ferme nectarine 100g
x_{23}	Quantité à produire en Activea ferme nature 100g
x_{24}	Quantité à produire en Activea ferme abricot 100g
x_{25}	Quantité à produire en Activea ferme miel 100g
x_{26}	Quantité à produire en Activea ferme fraise 100g
x_{27}	Quantité à produire en Activea ferme vanille 100g
x_{28}	Quantité à produire en Danone brassé nature sucre 90g
x_{29}	Quantité à produire en Danone brassé fraise 90g
x_{30}	Quantité à produire en Danone brassé fruit des bois 90g
x_{31}	Quantité à produire en Danone brassé abricot 90g
x_{32}	Quantité à produire en Yaoumi fraise 100g
x_{33}	Quantité à produire en Yaoumi pêche/abricot 100g
x_{34}	Quantité à produire en Yaoumi banane 100g
x_{35}	Quantité à produire en Yaoumi FDB/cerise 100g

Variable	Désignation (en bouteilles produites par jour)
x_1	Quantité à produire en Dan'up fraise biscuit 100g
x_2	Quantité à produire en Dan'up fraise 100g
x_3	Quantité à produire en Dan'up tropico 100g
x_4	Quantité à produire en Dan'up abricot 100g
x_{11}	Quantité à produire en Danao 1l orange/ananas
x_{12}	Quantité à produire en Danao 1l pêche/abricot
x_{13}	Quantité à produire en Danao 1l fruits exotiques
x_{14}	Quantité à produire en Danao 0.25l orange/ananas
x_{15}	Quantité à produire en danao 0.25l pêche/abricot
x_{16}	Quantité à produire en Danao 0.25l fruits exotiques
x_{36}	Quantité à produire en Activea drink caramel 100g

Fonction objectif

L'objectif principal de ce modèle est de maximiser le profit global de l'entreprise Danone engendré par tous les produits. La fonction objectif s'écrit sous la forme suivante :

$$Max \sum_{i=1}^{36} c_i x_i \quad (1.1)$$

où :

c_i est le prix unitaire de vente du produit $i \quad i = \overline{1 - 36}$.

x_i est la quantité à produire pour chaque bien $i = \overline{1 - 36}$.

Déduction des contraintes

Contraintes sur les capacités de production de chaque conditionneuse

L'entreprise dispose de 13 conditionneuses, donc chaque conditionneuse a une certaine capacité de production qu'il ne faut pas dépasser. Donc, la somme des quantités produites par chaque ligne de production doit être inférieure ou égale à sa capacité maximale de production.

Ainsi que, la capacité maximale de chaque ligne de production est calculée de la manière suivante :

Capacité maximale = $\frac{1}{1000000}$ cadence * poids du produit * 24. (la cadence de chaque ligne de production et le poids de chaque produit sont donnés dans l'annexe). Ce type de contraintes (contraintes de capacité production) prend la forme suivante :

$$\sum_{i=1}^m c_i x_i \leq k_j \quad j = \overline{1, 13}$$

Où :

- m est l'ensemble des produits fabriqués par la ligne j .
- k_j est la capacité maximale de la ligne j
- c_i est le poids du produit i .

Contraintes de rentabilité de chaque conditionneuse

Pour qu'une ligne de production soit rentable, l'entreprise fixe des seuils de rentabilités, donc chaque conditionneuse doit dépasser une certaine quantité pour rentabiliser les dépenses.

Ce type de contraintes (contraintes de rentabilité de chaque ligne de production) prend la forme suivante :

$$\sum_{i=1}^m c_i x_i \geq R_j \quad j = \overline{1, 13}$$

Où :

- m est l'ensemble des produits fabriqués par la ligne j .

- R_j est le seuil minimal pour que la ligne j soit rentable.
- c_i est le poids du produit i .

Contraintes de capacité de stockage

L'entreprise Danone dispose de 4 Dépôts (clients directs) auxquels elle livre ses produits finis, chacun des dépôts a une capacité limitée donnée dans le tableau suivant :

Dépôt	Capacité (tonnes)
Oran	200
Ain Benian	250
Annaba	160
Akbou	350
Total	960

Donc, la somme des quantités produites doit être inférieure ou égale à la somme des capacités des quatres dépôts .

$$\sum_{i=1}^{36} p_i x_i \leq 960 \quad (1.2)$$

Tel que p_i : est le poids du produit i .

Contraintes de disponibilité de chaque machine

Chaque ligne de production est disponible pendant 24H, où on soustrait le temps d'arrêt de la ligne de production (lavage, panne, . . .). La contrainte à exprimer est de type inférieure ou égale, car on ne peut pas utiliser une ligne que durant son temps de disponibilité, par conséquent ce temps est une borne supérieure.

Ce type de contraintes (contraintes de disponibilité de chaque ligne de production) prend la forme suivante :

$$\sum_{i=1}^m b_i^j x_i \leq T_j \quad j = \overline{1, 13}$$

Où :

- m est l'ensemble des produits fabriqués par la ligne j .
- T_j est le temps de disponibilité de la ligne j .
- b_i^j est le débit horaire de fabrication du produit i par la j^{eme} ligne.

Contraintes de la demande

Le décideur souhaite que la demande de chaque produit pour chacune des périodes de planification soit satisfaite, ce qui peut se formuler comme suit :

$$x_i \geq D_i \quad i = \overline{1, 36} \quad (1.3)$$

où D_i est la demande journalière du produit i .

Contrainte de non négativité

Les variables de décision étant des quantités à produire, il est évident d'avoir toutes les variables non-négatives.

$$x_i \geq 0 \quad i = \overline{1, 36} \quad (1.4)$$

Ainsi, le modèle de production se présente sous la forme suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max } \sum_{i=1}^{36} c_i x_i = Z, \\ \text{Demande : } x_i \geq D_i \quad i = \overline{1, 40}, \\ \text{Sous contrainte :}, \\ \text{Capacité de production : } \sum_{i=1}^m c_i x_i \leq k_j \quad j = \overline{1, 13}, \\ \text{Rentabilité de production : } \sum_{i=1}^m c_i x_i \geq R_j \quad j = \overline{1, 13}, \\ \text{Capacité de stockage : } \sum_{i=1}^{36} p_i x_i \leq 960, \\ \text{Disponibilité des lignes de production : } \sum_{i=1}^m b_i^j x_i \leq T_j \quad j = \overline{1, 13}, \\ x_i \geq 0 \quad i = \overline{1, 36}, \end{array} \right. ;$$

Le problème ainsi établi, il s'agit bien d'un problème d'optimisation multi-objectif. Il existe dans la littérature une grande variété de méthodes de résolution d'un problème multi-objectif, mais avant de se lancer dans la résolution, il faut se poser la question sur le type de méthode à utiliser. Notre choix s'est porté sur la méthode de programmation de but.

Justification du choix de la programmation de but

On donnera ici les principales raisons justifiant le choix :

- Au début la programmation de but est un sous domaine d'optimisation multicritère ;
- C'est un prolongement logique de la programmation linéaire ;

- On peut classer les contraintes du problème comme contraintes rigides (non flexibles), et non rigides. Un tel classement n'est pas possible dans la programmation linéaire. Ainsi, on peut diminuer la possibilité de rencontrer les solutions irréalisables. En effet, la PB peut être une évaluation pour les contraintes, quand les niveaux sont précisés pour les contraintes possédant une incertitude ;
- Il est moins difficile de déterminer les niveaux d'aspiration pour des objectifs que de déterminer les fonctions d'utilité et les taux de substitution par les objectifs ;
- Il est difficile de déterminer les poids à attribuer aux fonctions objectifs pour définir la fonction d'utilité et il y aura le problème d'unité de mesure associée à chaque fonction objectif. Dans la PB (lexicographique), ce problème ne se présente pas, ou bien il se présente avec moins de difficultés.
- Il n'y aura pas de problème du choix parmi les solutions efficaces comme dans l'optimisation du vecteur.

Programmation de but

Conçue et développée par Abraham Charnes et William Cooper, la PB a été initialement nommée "régression par contraintes". Elle était une méthode non paramétrique très puissante pour le développement de fonctions de régression sujettes à des contraintes. Ils l'ont initialement appliqué à l'analyse de la compensation exécutive de "General Electric", puis ils ont nommé plus tard la programmation de but (PB).

La programmation de but (PB) repose sur l'hypothèse que le décideur est une personne intelligente, logique et il connaît intuitivement qu'il n'est pas possible d'optimiser en même temps plusieurs objectifs conflictuels. Il connaît sans doute la direction d'optimisation soit "maximiser ou minimiser", et peut préciser des niveaux souhaitables quantitativement, ceux-ci n'étant pas nécessairement les niveaux optimaux.

Le décideur sait cependant que la solution obtenue, par la PB peut être sous optimale, mais en changeant les niveaux d'aspiration pas par pas, Il peut améliorer progressivement les niveaux réalisables et ceci est aussi une façon d'améliorer évolutivement dans le temps, et interactivement avec les solutions obtenues dans le passé. C'est une approche plus modeste que l'optimisation mais encore plus réaliste dans le monde réel.

La programmation de but (PB) est un prolongement logique de la programmation linéaire, Ignizio a établi le prolongement aux cas non linéaires et en nombre entiers et il l'appliqua par la suite à un nombre important de problème linéaire et montra ainsi son efficacité. Par la suite, plusieurs chercheurs ont essayé de développer cette méthode. Parmi eux Ijiri, Jacklainen, Huss, Ignizio, Gass, Romeo, Caballero, Tamiz et Jones, et leurs travaux étaient essentiellement basés sur l'amélioration de la fonction d'achèvement qui est une fonction des déviations des buts en la modélisant en fonction des préférences du preneur de décision. Le mot clé de la

programmation de but est la fonction d'achèvement. En effet, tout développement de la PB est relative au développement de cette fonction.

L'idée principale de la programmation de but est de spécifier des niveaux d'aspiration pour l'achèvement de chaque critère.

Un programme de but est un modèle mathématique, comportant des fonctions linéaires ou non linéaires et des variables continues ou discrètes dans lequel tous les objectifs sont transformés en buts en y spécifiant des niveaux d'aspiration [1].

Terminologie et concepts [2]

1. Un objectif est une fonction avec laquelle on cherche à optimiser un critère via des changements dans les variables du problème. Les plus communes formes des objectifs sont celles dans lesquelles on cherche à minimiser ou maximiser une fonction. $\text{Min(max)} Z = f(x)$, où $f(x)$ est une fonction des variables de décision.
2. Un but est un objectif dont on définit une valeur d'aspiration (de satisfaction) .
3. Un niveau d'aspiration est une valeur spécifique d'un objectif ou bien d'un niveau acceptable d'achèvement d'un objectif. Donc, c'est une mesure quantitative d'achèvement d'un objectif. Elle sert à traduire un objectif en une réalité.
4. La fonction d'achèvement est la fonction qui mesure le degré d'accomplissement des buts du problème. Cette fonction mesure le degré de minimisation des variables de déviation indésirables considérées dans le modèle de la PB.

Variables de déviation

Dans un but, on distingue les niveaux d'aspiration t_i du preneur de décision et la réussite actuelle $f_i(x)$ du but. Trois cas sont alors envisageables :

1. $f_i(x) \leq t_i$, i.e. on doit achever la valeur de $f_i(x)$ qui est inférieure ou égale à t_i .
2. $f_i(x) \geq t_i$, i.e. on doit achever la valeur de $f_i(x)$ qui est supérieure ou égale à t_i .
3. $f_i(x) = t_i$, i.e. on doit achever la valeur de $f_i(x)$ qui est égale à t_i .

Donc, on va introduire la notion de la variable de décision. Si par exemple on considère le troisième cas cité ci-dessus, à savoir on veut que la valeur de $f_i(x)$ soit égale à t_i . La variable de déviation sera alors définie comme suit :

$$d = t_i - f_i(x)$$

La variable de déviation d pourra alors être positive, négative ou nulle. En effet, une variable de déviation représente la distance entre le niveau d'aspiration et l'achèvement actuel de but. On peut donc avoir un achèvement qui soit supérieur, inférieur, ou égale au niveau d'aspiration.

Notons que dans les contraintes de but ci-dessus, les points suivants sont toujours vérifiés :

- Si $f_i(x) \geq t_i$ alors $d_i^+ > 0$, $d_i^- = 0$
- Si $f_i(x) \leq t_i$ alors $d_i^+ = 0$, $d_i^- > 0$
- Si $f_i(x) = t_i$ alors $d_i^+ = d_i^- = 0$

Formulation d'un programme de but linéaire

Soit $Z_j = f_j(x)$ une fonction linéaire reliée à l'objectif j , où $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ est un vecteur des variables de décisions. Un programme de but linéaire peut se formuler comme suit :

$$\begin{cases} GOAL(c^1x = z_1)(z_1 \geq t_1), \\ GOAL(c^2x = z_2)(z_2 \leq t_2), \\ GOAL(c^3x = z_3)(z_3 = t_3), \\ GOAL(c^4x = z_4)(z_4 \in [t_4^1; t_4^2]), \\ Satisfaisant :, \\ x \in S, \end{cases}$$

où :

t_i : niveau d'aspiration des buts ; $i = \overline{1, 4}$

c^i : vecteur ligne à n composantes

$x \in R^n$

On a donc la formulation des buts et leurs contraintes dans le tableau suivant :

Type de but	Forme de la contrainte de but	Var d'écart à minimiser
$z_1 \geq t_1$	$z_1 + d_1^- \geq t_1$	d_1^+
$z_2 \leq t_2$	$z_2 - d_2^+ \leq t_2$	d_2^-
$z_3 = t_3$	$z_3 + d_3^- - d_3^+ = t_3$	$d_3^- + d_3^+$
$z_4 \in [t_4^1; t_4^2]$	$z_4 + d_4^- \geq t_4^1, z_4 - d_4^+ \geq t_4^2$	d_4^-, d_4^+

Les fonctions définissant ces z_i seront les fonctions de buts relatives aux contraintes du problème. Cependant, les fonctions définissant les contraintes du problème pourraient être classées en deux catégories : celle gouvernant les contraintes rigides (reflétant les conditions physiques, techniques et technologiques dont les niveaux sont bien connus et inchangeables), celle gouvernant les contraintes non rigides dont les niveaux d'aspiration sont connus imprécisément ou changés avec un léger changement de la politique.

Supposons qu'une contrainte $z_1 \leq t_1$ reflète la disponibilité actuelle de nombres de machines d'une entreprise. Donc la valeur à gauche ne pourra jamais dépasser la valeur à droite, mais supposons que z_1 est le nombre d'heures dans une journée de travail, comme $x_1 + x_2 \leq 8$ heures par exemple. Alors on peut employer les heures supplémentaires pour pouvoir dépasser huit heures, c'est à dire que la limite à droite peut être physiquement dépassée en changeant la politique, par conséquent une contrainte flexible non rigide.

Donc, dans la programmation de but, on supposera que quelques contraintes du problème sont rigides, et d'autres non, et ceci donne une flexibilité en pratique qui n'existera pas dans

le modèle de programmation linéaire, c'est à dire, toute contrainte non rigide peut être traitée comme un but ou s'il s'agit de minimiser la déviation indésirable.

Une fois qu'un PL est transformé en un PB, la fonction objectif sera définie par la fonction d'achèvement, cette dernière se détermine par différentes approches.

Approche archimédienne

Dans cette approche, on minimise la somme pondérée des écarts indésirables mesurés des valeurs précisées du but. Pour illustrer cette approche, on supposera le problème de but suivant :

$$\begin{cases} GOAL(c^1x = z_1)(z_1 \geq t_1), \\ GOAL(c^2x = z_2)(z_2 \leq t_2), \\ GOAL(c^3x = z_3)(z_3 = t_3), \\ GOAL(c^4x = z_4)(z_4 \in [t_4^1; t_4^2]), \\ Satisfaisant :, \\ x \in S, \end{cases}$$

S étant l'ensemble formé par les contraintes rigides du problème. Dans cette approche, ce problème se ramène à la résolution du programme suivant :

$$\begin{cases} Fonction d'achèvement, \\ Min a = \{w_1^- d_1^- + w_2^+ d_2^+ + w_3^- d_3^- + w_3^+ d_3^+ + w_4^- d_4^- + w_4^+ d_4^+\}, \\ Satisfaisant, \\ c^1x + d_1^- + & & \geq t_1, \\ c^2x + & -d_2^- + & \leq t_2, \\ c^3x + & & +d_3^- - d_3^+ + & = t_3, \\ c^4x + & & +d_4^- & \geq t_4^1, \\ c^4x + & & -d_4^+ & \geq t_4^2, \\ x \in S, \\ d_i^+ \geq 0, d_i^- \geq 0, i = \overline{1, 4}, x \geq 0, \end{cases}$$

où :

w_i : sont des poids de pénalité positifs.

d_i^+, d_i^- : sont les variables de déviation.

Cette formulation implique la minimisation d'une fonction d'utilité additive. Ainsi, le PB est formulé comme étant un programme linéaire (PL). L'inconvénient de cette méthode est le choix des w_i , dans la pratique les unités de mesure des buts sont différentes et sont toutes à des niveaux d'aspiration relatifs. Dans tels cas, les w_i doivent refléter non seulement l'importance relative des buts mais aussi leurs niveaux d'aspiration. Malgré l'inconvénient déjà cité, l'approche archimédienne a été employée très souvent en pratique, Cette approche repose le plus dans le choix des contraintes, comme les contraintes rigides et non rigides, le choix des buts et leur pondération en fonction de leur importance. La résolution de ce programme linéaire se fait avec l'algorithme du simplexe.

On vient de décrire l'approche archimédienne pour la résolution d'un PB. Cette approche explicite les contraintes rigides et les autres contraintes non rigides afin d'augmenter le profit.

En d'autre terme, elle nous a permis de définir quelles sont les contraintes qu'il faut relâcher et celles qu'il faut retenir pour obtenir des solutions réalisables et optimales. Ainsi, grâce à la PB on peut donc avoir une solution satisfaisante pour n'importe quel problème pratique dont on ne trouve pas de solutions avec la méthode conventionnelle.

Approche lexicographique

Dans cette approche, on attribue à chaque but une priorité de résolution. Les buts à plus haut niveau de priorité sont considérés infiniment plus importants que ceux de niveaux de priorité secondaires et ainsi de suite.

Pour expliquer le principe de cet approche, reprenons le problème de but et associons une priorité $p_i, i = \overline{1, 4}$ à chacun des 4 buts.

En utilisant le facteur de priorité, on aura le problème lexicographique suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Fonction d'achèvement,} \\ \text{Min } a = \{p_1 d_1^- + p_2 d_2^+ + p_3 (d_3^- + d_3^+) + p_4 (d_4^- + d_4^+)\}, \\ \text{Satisfaisant,} \\ c^1 x + d_1^- + \qquad \qquad \qquad \geq t_1, \\ c^2 x + \quad -d_2^- + \qquad \qquad \qquad \leq t_2, \\ c^3 x + \qquad \qquad +d_3^- - d_3^+ + \qquad \qquad = t_3, \\ c^4 x + \qquad \qquad \qquad +d_4^- \geq t_4^1, \\ c^4 x + \qquad \qquad \qquad -d_4^+ \geq t_4^2, \\ x \in S, \\ d_i^+ \geq 0, d_i^- \geq 0, i = \overline{1, 4}, x \geq 0, \end{array} \right.$$

La fonction objectif (d'achèvement) peut s'écrire aussi sous la forme suivante :

$$\text{Lexmin } a = \{d_1^-, d_2^+, (d_3^- + d_3^+), (d_4^- + d_4^+)\}$$

Dans cette variante, les objectifs sont classés par ordre de priorité, selon l'importance relative que leur accorde le décideur.

Dans ce modèle, les différents objectifs sont divisés en plusieurs niveaux de priorités. C'est une façon d'introduire les préférences du décideur dans la modélisation.

Les objectifs de priorités supérieures sont résolus en premier et c'est après cela que les priorités inférieures sont prises en considération. Le résultat du premier niveau devient une contrainte dans l'étape suivante et ainsi de suite.

Pour résoudre ce type de problème, on utilise soit l'algorithme P.B.L.S (Programme de But Linéaire Séquentiel) ou bien l'algorithme multiphase.

Étant donné un modèle d'achèvement et les buts associés avec une priorité de niveau 1. Le résultat dans l'établissement du modèle de P.L a une seule fonction objective donnée par :

$$\begin{cases} \text{Minimiser } a_1 = p_1(d^-, d^+), \\ \text{Satisfaisant,} \\ \sum_{j=1}^n c_{i,j}x_j + d_i^- - d_i^+ = t_i \quad \text{pour } i \in p_1, \\ x, d^-, d^+ \geq 0 \end{cases}$$

Où d^- et d^+ sont les vecteurs de d_i^- d_i^+ respectivement et p_1 est une fonction linéaire.

On minimise le premier terme dans la fonction d'achèvement seulement des buts dont la priorité possède le niveau 1 (c'est à dire $i \in p_1$), une fois ceci fait, on a une meilleure solution pour a, désignée par a_1^* , s'il existe des optimaux alternatifs on va à la priorité 2, sinon on s'arrête.

On passe maintenant au prochain niveau de priorité. Ici, on sera obligé de minimiser le second terme dans la fonction d'achèvement a_2^* , cependant on le fera sous conditions que :

- Tous les buts appartenant à la priorité 1 ne seraient pas détériorés. Celle-ci donnant une contrainte rigide de but qui assure que n'importe quelle solution de la priorité 2 ne peut dégrader le niveau d'achèvement obtenu en priorité 1, et c'est :

$$a_1 = p_1(d^-, d^+) = a_1^*$$

On continuera la procédure jusqu'à ce que toutes les priorités seront considérées, ou bien il n'existe pas de solution optimale à n'importe quelle phase. La solution finale, ainsi obtenue, est aussi la solution optimale du programme linéaire de but. L'algorithme qui implémente cette procédure sera donnée ci -dessous [1] :

- **Étape 1** : Soit k une variable qui représente le niveau de priorité et K le nombre total de priorités, mettre k=1.
- **Étape 2** : Établir la formulation mathématique pour le niveau de priorité 1 seulement

$$\begin{cases} \text{Minimiser } a_1 = p_1(d^-, d^+), \\ \text{Satisfaisant,} \\ \sum_{j=1}^n c_{i,j}x_j + d_i^- - d_i^+ = t_i \quad \text{pour } i \in p_1^*, \\ x, d^-, d^+ \geq 0 \end{cases}$$

p_1^* : est l'ensemble d'indices des variables de déviation appartenant à la priorité 1.

Le problème ainsi formulé est simplifié et donné comme étant un PL à objectif unique qu'on peut résoudre par la simplexe.

- **Étape 3** : Résoudre le problème à objectif unique associé au niveau de priorité k, via tout algorithme approprié. La solution optimale de ce problème est donnée par a_k^* , elle est associée au vecteur optimal (x_k^*, d_k^*) . Aller à l'étape 8.
- **Étape 4** : La solution correspondante (x_k^*, d_k^*) est-elle unique ?
Si oui, on peut s'arrêter et c'est la solution optimale.

Sinon aller à l'étape 5.

– **Étape 5** : Mettre $k := k+1$

Si $k > K$ aller à l'étape 8. **Sinon** aller à l'étape 6.

– **Étape 6** : Établir le modèle à objectif unique équivalent pour le prochain niveau de priorité k en remplaçant les valeurs optimales des déviations déjà calculées. Ce modèle est donné par :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser } a_k = p_k(d^-, d^+), \\ \text{Satisfaisant,} \\ \sum_{j=1}^n c_{i,j}x_j + d_i^- - d_i^+ = t_i \quad i \text{ indice des buts de priorité } 1, 2, \dots, k. \\ a_s(d^-, d^+) \leq a_s^* \quad s = 1, \dots, k-1. \\ x, d^-, d^+ \geq 0 \end{array} \right.$$

– **Étape 7** : Résoudre le problème de l'étape 6 et aller à l'étape 4 .

– **Étape 8** : Le vecteur solution x^* associé au dernier modèle à objectif unique résolu est le vecteur optimal du modèle de la PB.

Application et interprétation des résultats

Nous avons implémenté les deux approches de programmation de but (archimédienne et lexicographique) présentées précédemment sous l'environnement MATLAB et nous avons obtenu les quantités optimales journalières à produire pour chaque produit. Pour ce faire, nous avons choisi le 10 juin 2012, dont les données (demande, disponibilité des lignes de production, . . .) sont significatives.

Les produits demandés, les quantités optimales fournies par les deux approches ainsi que les quantités demandées sont donnés dans le tableau suivant :

Variables	Produits	Qtités opt (arch)	Qtités opt (lexic)	Qtités réelles	Demande
x_2	Dan'up fraise 100g	200 110	200 200	105 000	200 000
x_6	frui fruits des bois 90g	222 220	222 300	200 000	222 220
x_8	New danino fraise 45g	400 100	400 000	181 333	400 000
x_{10}	Danette chocolat 90g	244 450	244 480	110 000	244 440
x_{12}	Danao 1l pêche/abricot	60 000	61 000	47 250	56 810
x_{15}	Danao 0.25l pêche/abricot	80 000	80 100	46 000	80 000
x_{18}	Mini prix ferme abricot 75g	333 400	333 380	192 000	333 330
x_{19}	Mini prix ferme fraise 75g	666 700	666 720	516 000	666 660
x_{21}	Lait fraise à boire 90g	180 000	180 500	185 555	166 660
x_{24}	Activia ferme abricot 100g	400 000	400 000	400 500	400 000
x_{25}	Activia ferme miel 100g	400 000	400 000	400 500	400 000
x_{26}	Activia ferme fraise 100g	200 000	200 000	556 000	200 000
x_{29}	Danone brassé fraise 90g	111 150	111 130	105 555	111 110
x_{30}	Danone brassé fruit des bois 90g	222 250	222 230	200 333	222 220
x_{32}	Yaoumi fraise 100g	100 000	100 000	0	400 000
x_{33}	Yaoumi pêche/abricot 100g	90 000	115 000	88 000	400 000
x_{36}	Activia drink caramel 100g	80 000	80 200	31 000	70 000

Les profits engendrés par l'exploitation du plan optimal fourni par l'approche archimédienne, lexicographique ainsi que le profit effectif de l'entreprise sont illustrés dans la figure suivante :

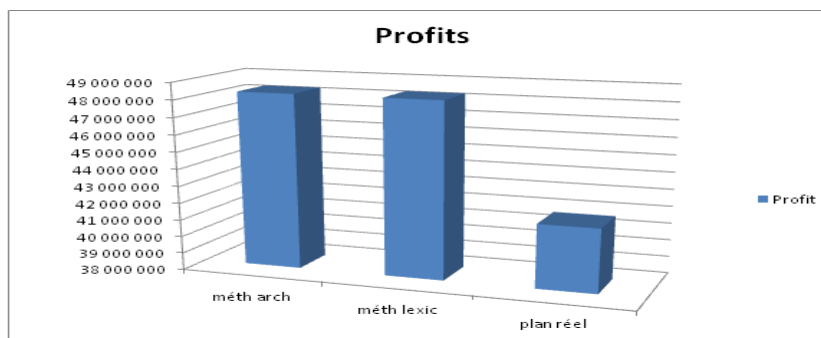


FIGURE 1.1: Comparaison des profits engendrés

Soit une augmentation du chiffre d'affaire de :

- 6572949 DA (15.75%) à l'aide de la méthode archimédienne.
- 6907069 DA (16.55%) en exploitant la méthode lexicographique.

Taux d'utilisation des conditionneuses

La non satisfaction des produits Yaoumi, est peut être dû à la contrainte de capacité de production ou à la contrainte de disponibilité des lignes de production, c'est pourquoi le calcul du taux d'utilisation des conditionneuses est nécessaire.

Chaîne	Taux d'utilisation (%)	Chaîne	Taux d'utilisation (%)
Ligne 1	93.75	Ligne 1	93.75
Ligne 2	38.36	Ligne 2	38.36
Ligne 3	62.5	Ligne 3	62.5
Ligne 4	57.87	Ligne 4	60.28
Dessert 1	53.82	Dessert 1	53.83
Titra 1	55.55	Titra 1	56.48
Titra 2	74.07	Titra 2	75
Sidel	98.09	Sidel	98.09
Ermi	55.56	Ermi	55.56
Brassé 4	59.67	Brassé 4	59.67
Fromage 3	80.13	Fromage 3	80.13
Fromage 2	78.11	Fromage 2	78.11
Optima	64.16	Optima	64.16

FIGURE 1.2: Taux d'utilisation des lignes de production

Interprétation des résultats

Pratiquement les deux approches (archimédienne et lexicographique) donnent des solutions proches, en effet :

- L'analyse des tableaux du taux d'utilisation des conditionneuses montre que les capacités de production de l'entreprise sont suffisantes pour satisfaire la demande de ses clients. Cependant, elles ne fonctionnent pas avec leur capacité maximale, cela est dû au temps de disponibilité des conditionneuses qui est très réduit.
- Une augmentation des quantités à produire, dans les solutions optimales, pour les produits Danao et Activea drink (produits de luxe), et cela est dû aux coefficients élevés des fonctions objectifs correspondantes. Tandis que les quantités des autres produits sont proches de la demande. Ce qui justifie cette augmentation du bénéfice.
- Dans la situation présente, un critère peut être plus important qu'un autre, c'est une réalité dont il faut tenir compte dans le processus d'aide à la décision.
- Les quantités produites (à l'exception de Yaoumi fraise et Yaoumi abricot) sont toutes comprises entre les quantités demandées et le seuil de production maximal. De ce fait, les demandes des clients (à l'exception de la demande des produits Yaoumi) sont totalement satisfaites.
- Il s'avère qu'avoir un chiffre d'affaire maximal et une faible utilisation des capacités des lignes de production sont deux objectifs contradictoires.
- La demande des produits Yaoumi n'est pas satisfaite malgré que la conditionneuse (ligne 2) qui peut produire Yaoumi n'a pas encore atteint le seuil maximal (taux d'utilisation est de 38.36%). Cela est dû aux temps de disponibilité de cette chaîne qui est très réduit (8h). Donc, il faut prêter une attention particulière aux lignes de production pour minimiser le temps d'arrêt.
- La gamme Activea (produits de luxe) et la gamme Yaoumi sont produites à l'aide des mêmes conditionneuses, mais on remarque une satisfaction totale de la gamme a Activea et une

rupture pour la gamme Yaoumi. Cela est dû aux poids élevés associés aux produits de la gamme Activea.

- Grâce à la programmation de but, nous avons pu évaluer les écarts entre le plan optimal établi et les buts fixés par l'entreprise.
- Les résultats nous indiquent que certains produits (Dan'up, Lait fraise à boire, . . .) sont atteints avec dépassement (sur-achèvement) ce qui veut dire que pour atteindre ces objectifs (satisfaction de la demande des produit qui sont sur-achevés), l'entreprise doit fonctionner avec sa capacité maximale ;
- Les résultats nous indiquent aussi, que certains produits (Yaoumi) sont sous-achevés, ce qui veut dire que pour atteindre ces objectifs, l'entreprise doit minimiser le temps d'arrêt des lignes de production servant à produire ces produits.
- Le plan de production proposé sera profitable à l'entreprise surtout à long terme. Cela est dû au fait que cette solution est plus proche de la réalité de l'entreprise.
- Signalons aussi qu'on peut changer à tout moment de niveau d'aspiration ou de relaxer avec un certain pourcentage les buts non achevés (résolution interactive avec le décideur).
- Comme l'achèvement de tels multiples objectifs (chiffre d'affaire, demande de chaque produit) est souvent impossible, la programmation de but crée l'espace de solutions satisfaisantes en spécifiant des niveaux d'aspiration.
- Par conséquent, la solution trouvée permet donc une meilleure organisation des lignes de production, puisqu'elle permet d'améliorer le chiffre d'affaire de l'entreprise.

Conclusion

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude d'une problématique industrielle qui s'est portée sur la planification de la production de la SARL Danone Djurdjura Algérie. L'un des moyens d'atteindre l'objectif fixé quand le prix de vente du produit est imposé par le marché est de réduire les coûts en accordant un intérêt particulier à la planification de la production. En effet, c'est en réalisant ces objectifs que la production va contribuer au succès de la stratégie globale de l'entreprise.

Ce travail présente une méthodologie de modélisation en vue de déterminer les combinaisons de production en produits laitiers, afin de maximiser le profit engendré.

A l'issue de l'analyse et de l'étude des données recueillies au sein de l'entreprise, un modèle sous forme de programme linéaire multi-objectif avec quarante et un objectifs à atteindre (un but du chiffre d'affaire et quarante buts traduisant la demande de chaque produit).

Le modèle ainsi obtenu étant un problème multicritère, nous avons proposé deux approches de programmation de but, à savoir l'approche archimédienne et l'approche lexicographique.

Ces approches ont été implémentées sous Matlab.

L'étude comparative effectuée sur les données de la production a montré que nos résultats offrent, pour le cas d'exemple cité, une augmentation du profit de l'entreprise d'environ 16%.

La solution obtenue permet une meilleure organisation des lignes de production, puisqu'elle permet d'améliorer le chiffre d'affaire de l'entreprise et de satisfaire la demande des clients.

Ce travail peut être complété par une étude de gestion des stocks de l'entreprise et une étude statistique afin d'anticiper les demandes et de prévoir les approvisionnement. Comme il sera intéressant d'effectuer une étude de maintenance pour minimiser le temps d'arrêt des chaînes de production.

Références

1. Y. Coleete, P. Siarry. *Optimisation multi-objectif*, France 2002.
2. Z. Laouabdia. *Quelques aspects de la programmation de but linéaire et ses applications*. Thèse de magistère en recherche opérationnelle, Université de Annaba, 1991.
3. D. Aïssani, *Cours de Modélisation : études de cas*, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2010.

Sur la gestion de la production et l'optimisation de la distribution à l'entreprise Tchén-Lait Candia

Merah R., Nasri S., Aoudia Z. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com, zo.aoudia@gmail.com

Résumé L'augmentation de la consommation (demande) du lait et boissons a obligé l'entreprise Candia à mettre en place une nouvelle unité de production à Sétif, afin de renforcer sa capacité de production. Son objectif est de maximiser la production pour satisfaire la demande des clients avec la minimisation du coût de distribution (transport).

Dans ce travail, nous avons proposé un modèle linéaire dont la fonction objectif est de minimiser le coût de transport sous les contraintes de production. Pour la résolution du problème, nous avons utilisé le solveur CPLEX qui peut résoudre des programmes linéaires, en combinant le Simplex et le Branch and Bound.

Une solution optimale a été dégagée, production maximale et distribution à coût minimal avec une comparaison entre la situation actuelle (3 unités) avec l'ancienne situation (2 unités).

Key words: Entreprise Candia, chaîne logistique, production, distribution, optimisation combinatoire, modélisation, programmation linéaire, CPLEX.

Introduction

Dans le contexte économique concurrentiel actuel, chaque entreprise est soumise à une évolution permanente. Pour ce faire ces dernières sont obligées de faire, appel aux méthodes scientifiques, méthodes de recherche opérationnelle comme l'optimisation combinatoire et la modélisation multicritère.

Des 2004, l'entreprise Tchén-lait Candia avait initié une étude sur les besoins en composants des produits fabriqués. Une étude relative à l'optimisation des stocks et de la production a été réalisée en 2007. Enfin, une analyse de la gestion de production et l'optimisation de la distribution en 2015. A cette époque, l'entreprise venait de mettre en place une nouvelle unité de production à Alger. Il s'agissait de la distribution de huit produits différents à travers 39 wilayas du pays. Aujourd'hui l'entreprise vient de construire une troisième unité de production à Sétif. La gamme de produits est montée à 26, alors que les wilayas ont atteint 45.

L'objectif de l'entreprise est d'avoir une bonne gestion de production et l'optimisation de son réseau de distribution avec les trois unités de production (Bejaia, Alger, Sétif).

Cet article est organisé comme suit :

- Description du problème : nous représentons la chaîne logistique de l'entreprise.

- Modélisation et formulation du problème : nous représentons les paramètres du problème et une approche de résolution.
- Résolution du problème : nous représentons les résultats obtenus, et on termine par quelques perspectives éventuelles en développement du travail présenté dans cet article.

Position du problème

L'objectif majeur de l'entreprise est de minimiser le coût de distribution tout en maximisant la production. Alors, le problème posé est un problème de gestion de production et d'optimisation. Cela peut être présenté comme un programme linéaire dont l'objectif est de minimiser le coût de transport sous des contraintes (distribution, stock, production) à variables mixtes sur un horizon d'une année.

Description et Modélisation du problème

Afin de formuler le problème, on doit prendre en considération toutes les spécificités de l'entreprise Candia, à savoir la production des 3 unités, la capacité de stockage, la demande des clients et le mode de distribution (transport).

- Les unités de production (Béjaia, Alger, Setif) sont caractérisées par leur capacité de production.
- Les dépôts de stockage ont des capacités limitées pour chaque unité.
- Le mode de transport est unique semi-remorques avec une capacité de 33 palettes.

Il est noté que toutes les unités peuvent transporter leurs produits vers tous les clients ainsi que les autres unités.

Les décisions à prendre :

- L'affectation des produits aux sites (Bejaia, Alger, Sétif).
- Les quantités à produire dans chaque site.
- Les quantités de chaque gamme de produit à distribuer de chaque site aux clients.

Alors, ce problème peut être formulé comme un programme linéaire en nombre entier (PLNE), qui vise à minimiser les coûts de transport sous les contraintes de production, stock et distribution.

Formulation du problème

Les paramètres :

Paramètres contrôlables du système

• **Les variables de décision** Afin de déterminer les inconnues du problème, en représentant les différents éléments du problème sous forme de variable de décision et les objectifs à atteindre sous forme de fonction, nous avons les variables suivantes :

$\omega_{i,j}^k$: la quantité du produit de gamme i à transporter de l'unité j vers le client k .

$x_{i,j}$: la quantité du produit de gamme i à fabriquer par l'unité j .

On adoptera pour ceci la notation suivante :

$x_{1,j}$: c'est la quantité à produire en Laits Blancs par l'unité j .

$x_{2,j}$: c'est la quantité à produire en Laits chocolatés par l'unité j .

$x_{3,j}$: c'est la quantité à produire en Laits et jus par l'unité j .

$x_{4,j}$: c'est la quantité à produire en Boissons aux fruits par l'unité j .

Pour chaque produit i , on lui associe une variable binaire sur le lancement de la production.

$$y_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{si le produit de gamme } i \text{ est} \\ & \text{fabriqué par l'unité } j ; \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

Paramètres	Signification
I	L'ensemble des gammes de produits à fabriquer $i = \overline{1.4}$
L	L'ensemble des lignes de production $l = \overline{1.10}$
J	L'ensemble des unités de fabriquer $i = \overline{1.3}$
$j = 1$	Désigne l'unité de Béjaia
$j = 2$	Désigne l'unité d'Alger
$j = 3$	Désigne l'unité de Sétif
K	L'ensemble des clients $k = \overline{1.45}$
n	Le nombre des produits
m	Le nombre des clients
a_i^k	La quantité de produit i demandé par le clients k
b_j^l	La capacité de production de l'unité j de la ligne l
c_j^k	Le coût de transport des produits de l'unité j vers le client k
s_j	La capacité de stockage à l'unité j
S_j^s	Le stock initial à l'unité j
d_i	La durée de fabrication de produit i
$\alpha_{i,j}$	Le stock initial du produit i l'unité j
T_f	L'instant de livraison
Dp_i	Durée de production du produit i jusqu'à l'obtention d'un produit fini
DC_i	Délai de libération d'un produit i (délai de livraison)
Dl	Délai de lancement de la production

TABLE 2.1: Les paramètres du problème

Paramètres non-contrôlables du système

Ce sont les constantes du modèle. Elle correspondent d'une part, aux caractéristiques physiques du système. D'autre part, à ses exigences internes (coûts) et externes (type de la demande). Les

paramètres non contrôlables de notre modèle seront donc :

Les capacités de production et de stockage

Comme on l'a vu au niveau de l'analyse du système : les unités de production déterminent dix lignes de production

$b_{i,j}$: la capacité de production de produit de gamme i de l'unité j .

s_j : la capacité de stockage à l'unité j .

Les demandes prévues pour chaque produit

a_1^k : la demande prévue du Lait longue conservation demandé par le client k .

a_2^k : la demande prévue du Laits chocolatés demandé par le client k .

a_3^k : la demande prévue du Laits et jus demandé par le client k .

a_4^k : la demande prévue du Boissons aux fruits demandé par le client k .

Les prévisions de la demande de chaque produit pour chaque région (pour l'année 2017) sont présentées dans le paragraphe suivant.

Les coûts de transports

Relativement à l'étude, les coûts sont considérés comme des paramètres non-contrôlables. Ce sont les coûts de transport d'un semi-remorque à partir de chaque unité (Bejaia, Alger ou Sétif) vers les clients (wilaya) sachant qu'un semi-remorque a la capacité de contenir 33 palettes.

L'objectif

Ce sont les buts visés par l'entreprise, qui sont représentés par une ou plusieurs fonctions. C'est la minimisation de la somme des coûts de transport entre producteurs et clients.

$$\text{Min } z = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n c_j^k w_{i,j}^k$$

Détermination des contraintes du problème : Les contraintes déterminent les conditions à respecter en prenant en considération les exigences et moyens dont on dispose. Elles délimitent l'espace des solutions réalisables.

1- Contraintes de production :

- a) Cette famille de contraintes assure que la quantité de produit finis i produite dans chaque unité de production j est inférieure ou égale à la capacité de production disponible de ces lignes l .

$$x_{i,j} \leq y_{i,j} * b_{i,j} \quad j = \overline{1,3} \quad i = \overline{1,4} \quad (2.1)$$

- b) Cette famille de contraintes assure que les quantités produites par les unités j supérieures ou égales à la demande des clients k .

$$\sum_{j=1}^3 x_{i,j} \geq \sum_{k=1}^m a_i^k \quad i = \overline{1,n} \quad (2.2)$$

2- Contraintes de stockage :

Cette famille de contraintes assure que la quantité stockée dans l'unité j ne dépasse pas la capacité de stockage moins le stock initial.

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} \leq s_j - S_j^s \quad j = \overline{1,3} \quad (2.3)$$

2- Contrainte de distribution

- a) Cette famille de contraintes assure que la somme des quantités de produit i transportées de l'unité j vers tous les clients est inférieure ou égale à la quantité de produit i à fabriquer à l'unité j .

$$\sum_{k=1}^m \omega_{i,j}^k \leq x_{i,j} \quad i = \overline{1,n} \quad j = \overline{1,3} \quad (2.4)$$

- b) La famille de contraintes suivantes assure que toutes les quantités demandées par le client k arrivent.

$$\sum_{j=1}^3 \omega_{i,j}^k \geq a_i^k \quad j = \overline{1,3} \quad k = \overline{1,m} \quad (2.5)$$

3- Contraintes de non-négativité

$$\begin{aligned} x_{i,j} &\geq 0; \\ \omega_{i,j}^k &\geq 0; \\ y_{i,j} &\in \{0, 1\} \end{aligned}$$

Forme générale du problème

Pour rester cohérent dans notre raisonnement, nous avons supposé les hypothèses suivantes :

- Nous connaissons la capacité de production et de stockage pour chaque unité de fabrication.
- Le transport s'effectue quotidiennement en utilisant un mode de transport : semi-remorque, et on connaît son coût.
- La demande du produit des clients est connue.

La forme générale du problème s'écrit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } z = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n c_j^k w_{i,j}^k \\ \text{sc} \\ \sum_{j=1}^3 y_{i,j} \geq 1; \\ x_{i,j} \leq y_{i,j} * b_{i,j} \quad i = \overline{1, n} \quad j = \overline{1, 3}; \\ \sum_{j=1}^3 x_{i,j} \geq \sum_{k=1}^m a_i^k \quad i = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n x_{i,j} \leq s_j - S_j^s \quad j = \overline{1, 3}; \\ \sum_{k=1}^m \omega_{i,j}^k \leq x_{i,j} \quad i = \overline{1, n} \quad j = \overline{1, 3}; \\ \sum_{j=1}^3 \omega_{i,j}^k \geq a_i^k \quad i = \overline{1, n} \quad j = \overline{1, 3}; \\ x_{i,j} \geq 0; \quad \text{entier} \\ \omega_{i,j}^k \geq 0; \quad \text{entier} \\ y_{i,j} \in \{0, 1\}. \end{array} \right.$$

Résolution et interprétation des résultats :

Pour résoudre le problème posé, nous avons recours au solveur CPLEX qui permet de résoudre des problèmes de programmation linéaire grâce à sa capacité en nombre de variables et contraintes. Dans ce travail, nous cherchons à optimiser le coût de transport sous des contraintes de production et de stockage.

Modélisation du problème

Notre objectif est de déterminer les quantités optimales à produire dans chaque site pour chaque gamme de produit $x_{i,j}$. Ainsi que la quantité du produit i à transporter de chaque site vers les clients (wilaya).

Soient $x_{i,j}$, $i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,3}$: la quantité de produit de gamme i .
tel que :

$x_{1,1}$: la quantité à produire en LAIT BLANC par l'unité de Bejaia.

$x_{2,1}$: la quantité à produire en CANDY CHOCO par l'unité de Bejaia.

$x_{3,1}$: la quantité à produire en TWIST par l'unité de Bejaia.

$x_{4,1}$: la quantité à produire en BOISSONS par l'unité de Bejaia.

$x_{1,2}$: la quantité à produire en LAIT BLANC par l'unité de Alger.

$x_{2,2}$: la quantité à produire en CANDY CHOCO par l'unité de Alger.

$x_{3,2}$: la quantité à produire en TWIST par l'unité de Alger.

$x_{4,2}$: la quantité à produire en boissons par l'unité de Alger.

$x_{1,3}$: la quantité à produire en LAIT BLANC par l'unité de Sétif.

$x_{2,3}$: la quantité à produire en CANDY CHOCO par l'unité de Sétif.

$x_{3,3}$: la quantité à produire en TWIST par l'unité de Sétif.

$x_{4,3}$: la quantité à produire en BOISSONS par l'unité de Sétif.

Soient $w_{i,j,k}$: $i=\overline{1,4}, j=\overline{1,3}, k=\overline{1,45}$: la quantité des produits de gamme i à transporter de l'unité j vers le client k .

	Lait Blanc	Candy Choco	Twist	Boisson
BEJAIA	1141640	201430	994508	1874420
ALGER	2905710	201430	201430	201430
SETIF	5616000	0	0	0

FIGURE 2.1: Les quantités à produire par chaque unité (en litre)

	ALGER	BLIDA	BOUMERDES	TIPAZA	AKBOU	BBA	BEJAIA	BOUIRA
Lait blanc	0	137234	0	0	0	0	0	0
CANDY CHOCO	1274859	263156	402704	166032	104550	78145	234152	110056
TWISTE	0	19630	39961	21344	24415	22388	61103	32067
Boisson	165391	77111	157289	65349	32728	29819	76899	39419
	JIJEL	MILA	MSILA	SETIF	TIZI OUZOU	AIN TIMOUCHENT	BECHAR	MASCARA
Lait blanc	0	0	0	0	0	0	0	0
CANDY CHOCO	115542	90907	82619	244383	351769	19419	2468	35313
TWISTE	28228	21616	40003	63859	66635	0	0	0
Boisson	33897	34734	40589	84419	97205	14845	3848	23110
	MOSTAGANEM	ORAN	SIDI BELABBAS	TLEMCEEN	ANNABA	CONSTANTINE	EL TAREF	GUELMA
Lait blanc	0	279159	0	164719	164719	0	0	0
CANDY CHOCO	46700	306999	39410	95447	95447	207036	114700	81300
TWISTE	16558	75935	17878	0	0	26074	27608	17615
Boisson	31620	95825	28556	33411	33411	58050	36117	38570
	KHENCHLA	SKIKDA	SOUK AHRAS	TEBESSA	AIN DEFLA	CHLEF	DJELFA	MEDEA
Lait blanc	0	0	0	0	0	0	0	0
CANDY CHOCO	59262	153038	23042	63814	51866	74548	27628	94491
TWISTE	23342	26234	0	26138	9101	32133	7332	10804
Boisson	21175	52409	6070	35015	21326	39761	18562	37675
	RELIZANE	TIARET	BATNA	BISKRA	GHARDAIA	LAGHOUAT	OUARGLA	OUM EL BOUAGHI
Lait blanc	0	0	0	0	0	0	167045	0
CANDY CHOCO	19238	29485	205168	149542	24788	39744	65207	169405
TWISTE	10547	15430	56522	51888	7379	6559	31654	40241
Boisson	15854	18638	62171	66328	15427	16617	32758	50483
	EL OUED	ADRAR	TAMANRASS ET	TINDOUF	ILLIZI			
Lait blanc	228762	0	0	0	0			
CANDY CHOCO	60167	1931	2120	5816	452			
TWISTE	11326	1607	2026	1089	220			
Boisson	23781	1270	1262	5072	531			

FIGURE 2.2: Les quantités à transporter de l'unité de Béjaia vers les Clients (Wilaya)

	ALGER	BLIDA	BOUMERDES	TIPAZA	AKBOU	BBA	BEJAIA	BOUIRA
Lait blanc	0	0	166410	100205	0	0	127521	35026
CANDY CHOCO	201430	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	144785	0	0	0	0	0	0	0
Boisson	201430	0	0	0	0	0	0	0
	JIJEL	MILA	MSILA	SETIF	TIZI OUZOU	AIN TIMOUCHENT	BECHAR	MASCARA
Lait blanc	58197	42677	56360	127054	163128	60512	12661	104201
CANDY CHOCO	0	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	0	0	0	0	0	5115	3349	13596
Boisson	0	0	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	ORAN	SIDI BELABBAS	TLEMCEM	ANNABA	CONSTANTINE	EL TAREF	GUELMA
Lait blanc	916655	293754	66198	0	0	133677	47495	46164
CANDY CHOCO	0	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	0	0	0	12305	12305	0	0	0
Boisson	0	0	0	0	0	0	0	0
	KHENCHLA	SKIKDA	SOUK AHRAS	TEBESSA	AIN DEFLA	CHLEF	DJELFA	MEDEA
Lait blanc	67306	116655	23427	79734	36785	75334	58561	54792
CANDY CHOCO	0	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	0	0	5325	0	4646	0	0	0
Boisson	0	0	0	0	0	0	0	0
	RELIZANE	TIARET	BATNA	BISKRA	GHARDAIA	LAGHOUAT	OUARGLA	OUM EL BOUAGHI
Lait blanc	50369	46575	144182	124408	57952	60141	0	83469
CANDY CHOCO	0	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	0	0	0	0	0	0	0	0
Boisson	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL OUED	ADRAR	TAMANRASS ET	TINDOUF	ILLIZI			
Lait blanc	0	30531	27361	29029	6186			
CANDY CHOCO	0	0	0	0	0			
TWISTE	0	0	0	0	0			
Boisson	0	0	0	0	0			

FIGURE 2.3: Les quantités à transporter de l'unité d'Alger vers les Clients (Wilaya)

	ALGER	BLIDA	BOUMERDES	TIPAZA	AKBOU	BBA	BEJAIA	BOUIRA
Lait blanc	5485117	0	0	0	59528	52378	0	18974
CONDY CHOCO	0	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	0	0	0	0	0	0	0	0
Boisson	0	0	0	0	0	0	0	0
	JIJEL	MILA	MSILA	SETIF	TIZI OUZOU	AIN TIMOUCHENT	BECHAR	MASCARA
Lait blanc	0	0	0	0	0	0	0	0
CONDY CHOCO	0	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	0	0	0	0	0	0	0	0
Boisson	0	0	0	0	0	0	0	0
	MOSTAGANEM	ORAN	SIDI BELABBAS	TLEMCEN	ANNABA	CONSTANTINE	EL TAREF	GUELMA
Lait blanc	0	0	0	0	0	0	0	0
CONDY CHOCO	0	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	0	0	0	0	0	0	0	0
Boisson	0	0	0	0	0	0	0	0
	KHENCHLA	SKIKDA	SOUK AHRAS	TEBESSA	AIN DEFLA	CHLEF	DJELFA	MEDEA
Lait blanc	0	0	0	0	0	0	0	0
CONDY CHOCO	0	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	0	0	0	0	0	0	0	0
Boisson	0	0	0	0	0	0	0	0
	RELIZANE	TIARET	BATNA	BISKRA	GHARDAIA	LAGHOUAT	OUARGLA	OUM EL BOUAGHI
Lait blanc	0	0	0	0	0	0	0	0
CONDY CHOCO	0	0	0	0	0	0	0	0
TWISTE	0	0	0	0	0	0	0	0
Boisson	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL OUED	ADRAR	TAMANRASS ET	TINDOUF	ILLIZI			
Lait blanc	0	0	0	0	0			
CANDY CHOCO	0	0	0	0	0			
TWISTE	0	0	0	0	0			
Boisson	0	0	0	0	0			

FIGURE 2.4: Les quantités à transporter de l'unité de Sétif vers les Clients (Wilaya)

Analyse et interprétation des résultats

Après avoir résolu sous CPLEX, ce dernier nous a fourni un plan optimal de production, tel que l'entreprise Tchén-Lait va répartir ces gammes comme suit :

Béjaia : Lait blanc, Candy Choco, Twist, Boissons.

Alger : Lait blanc, Candy Choco, Twist, Boissons.

Sétif : Lait Blanc.

Le CPLEX nous a fourni aussi un plan optimal de transport pour la distribution des produits laitiers des unités (Béjaia, Alger et Sétif) vers les 45 clients avec un coût minimum égal à 21349228.684 DA.

Les quantités des produits à expédier de chaque unité vers chaque client est présentée dans les tableaux : Table 5.2, Table 5.3 et Table 5.4.

Étude comparative

Comme la production du Lait Blanc est importante par rapport aux autres produits (70% de la capacité de production totale), nous avons comparé les résultats de la distribution de ce dernier entre les deux situations, situation actuelle (Bejaia, Alger et Setif) et situation de (Bejaia et Alger).

Nous avons trouvé que le coût minimal de la situation actuelle (4499482.9402 DA) est inférieur à celui des deux unités seulement (4972956.4792DA).

Par conséquent, les solutions trouvées donnent une meilleure gestion de la production et de la distribution puisqu'elle permettent de :

1. Satisfaire la demande des clients.
2. Minimiser le coût de transport.

Conclusion

Dans ce travail, nous avons proposé une résolution du problème à l'aide des méthodes de recherche opérationnelle, nous avons modélisé le problème comme un programme linéaire en nombres entiers PLNE. En utilisant le solveur CPLEX un plan de production-distribution optimale a été dégagé.

Références

1. Aïssani D., Cours e Modélisation, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2016.

Gestion de la production à l'entreprise Meriplast

Makhloufi Y., Mehani A., Aoudia Z. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com, zo.aoudia@gmail.com

Résumé L'entreprise Meriplast veut renforcer sa capacité de production en implantant une troisième unité de production dans la Wilaya de Sétif. A cet effet, les gestionnaires de l'entreprise s'interrogent si les capacités de production actuelles pourront faire face à l'augmentation de la demande afin de justifier cet investissement.

Dans ce travail, nous avons proposé un modèle linéaire, pour l'ordonnancement des tâches des différentes gammes des produits Meriplast sur les deux unités de production actuelles (Béjaïa et Oued ghir).

Pour la résolution, nous avons dû implémenter deux métaheuristiques à savoir : l'algorithme génétique et la recherche tabou. Les résultats obtenus, nous ont permis de connaître les quantités produites par jour, où nous les avons comparé avec les données réelles. En plus de la performance du système actuel, nous avons déterminé le taux d'augmentation de la demande qui nécessitera des mesures spécifiques.

Key words: Modélisation, gestion de la production, ordonnancement, algorithmes génétiques, recherche tabou

3.1 Introduction

Depuis plusieurs années, le contexte de mondialisation et l'accroissement de la concurrence ont défini un nouvel ordre économique et industriel pour les entreprises de production de biens. En effet, ces entreprises sont quotidiennement confrontées à la maîtrise et à l'amélioration des performances de l'ensemble de leurs processus afin de garantir leur pérennité et leur compétitivité [1].

L'entreprise Meriplast, tout comme toute autre entreprise industrielle, tente de faire face à l'augmentation de la demande en conservant les critères de qualités des services fournis. Pour ce faire, elle tente d'appliquer les approches scientifiques et les méthodes de la recherche opérationnelle.

Au début de son lancement, l'entreprise disposait d'un seul site de production. Par la suite, elle a fait l'acquisition d'un nouveau site de production qui lui permet d'augmenter considérablement sa production. La question qui se pose : est-ce que les capacités de production des deux unités peuvent faire face à l'augmentation de la demande ?

Cet article est organisé comme suit : nous présentons en premier lieu le système de production de l'entreprise Meriplast. Ensuite, nous présentons l'approche que nous avons adopté pour la résolution du problème.

3.2 Position du problème

L’objectif des dirigeants de MERIPLAST est d’améliorer la productivité et la qualité des produits finis, afin de satisfaire ses clients en respectant les délais de livraison et en leur proposant des produits de meilleure qualité à des coûts plus raisonnables. En effet, dans le domaine industriel, les clients deviennent de plus en plus exigeants. Ce qui incite les entreprises à être compétitives, pour gagner des parts de marché en satisfaisant au mieux la clientèle et ce, en trouvant un compromis entre les coûts, la qualité et surtout les délais de livraison des produits finis.

La question qui se pose est la suivante : est-ce que les capacités de production des deux unités de Béjaia et Oued Ghir peuvent faire face à l’augmentation de la demande ? Dans un premier temps, nous nous intéressons à la gestion de la production du système actuel. Puis, nous aborderons l’évaluation des performances dans le cas où la demande est augmentée.

L’ordonnancement est une fonction clé dans la gestion de la production. Elle vise à planifier dans le temps et d’organiser l’utilisation des ressources présentes dans les ateliers de production de l’entreprise afin d’atteindre les objectifs tracés auparavant (qualité, coût et délais).

Le système de production de l’entreprise Meriplast est modélisé sous forme d’un problème d’ordonnancement de type job-shop flexible qui est NP-Difficile. D’où, la nécessité de recourir aux métaheuristiques pour la résolution[2, 5].

3.3 Modélisation du problème

3.3.1 Description du problème

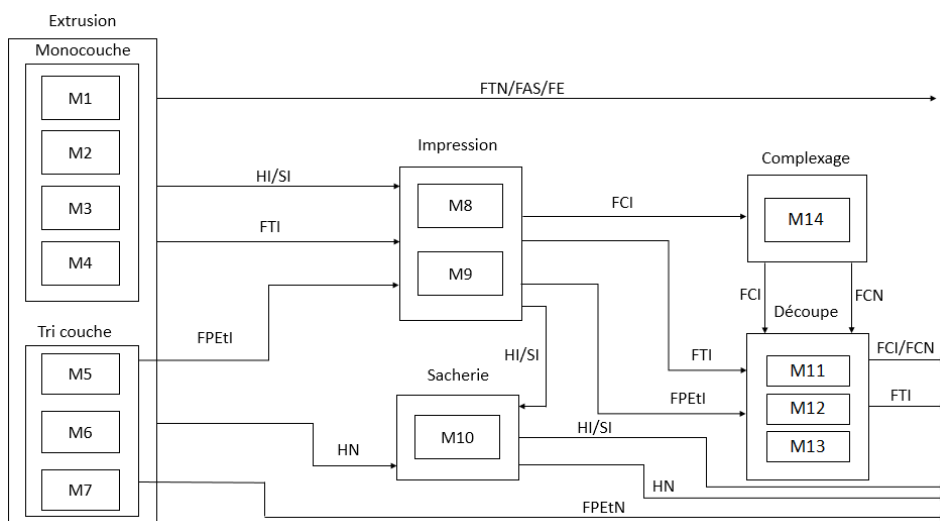


FIGURE 3.1

Cette figure montre le système de production de l'entreprise Meriplast en regroupant les deux unités ensemble. Nous avons remarqué que chaque produit a son propre ordre de passage sur les différentes machines disponibles.

Le problème d'ordonnancement de type job shop flexible est formulé en un programme linéaire mixte qui minimise la plus grande date d'achèvement des travaux.

3.3.2 Formulation du problème

Les paramètres

Les paramètres et les notations utilisés sont présentés dans le tableau 1

Paramètres	Signification
J	ensemble des jobs $j = 1, \dots, 12$
O_{ij}	la i ème tâche du job j
$O_{i_{der}j}$	la dernière tâche de j
$nbopj$	nombre de tâches du job j
N	$N = \sum_{j=1}^12 2nbopj$
$d_{i,j,k}$	la durée de la tâche O_{ij} sur la machine k
E_{ij}	ensemble des machines pouvant effectuer O_{ij}
t_{ij}	date de début de O_{ij}
$t_{i_{der}j}$	date de début de $O_{i_{der}j}$
C_j	date de fin du job j
C_{max}	a plus grande date de fin des jobs

TABLE 3.1

Paramètres contrôlables

- l'affectation des opérations aux machines,
- date de début de chaque opération,
- le séquençement des opérations sur machine.

Paramètres non contrôlables

- nombre et type de job,
- nombre et type d'opérations constituant chaque job,
- nombre, capacités de chaque machine,
- durées des opérations,
- succession des opérations de chaque job.

Les hypothèses

Dans notre problème, on se fixe les hypothèses suivantes :

- chaque machine est disponible pendant toute la période de l'ordonnancement, c'est-à-dire les pannes des machines ne sont pas prises en compte dans notre étude,
- à l'instant $t = 0$, toutes les machines sont disponibles et prêtes à l'utilisation,
- une machine ne peut exécuter qu'une seule opération, donc elle devient disponible à la fin de l'opération en cours d'exécution,
- une opération en cours d'exécution ne peut pas être interrompue,
- les jobs sont indépendants les uns des autres.

Les variables Soient les variables suivantes :

$$X_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & \text{si } O_{i,j} \text{ est exécutée par la machine } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$j = 1, \dots, 12, i = 1, \dots, nbop_j, k \in E_{ij}.$$

$$Y_{ij,i'j',k} = \begin{cases} 1 & \text{si l'opération } O_{i',j'} \text{ succède à l'opération } O_{i,j} \text{ sur la machine } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$j, j' = 1, \dots, 12, i, i' = 1, \dots, nbop_j, k \in E_{ij}.$$

L'objectif

C'est de minimiser la plus grande date d'achèvement des travaux C_{\max} :

$$\min \max_{j \in J} C_j$$

où la date d'achèvement C_j d'un ob j est égale à la date de début de sa dernière opération $t_{i_{der}j}$ plus la durée de cette dernière sur la machine qui l'exécutera :

$$C_j = t_{i_{der}j} + \sum_{k \in E_{i_{der}j}} d_{i_{der}j,k} \dot{X}_{i_{der}j,k}, \text{ pour tout } j = 1, \dots, 12.$$

Les contraintes

1. Une opération $O_{i,j}$ n'est affectée qu'à une et une seule machine :
2. La succession des opérations d'un même job doit être respectée :

$$t_{ij} \geq t_{i-1,j} + \sum_{d_{i-1,j,k}} X_{i-1,j,k}, \forall j = 1, \dots, 12, i = 2, \dots, nbop_j$$

3. Deux opérations ne peuvent s'effectuer simultanément sur une machine :
4. Chaque opération précède une et une seule opération $O_{i',j'}$:

$$\sum_{j'=1}^1 \sum_{i'=1}^{nbop_{j'}} \sum_{k \in E_{ij} \cap E_{i'j'}} Y_{ij,i'j',k} = 1$$

5. Contraintes de non-négativité et de binarité :

$$\begin{aligned} C_j &\geq 0 \quad j = 1, \dots, 12 \\ t_{ij} &\geq 0 \quad j = 1, \dots, 12, i = 1, \dots, nbop_j \\ d_{i,j,k} &\geq 0 \quad k \in E_{ij}, j = 1, \dots, 12, i = 1, \dots, nbop_j \\ X_{i,j,k} &\in \{0, 1\} \quad k \in E_{ij}, j = 1, \dots, 12, i = 1, \dots, nbop_j \\ Y_{ij,i'j',k} &\in \{0, 1\} \quad k \in E_{ij}, j, j' = 1, \dots, 12, i, i' = 1, \dots, nbop_j \end{aligned}$$

3.4 Résolution du problème

Vue le nombre important de variables et de contraintes prises en considération, la résolution exacte s'avère très compliquée, d'où la nécessité d'avoir recours aux métaheuristiques. Nous choisissons l'algorithme génétique et la recherche tabou.[7]

3.4.1 Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques font partie de la famille des algorithmes évolutionnaires. Avec ce type de méthodes, il s'agit de trouver une bonne solution satisfaisante dans un temps de calcul raisonnable. L'algorithme de la méthode adaptée à notre problème d'ordonnancement est donné par l'algorithme :

Algorithme 1 : Algorithme génétique

Entrée : N, P_c, P_m, I_{max} : le nombre d'itérations maximum.

Sortie : ID_{best} : meilleur individu, $EVL(ID_{best})$: son évaluation.

Générer la population initiale ;
 Calculer son évaluation ;
 $i=0$;
Tant que $i \leq I_{max}$ **faire**
 Pour k allant de 1 jusqu'à $N/2$ **faire**
 selectionner deux parents parmi les meilleurs ;
 générer $\alpha \in [0, 1]$;
 Si $\alpha \leq P_c$ **alors**
 On fait le croisement des deux parents ;
 Sinon
 On copie les deux parents dans les enfants ;
 Finsi ;
 générer $\beta \in [0, 1]$;
 Si $\beta \leq P_m$ **alors**
 On fait muter l'enfant 1 ;
 Sinon
 On fait muter l'enfant 2 ;
 Finsi ;
 Fin pour ;
 Insertion des meilleurs individus ;
 ID_{best} = meilleur individu trouver ;
 $EVL(ID_{best})$ = l'évaluation du meilleur individu ;
 $i = i + 1$;
Fin Tant que ;

3.4.2 Recherche tabou

La méthode de recherche tabou est une métaheuristique fondée sur le principe de la recherche locale. Ce principe consiste à explorer l'espace de recherche composé de toutes les solutions réalisables dans le but d'aboutir à la solution optimale [EG03].

Cette approche utilise une solution initiale réalisable et une structure de voisinage à chaque itération de la méthode. Le voisinage, $V(x)$, de x est généré en effectuant un mouvement, appelé aussi une simple perturbation de x .

A l'itération n , l'ensemble des voisins de la solution courante, x_n , est généré, puis, ils sont examinés et le meilleur voisins, $x \in V(x)$, de x est sélectionné. On peut remarquer qu'il est possible d'avoir le voisin de moins bonne qualité que la solution courante. Nous adoptons les notations suivantes afin d'élaborer notre algorithme :

- S_{meil} : la meilleure solution trouvée et $EVL(S_{meil})$ son évaluation ,
- S_c : la solution courant,
- S_v : le meilleur voisin de S_c ,
- nb_{max} : le nombre d'itérations maximum sans amélioration,
- nbr : le nombre d'itérations sans amélioration.

Algorithme 2 : L'algorithme de la méthode recherche tabou

Entrée : N :nombre d'itérations, Tl :taille de la liste tabou, nv :nombre de voisin à générer à chaque itération.

Sortie : $S_{meil}, EVL(S_{meil})$

S_c = la solution initiale;

$nbr = 0$;

$k=1$;

$EVL(S_{meil}) = \infty$;

Tant que ($nbr < nb_{max}$) et ($k \leq N$) **faire**

$S_{mv} = \emptyset$; $EVL(S_{mv}) = \infty$;

Pour chaque voisin S_v de S_c non tabou **faire**

Si $F(S_v) < EVL(S_{mv})$ **alors**

$S_{mv} = S_v$;

$EVL(S_{mv}) = F(S_v)$;

Finsi;

Fin pour;

$S_c = S_{mv}$;

$nbr = nbr + 1$;

Si $EVL(S_{mv}) < EVL(S_{meil})$ **alors**

$S_{meil} = S_{mv}$;

$EVL(S_{meil}) = EVL(S_{mv})$;

Finsi;

Mettre à jour la liste tabou

$k = k + 1$;

Fin Tant que;

3.5 Résultats

3.5.1 Données d'entrée

Comme nous n'avons pas les données concernant la demande mais les données de production journalière du mois de mai 2017, nous les avons considéré comme demande et nous résumons dans le tableau suivant :

Produit	FTN	FTI	FE	FAS	FPEtN	FPEtI	HN	HI	SN	SI	FCN	FCI
Quantité(tonne)	10	6	6	8	5	8.5	2	1.5	2	2.5	4	5

Tableau 2- Les données d'entrée

3.5.2 Résultats de l'algorithme génétique et recherche tabou

Nous donnons les deux tableaux qui résument les résultats pour l'algorithme génétique et la recherche tabou.

Pour chacun des algorithmes, nous présentons dans les tableaux respectifs suivants une des meilleures solutions obtenues. Les paramètres utilisés pour l'algorithme génétique sont les suivants :

- taille de la population : 25,
- nombre d'itérations de l'algorithme : 80,
- probabilité de croisement P_c : 0.7,
- probabilité de mutation P_m : 0.3.

Pour l'algorithme de recherche tabou, avec les paramètres suivants :

- taille de la liste tabou : 9
- nombre de voisins : 6
- nombre d'itérations : 80

Machine	Produit	date de début	date de fin
Extr 1	SN	0j : 00 : 00 : 00	1j : 04 : 14 : 07
Extr 2	SI	0j : 00 : 00 : 00	1j : 06 : 00 : 00
Extr 3	HI	0j : 00 : 00 : 00	1j : 18 : 21 : 10
Extr 4	FTN	0j : 00 : 00 : 00	1j : 10 : 17 : 08
Extr 5	FPEtN	0j : 00 : 00 : 00	0j : 21 : 49 : 05
Extr 6	FTI	0j : 00 : 00 : 00	0j : 12 : 00 : 00
	FE	0j : 12 : 15 : 00	1j : 00 : 15 : 00
Extr 7	FPEtI	0j : 00 : 00 : 00	0j : 08 : 09 : 36
	HN	0j : 08 : 24 : 36	0j : 10 : 19 : 48
	FAS	0j : 10 : 34 : 48	0j : 18 : 15 : 36
Impr 1	FPEtI	0j : 08 : 09 : 36	1j : 01 : 09 : 36
	FCI	1j : 01 : 24 : 36	1j : 11 : 24 : 36
	FTI	1j : 11 : 39 : 36	1j : 23 : 39 : 36
Impr 2	SI	1j : 06 : 00 : 00	1j : 11 : 00 : 00
	HI	1j : 18 : 21 : 10	1j : 21 : 21 : 10
Sache	HN	0j : 10 : 19 : 48	0j : 17 : 11 : 13
	SN	1j : 04 : 14 : 07	1j : 11 : 05 : 32
	SI	1j : 11 : 20 : 32	1j : 19 : 54 : 50
	HI	1j : 21 : 21 : 10	2j : 02 : 29 : 44
Compl	FCN	0j : 00 : 00 : 00	0j : 03 : 29 : 27
	FCI	1j : 11 : 24 : 36	1j : 15 : 46 : 24
Décou 1	FPEtI	1j : 01 : 09 : 36	1j : 14 : 45 : 36
Décou 2	FCN	0j : 03 : 29 : 27	0j : 05 : 49 : 56
	FTI	1j : 23 : 39 : 36	2j : 03 : 10 : 19
Décou 3	FCI	1j : 15 : 46 : 24	1j : 17 : 57 : 19

Tableau 3- Résultats Algorithmes génétiques

Machine	Produit	date de début	date de fin
Extr 1	HN	0j : 00 : 00 : 00	1j : 04 : 14 : 07
Extr 2	SI	0j : 00 : 00 : 00	1j : 06 : 00 : 00
Extr 3	HI	0j : 00 : 00 : 00	1j : 18 : 21 : 10
Extr 4	SN	0j : 00 : 00 : 00	0j : 06 : 51 : 25
	FTN	0j : 07 : 06 : 25	1j : 17 : 23 : 34
Extr 5	FE	0j : 00 : 00 : 00	1j : 02 : 10 : 54
Extr 6	FPEtN	0j : 00 : 00 : 00	0j : 10 : 00 : 00
	FAS	0j : 10 : 15 : 00	1j : 02 : 15 : 00
Extr 7	FTI	0j : 00 : 00 : 00	0j : 05 : 45 : 36
	FPEtI	0j : 06 : 00 : 36	0j : 14 : 10 : 12
Impr 1	FCI	0j : 00 : 00 : 00	0j : 10 : 00 : 00
	FPEtI	0j : 14 : 10 : 12	1j : 07 : 10 : 12
	FTI	1j : 07 : 25 : 12	1j : 19 : 25 : 12
Impr 2	SI	1j : 06 : 00 : 00	1j : 11 : 00 : 00
	HI	1j : 18 : 21 : 10	1j : 21 : 21 : 10
Sach	SN	0j : 06 : 51 : 25	0j : 13 : 42 : 51
	HN	1j : 04 : 14 : 07	1j : 11 : 05 : 32
	SI	1j : 11 : 20 : 32	1j : 19 : 54 : 50
	HI	1j : 21 : 21 : 10	2j : 02 : 29 : 45
Compl	FCN	0j : 00 : 00 : 00	0j : 03 : 29 : 27
	FCI	0j : 10 : 00 : 00	0j : 14 : 21 : 48
Décou 1	FCI	0j : 14 : 21 : 48	0j : 22 : 21 : 48
Décou 2	FCN	0j : 03 : 29 : 27	0j : 05 : 49 : 56
	FTI	1j : 19 : 25 : 12	1j : 22 : 55 : 55
Décou 3	FPEtI	1j : 07 : 10 : 12	1j : 10 : 52 : 44

Tableau 4 - Résultats recherche Tabou

3.5.3 Comparaison des résultats

Le tableau suivant résume les résultats obtenus par les deux méthodes :

	Makespan Cmax
Recherche tabou	2j : 02 : 29 : 45
Algorithme génétique	2j : 03 : 10 : 19

En exécutant, plusieurs fois, les deux méthodes avec les mêmes données d'entrée (tableau 2), nous avons constaté que la méthode recherche tabou produit de meilleurs résultats comparés à ceux de l'algorithme génétique. Mais, on remarque une certaine similitude des résultats à cause du caractère aléatoire des deux méthodes.

3.5.4 Evaluation des performances de la production

Afin d'évaluer les performances du système de production de l'entreprise Meriplast, on fait varier la demande, puis on suit l'évolution du système. Pour cela, on va appliquer la méthode recherche tabou avec les même paramètres. Dans un premier temps, on va comparer les quantités produites avec la méthode tabou sur 24H avec les capacités de production. Puis, en second lieu, on va comparer la production réelle du mois de mai 2017 avec les résultats que nous avons obtenus. Enfin, nous prendrons les données du tableau comme demande actuelle et nous les ferons varier.

Production par 24H avec la recherche tabou

En utilisant l'ordonnancement trouvé par la méthode recherche tabou du tableau précédent, nous allons extraire les quantités produites par 24H. Le résultat est dans le tableau suivant :

Production	0-24H (Tonnes)	24H-48H (Tonnes)	Capacités (Tonnes/24H)
M1	1.7	0.3	1.7
M2	2	0.5	2
M3	0.85	0.65	0.85
M4	6.92	5.08	7
M5	5.5	0.5	5.5
M6	11.875	1.125	12
M7	14.5	0	25
M8	9.915	9.385	12
M9	0	4	12
M10	2	4.32 (reste 0.68)	7
M11	5	0	15
M12	4	6	41
M13	0	8.5	55
M14	9	0	27.5

Tableau 5 - Résultats de la production pour la recherche tabou

D'après le tableau précédent, on remarque que toutes les machines d'extrusion atteignent leurs capacités de production sauf la machine M7. Par contre, les autres machines n'ont pas encore atteint leurs capacités, à savoir les découpeuses, la complexeuse et les imprimantes.

Production réelle

Avec les données de production du mois de mai 2017 de l'entreprise, et les capacités des machines, on peut calculer les pourcentages d'utilisation des

machines, comme le montre le tableau suivant (données du 7 mai 2017) :

Machine	Quantité produite (Tonne)	Capacité (Tonne/24H)	Pourcentage d'utilisation
M1	1.866	1.7	109
M2	1.543	2	77.15
M3	0	0.85	0
M4	5.544	7	79.2
M5	4.62	5.5	84
M6	11.301	12	94.17
M7	10.677	25	42.70
M8	6.907	12	57.55
M9	10.907	12	90.89
M10	2.48	7	35.42
M11	0.459	15	3.06
M12	4.63	41	11.29
M13	10.572	55	19.22
M14	3.954	27.5	14.37

Tableau 6 - Pourcentage d'utilisation des machines

Une petite comparaison entre les deux tableaux 5 et 6, fait apparaître que les résultats obtenus par la méthode tabou sont supérieurs à ceux de la production réelle, ce qui peut être expliqué par le fait qu'on a négligé certains paramètres comme les délais et nous avons pris en considération les gammes de produits et non pas les produits.

3.5.5 Variation de la demande

Ici, nous allons faire varier la demande journalière totale et nous allons comparer la quantité produite par rapport aux capacités de production des deux unités et nous nous arrêterons lorsque les capacités seront atteintes. La demande considérée est celle du tableau 2. Et les taux d'augmentation sont 10%, 25% et 40%. Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants :

Machine	Quantité produite (Tonne)	Capacité (Tonne/24H)	Pourcentage d'utilisation
M1	1.866	1.7	109
M2	1.543	2	77.15
M3	0	0.85	0
M4	5.544	7	79.2
M5	4.62	5.5	84
M6	11.301	12	94.17
M7	10.677	25	42.70
M8	6.907	12	57.55
M9	10.907	12	90.89
M10	2.48	7	35.42
M11	0.459	15	3.06
M12	4.63	41	11.29
M13	10.572	55	19.22
M14	3.954	27.5	14.37

Tableau 7 - Augmentation de la demande de 10%

Production	0-24H (T)	24H-48H (T)	Capacités(T/24H)
M1	1.7	0.8	1.7
M2	2	1.125	2
M3	0.85	0.85 (reste 0.175)	0.85
M4	6.92	7 (reste 1.08)	7
M5	5.5	1.25	5.5
M6	10.625	0	12
M7	24.48	0.52	25
M8	7.5	3.125	12
M9	7.625	9.25 (reste 1.875)	12
M10	2.5	3.65 (reste 3.85)	7
M11	3.77	6.6	15
M12	3.075	9.425	41
M13	0	10.625	55
M14	11.25	0	27.5

Tableau 8 - Augmentation de la demande de 25%

Production	0-24H (T)	24H-48H (T)	48H-72H (T)	Capacités (T/24H)
M1	1.7	1.1	0	1.7
M2	2	1.5	0	2
M3	0.85	0.85	0.4	0.85
M4	6.92	7	2.88	7
M5	5.5	1.5	0	5.5
M6	11.9	0	0	12
M7	24.48	3.52	0	25
M8	7.97	0.43	0	12
M9	7	11.9	2.1	12
M10	2.8	2.47	5.93	7
M11	2.43	4.56	0	15
M12	0	14	0	41
M13	0	0.9	11	55
M14	11.17	1.42	0	27.5

Tableau 9 - Augmentation de la demande de 40%

Interprétation des résultats

Pour une augmentation de la demande de 10%, tableau 7, on remarque que les capacités de production des deux unités peuvent faire face. Les machines M1, M2, M3, M4 et M5 ont atteint leurs capacités. Par contre, les autres machines ne les ont pas encore atteint. Même constat si la demande augmente de 25%.

Enfin, en augmentant la demande totale jusqu'à 40%, nous remarquons que les extrudeuses et la sacherie ont atteint leurs capacités. Ce n'est pas le cas des autres machines. En particulier les découpeuses qui sont, largement, moins utilisées. Ce fait peut être expliqué par ce fait que les découpeuses ne fonctionnent pas toutes seules. Elles sont rattachées soit à la complexeuse, soit aux imprimantes. Puis, les imprimantes aussi sont utilisées soit après les extrudeuses ou après la sacherie. Et comme les extrudeuses et la sacherie ont atteint leurs capacités, donc on ne pourra pas atteindre les capacités des autres machines.

3.6 Conclusion et perspectives

Dans ce travail, nous avons appliqué une des méthodes de recherche opérationnelle, afin de gérer la production à l'entreprise Meriplast. La modélisation par un modèle linéaire avec des variables mixtes nous a permis d'évaluer les capacités du système de production actuel. Puis, l'évaluation des performances des capacités de production nous ont permis de déterminer le taux d'augmentation de la demande qui nécessitera des mesures spécifiques.

Il serait intéressant de poursuivre ce travail qui s'inscrit dans le cadre de la gestion de production de l'entreprise Meriplast, en considérant les délais et coûts, dans un premier lieu. Peut être, ensuite, considérer le cas stochastique du système.

Références

1. L. Azzabi. Contribution à l'amélioration d'un système de production : intégration de la méthode six sigma et approche multicritère d'aide à la décision dans sidelec internationale. PhD thesis, Ecole Doctorale De SFAX, 2010.
2. T. Chaari. Un algorithme génétique pour l'ordonnancement robuste : application au problème du fow shop hybride. PhD thesis, Université de Valenciennes et du Hainaut- Cambresis, 2010.
3. Y. Collette and P. Siarry. Optimisation Multiobjectif. Editions Eyrolles, Paris, 2002.
4. M. Ennigrou and K. Ghedira. Approche multi-agents basée sur la recherche tabou pour le job shop flexible. PhD thesis, Institut pré- paratoire aux etudes d'Ingénieurs-ElManar, Tunisie, 2003.
5. H. Jin-Kao, P. Galinier, and M. Habib. Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire et l'affectation sous contraintes. Revue d'Intelligence Artificielle, 1999.
6. K. Mellouli, A. El Kamel, and P. Borne. Programmation linéaire et applications. Editions Technip, 2004.
7. M. Widmer. Les Métaheuristiques : Des outils performants pour les problèmes industriels. 3eme Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation MOSIM'01, Troyes, 2001.

Planification et optimisation de la distribution

Planification du réseau de distribution d'énergie électrique pour la nouvelle ville de Oued Ghir (Ighzer Ouzarif)

Bennour Z., Bouaziz O., Medjoudj R. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com

Résumé Dans le cadre de l'extension de la ville de Béjaïa au niveau de la nouvelle ville d'Oued Ghir (Ighzer Ouzarif), l'entreprise étatique Sonelgaz a été chargée d'y installer le réseau de distribution d'énergie électrique. Le but de l'article est de proposer aux décideurs de Sonelgaz la mise en place d'un réseau de distribution optimal et à coût minimal, en utilisant la programmation linéaire en nombres entiers pour déterminer le nombre de postes MT/BT qu'il faut pour satisfaire la consommation et l'algorithme de Prim pour déterminer un recouvrement à distance minimum. Ainsi, avec les critères de Sonelgaz pour le choix d'une structure adaptée on obtiendra le réseau de distribution optimal.

Mots clés : Ighzer Ouzarif, Sonelgaz, Réseau de distribution d'énergie électrique, Planification, Réseau de distribution optimal, Programmation linéaire en nombres entiers, Algorithme de Prim.

Introduction

L'énergie électrique est devenue indispensable. C'est un bien de consommation à part entière, non seulement pour la vie quotidienne de chaque individu mais également, pour l'économie du pays.

Ce sont les réseaux d'énergie électrique qui achemine l'électricité depuis les centrales de production jusqu'aux consommateurs, en passant par les différentes parties du réseau, à savoir : production, transport, répartition et distribution, avec des étapes d'élévation et de baisse de tension dans des postes transformateurs.

Arrivée aux lieux de consommation en moyenne tension (MT), l'énergie électrique doit répondre à trois exigences essentielles : stabilité, économie et surtout continuité de service, afin de rendre toujours disponible l'accès à l'électricité chez l'utilisateur.

L'électrification de toutes les régions du pays est une des tâches les plus importantes dont est chargée l'entreprise étatique Sonelgaz. Mais, cela se fait sur la base d'études sur la consommation et sur la manière de pouvoir répondre aux besoins de la clientèle en évitant les différents risques (incidents, chutes de tension, incendies) sur le réseau.

Avec la crise économique qu'a traversé notre pays, l'entreprise Sonelgaz a adapté sa politique de fonctionnement : réparer au lieu de changer et optimiser avant d'installer.

Ce travail concerne la planification et l'optimisation d'un réseau de distribution d'énergie électrique pour la nouvelle ville d'Oued Ghir (Ighzer Ouzarif). Installé sur une superficie de 250 Ha, il se présente comme l'un des plus grands projets d'extension de la ville de Béjaïa.

Ce travail consiste à considérer une nouvelle approche scientifique pour la planification d'un réseau de distribution d'énergie électrique en appliquant les méthodes de la recherche opérationnelle et en respectant les contraintes et les exigences de l'entreprise nationale Sonelgaz.

4.1 Présentation de l'entreprise et généralités sur les réseaux électriques de distribution.

Dans ce paragraphe, nous allons présenter l'entreprise étatique Sonelgaz, précisément la Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Est (S.D.E), qui est responsable de l'installation et de la planification des réseaux électriques et du gaz pour l'est Algérien. Ensuite, nous allons présenter le positionnement du problème.

4.1.1 Présentation de l'entreprise

La société nationale de l'électricité et du gaz (Sonelgaz). est une compagnie publique à caractère industriel et commercial qui exerce pour son compte les activités suivantes :

- Production, Transport et Distribution de l'électricité.
- Transport et Distribution du gaz.

Elle a pour obligations :

- De satisfaire dans des conditions requises de qualité, de continuité de service, toute demande d'alimentation en électricité et en gaz, là où des réseaux existent.

- D'assurer la maîtrise d'œuvre des programmes de développement de l'infrastructure électrique et gazière et en particulier des programmes et une distribution publique de gaz.

- D'appliquer, à condition identique, une stricte égalité de traitement à tous les clients, notamment par :

- Une tarification faisant l'objet d'un décret.
- Un cahier des clauses générales définissant la condition de raccordement et de fourniture d'énergie.

Elle a été créée en 1969, sous le nom d'Electricité et Gaz d' Algérie (EGA), devenu un établissement public en 1991. Puis elle fut convertit en une société par actions (SPA) en 2002. Depuis 2010, on parle du groupe Sonelgaz.

4.1.2 Présentation de la Société de Distribution de l'électricité et du gaz de l'Est (SDE)

La société par actions SDE (SPA) a été créée en 2006 avec un capital social de 24 milliards de Dinars, la société de Distribution de l'électricité et du gaz de l'Est, par abréviation " SDE ", filiale du groupe Sonelgaz.

Son siège se situe au 2, rue Raymonde Peschard à Constantine. Elle réunit 16 wilayas de l'Est avec ses dix-neuf (19) Directions de Distribution. Elle compte 95 agences commerciales, 60 districts électricité et 30 districts gaz.

La SDE a, entre autres, pour mission :

- L'exploitation, l'entretien et le développement des réseaux de distribution de l'électricité et gaz situés dans la zone de desserte.
- Le développement du réseau de façon à permettre le raccordement des clients et des producteurs qui le demandent.
- La commercialisation de l'électricité et du gaz.
- L'assurance d'une continuité et qualité de service au moindre coût, etc.

4.1.3 Position du problème

L'augmentation croissante de la population d'un pays ou d'une ville et son besoin continue d'être logé, poussent les responsables à penser à des promotions immobilières ou carrément à des extensions de ville pour satisfaire cette demande et quand on parle de logements, de quartiers ou de villes, on parle aussi de réseau d'électricité, de gaz et d'eau.

Dans le cadre du nouveau projet d'extension de la ville de Béjaia au niveau de la commune d'Oued Ghir, l'entreprise Sonelgaz est chargée de l'installation du réseau de distribution d'énergie électrique pour ce site. Pour cela, elle doit se référer aux conditions suivantes :

- Amener l'électricité en moyenne tension (MT) le plus près des consommateurs.
- Déterminer le nombre de postes qui satisfera la charge totale de la zone à desservir.
- Installer le réseau de distribution d'énergie électrique suivant une structure choisit.

4.2 Présentation de la ville Ighzer Ouzarif

4.2.1 Position géographique

La nouvelle ville d'Oued Ghir intitulé Ighzer Ouzarif est située au Nord de la commune d'Oued Ghir au Sud Ouest du chef lieu de la wilaya de Béjaia. Elle est délimitée en rouge dans la Figure 4.1.

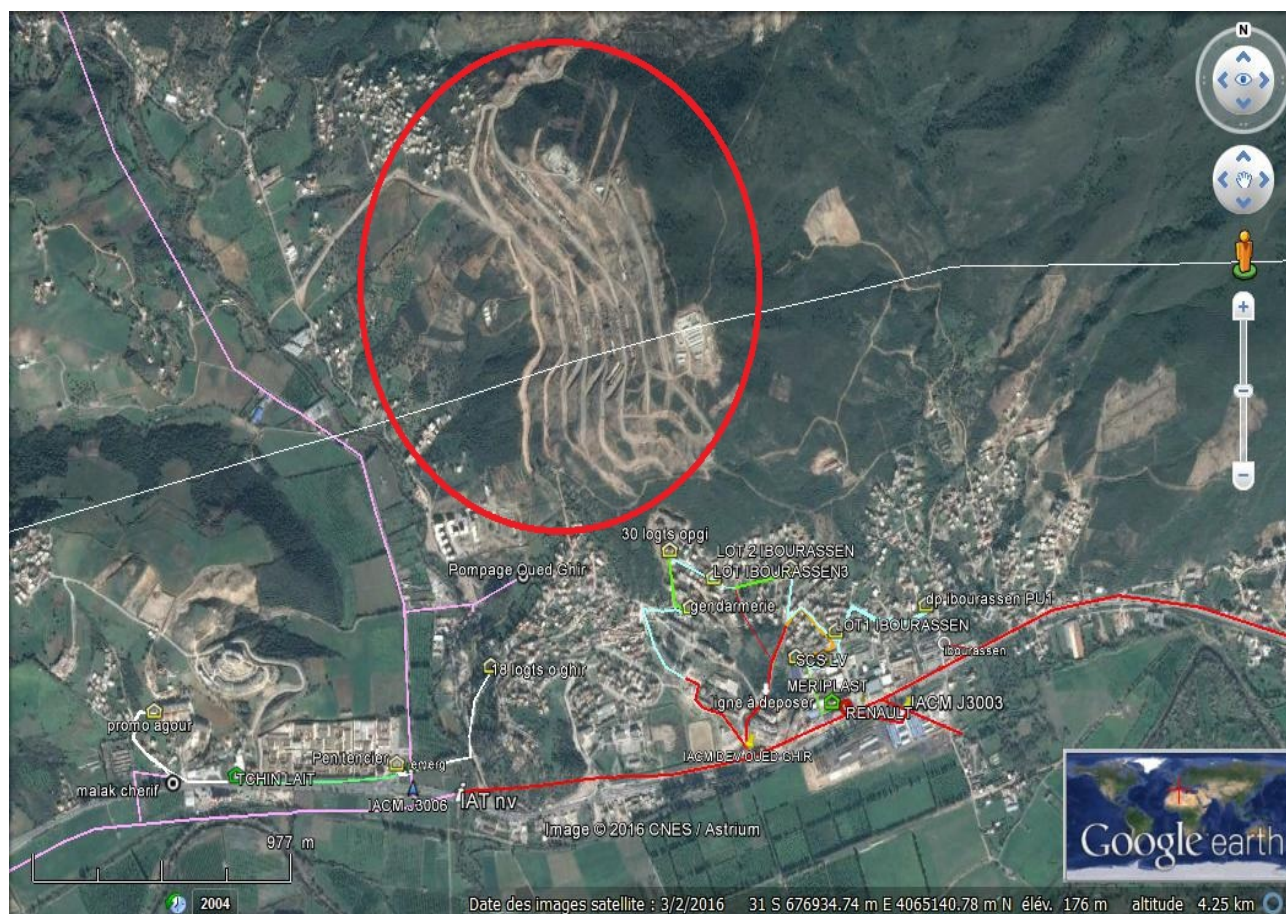


FIGURE 4.1: Vue aérienne de la ville de Oued Ghir et de la ville Ighzer Ouzarif.

4.2.2 Plan d'aménagement

Le plan de la ville d'Ighzer Ouzarif est illustré dans la figure 4.2.

Le site est d'une superficie totale de 250 Ha prévu pour 12000 logements, 59 équipements publics et 13 réserves foncières répartis comme suit :

Première tranche : d'une superficie de 38 Ha

- Nombre de logements implantés : 3480 logts LPL
- Nombre d'équipements publics prévus : 15

Soit : 05 Ecoles primaires, 02 CEM, 01 Lycée, 01 Bibliothèque, 01 Sureté urbaine, 01 Mosquée, 01 Salle polyvalente, 01 Crèche, 01 Salle de soins et 01 Centre commercial.

Deuxième tranche : d'une superficie de 14 Ha : (POS OG20)

- Nombre de logements implantés : 1000 logts LPA.

- Nombre d'équipements publics prévus : 04.

Soit : 02 Ecoles primaires, 01 CEM, 01 Bloc administratif

Troisième tranche : d'une superficie de 198 Ha :

- Nombre de logements prévisionnels : 7520 logts (LPP, LV, LPL)
- Nombre d'équipements publics prévisionnels : 40

Soit : 02 Grands équipements, 18 Equipements d'accompagnements et 20 Equipements de proximité et de quartiers.

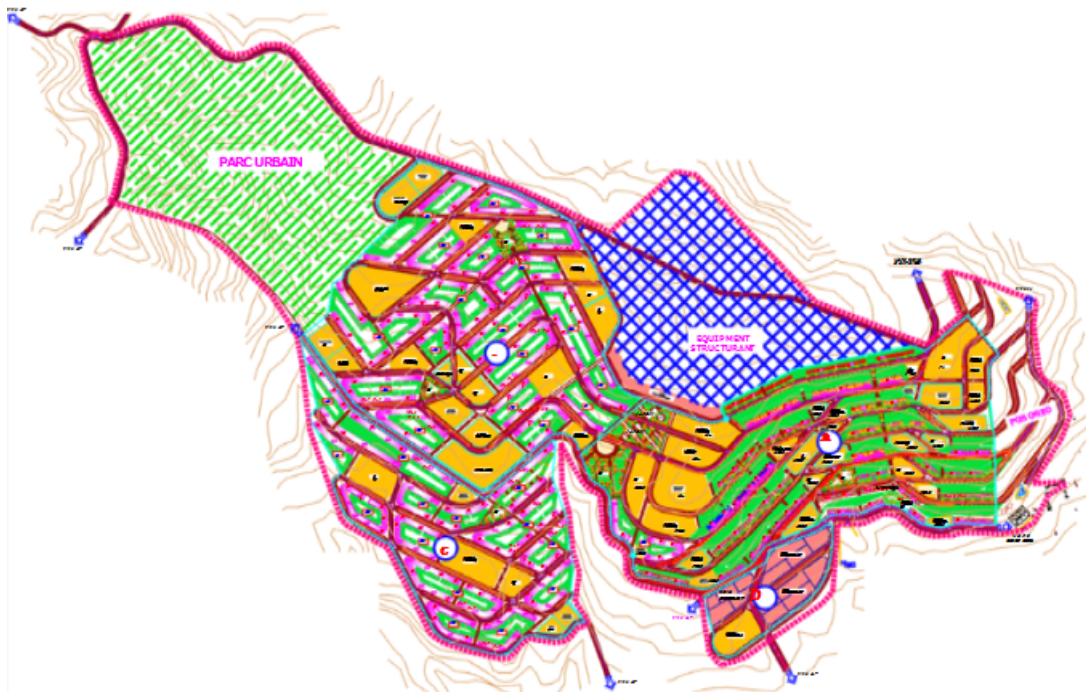


FIGURE 4.2: Schéma du plan d'aménagement de la ville Ighzer Ouzarif.

4.2.3 Calcul des charges

Les tableaux ci-dessous présentent les charges estimées pour chaque quartier et équipement public prévus pour les trois régions vérifiant les conditions suivantes :

- La charge estimée pour chaque logement est de 4 KVA.
- Les rez-de-chaussée sont considérés comme étant des locaux commerciaux.
- La charge estimée pour chaque local est de 6 KVA .
- Un poste MT/BT, pour des conditions de sécurité doit travailler entre 50 % et 80 % de sa puissance.
- Pour un bon fonctionnement du poste sur une période de 5 ans, Sonelgaz estime une hausse de 0.03 de la charge totale à consommer chaque année.

- Pour chaque équipement public prévu, on estime des postes MT/BT de 250 KVA.

Nous présentons en Annexe : la consommation des logements [Tableau 4.1 pour la région A, Tableau 4.3 pour la région B et Tableau 4.5 pour la région C] et la consommation des différentes structures [respectivement Tableau 4.2, 4.4 et 4.6].

Nous avons les chiffres suivantes :

Région A : Consommation totale = 16503.4 KVA

Région B : Consommation totale = 16017.65 KVA

Région C : Consommation totale = 7958.5 KVA

Telle que :

- La consommation totale des logements = nombre de logement * 4 * 0.4
Où 4 : représente la charge estimée pour un logement.
0.4 : représente un coefficient de simultanée pour les logements.
- La consommation des rez-de-chaussée = nombre de rez-de-chaussée * 8 * 6 * 0.4
Où 8 : représente nombre de locaux par rez-de-chaussée.
6 : représente la charge estimée pour un local.
0.4 : représente un coefficient de simultanée pour les locaux.
- La consommation totale = la consommation total des logements + la consommation des rez-de-chaussée.
- Charge final = $(\text{la consommation totale} + \text{l'inflation}) / 0.80$.

Où

L'inflation : représente le taux de croissance de la consommation sur 5 ans, tel que :

L'inflation = la consommation totale * 0.03 * 5.

Où

0.03 : représente le paramètre de croissance de la consommation.

0.80 : coefficient qui pousse les postes à travailler à 80% de leur puissance.

Dans notre travail, on ne va s'intéresser qu'aux régions B et C.

4.3 Modélisation du problème des postes

4.3.1 Généralités et définition

La modélisation d'un problème donné est une étape qui consiste à extraire une image aussi fidèle que possible du système. Cette image peut prendre plusieurs formes ; algébrique comme en programmation linéaire ; statistique comme dans un modèle statistique et sous forme d'un graphe comme en théorie de graphes ou alors sous forme virtuelle comme en simulation.

4.3.2 Construction du modèle

Le but est d'aider les responsables de la direction de distribution de Béjaia à déterminer scientifiquement un réseau électrique optimal à un coût minimal pour la ville d'Ighzer Ouzarif.

Dans cette partie, nous proposons deux approches de modélisation du problème de planification du réseau :

- Approche graphes.
- Approche programmation linéaire en nombres entiers.

4.3.3 Détermination des postes MT/BT à travers l'application d'un PL.

Pour la construction de notre réseau de distribution, il faut déterminer les sommets qui représentent les postes qu'il faut pour alimenter chaque quartier.

On note que Sonelgaz préfère dans son installation de réseau urbain des postes de 400 kVA et 250 kVA pour les quartiers.

Pour résoudre ce problème, on le modélise sous forme d'un programme linéaire en nombres entiers.

Définitions des variables :

On définit les variables entières suivantes p_1 et p_2

p_1 :représente le nombre de postes 400 kVA.

p_2 : représente le nombre de postes 250 kVA.

Fonction objectif :

On souhaite minimiser le coût total (achat et installation) des postes prévus pour chaque quartier, sachant que :

C_1 :représente le coût d'un poste p_1 qui est de 3094 KDA.

C_2 :représente le coût d'un poste p_2 qui est de 2746 KDA.

Notre fonction objectif sera donc : $Z = C_1p_1 + C_2p_2$

Avec Z à minimiser.

Contraintes :

- Contraintes sur les charges :

La charge installée doit être supérieure ou égale à la charge demandée.

$$\Rightarrow 400p_1 + 250p_2 \geq L.$$

L : représente la charge demandée par quartier.

- Contraintes sur le nombre de postes.

p_1 et p_2 ne doivent pas dépasser respectivement n_1 et n_2 , tel que :

$$n_1 = \lceil L \div 400 \rceil.$$

$$n_2 = \lceil L \div 250 \rceil.$$

- Le nombre de poste est positif ou nul

$$p_1, p_2 \geq 0.$$

Modèle :

Le modèle de la programmation linéaire en nombres entiers, se présente sous la forme suivante :

$$P = \begin{cases} \text{Min}(Z) = 3094 p_1 + 2746 p_2 \\ \text{soumis} \\ 400 p_1 + 250 p_2 \geq L \\ p_1 \leq n_1 \\ p_2 \leq n_2 \\ p(1), p(2) \text{ entiers} \end{cases} \quad (4.1)$$

4.3.4 Représentation du réseau électrique sous forme d'un graphe

Le réseau électrique peut être modélisé comme un graphe planaire où l'ensemble des nœuds représentent les postes MT/BT et les arcs des lignes électriques, dans notre cas les lignes qui relient les postes entre eux.

Soit deux approches basiques pour la conception du réseau en fonction du cahier des charges (programme technique)[7].

- Dans la première approche, les données initiales sont l'ensemble des points représentant les postes MT/BT avec les coordonnées géographiques qu'il faut relier de manière efficace par des arêtes en respectant l'ensemble des contraintes. Pour ce cas, il n'y a pas de prescriptions sur le placement des lignes et on est libre dans le choix de la structure élémentaire du réseau. Dans ce cas, le réseau initial contenant toutes les lignes potentielles sera représenté sous forme d'un graphe planaire maximal. Pour définir ce graphe, on relie (sur le plan) les sommets du graphe que l'on construit de telle façon que deux conditions soient systématiquement vérifiées :

- Chaque triplet de sommets forme un triangle contenu dans le cercle circonscrit et aucun autre sommet n'est dans l'intérieur de ce cercle.

- L'intersection de deux triangles est soit l'ensemble vide, soit un sommet, soit une arête.

- La deuxième approche implique l'existence d'un plan topologique (fond de carte) d'une zone urbaine ou rurale liée au réseau électrique. Ce plan peut contenir un marquage des rues de la ville ou des routes à travers lesquelles les futures lignes électriques passeront,

ainsi que les coordonnées géographiques des postes MT/BT. La façon de raccorder les charges à des lignes peut être donnée dans les prescriptions du réseau. A partir de ce plan géographique, nous construisons le graphe initial de façon suivante :

- Nous raccordons chaque nœud de charge ou poste MT/BT par une projection orthogonale à une rue la plus proche sur le plan ;
- Les points représentant des postes et des intersections de rues et des raccordements de postes forment l'ensemble de sommets du graphe ;
- L'ensemble des arêtes contient toutes les rues et les raccordements de sommets des postes.

Dans ces deux approches, nous modélisons le réseau électrique sous forme d'un graphe planaire non orienté pondéré. Le poids sur les arêtes est des distances euclidiennes entre les extrémités des arêtes. Le graphe contient des cycles mais la distribution doit être dans une arborescence ayant un (des) poste(s) MT/BT comme racine(s).

Donc, on modélise le problème par un réseau planaire $R=(V,U,C)$.
 V et U sont des ensembles finis.

Où :

- V : ensemble des sommets j , représente les postes MT/BT qui alimentent les quartiers et les équipements publics de la ville avec $j=1,2,\dots, N$.
- U : ensemble des arêtes, correspond aux lignes électriques possibles entre les postes.

Une arête relie deux sommets i, j si et seulement si :

- i et j sont adjacents.
- la propriété de graphe planaire est vérifiée.
- $C : U \rightarrow R$ associe à chaque arête (i, j) . R : ensemble des réels. Le poids de l'arête est égal à la distance entre deux postes.

4.3.5 Conclusion

Dans ce paragraphe, nous avons construit un programme linéaire en nombres entiers pour déterminer les postes MT/BT, qui seront ensuite les sommets de notre graphe planaire, avec lequel on a modélisé notre problème.

4.4 Application et interprétation des résultats

Ce paragraphe illustre l'application des algorithmes et méthodes, relatives à la planification d'un réseau de distribution d'énergie électrique, proposé dans les paragraphes précédents et une interprétation des résultats déduits.

4.4.1 Calcul du nombre de postes MT/BT

Pour déterminer le nombre de postes MT/BT qu'il faut, afin d'alimenter les quartiers de la ville d'Ighzer Ouzarif, on résout le PLNE ci-dessous avec la méthode graphique, tout en faisant varier l'inconnue L qui représente la charge finale pour chaque quartier.

$$(P) = \begin{cases} \text{Min}(Z) = 3094p_1 + 2746p_2 \\ \text{soumis} \\ 400 p_1 + 250 p_2 \geq L \\ p_1 \leq n_1 \\ p_2 \leq n_1 \\ p_1, p_2 \text{ entiers} \end{cases} \quad (4.2)$$

Résultats

Après la résolution du PLNE pour tous les quartiers comme l'exemple illustratif précédent, en faisant varier le paramètre L correspondant à chaque quartier, on aura les résultats représentés dans les tableaux 4.7 et 4.8 pour les régions B et C :

Région B :

Nombre de logements	Nombre de postes associés	
300	$p_1 = 2$	$p_2 = 1$
200	$p_1 = 2$	$p_2 = 0$
250	$p_1 = 1$	$p_2 = 2$
190	$p_1 = 1$	$p_2 = 1$
190	$p_1 = 1$	$p_2 = 1$
280	$p_1 = 2$	$p_2 = 1$
380	$p_1 = 2$	$p_2 = 2$
100	$p_1 = 1$	$p_2 = 0$
250	$p_1 = 2$	$p_2 = 0$
250	$p_1 = 1$	$p_2 = 2$
250	$p_1 = 1$	$p_2 = 2$
300	$p_1 = 1$	$p_2 = 2$
270	$p_1 = 1$	$p_2 = 2$
190	$p_1 = 1$	$p_2 = 1$
160	$p_1 = 1$	$p_2 = 1$
90	$p_1 = 1$	$p_2 = 0$
120	$p_1 = 0$	$p_2 = 2$
220	$p_1 = 2$	$p_2 = 0$

TABLE 4.1: Nombre de postes associés aux quartiers de la région B.

Région C :

Nombre de logements	Nombre de postes associés
140	$p_1 = 0$ $p_2 = 2$
280	$p_1 = 2$ $p_2 = 1$
80	$p_1 = 1$ $p_2 = 0$
220	$p_1 = 2$ $p_2 = 0$
160	$p_1 = 0$ $p_2 = 2$
120	$p_1 = 0$ $p_2 = 2$
200	$p_1 = 2$ $p_2 = 0$
220	$p_1 = 2$ $p_2 = 0$
280	$p_1 = 2$ $p_2 = 1$
160	$p_1 = 1$ $p_2 = 1$
340	$p_1 = 3$ $p_2 = 0$
180	$p_1 = 1$ $p_2 = 1$
160	$p_1 = 1$ $p_2 = 1$
180	$p_1 = 1$ $p_2 = 1$

TABLE 4.2: Nombre de postes associés aux quartiers de la région C.

4.4.2 Positionnement des postes MT/BT et graphe initial

Positionnement

Dans le cadre d'une alimentation adéquate des quartiers en énergie électrique, le positionnement des postes MT/BT doit vérifier les conditions suivantes :

- Un accès facile et permanent (de préférence en bordure de la voie publique)
- La manutention aisée de tous les éléments et en particulier le transformateur.
- la mise en place du transformateur à l'abri des inondations (+0.20 m au dessous des plus hautes eaux).
 - l'emplacement est aussi choisi en tenant compte des nécessités d'exploitation, des possibilités d'évolution des puissance demandée et du cadre d'environnement.
 - l'emplacement soit dans un bâtiment, soit sur un support.

L'implémentation des postes MT/BT sur la carte en respectant les conditions ci-dessus est présenté dans l'annexe II [1]

4.4.3 Détermination d'une structure optimale

Pour déterminer une structure optimale du réseau de distribution d'énergie électrique on procède comme suit :

- On applique l'algorithme de Prim qui détermine un arbre couvrant à poids minimum pour faire un recouvrement global des sommets.
- On boucle notre arbre, en créant des cycles au niveau des sommets pondérés afin d'avoir une structure bouclée qui est la plus utilisée par Sonelgaz.

- On suppose des départ HT/MT de 10MVA qui seront utilisés à 50% de leur puissance pour déterminer l'emplacement des ouvertures pour une structure bouclée à coupure d'artères.

4.4.4 Structure optimale

On implémente l'algorithme de Prim dans le logiciel Java présenté dans l'Annexe III [2], en introduisant notre graphe de la manière présentée en Annexe IV dans un document texte et on aura l'arbre couvrant à poids minimum présenté dans Annexe V.

En présentant les résultats de l'Annexe V, on aura la représentation graphique sous forme d'un arbre présenté dans la Figure 4.3.

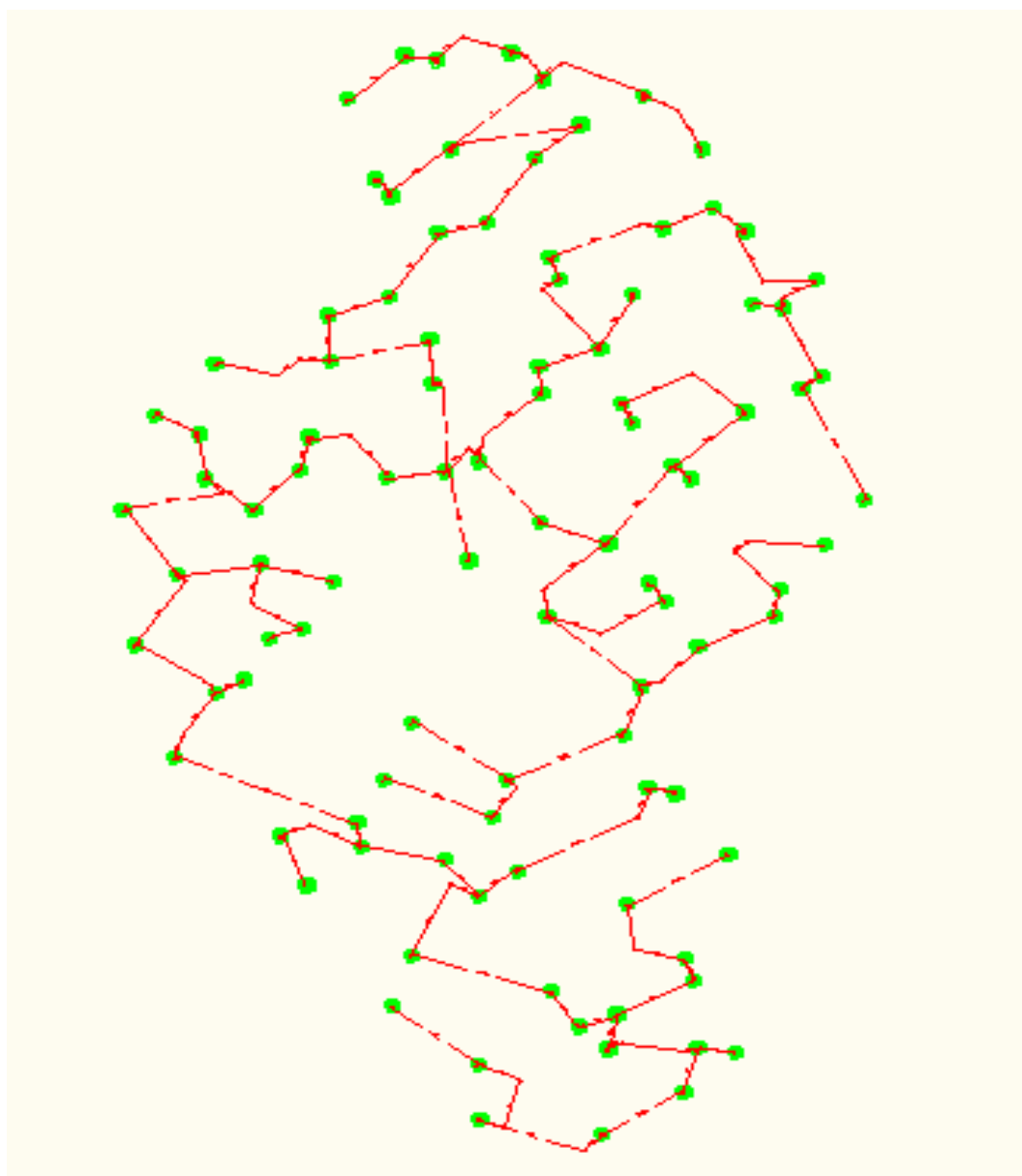


FIGURE 4.3: Représentation de l'arbre couvrant à poids minimum.

Pour déterminer la structure optimale bouclée à coupure d'artères à partir du graphe précédent, on suit les étapes ci-dessous :

- On forme des cycles avec les sommets pondérés pour avoir un graphe bouclé.
- On vérifie que chaque sommet de graphe bouclé a deux arêtes.
- On suppose que nos postes MT/BT travaillent au pire des cas à 80% de leurs puissances.
- On choisit un départ HT/MT de 10MVA, travailler à 50% de sa puissance.
- On choisit un sommet racine qui sera le premier point alimenté par notre départ HT/MT.
- On somme au fur et à mesure les sommets jusqu'à atteindre les 5MVA.
- On implante des cellules ouvertes dans le premier et dernier poste MT/BT du départ choisit.
- On répète le procédé jusqu'à ce que tous les postes MT/BT soient alimentés.

Le résultat de ce processus est présenté sous forme d'un graphe dans la Figure 4.4.

4.5 Simulation du montant du projet

Soient les tableaux 4.9 et 4.10 représentant respectivement le coût unitaire de fournitures et pose et le coût total des différents postes et câbles souterrains estimés pour alimenter les régions B et C du projet.

Avec :

Le coût du câble de 120mm^2 en aluminium est de $3299\text{ KDA/Km} = 3.299\text{ KDA/m}$.

Postes	Nombre de postes	Coût d'un poste (KDA)	Coût total (KDA)
250	58	2746	159268
400	42	3094	129948

TABLE 4.3: Coût unitaire et total des postes prévus pour les régions B et C.

Coût Total = 289216 KDA

Départ	Longueur des câbles (m)	Coût total (KDA)
Départ 1(rouge)	1924.86	6350.11
Départ 2(bleu)	1948.2	6427.11
Départ 3(noir)	1838.57	6065.44
Départ 4(rose)	2032.03	6703.67
Départ 5(vert)	2032.03	6703.67
Lignes connectant les différents départs	394.17	1300.37

TABLE 4.4: Coût unitaire et total des longueurs des câbles prévus pour les régions B et C.

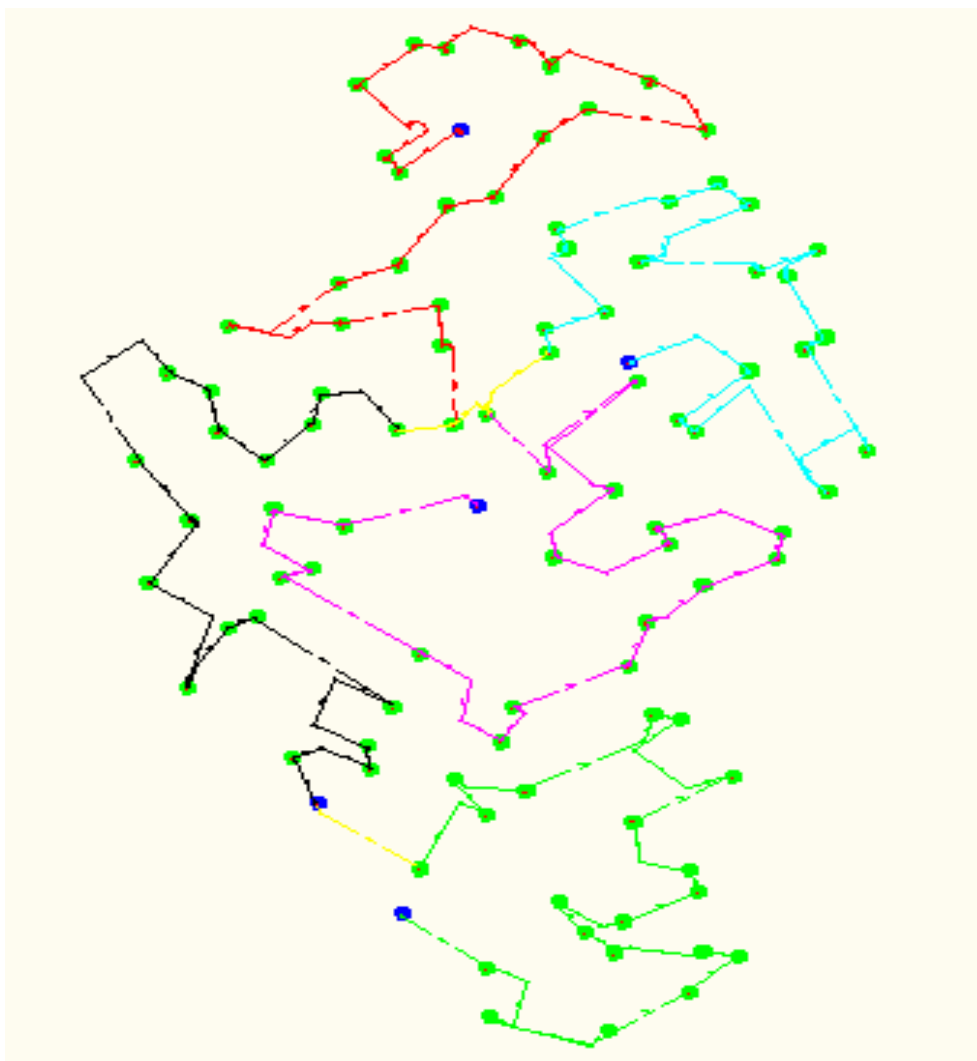


FIGURE 4.4: Représentation de la structure optimale de notre réseau.

Coût Total = 33550.37 KDA

Et on aura le montant total estimé à 356248.74 KDA.

4.6 Interprétation des résultats

Partant de la Figure 4.3, qui représente le couvremnt total des sommets de notre graphe et suivant la politique de Sonelgaz qui stipule que le réseau de distribution d'énergie électrique doit vérifier que :

- La topologie utilisée est une structure en boucle à coupure d'artère.
- Les postes MT/BT doivent avoir une seule arrivée et un seul départ.
- Les départs HT/ MT doivent être bouclés entre eux pour des mesures de sécurité.

D'où le résultat de la Figure 4.4 qui représente le réseau de distribution d'énergie électrique en moyenne tension pour les régions B et C, modélisé sous forme d'un graphe, les sommets représenter les postes MT/BT de 400KVA ou 250KVA, déterminés par un programme linéaire qui a pour objectif de minimiser le coût total du poste (fournitures et pose) et les arêtes

représentent les câbles souterrains reliant les différents postes MT/BT d'une façon à satisfaire la structure topologique de distribution désirée.

On remarque dans ce graphe (Figure 4.4) que chaque départ HT/MT est représenté par une couleur alimentant un nombre fini de postes MT/BT de telle sorte que la somme du fonctionnement de ces postes à 80% de leurs puissances soit inférieur ou égal à 5MVA, les sommets coloriés en bleu représente les premiers postes MT/BT des différents départs HT/ MT et les arêtes en jaune représente les artères connectées aux cellules ouvertes entre les départs HT/MT fermés en cas de pannes ou de surcharges pour se secourir mutuellement .

Les Tableaux 4.9 et 4.10 représentent respectivement le coût des fournitures et poses des postes MT/BT et des câbles souterrain des différents départs HT/MT en plus des câbles qui les reliés, avec un coût total de 356248.74 KDA qui représente le montant estimé pour l'installation du réseau de distribution d'énergie électrique présenté dans la Figure 4.4 pour les régions B et C de notre site.

4.7 Conclusion

Nous avons donc déterminé le nombre de postes MT/BT qu'il faut pour l'alimentation des régions B et C de notre projet, puis on a procédé à leurs implémentation selon certains critères de Sonelgaz pour obtenir une structure de réseau de distribution optimale.

Références

1. D. Aïssani. *Les Mathématiques Industrielles dans la Wilaya de Béjaïa*. LaMOS Editions, avril 2023.
2. Z. Bennour et O. Bouaziz. *Planification du réseau de distribution d'énergie électrique pour la nouvelle ville de Oued Ghir 6(Ighzer Ouzarif)*. Mémoire de Fin de Cycle, Master 2 en Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2016.
3. C. Prins, Ph.Lacomme et M.Servaux. *Algorithme des graphes*. Eyrolles Edition, 2003.
4. E. Gladkikh. *Optimisation de l'architecture des réseaux de distribution de l'énergie électrique*. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 2015.
5. Groupe Sonelgaz. XD, *Guide technique de distribution*. Document technique de Groupe Sonelgaz, 1984.
6. Ph. Carrive. *Réseaux de distribution- structure et planification*. Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie Electrique D 4210, 2006
7. Technique de l'ingénieur.1990.

Annexe : Les consommations par région (A, B, C)**Région A :**

Nombre de logements	Consommation totale des logements (KVA)	Nombre de rez-de-chaussée	Consommation des rez-de-chaussée (KVA)	Consommation totale (rez-de-chaussée +logements)(KVA)	Charge finale(KVA)
220	352	9	172.8	524.8	754.4
80	128	2	38.4	166.4	239.4
200	320	5	96	416	895
200	320	5	96	416	895
168	268.8	6	151.2	384	552
84	134.4	3	57.6	192	276
84	134.4	3	57.6	192	276
84	134.4	3	57.6	192	276
84	134.4	3	57.6	192	276
80	128	2	38.4	166.4	239.2
160	256	4	76.8	332.8	478.4
80	128	2	38.4	166.4	239.2
56	89.9	2	38.4	128	184
56	89.9	2	38.4	128	184
56	89.9	2	38.4	128	184
112	179.2	4	76.8	256	368
56	89.9	2	38.4	128	184
120	192	3	57.6	249.6	358.8
80	128	2	38.4	166.4	239.2
80	128	2	38.4	166.4	239.2
120	92	3	57.6	249.6	358.8
80	128	2	38.4	166.4	239.2
56	89.9	2	38.4	128	184
56	89.9	2	38.4	128	184

TABLE 4.5: Consommation des logements de la région A

Consommation totale = 8203.84 KVA

Autres structures	Consommation (KVA)
Deux écoles primaires	500
marcher couvert	250
complexe sportif	400
Deux écoles primaires	500
hotel	250
réserve foncière	250
réserve foncière	250
sureté urbaine	250
centre commerciale	250
mosquée	250
CEM	250
Salle polyvalente	250
Bloc administratif	250
Centre commerciale	250
réserve foncière	250
réserve foncière	250
Centre commerciale	250
réserve foncière	250
Bibliothèque	250
Maternité	250
Polyclinique	250
Crèche	250
Deux écoles	500
Reserve foncière	250
Complexe sportif	400
Reserve foncière	250
Maison de jeune	250
Lycée	250
Reserve foncière	250

TABLE 4.6: Consommation des différentes structures pour la région A

Consommation totale = 8300 KVA

La consommation totale estimée pour la région A est de : **8300+8203.84=16503.4 KVA**

Région B :

Nombre de logements	Consommation totale des logements (KVA)	Nombre de rez-de-chaussée	Consommation des rez-de-chaussée (KVA)	Consommation totale (rez-de-chaussée +logements)(KVA)	Charge finale(KVA)
300	480	9	172.8	652.8	938.4
200	320	7	134.4	454.4	653.2
250	400	9	172.8	572.8	823.4
190	304	6	115.2	419.2	602.6
190	304	6	115.2	419.2	602.6
280	448	12	230.4	678.4	975.2
380	608	14	268.8	876.8	1260.4
100	160	4	76.8	236.8	340.4
250	400	7	134.4	534.4	768.2
250	400	10	192.2	592.2	851.28
250	400	10	192.2	592.2	851.28
300	480	9	172.8	602.8	866.52
270	432	8	153.6	585.6	841.8
190	304	6	115.2	419.2	602.6
160	256	6	115.2	371.2	533.6
90	144	3	57.6	201.6	289.8
120	192	5	96	288	414
220	352	7	134.4	486.6	699.48

TABLE 4.7: Consommation des logements de la région B

Consommation totale =10617.65 KVA

Autres structures	Consommation (KVA)
Parking a étage	250
Complexe touristique	250
complexe sportif	400
Deux écoles primaires	500
Sureté urbaine	250
Protection civile	250
Bibliothèque	250
Médiathèque	250
Mosquée	250
Deux écoles primaires	500
Lycée	250
Deux écoles primaires	500
Crèche	250
CEM	250
Centre commerciale	250
Hyper marcher	250
Algérie des postes	250
Centre culturelle	250

TABLE 4.8: Consommation des différentes structures pour la région B

Consommation totale =5400 KVA

La consommation totale estimée pour la région B est de :**5400+10617.65=16017.65KVA**

Région C :

Nombre de logements	Consommation totale des logements (KVA)	Nombre de rez-de-chaussée	Consommation des rez-de-chaussée (KVA)	Consommation totale (rez-de-chaussée +logements)(KVA)	Charge finale(KVA)
140	224	5	96	320	460
280	448	10	192	640	920
80	128	3	57.6	185.6	266.8
220	352	8	153.6	505.6	726.8
160	256	4	76.8	332.8	478.4
120	192	5	96	288	414
200	320	7	134.4	454.4	653.2
220	352	7	134.8	486.4	699.2
280	448	13	249.6	697.6	1002.8
160	256	7	134.4	390.4	561.2
340	544	14	268.8	812.8	1181.33
180	288	7	134.4	422.4	607.2
160	256	7	134.4	390.4	561.2
180	288	6	115.2	403.2	579.6

TABLE 4.9: Consommation des logements de la région C

Consommation totale =6208.5 KVA

Autres structures	Consommation (KVA)
CEM	250
Reserve de foncier	250
Deux écoles primaires	500
Mosquée	250
Reserve foncier	250
Maison de jeune	250

TABLE 4.10: Consommation des différentes structures pour la région C

Consommation totale =1750 KVA

La consommation totale estimée pour la région C est de :**1750+6208.5=7958.5 KVA.**

Optimisation du plan de fertilisation de blé en zone saharienne

Tatah A., Rachedi K. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com

Résumé Dans l'optique de renforcer la production céréalière nationale, le potentiel du Sahara algérien n'est plus à négliger. Un vaste programme de mise en valeur des terres sahariennes pour l'intensification céréalière est lancé. Cependant, ces terres sont généralement pauvres en éléments nutritifs. La maîtrise de la fertilisation minérale est le moyen le plus efficace pour l'obtention de rendements acceptables, certaines régions du Sud atteignent les 80 quintaux /ha.

Grâce aux tests d'analyse de la variance, à l'implémentation d'une métaheuristique et sur la base de données expérimentales et de catalogues d'engrais de trois entreprises, nous répondons aux préoccupations des décideurs quant au choix du plan de fertilisation à adopter. Que choisir entre deux engrais phosphatés différents et quelle dose utiliser relativement aux rendements qu'ils offrent et au coût global de fertilisation.

Mots clés : Principes d'expérimentation, Analyse de la variance (ANOVA), Optimisation Combinatoire, Métaheuristique, GRASP.

Abstract In order to reinforce the national grain production, the potential of the Algerian Sahara, should not be overlooked. An extensive program of development of land for Saharan cereals' intensification is launched. However, these lands are generally poor in nutrients. Control of mineral fertilization is the most effective way to obtain acceptable yields. Thus in some areas the yields are 80 quintals/ha.

Through tests of analysis of variance, the implementation of a metaheuristic and on the basis of experimental data and fertilizers' catalogs of three companies, we respond to the concerns of policy makers on the choice of fertilization plan to adopt. What to choose between two different phosphate fertilizers and which dose use relatively to yields they offer and the overall cost of fertilization.

Key words : Principles of experimentation, Analysis of variance (ANOVA), Combinatorial Optimization, Metaheuristics, GRASP.

Introduction

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en voie de développement, particulièrement dans les pays maghrébins. La consommation céréalière annuelle en Algérie dépasse les 8 millions de tonnes, mais seuls 70% de ces besoins sont produits sur le territoire national. Pour combler ce manque, l'Algérie est contrainte à l'importation, elle figure parmi les cinq premiers importateurs de blé à l'échelle mondiale.

En 2011, les importations de blé dur et tendre se sont établies à 5,7 millions de tonnes, dont 4,4 millions de tonnes pour le blé tendre, détaille un document du Centre National de l'Informatique et des Statistiques des Douanes (CNIS). En outre, les rendements moyens de blé en Algérie, ne dépassent pas les 18 quintaux/ha, ce qui est faible relativement à nos voisins, tels que l'Egypte dont les rendements annuels moyens dépassent les 60 quintaux/ha. De ce fait, beaucoup reste à faire en termes de céréaliculture dans notre pays. Une solution pour remédier

à cette situation de déficit, est de ne plus négliger le potentiel des terres sahariennes. En effet, les régions sahariennes représentent 80% du territoire algérien, certaines de ces terres conviennent à l'agriculture, notamment dans la ville d'El Goléa (wilaya de Ghardaïa), où des domaines agricoles ont enregistré des pics de rendements de blé dur dépassant les 80 quintaux/ha. L'intensification céréalière au Sud algérien est donc possible.

Cependant, les terres du Sud algérien sont généralement pauvres en éléments nutritifs. La maîtrise de l'irrigation et de la fertilisation minérale reste à l'heure actuelle le moyen le plus efficace pour l'obtention de rendements acceptables. Dès lors, il est impératif de raisonner convenablement les apports d'engrais minéraux pour améliorer les rendements et les processus physiologiques de la culture [12]. La question de fertilisation des terres du Sud est donc cruciale. L'agriculteur se pose alors la question : "Quel fertilisant utiliser et à quelles quantités ?"

Dans l'optique de répondre aux préoccupations des décideurs, à savoir l'accroissement des rendements et la minimisation des coûts de fertilisation, nous utilisons des outils statistiques et d'optimisation combinatoire et ce, relativement à des données issues d'une expérimentation en irrigation sous pivot menée au titre de la saison agricole 2007-2008 à El Goléa et aux catalogues 2012 de trois entreprises de fertilisants sur le marché algérien.

5.1 Développement de la fertilisation et politique agricole en Algérie

En Agronomie, l'établissement d'un plan de fertilisation : fertilisation azotée, phosphatée ou potassique, se fonde sur quatre critères principaux :

- L'exigence de l'espèce et de la variété cultivée ;
- L'analyse du sol ;
- Le passé récent de fertilisation ;
- Le précédent culturel : la restitution ou non des résidus de cultures du précédent.

Durant de nombreuses années, la fertilisation est restée archaïque en Algérie. Peu de produits étaient utilisés. Peu d'analyses des sols étaient faites. Les rares exceptions ont été les exploitations d'agriculteurs leaders dans le nord et dans la région d'Ain Oussera, là où les agriculteurs étaient confrontés à de nombreux problèmes de nutrition, générant de nombreuses carences.

Le peu de produits disponibles, sur un marché monopolisé pendant de nombreuses années par une société nationale, ne correspondaient pas aux besoins des sols et des cultures. Les formes d'éléments (l'azote et le phosphore, par exemple), étaient soit facilement lessivables, soit indisponibles car non assimilables par des sols qui ont des particularités spécifiques en Algérie (calcaire, salinité, ...).

La culture des céréales est longtemps restée le parent pauvre de la fertilisation. Les engrais qui étaient proposés étaient principalement du N-P-K équilibrés en concentrations. L'équilibre de ces formules ne correspond pas aux besoins des cultures. Les éléments qui composent ces engrais (Phosphate peu soluble et Azote nitrique) ne sont pas adaptés aux besoins des sols et climats algériens. Certains produits, aggravent lourdement la salinité [23, 24].

La politique du renouveau de l'économie agricole vise l'intensification des productions céréalières pour l'amélioration de la sécurité alimentaire et la réduction des importations. Cette politique encourage l'utilisation de fertilisants, de semences de qualité et l'introduction de technologies d'irrigation d'appoint. Elle inclut des mesures d'accompagnement pour soutenir au mieux l'agriculteur. Dans un souci de renforcer la production céréalière nationale, le gouvernement encourage l'expansion de l'agriculture vers les terres du Sud.

5.2 Position du problème et démarche

Face à une concurrence rude, les firmes font des efforts de recherche pour proposer des catalogues riches en formules d'engrais, toutes diversifiées en composition en éléments fertilisants. Ces formules, aussi nombreuses soient elles, ne peuvent pas toujours correspondre simplement et parfaitement aux besoins de fertilisation de l'agriculteur. Une combinaison entre les produits des différentes firmes peut s'avérer nécessaire.

Néanmoins, le choix de tel ou tel produit en fonction de sa composition peut s'avérer être une tâche complexe en raison de la présence d'un large choix de produits. Compte tenu du prix relativement important des engrais, un choix mal fondé pèsera lourd sur le budget de l'entreprise agricole.

La question de la fertilisation est cruciale, particulièrement pour l'agriculteur du Sud, puisque les terres sahariennes sont pauvres en éléments nutritifs, les engrais sont apportés en grande quantité c'est pourquoi nous nous proposons de fournir une réponse à la question du choix optimal du plan de fertilisation à faire au vu des catalogues de trois entreprises leaders du marché, sachant la composition de chaque produit et son coût et ce, afin de répondre aux besoins annuels des agriculteurs en engrais solides de façon à minimiser son coût d'acquisition.

Au vu de cette problématique, la première étape de notre travail portera sur une étude statistique relative aux données issues d'une expérimentation menée au niveau d'une exploitation à El Goléa au cours de la saison agricole 2007-2008, qui va nous permettre d'apporter une réponse quant à l'effet sur le rendement de blé dur, en utilisant deux marques d'engrais phosphatés distinctes, utilisées à différentes doses. Si l'analyse établit l'existence de l'effet d'un facteur sur le rendement, nous tâcherons de dégager quelles sont les modalités des facteurs offrant un rendement maximal et ce à l'aide de tests statistiques.

La seconde étape sera d'essayer de déterminer la combinaison optimale d'engrais solides à acquérir auprès des trois entreprises, de façon à répondre aux exigences de l'agriculteur et ce grâce à l'implémentation d'une métaheuristique. Enfin, nous tâcherons de lier les deux parties d'application : partie statistique et optimisation combinatoire, en estimant les coûts de fertilisation de l'expérimentation. Nous tâcherons ainsi de répondre aux décideurs quant au choix à faire entre les deux produits testées et les doses appropriées de phosphore, relativement au rendement qu'ils offrent et à leur coût d'acquisition.

5.3 Matériel et méthodes

5.3.1 Outils statistiques

5.3.1.1. Dispositif d'essai expérimental

Dans le domaine agronomique, le choix d'un dispositif expérimental dépend des objectifs de l'essai, de son application pratique, des conditions environnementales, des méthodes d'application, des cultures et des traitements. Il faut bien analyser tous ces facteurs avant de choisir le dispositif adéquat qui répondra aux objectifs de l'expérimentation pour démontrer l'efficacité d'un produit.

On utilise habituellement un dispositif en blocs aléatoires complets ou un dispositif en parcelles subdivisées, dans lequel les parcelles traitées sont réparties au hasard dans chaque bloc [2].

5.3.1.2. L'analyse de la variance ANOVA

L'analyse de variance est, à quelques exceptions près, la méthode statistique la plus appropriée pour déterminer s'il existe une différence statistique entre les ensembles de données agronomiques [2].

Ce test s'applique lorsqu'on mesure une ou plusieurs variables explicatives appelées facteurs de variabilité, qui ont une influence sur la distribution d'une variable continue à expliquer.

En ANOVA, plusieurs modélisations existent suivant le nombre de facteurs et leurs effets, le modèle décrit ci-dessous servira de support à notre étude.

$$Y_{i,j,k} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{i,j} + \epsilon_{i,j,k} \quad (5.1)$$

$$i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, k = 1 \dots, K$$

Où $Y_{i,j,k}$ est la valeur prise par la réponse Y dans la condition (A_i, B_j) lors de la $k^{\text{ème}}$ répétition.

Avec les contraintes :

$$\sum_{i=1}^I \alpha_i = 0, \sum_{j=1}^J \beta_j = 0, \sum_{i=1}^I (\alpha\beta)_{i,j} = 0 \forall j = 1, \dots, J, \sum_{j=1}^J (\alpha\beta)_{i,j} = 0 \forall i = 1, \dots, I$$

Nous postulons les hypothèses classiques suivantes pour les erreurs :

$$\forall (i, j, k), i = 1 \dots I, j = 1 \dots J, k = 1 \dots K, \epsilon_{i,j,k} \rightsquigarrow \mathcal{N}(0, \sigma^2)$$

$$Cov(\epsilon_{i,j,k}, \epsilon_{l,m,n}) = 0 \text{ si } (i, j, k) \neq (l, m, n) \text{ avec } 1 \leq i, l \leq I, 1 \leq j, m \leq J, 1 \leq k, n \leq K$$

La forme générale de l'analyse de variance repose sur le test de Fisher et donc sur la normalité des distributions, l'homoscédasticité et l'indépendance des échantillons.

Nous souhaitons faire des tests d'hypothèse, pour montrer l'existence de l'effet d'un facteur sur la variable réponse. Ces tests se basent sur les statistiques $f_{FACTEUR}$ qui sont la réalisation d'une variable aléatoire qui suit une loi de Fisher. Lorsqu'on détermine si un facteur a un effet significatif sur la réponse, nous pouvons procéder à des comparaisons multiples des différents effets des niveaux du facteur, tels que le test de Student-Newman-Keuls [3, 4, 5, 9].

5.3.2 Optimisation combinatoire

5.3.2.1. Formulation d'un problème d'optimisation combinatoire

Un problème d'optimisation combinatoire est défini [27] par un ensemble fini $E = \{1, \dots, n\}$, un ensemble de solutions réalisables $X \subseteq 2^E$ et une fonction objectif $f : 2^E \rightarrow \mathbb{R}$.

Dans le cas d'une "minimisation", nous cherchons une solution optimale $x^* \in X$ telle que $f(x^*) \leq f(x)$, $\forall x \in X$.

Cas particulier : PLNE

Un programme linéaire en nombres entiers, usuellement noté PLNE, sous forme standard s'écrit comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Min } f(x) &= c^t x \\ \text{sc : } Ax &\leq b \\ x &\in \mathbb{N}^n \end{aligned}$$

Où : c, b et x sont des vecteurs de taille n ,
 A est une matrice d'ordre (m, n) .

5.3.2.2. Méthodes de résolution d'un problème d'optimisation combinatoire

Etant donnée l'importance des problèmes d'optimisation combinatoire, de nombreuses méthodes de résolution ont été développées en recherche opérationnelle. Ces méthodes peuvent être classées sommairement en deux grandes catégories : les méthodes exactes (complètes) qui garantissent la complétude de la résolution telles que les techniques de séparation et évaluation progressive (SEP ou Branch and Bound) et les méthodes approchées (incomplètes) qui perdent la complétude pour gagner en efficacité, on peut citer les méthodes gloutonnes et l'amélioration itérative [10, 14].

5.3.2.3. Métaheuristiques

Depuis une dizaine d'années, des progrès importants ont été réalisés avec l'apparition d'une nouvelle génération de méthodes approchées puissantes et générales, souvent appelées métaheuristiques [1, 24].

Les métaheuristiques sont généralement des algorithmes stochastiques itératifs, qui progressent vers un optimum global de la fonction objectif, sans être piégé par les optima locaux.

Méthode GRASP

Développée par Feo et Resende 1989 [10] (Resende and Ribeiro 2001 [26], Pitsouli and Resende 2002 [22]), la méthode GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) est une métaheuristique adaptée aux problèmes dont les solutions se construisent pas à pas. Son algorithme contient deux phases :

- une phase de construction d'une solution,
- une phase d'amélioration de la solution.

La phase de construction est basée sur une procédure gloutonne aléatoire. Quant à la phase d'amélioration, elle est faite grâce à une procédure de recherche locale. Pour plus de précisions, se référer à l'article de NETO T. et PEDROSO J.P. [20].

5.4 Résultats et discussion

5.4.1 Analyse statistique des données

Il s'agit d'une expérimentation en blocs aléatoires complets qui a pour objectif de déterminer la dose et la marque d'engrais phosphaté qui maximiseraient le rendement.

Les trois blocs sont partagés en six parcelles chacun, où chaque parcelle a été fertilisée par une combinaison de dose d'engrais associé à une marque. Nous disposons donc de trois répétitions (3 blocs), soient trois observations par combinaison des deux facteurs.

Nous disposons des données suivantes :

- **La dose de phosphore utilisée** : 3 doses : D1 : 30 unités, D2 : 60 unités et D3 : 90 unités.
La dose est un facteur à effet fixe : c'est une variable contrôlée
- **La marque de l'engrais phosphaté utilisée** : deux marques différentes PHOSFERT et FOSFACTYL. **La marque est un facteur à effet fixe : c'est une variable contrôlée**
- **Le rendement** : la variable rendement est considérée comme quantitative, c'est la réponse, la variable à expliquer.

Le modèle d'analyse de la variance qui pourrait donc, répondre à la question de l'influence des facteurs contrôlés DOSE et MARQUE sur la variable réponse RENDEMENT, serait celui décrit par l'équation (5.1) :

$$Y_{i,j,k} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{i,j} + \epsilon_{i,j,k} / i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, k = 1 \dots, K$$

5.4.1.1. Analyse graphique de l'interaction des deux facteurs

Une analyse graphique de l'effet de l'interaction des facteurs DOSE et MARQUE sur la variable RENDEMENT est faite en traçant le graphe d'interaction entre les valeurs du rendement et chacun des facteurs du modèle.

Le graphe obtenu est présenté ci-dessous.

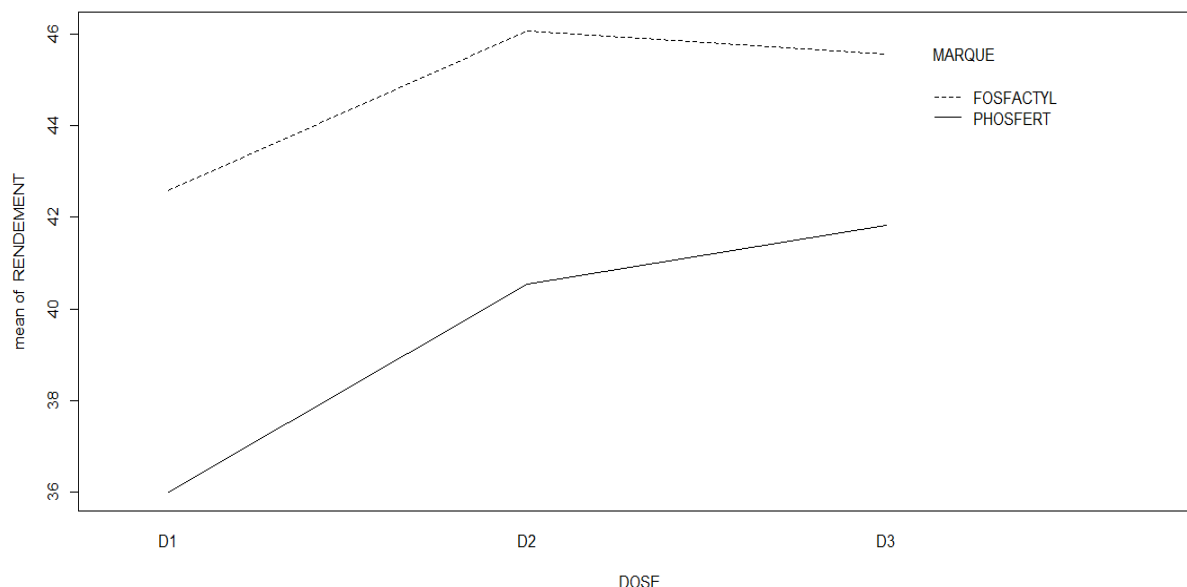


FIGURE 5.1: Graphe d'interaction des facteurs MARQUE et DOSE.

Nous constatons que les deux courbes restent parallèles, il n'y a donc pas d'effet d'interaction entre les deux facteurs. Celui-ci peut donc être négligé dans le modèle d'ANOVA à deux facteurs.

Le modèle d'ANOVA qui correspond à nos données serait un modèle additif de la forme :

$$Y_{i,j,k} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{i,j,k}$$

$$i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, k = 1 \dots, K$$

A l'aide du logiciel statistique R, nous effectuons des tests statistiques qui nous permettent de valider cette affirmation.

5.4.1.2. Conclusions partielles

Les conditions d'application de l'ANOVA étant vérifiées, grâce à l'analyse statistique des données, nous pouvons apporter les conclusions suivantes à l'expérimentateur :

- Le rendement observé ne varie pas significativement en fonction des doses (D1, D2, D3) de phosphore utilisées lors de l'expérimentation. Le test de Kruskal-Wallis confirme ce résultat.
Cependant, nous constatons que les rendements les plus élevés pour le produit FOSFACTYL sont ceux des parcelles ayant reçu 60 unités de phosphore (dose D2), avec des rendements de 35,88 quintaux/ha, 42,57 quintaux/ha, 49,27 quintaux/ha pour cette même dose, soit une moyenne de 46,07 quintaux/ha. Pour le produit PHOSFERT, les rendements les plus élevés sont ceux de la dose D3, avec pour chaque bloc 46,3 quintaux/ha, 36,54 quintaux/ha, 42,62 quintaux/ha et une moyenne de 41,82 quintaux/ha, ce qui se confirme sur le graphe d'interaction précédent.
- Le rendement observé varie significativement en fonction des marques de fertilisant utilisées lors de l'expérimentation. Le produit FOSFACTYL se place devant PHOSFERT offrant un rendement moyen de 44,74 quintaux/ha, contre 39,46 quintaux/ha. Le test post-hoc de comparaison multiple de Newman et Keuls confirme ce résultat.

Notre étude tient compte de deux critères pour la prise de décision, le critère maximisation du rendement et le critère minimisation des coûts ou bien maximisation des profits. La partie statistique de ce travail a déterminé les combinaisons offrant les plus hauts rendements pour chacun des produits testés. Grâce à la seconde partie de notre étude, nous tâcherons de répondre à la question du choix optimal offrant un haut rendement et maximisant les profits.

5.4.2 Etude des coûts de fertilisation

5.4.2.1. Modélisation du problème de coûts

Considérons de manière générale I fournisseurs sur le marché, qui offrent chacun un nombre J_i d'engrais solides, $i \in \{1, \dots, I\}$.

A chaque produit P_{ij} est associé un coût d'acquisition c_{ij} , $i \in \{1, \dots, I\}$, $j \in \{1, \dots, J_i\}$.

Dans un produit P_{ij} destiné à la fertilisation d'un hectare de terre, la concentration (exprimée en pourcentage) d'un élément fertilisant $k \in E = \{\text{Azote, Phosphate, Potassium, Soufreg}\}$ est a_{ij}^k , $i \in \{1, \dots, I\}$, $j \in \{1, \dots, J_i\}$.

$\mathbf{Q} = (q_k)$, $k \in E$, est le vecteur des quantités de chacun des k éléments fertilisants dont le sol a besoin. Les quantités sont fixées par l'agriculteur et calculées relativement à la surface que couvre le pivot en question.

Cette étude de coût tient uniquement compte des engrais solides, car moins cher et plus largement utilisés par les agriculteurs. Ils sont conditionnés dans des sacs de 50 kg, nous cherchons le nombre de sacs x_{ij} à prendre d'un produit P_{ij} de façon à atteindre les quantités données par le vecteur \mathbf{Q} et ce avec un coût minimum. Le problème s'écrit alors sous forme d'un programme linéaire en nombres entiers :

$$\text{Min } \{cx : Ax \geq \mathbf{Q}, x \in \mathbb{N}^n\} \quad (5.2)$$

Avec

$x = (x_{ij})$, $\forall j \in \{1, \dots, J_i\}$, $\forall i \in \{1, \dots, I\}$ vecteur solution de taille n , où les composantes correspondent aux nombres de sacs à prendre de chaque entreprise pour chaque produit,

$$n = \sum_I^{i=1} J_i.$$

$c = (c_{ij})$, $\forall j \in \{1, \dots, J_i\}$, $\forall i \in \{1, \dots, I\}$ vecteur de coûts,

$A = (a_{ij}^k)$, $\forall j \in \{1, \dots, J_i\}$, $\forall i \in \{1, \dots, I\}$, $\forall k \in E$, matrice des concentrations.

5.4.2.2. Estimation des coûts par la métaheuristique GRASP

Afin de résoudre le problème, nous avons opté pour la méthode GRAPS appliquée aux problèmes de programmation linéaire en nombres entiers. Notre choix s'est orienté vers la méthode en raison de son efficacité démontrée sur plusieurs problèmes de programmation combinatoire. Nous avons donc implémenté l'algorithme, avec à la phase de construction, les deux méthodes décrites dans l'article de NETO et PEDROSO [20].

A l'aide de l'outil de programmation Matlab, nous récupérons les données puis appliquons la méthode GRASP au problème de minimisation des coûts de fertilisation posé. Une application nous renvoie le nombre de sac à prendre, d'un produit et d'une entreprise donnés.

Les agriculteurs expriment généralement leurs besoins en engrais pour un hectare de terre à fertiliser. Dans un algorithme itératif comme celui de GRASP, traiter le problème avec une formule de fertilisation destinée à un hectare de terre et multiplier la solution trouvée par la surface que couvre un pivot (surface du pivot variable allant jusqu'à 40 hectares) peut s'avérer inefficace. En effet, pour que l'algorithme gagne en efficacité, il serait meilleur de fournir un vecteur de quantités (\bar{Q}) représentant les besoins en éléments nutritifs pour la totalité de la surface à fertiliser. Nous tenons à vérifier ce fait et ce, en considérant deux cas de figures lors de l'implémentation :

- (a) cas de fertilisation d'un hectare de terre, avec le vecteur quantités que nous cherchons à satisfaire $Q = (N, P, K, S)$.
- (b) cas de fertilisation d'une surface couverte par un pivot de 35 hectares (atteindre les besoins $\bar{Q} = Q \times 35$).

5.4.2.3. Solution initiale

Pour l'application de la méthode GRASP, une solution initiale doit être fournie à l'algorithme. Un plan de fertilisation trivial, visant la satisfaction des besoins de la terre en matière de fertilisants sans se soucier du problème de coût est le suivant :

1. Cibler la plus importante quantité à satisfaire parmi les éléments : Azote, Phosphore, Potassium et Soufre,
2. Chercher le produit ayant la meilleure composition en cet élément,
3. Prendre un nombre de sac nécessaire pour satisfaire cette contrainte,
4. Calculer l'apport de notre variable de décision fixée, x_{ij} en éléments non encore traités,
5. Répéter l'opération pour l'élément fertilisant suivant, jusqu'à satisfaire toutes les contraintes.

A la fin de l'opération, nous obtenons donc une solution réalisable mais pas optimale que nous soumettrons à la procédure de construction semi gloutonne, puis amélioreront par une recherche locale.

5.4.2.4. Implémentation de GRASP et discussion des résultats

Méthodes de construction

En comparant les résultats renvoyés par GRASP à ceux trouvés par la méthode exacte - obtenus à l'aide du solveur LP-Solve, en vue de mesurer l'efficacité de GRASP - il est révélé qu'aucune des deux constructions ne permet d'atteindre l'optimum de manière exacte. Ce qui confirme la nature de la solution de la métaheuristique (solution approchée).

Les méthodes s'approchent de l'optimum en un temps qui, pour le même nombre d'itérations peut être variable d'un essai à l'autre. Selon la solution construite à cette phase de l'algorithme, la phase de recherche locale met un temps variable à l'exploration du voisinage.

Une différence importante en temps d'exécution et en nombre maximal d'itérations séparent les deux méthodes :

- La méthode avec arrondissement probabiliste s'approche de la solution optimale, à partir des premières itérations ; mais prend un temps d'exécution très important pour l'amélioration. En effet, puisque la solution initiale choisie est à composantes naturelles. La fonction de l'algorithme se réduit dans ce cas à une simple procédure de recherche locale.
- La méthode bi-triangulaire prend quant à elle un temps moindre, en comparaison à la première méthode. Néanmoins, cette construction nécessite beaucoup d'itérations pour s'approcher de l'optimum en raison de son caractère aléatoire. D'autant plus que le programme mémorise les solutions déjà parcourues, la méthode explore donc, à chaque fois de nouvelles pistes.

Solutions

Dans tous les essais effectués avec l'algorithme GRASP, les produits qui apparaissent à l'optimum sont ceux fournis par l'entreprise E1 et E2. Cela voudrait dire que l'étude montre une différence de coûts significative entre les trois fournisseurs, en faveur des deux entreprises citées.

Les prix proposés par l'entreprise E3 sont relativement élevés, surtout par rapport aux prix proposés par l'entreprise E2, mais aussi, la composition de ses produits en éléments nutritifs fait que les produits de E3 sont exclus des solutions trouvées, une simple observation du rapport quantité d'éléments nutritifs / prix, induit une telle conclusion. Soulignons que, cette cherté des produits peut être due à une qualité supérieure.

5.4.2.5. Synthèse

Les tests montrent qu'il est plus avantageux de dérouler l'algorithme, non pas avec des besoins pour un hectare, mais en offrant au départ à l'algorithme les besoins en N-P-K-S pour toute la surface à fertiliser. Néanmoins, la situation est renversée dans le cas de la construction bi-triangulaire (le coût avec \bar{Q} est inférieur au coût avec Q , multiplié à la fin par la taille du pivot). Cela s'explique par le fait que lorsque Q contient de grandes valeurs, l'intervalle de recherche délimité par deux bornes a et b (phase de construction) s'élargit considérablement. L'ensemble des solutions que l'algorithme GRASP doit parcourir et tester à chaque fois s'accroît lui aussi. Il est alors impératif d'autoriser un nombre tout aussi considérable d'itérations afin que l'algorithme puisse s'approcher au mieux de l'optimum, ce qui peut devenir incommode vu le temps d'exécution.

5.4.3 Evaluation du coût de l'expérimentation

Nous avons conclu dans le chapitre concernant l'analyse statistique des données que le produit FOSFACTYL proposé par l'entreprise E3, surclasse PHOSFERT proposé par l'entreprise E1 en terme de rendement ; offrant ainsi un rendement moyen de 44,74 quintaux/ha contre 39,46 quintaux/ha pour PHOSFERT, soit 5,28 quintaux/ha de différence.

Nous allons évaluer le coût lié à l'utilisation des deux produits et le bénéfice engendré en administrant respectivement 60 et 90 unités de phosphore (doses D2 et D3).

Dans tout ce qui suit, nous raisonnons par rapport à la fertilisation d'un hectare de terre. Comme nous l'avons déjà démontré, il est plus avantageux pour un algorithme de travailler par rapport à la surface globale à fertiliser. Nos résultats calculés pour un hectare puis généralisés pour la surface globale sont donc

considérés comme un gain minimum garanti.

Sur la base des besoins en N-P-K-S pour la fertilisation d'un hectare de terre sous conditions sahariennes, $Q_2 = (\%N, \%P = D2, \%K, \%S)$ et $Q_3 = (\%N, \%P = D3, \%K, \%S)$, nous calculons alternativement, le coût de fertilisation associés à l'utilisation des produits FOSFACTYL et PHOSFERT pour satisfaire la quantité de phosphore D2 puis D3. Par la suite, à l'aide de l'algorithme GRASP, nous déterminons les quantités optimales des trois autres éléments fertilisants à savoir l'azote, le potassium et le soufre de manière à compléter les besoins exprimés dans les vecteurs Q_2 et Q_3 .

Comparaisons et conclusion

Pour les quatre combinaisons évaluées, à savoir PROFERT*D2, PROFERT*D3, FOSFACTYL*D2, FOSFACTYL*D3, il en ressort que les rendements obtenus en utilisant le produit FOSFACTYL pour la dose D2 sont 14% supérieurs à ceux obtenus pour la même dose en utilisant le produit PHOSFERT, contre une supériorité de seulement 9% pour la dose D3.

De plus l'utilisation de la dose D2 est moins onéreuse quelque soit le produit. En combinant ces informations, il en ressort que la combinaison la plus avantageuse est FOSFACTYL*D2 quant au bénéfice réalisé. En effet, il a été démontré que le produit FOSFACTYL offrait des rendements significativement différents de ceux offerts par PHOSFERT, nous hésitions entre les doses de phosphore D2 et D3 à utiliser, doses qui offraient toutes deux de hauts rendements, l'analyse du coût et du bénéfice engendré en utilisant D2 et le produit FOSFACTYL offre un bénéfice maximal et également un rendement maximal soit 46,07 quintaux/ha.

Conclusion et Perspectives

La maîtrise de la fertilisation est un passage obligatoire : fertiliser à bonne dose et avec les bons produits sera une des clés de l'aboutissement des objectifs en terme de rendement. A côté de l'objectif "rendement", l'objectif de minimisation des coûts de fertilisation est tout aussi primordial pour l'agriculteur. Il peut être atteint avec un choix optimal des produits fertilisants disponibles sur le marché.

Face à l'objectif d'amélioration des rendements de blé, nous avons tâché de mettre les outils de la recherche opérationnelle au service de l'agronomie et ce, en exploitant des données concernant le rendement de blé dur, pour élaborer un modèle statistique expliquant l'effet de deux engrais phosphatés sur le rendement, testés à trois doses chacun. Par la suite, en réponse à la question d'optimisation des coûts de fertilisation, nous avons modélisé le problème sous forme d'un programme linéaire en nombres entiers que nous avons résolu grâce à la métaheuristique GRASP. Le logiciel LP-Solve nous a guidé dans l'évaluation de la performance de la métaheuristique choisie. Nous avons établi un lien entre l'effet de la marque de l'engrais sur le rendement et le coût de fertilisation associé à chacune des marques.

Il est important de souligner que plusieurs facteurs peuvent influencer le rendement de blé. Nous pouvons citer les doses d'azote, l'irrigation, la date de semis, la quantité de semis, plusieurs travaux en font référence dans la littérature agronomique.

Néanmoins, dans le cadre de notre étude, nous avons souhaité étudier l'effet des facteurs dose de phosphore (D1, D2, D3) et marque d'engrais phosphaté (PHOSFERT, FOSFACTYL). Nos conclusions ne sont donc pas une généralisation, mais relatives à l'expérimentation qui a été menée.

Plusieurs conclusions ont été tirées, notamment, à propos de l'effet de l'engrais sur le rendement et sur le coût de fertilisation. En effet, l'analyse statistique a montré une variation significative du rendement en fonction des marques de fertilisants utilisées lors de l'expérimentation. Le produit FOSFACTYL proposé par l'entreprise E3 se place devant PHOSFERT proposé par l'entreprise E1, offrant un rendement moyen de 44.74 quintaux/ha, contre seulement 39.46 quintaux/ha pour le second produit.

Compte tenu des données dont nous avons disposé, à savoir, les données sur les rendements, les catalogues de prix, les besoins en N-P-K-S . . . , il en ressort que la combinaison optimale à choisir en fertilisation phosphatée serait : FOSFACTYL*D2 soit 60 unités de phosphore pour un hectare de terre à fertiliser sous conditions sahariennes.

Précisons que ces conclusions sont valables relativement à l'expérimentation menée et aux besoins en éléments nutritifs décrits précédemment. Il serait de ce fait intéressant d'étudier l'interaction entre rendements et coûts, d'une manière encore plus vaste, incluant les différents produits émanant de chaque entreprise de fertilisation. L'obstacle auquel nous nous heurtons est que le domaine de l'expérience dépasse le cadre de la recherche opérationnelle, l'intervention d'agronomes dans ce cas serait indispensable, en vue de renforcer et d'élargir notre étude.

D'autres perspectives de recherche, concernent cette fois le domaine de recherche opérationnelle peuvent s'orienter dans le sens suivant :

- Considérer dans l'étape de modélisation, le coût de transport de chaque produit.
- Améliorer la fonction de construction de la méthode GRASP.
- Une autre perspective, relativement à la théorie des jeux et aux problèmes multicritères émerge.

En effet, la situation de concurrence entre les entreprises de fertilisants peut donner naissance à un jeu.

De plus, dans certains cas, il peut être financièrement moins avantageux pour l'agriculteur d'utiliser des engrais offrant de hauts rendements. L'agriculteur augmentera ses profits en utilisant des engrais moins onéreux mais offrant de plus faibles rendements, ce qui ne va pas dans le sens de l'Etat algérien qui souhaiterait renforcer la production nationale et ne plus importer de céréales. Ce qui peut être une situation de conflit et pourrait donc être vu comme un jeu entre l'Etat et l'agriculteur, où les stratégies du gouvernement seraient de financer ou non ces engrais dont l'efficacité sur le rendement est avérée à travers les expérimentations, dans la mesure où le rendement est une question qui n'est pas moindres. Les stratégies de l'agriculteur seraient d'utiliser ou non ces engrais.

Enfin, ce problème peut être abordé par les méthodes multicritères d'aide à la décision et ainsi augmenter le nombre de critères à satisfaire tels que la préservation de l'environnement,

la minimisation des déplacements pour l'acheminement des engrais, ou encore la minimisation de ressources humaines et matérielles lors de la fertilisation.

Références

1. AARTS E. and LENSTRA J.K., *Local search in combinatorial optimization*, Princeton University Press, 1997.
2. ACIA, *Circulaires à la profession : Données relatives à l'efficacité nécessaires pour les engrais et les suppléments réglementés en vertu de la loi sur les engrais*, Août 2008.
3. ADJABI S., *Statistique Mathématique*, Editions Universitaires Européennes, 2011.
4. AZAIS J.M. and BARDET J.M., *Le modèle linéaire par l'exemple*, Edition Dunod, Paris, 2005.
5. BERTRAND F. et MAUMY M., *Outils élémentaires de statistique appliquée*, IRMA-Université de Strasbourg, Septembre 2010.
6. BESSE P., *Ressources pédagogiques*, [http : //wikistat.fr/](http://wikistat.fr/), Consulté le 12-06-2012.
7. BRAUNE P., *Qualité de blé dur, Perspectives agricoles*, Volume N 188, 1996, pp. 30-34.
8. DEMASSEY S., *Méthodes hybrides de Programmation par Contraintes et Programmation Linéaire pour le Problème d'Ordonnement de Projet à Contraintes de Ressources*, Laboratoire Informatique d'Avignon, 2003.
9. DODJE Y. et ROUSSON V., *Analyse de la régression appliquée*, Edition Dunod, 2004.
10. DREO et al, *Métaheuristiques pour l'optimisation difficile*, Editions Eyrolles, 2005.
11. FEO T.A. and RESENDE M.G.C., *A probabilistic heuristic for a computationally set covering problem*, Operations Research Letters, 1989, pp. 67-71.
12. GHOUAR W., *Effet du cumul de pluie hivernale sur la réponse du cultivar Waha à la fertilisation azotée*, Université de Batna, 2006.
13. HALILAT M.T., *Effect of potash and nitrogen fertilization on wheat under Saharan conditions*, Workshop on potassium and fertigation developpement in West Asia North, Morocco 24-28 November 2004.
14. HANSAN P. and MLADENOVIC N., *Variable Neighborhood Search : Principles and Applications*, European Journal of Operational Research, Vol 130, 2001, pp. 449-467.
15. HAO J.K. et al, *Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire et l'affectation sous contraintes*, Revue d'Intelligence Artificielle N°2, Vol 13, 1999, pp. 283-324.
16. HOOKER J.N., *Logic-based methods for optimization : Combining Optimization and Constraint Satisfaction*, Wiley, New-York, 2000.
17. IDRISSE AOUAD M., *Conception d'Algorithmes Hybrides pour l'Optimisation de l'Energie Mémoire dans les Systèmes Embarqués et de Fonctions Multimodales*, UFR STMIA, Université de Nancy, 2011
18. LENGAUER T., *Combinatorial Algorithms for Integrated Circuit Layout*, In *Applicable Theory in Computer Science*, John Wiley & Sons, chapter 8, 1990, pp.427-446.
19. LOUE A., *Le potassium et les céréales*, Revues de la potasse, Volume 9, N°4, 1993, pp. 1-19.
20. NETO T. and PEDROSO J.P., *GRASP for Linear Integer Programming*, In 4th Metaheuristics International Conference, Faculdade de Ciência da Universidade do Porto, Portugal, 2001.
21. PAPADIMITROU C.H. and STEIGLITZ K., *Combinatorial optimisation - algorithms and complexity*, 1982.
22. PITSOULIS L.S. and RESENDE M.G.C., *Handbook of Applied Optimization*, Oxford University Press, 2002.
23. PROFERT, [http : //www.profert-dz.com/cerea-phos.html](http://www.profert-dz.com/cerea-phos.html), Consulté le 06-06-2012.
24. PROFERT, [http : //www.profert-dz.com/engrais_solides.html](http://www.profert-dz.com/engrais_solides.html), Consulté le 06-06-2012.
25. REEVES C.R., *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1993.
26. RESENDE M.G.C. and RIBEIRO C., *State of the art Handbook in Metaheuristics*, Kluwer Academic Publishers, 2001.
27. RESENDE M.G.C. and RIBEIRO C., *Handbook of metaheuristics*, Kluwer Academic Publishers, 2003.
28. RIBEIRO C.C. and MACULAN N., *Application of combinatorial optimization*, Annals of Operations Research, Vol 50, 1994.
29. SELMAN B., LEVESQUE H. and MITCHEL D., *A new method for solving hard satisfiability problems*, 10th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI), San Jose, Canada, 1992, pp. 440-446.
30. SOLNON C. *Optimisation par colonies de fourmis*, Hermes Sciences, 2008.
31. SOLTNER D., *Les grandes productions végétales*, 16^{ème} édition, Phytotechnie spéciale, Paris 1999.
32. YARA, [http : //www.yara.fr/fertilizer/fertilizer_facts/fertilisationlaws/index.aspx](http://www.yara.fr/fertilizer/fertilizer_facts/fertilisationlaws/index.aspx), Consulté le 12-02-2012.
33. ZLOCHIN and al, *Model-based search for combinatorial optimization : a critical survey*, Annals of Operations Research, Volume 131, 2004, pp.373 - 395.

Optimisation du plan de distribution des produits agro-alimentaires : Cas de l'entreprise Cevital, Algérie

Bouregba A., Chabane A., Idres L. et Aïssani D.

Unité de Recherche LaMOS, Université de Béjaïa, Algérie
lamos_bejaia@hotmail.com, ilahna@yahoo.fr

Résumé Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la distribution du produit d'huile (ELIO 5 litres) de l'entreprise Cevital. Ayant comme objectif principal la détermination du plan de distribution optimale. Pour cela, nous avons étudié deux différents problèmes : le problème du plus court chemin, qui consiste à minimiser la distance parcourue par les véhicules de la filiale Numilog. Ainsi que le problème de minimisation du nombre de véhicules utilisés pour transporter le produit de l'unité de production de Béjaïa vers la plateforme Bouira ou bien de cette dernière vers les CLR qu'elle alimente, à savoir ceux de Tizi-Ouzou, Alger, Médéa et Blida.

Mots clés : Transport, Optimisation, plan de distribution, Cevital

6.1 Introduction

L'optimisation de la chaîne logistique au sein de toute entreprise est un élément décisif dans la détermination de ces bénéfices. En effet, les coûts liés à la logistique : coûts d'approvisionnement en matières premières, coûts de transport (en amont et en aval), coût de production, coût de stockage, etc, se répercutent directement sur le prix de vente des produits. Ainsi, l'adoption de prix concurrentiels sur le marché sans l'optimisation préalable de ces coûts induirait une faible marge bénéficiaire, voire même un déficit. Idéalement, l'optimisation de la chaîne logistique passe par l'optimisation de chacun de ses niveaux. Toutefois, certaines contraintes, comme assurer une qualité de haut niveau, font que l'on se focalise beaucoup plus sur l'un de ces niveaux. Dans le cas d'entreprises agro-alimentaires, les délais de livraison des produits peuvent être une contrainte supplémentaire. Effectivement, la nature des produits agro-alimentaires à transporter est un élément pertinent à prendre en considération lors de l'élaboration des plans de distribution. Dans ce sens, plusieurs modèles peuvent être utilisés pour l'optimisation des chaînes de distributions des produits nécessitant d'être réfrigérés, comme le lait ou la viande [3, 5, 1, 2]. De plus, une mauvaise gestion de la chaîne logistique relative aux produits agro-alimentaires peut engendrer des pertes, même pour les produits qui ne nécessitent pas des conditions de transport particulières. Ainsi 20 à 60 % de ces produits seraient perdus chaque année au niveau de leurs chaînes logistiques [4]. Pour pallier à cela, l'utilisation des outils de la recherche opérationnelle s'avère incontournable [4].

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à l'optimisation du réseau de distribution des produits Cevital, en Algérie. L'entreprise Cevital est un complexe d'industrie agro-alimentaire créée en 1998. Il se situe au niveau de l'arrière port de la ville de Béjaïa et s'étend sur une superficie de 45000m². Il vise à s'imposer sur le marché national en diversifiant ses investissements et offrant des produits de qualité. Dans l'objectif d'optimiser une partie de la chaîne logistique, l'entreprise Cevital a mis au point un réseau de distribution constitué comme suit :

1. Les produits sont expédiés au niveau de l'une des trois plateformes se trouvant à : Constantine, Bouira, Oran,
2. Chaque plateforme alimente plusieurs Centres de Livraison Régionaux (CLR), voir Figure 6.1.
3. Les produits de Cevital peuvent également être directement livrés aux grossistes (clients).

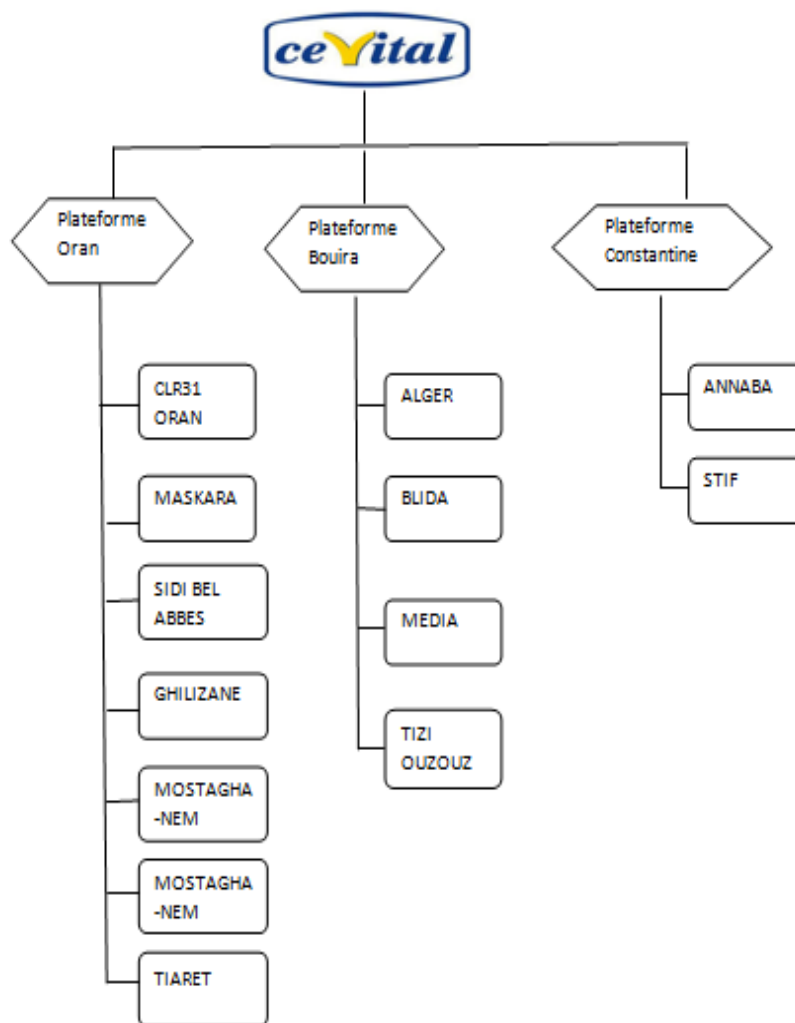


FIGURE 6.1: Réseau de distribution des produits Cevital depuis l'unité de Béjaia

Le plan de distribution de l'unité de Béjaia est présenté dans la Figure 6.2.

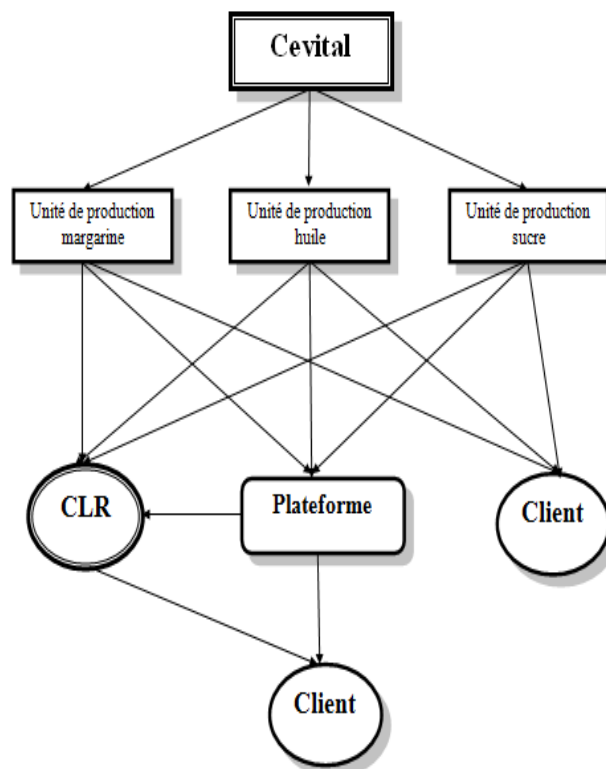


FIGURE 6.2: Plan de distribution des produits de l'unité Cevital sise à Béjaia

Position du problème

En optant pour cette stratégie de distribution, Cevital rapproche ces produits du consommateur, et permet ainsi aux grossistes de réduire leurs coûts de transport, en évitant une tarification trop élevée aux clients finaux (consommateurs). Ainsi, une partie des coûts de transport des produits de Cevital seront à sa propre charge. Afin de les réduire, l'entreprise a investi dans une filiale dédiée au transport et à la logistique, créée en 2013 et nommé "Numilog".

Afin de réduire d'avantage les coûts de transport supportés par l'entreprise Cevital, on propose dans le cadre du présent travail d'apporter des réponses aux deux questions suivantes :

- Quels sont les itinéraires que doivent emprunter les véhicules de l'entreprise Cevital pour desservir les différentes plate formes et les différents CLR ?
- Quel est le nombre de véhicules minimal requis pour satisfaire la demande des plates formes et des CLR ?

6.2 Modélisation

Pour modéliser le problème considéré, deux étapes sont nécessaires. La première consiste à modéliser le réseau routier sous la forme d'un graphe, et ce dans le but de minimiser les distances parcourues par les transporteurs (problème du plus court chemin). La deuxième étape quant à elle, vise à minimiser le nombre de véhicules à utiliser (voir Figure 6.3).

6.2.1 Modélisation du réseau routier

Soit le graphe non-orienté $G = (V, E)$, tel que :

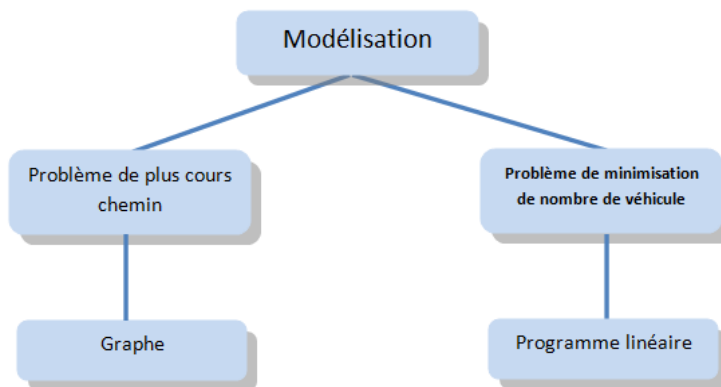


FIGURE 6.3: Schéma de modélisation du problème considéré

- L'ensemble des sommets $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{13}\}$ représente l'ensemble des villes disposant d'un CLR.
- L'ensemble des arrêtes E représente l'ensemble des routes reliant les différentes villes.
- On définit une application $\Gamma : E \rightarrow R$ qui associe à chaque arrête $e_{ij} \in E$ la distance en kilomètre qui sépare la $i^{\text{ème}}$ ville de la $j^{\text{ème}}$ ville.

En ajoutant le sommet source $s \in V$ représentant la ville de Béjaia (ou se trouve l'usine) on obtient le réseau $R = (s, G)$ représentant le réseau routier relatif à la distribution des produits Cevital, de l'usine vers les différents CLR (voir Figure 6.4 et 6.5).



FIGURE 6.4: Carte représentant le réseau routier

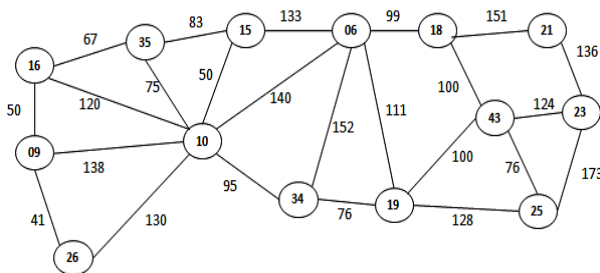


FIGURE 6.5: Carte représentant le réseau routier

6.2.2 Optimisation du nombre de véhicules utilisés

On s'intéressera en particulier à la modélisation de la distribution des produits Cevital de l'unité de Béjaia vers la plateforme de Bouira et des différents CLR qu'elle alimente.

L'objectif étant de minimiser le nombre de véhicules, la fonction objectif est formulée comme suit :

$$\text{Min } Z = \frac{1}{c} \left[\sum_{j=1}^3 x_{1j} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{13} x_{jk} \right] \tag{6.1}$$

De plus, quatre types de contraintes doivent être vérifiées.

I. Contraintes relatives à la taille de la flotte

Le nombre de véhicules utilisés ne doit pas dépasser la taille de la flotte de véhicules, d'où les contraintes 6.2 et 6.3 doivent être satisfaites.

TABLE 6.1: Définition des variables

Soient les variables de décision suivantes :

x_{1j} : la quantité du $j^{\text{ème}}$ produit à transporter de l'usine à la plateforme de Bouira,

et

x_{jk} : la quantité du $j^{\text{ème}}$ produit à transporter vers le $k^{\text{ème}}$ CLR.

Soient les notations suivantes :

c	Capacité d'un véhicule
m_j	Nombre de véhicules chargés du transport du $j^{\text{ème}}$ produit
m_1	Nombre de véhicules desservant la plateforme de Bouira
s_j	Quantité du $j^{\text{ème}}$ produit disponible au niveau de l'usine (en stock)
q_{1j}	Demande du $j^{\text{ème}}$ produit au niveau de la plateforme de Bouira
q_{jk}	Demande du $j^{\text{ème}}$ produit au niveau du $k^{\text{ème}}$ CLR
b_1	Capacité de stockage au niveau de la plateforme de Bouira
b_k	Capacité de stockage du $k^{\text{ème}}$ CLR, $k = 2, \dots, 5$

$$\frac{1}{c} \sum_{j=1}^3 x_{1j} \leq m_1. \quad (6.2)$$

$$\frac{1}{c} \sum_{k=1}^{13} x_{jk} \leq m_j, \quad \forall j = 1, \dots, 3. \quad (6.3)$$

II. Contraintes relatives à la taille du stock disponible au niveau de l'usine

La quantité totale de chaque produit expédié vers la plateforme de Bouira et vers les CLR ne doit pas excéder la quantité de ce produit disponible au niveau de l'usine, d'où :

$$x_{1j} + \sum_{k=1}^{13} x_{jk} \leq s_j, \quad \forall j = 1, \dots, 3. \quad (6.4)$$

III. Contraintes relatives aux capacités de stockage au niveau des CLR et de la plateforme

Les quantités des produits expédiées à la plateforme de Bouira, et celles expédiées au niveau de chaque CLR ne doivent pas dépasser les capacités de stockage de la plateforme et des CLR, d'où :

$$\sum_{j=1}^3 x_{1j} \leq b_1. \quad (6.5)$$

$$\sum_{j=1}^3 x_{jk} \leq b_k, \quad \forall k = 1, \dots, 13. \quad (6.6)$$

IV. Contraintes relatives à la satisfaction de la demande

La demande au niveau des différentes villes doit être satisfaite, d'où :

$$x_{1j} \geq q_{1j}, \quad \forall j = 1, \dots, 3. \quad (6.7)$$

$$x_{jk} \geq q_{jk}, \quad \forall j = 1, \dots, 3, \quad \forall k = 1, \dots, 13. \quad (6.8)$$

On obtient ainsi le Programme Linéaire (PL) suivant :

$$\text{Min } Z = \frac{1}{c} \left[\sum_{j=1}^3 x_{1j} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{13} x_{jk} \right]$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{c} \sum_{j=1}^3 x_{1j} \leq m_1; \\
 & \frac{1}{c} \sum_{k=1}^{13} x_{jk} \leq m_j, \quad \forall j = 1, \dots, 3; \\
 & x_{1j} + \sum_{k=1}^{13} x_{jk} \leq s_j, \quad \forall j = 1, \dots, 3 \\
 \text{s.t.} & \sum_{j=1}^3 x_{1j} \leq b_1; \\
 & \sum_{j=1}^3 x_{jk} \leq b_k, \quad \forall k = 1, \dots, 13; \\
 & x_{1j} \geq q_{1j}, \quad \forall j = 1, \dots, 3; \\
 & x_{jk} \geq q_{jk}, \quad \forall j = 1, \dots, 3, \quad \forall k = 1, \dots, 13; \\
 & x_{1j} \geq 0, \quad x_{jk} \geq 0, \quad \forall j = 1, \dots, 3; \quad \forall k = 1, \dots, 13.
 \end{aligned} \tag{6.9}$$

6.3 Résultats

L'approche développée a été appliquée en prenant en considération :

- l'huile comme produit à transporter i.e. on fixe $j = 2$,
- la plateforme de Bouira et les quatre CLR qui se trouvent au niveau des wilayas de Tizi-Ouzou, Alger, Médéa et Blida.

Les données sont présentées en Annexe.

L'algorithme de Dijkstra est utilisé pour la résolution du problème du plus court chemin, tandis que la fonction *linprog* du logiciel MATLAB a été utilisée pour la résolution du (PL).

Un exemple de la recherche du plus court chemin selon l'application développée est donnée dans les Figures 6.6 – 6.8.

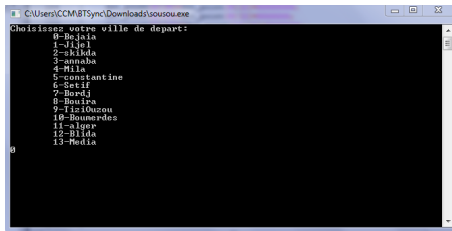


FIGURE 6.6: Sélection de la ville de départ

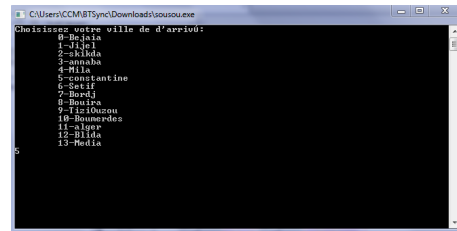


FIGURE 6.7: Sélection de la ville d'arrivée

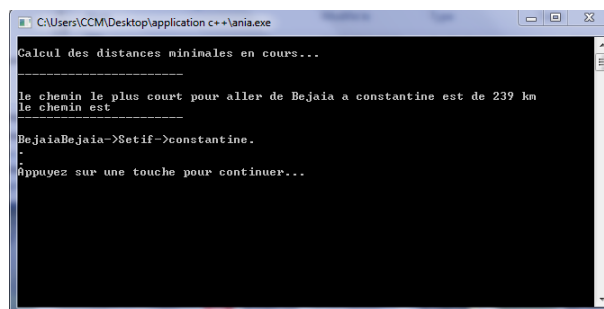


FIGURE 6.8: Résultat du plus court chemin reliant la ville de départ à la ville d'arrivée

Les résultats de l'optimisation du nombre de véhicules sont présentés dans le Tableau 6.2.

TABLE 6.2: Résultats de l'optimisation du nombre de véhicules

Destinataire	Bouira	Tizi-Ouzou	Alger	Médéa	Blida
Quantités optimales	394	85	98	74	53
Nombre de véhicules minimal	17	4	5	3	2

6.4 Conclusion

L'importance de l'optimisation des coûts de transport dans une entreprise est partie prenante dans l'épanouissement financier de cette dernière. Dans ce sens, nous avons abordé dans le cadre du présent travail le problème de distribution de l'huile Elio de l'entreprise Cevital. A cet effet, nous avons dans un premier temps procédé à la modélisation du réseau routier sous forme d'un graphe, et ce dans le but de déterminer les plus courts chemins. Cette étape permettra ainsi de minimiser les coûts de transport en minimisant les distances parcourues. Puis, nous avons procédé à l'optimisation du nombre de véhicules utilisés pour la distribution de ce produit. Ainsi, les coûts de transport seront réduits en rationalisant le nombre de véhicules à déployer.

Références

1. Jing Chen, Pengfei Gui, Tao Ding, Sanggyun Na and Yingtang Zhou. Optimization of transportation routing problem for fresh food by improved ant colony algorithm based on tabu search. *Sustainability*, 11(23) : 6584, 2019.
2. Chaug-Ing Hsu and Wei-Ting Chen. Optimizing fleet size and delivery scheduling for multi-temperature food distribution. *Applied Mathematical Modelling* 38(3) : 1077-1091, 2014.
3. Christian James. Food transportation and refrigeration technologies—Design and optimization. In *Sustainable Food Supply Chains*, pages 185-199. Elsevier, 2019.
4. Yared Lemma, Daniel Kitaw and Gulelat Gatew. Loss in perishable food supply chain : an optimization approach literature review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5 (5) : 302-311, 2014.
5. Wladimir E Soto-Silva, Marcela C González-Araya , Marcos A Oliva-Fernández and Lluís M Plà-Aragonés. Optimizing fresh food logistics for processing : Application for a large Chilean apple supply chain. *Computers and electronics in agriculture*, 136 : 42-57, 2017

Annexe

Les données utilisées sont celles de l'année 2015/2016.

		06	18	21	23	43	25	19	34	10	15	35	16	09	26
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
06	0	*	99	-	-	-	-	111	152	140	133	-	-	-	-
18	1	99	*	151	-	135	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	2	-	151	*	136	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	3	-	-	136	*	124	173	-	-	-	-	-	-	-	-
43	4	-	135	-	124	*	62	100	-	-	-	-	-	-	-
25	5	-	-	-	173	62	*	128	-	-	-	-	-	-	-
19	6	111	-	-	-	100	128	*	76	-	-	-	-	-	-
34	7	152	-	-	-	-	-	76	*	95	-	-	-	-	-
10	8	140	-	-	-	-	-	-	95	*	50	75	120	138	130
15	9	133	-	-	-	-	-	-	-	50	*	83	-	-	-
35	10	-	-	-	-	-	-	-	-	75	83	*	67	-	-
16	11	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-	67	*	50	-
09	12	-	-	-	-	-	-	-	-	138	-	-	50	*	41
26	13	-	-	-	-	-	-	-	-	130	-	-	-	41	*

FIGURE 6.9: Matrice des capacités du réseau routier

TABLE 6.3: Données utilisées pour la minimisation du nombre de véhicules

Capacité de chaque véhicule	$c = 24$
Nombre de véhicules dédié à la plateforme de Bouira	$m_1 = 175$
Nombre de véhicules total dédié au transport de l'huile Elio5L	$m_2 = 80$
Quantité d'huile Elio 5L disponible au niveau de l'unité de Béjaïa	$s_2 = 13980$
Capacité de stockage au niveau de la plateforme de Bouira	$b_1 = 900$
Capacité de stockage au niveau du CLR de Tizi-Ouzou	$b_2 = 1200$
Capacité de stockage au niveau du CLR d'Alger	$b_3 = 790$
Capacité de stockage au niveau du CLR de Médéa	$b_4 = 680$
Capacité de stockage au niveau du CLR de Blida	$b_5 = 680$
Demande en Huile Elio 5L au niveau de la plateforme de Bouira	$q_{12} = 100$
Demande en Huile Elio 5L au niveau du CLR de Tizi-Ouzou	$q_{21} = 70$
Demande en Huile Elio 5L au niveau du CLR d'Alger	$q_{22} = 75$
Demande en Huile Elio 5L au niveau du CLR de Médéa	$q_{23} = 68$
Demande en Huile Elio 5L au niveau du CLR de Blida	$q_{24} = 45$

Troisième partie

Coût et restructuration tarifaire

Analyse du système de tarification portuaire : cas de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa

Saaoui D., Moussaoui S., Adel-Aissanou K. et Aïssani D.

Unité de Recherche LaMOS, Université de Béjaïa, Algérie
lamos_bejaia@hotmail.com, ak_adel@yahoo.fr

Résumé Le but de ce travail est l'analyse du système de tarification portuaire au niveau de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa (l'E.P.B), en faisant appel à la fois à une étude scientifique, et à une analyse technico-économique. Dans une première étape, nous avons calculé le coût de revient de débarquement d'une tonne de chaque produit, le coût de revient d'une heure d'utilisation d'un engin, ainsi que le coût de revient du remorquage d'un navire. La seconde étape concerne l'identification des contraintes et la position du problème sous forme de programmes linéaires. Nous avons appliqué la méthode du simplexe pour la détermination des tarifs. Nous avons aussi procédé à des augmentations de 3%, 6%, et de 10% afin de suivre l'évolution des augmentations par rapport aux charges, aux bénéfices et à la concurrence. Les résultats obtenus montrent qu'il se dégage un bénéfice de 39% (resp 38%) pour la manutention en tenant compte de ne pas dépasser 20% (resp 17%) les tarifs du port de Djendjen (resp les tarifs du port d'alger), un bénéfice de 38% pour les engins en tenant compte de ne pas dépasser 7% les tarifs du port de Djendjen, et un bénéfice de 39.8% (resp 39.4%) pour le remorquage en tenant compte de ne pas dépasser de 18% les tarifs des ports de Djendjen et d'Alger.

Mots clés :l'Entreprise Portuaire de Béjaïa (l'E.P.B), coût de revient, tarification portuaire, programmation linéaire.

7.1 Introduction

Les ports sont des maillons essentiels de la chaîne de transport, parce qu'ils relient la voie maritime permettant le transport de marchandises en grandes quantités sur de longues distances et la voie terrestre. Ils constituent ainsi les points de passage privilégiés du commerce extérieur des pays qui en disposent. Les avantages immédiats se mesurent en terme de réduction des prix de revient des biens importés, et une meilleure compétitivité des produits exportés [1]

Un port est fait d'installations concrètes et de services immatériels, dont le but est d'assurer l'articulation entre les transports maritimes et terrestres [2].

Contrairement au secteur industriel, le cycle d'exploitation de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa (E.P.B) ne comporte qu'une seule étape : la mise à disposition des moyens humains et matériels pour assurer les tâches d'assainissement, de manutention et de navigation.

Sachant que les extra-frais sont, en fait, formés par les opérations de manutentions, effectuées en heures supplémentaires, les heures d'attente et les opérations particulières, les secteurs procurant des produits pour l'entreprise peuvent être regroupés de la façon suivante : Manutention, Engins, Remorquage, Pilotage-Amarrage, Gestion de domaine, Acconage.

Le mécanisme de la tarification portuaire peut servir à promouvoir une meilleure utilisation des installations portuaires.

La structure tarifaire doit être en fonction de l'évolution du trafic, changer cette structure est, pour un port, une tâche ardue. C'est pourquoi elle doit être conçue pour atteindre plusieurs

années d'application.

Le port de Béjaia est le premier port en Algérie vue sa stratégie géographique et ses performances. L'Entreprise Portuaire de Béjaia est une entreprise économique, elle doit couvrir ses charges pour avoir un bénéfice, d'une autre manière, elle doit connaître de meilleur système de tarification.

7.2 Position du problème

Chaque année, l'E.P.B fait une révision tarifaire avec pour objectif de compenser les effets de l'inflation sur les coûts d'exploitation portuaire. En effet, le niveau des prix de l'ensemble des infrants (main d'oeuvre), pièces de rechanges, carburant,..) a connu un rehaussement ces dernières années. C'est pour cela que les révisions tarifaires auront lieu.

Avant de procéder à des changements dans la structure tarifaire, l'entreprise prend toujours en considération les charges consommées afin de s'assurer que les tarifs ne représente pas des écarts inacceptables.

Une études avait été réalisée dans l'objectif de restructurer les tarifs de l'E.P.B, faisant appel, à la fois à une analyse technico-économique et à une étude scientifique. Les résultats obtenus devaient permettre de dégager des bénéfices pour l'entreprise [3]. Mais quand est-il aujourd'hui ?

L'objectif de cette étude est d'analyser le système de tarification de l'E.P.B, avec comme contrainte la prise en compte de la concurrence.

Comme l'Entreprise Portuaire de Béjaia est une entreprise économique, elle doit couvrir ses charges pour avoir un bénéfice, donc le calcul du coût de revient est nécessaire.

7.3 Calcul des Coûts de revient

Le coût de revient permet de déterminer le niveau minimal de fixation d'un tarif de sorte que l'entreprise puisse rentrer dans ses frais. Donc ce tarif se calcul en ajoutant une marge bénéficiaire au coût de revient.

Tarif = coût de revient + marge bénéficiaire.

7.3.1 Coût de revient de la manutention

Est le coût de revient de débarquement d'une tonne d'un produit est la somme des charges directes et indirectes, il se fait de la manière suivante.

- Détermination des différentes catégories et affectations de chaque produit à sa catégorie.
- Détermination les charges directes pour chaque produit dans un shift (6h de travail), cette valeur comporte les salaires des ouvriers qui travaillent directement pour le débarquement de ce produit.
- Détermination les charges indirectes qui comprennent les salaires du personnel, leurs assurances, matières et fournitures, les taxes, ainsi que l'habillement,..

7.3.2 Coût de revient d'une heure d'utilisation d'un engin

La détermination du coût de revient d'une heure d'utilisation d'un engin se fait comme suit :

1. Détermination des charges directes qui sont : le coût de la consommation de l'engin en gas-oil, en appoints et en pneus, ainsi que le coût du capital de chaque type d'engin (amortissement), et les salaires des ouvriers travaillant directement sur l'engin (Cariste, Grutier).
2. Les charges Indirectes sont les salaires du personnel administratif, leurs assurances et l'entretien du matériel.

Le coût de revient d'une heure d'utilisation d'un engin est le total de ses charges directes et indirectes pour une heure de travail.

7.3.3 Coût de revient du remorquage d'un navire

L'E.P.B fixe un tarif forfaitaire pour le remorquage d'un navire, ce tarif dépend du volume du navire. Le nombre de remorqueurs à affecter pour un navire dépend de la longueur de ce dernier. Le calcul du coût de revient du remorquage est fait de la manière suivante :

- La détermination des catégories par volume des navires et leurs longueurs.
- Calcul du coût de revient par remorqueur en sommant :
 - ★ Les charges directes qui comprennent les salaires des équipages des remorqueurs, leurs assurances, ainsi que la consommation en gas-oil, huile et eau traitée. Les charges directes sont obtenues en sommant les salaires de l'équipages et leurs assurances, et
 - ★ Les charges indirectes qui comprennent :
 1. Les services (formation du personnel, mission. . .) ;
 2. Charges du personnel administratif ;
 3. Taxes et impôt ;
 4. Frais financiers ;
 5. Assurance du personnel et auto.
- On remplace le coût de revient des remorqueurs pour obtenir le coût de revient pour chaque type du remorquage.

7.4 Formulation mathématique du problème

On envisage d'analyser les tarifs liés à la manutention (déchargement ou chargement des produits), à l'utilisation de l'action du remorquage avant l'arrivées des navires aux postes à quai, et à l'utilisation des engins, de manière à maximiser la marge bénéficiaire de l'entreprise sous certaines contraintes.

Méthodes utilisées

1. Utiliser comme première étape la méthode de lissage exponentiel afin de prévenir la quantité de chaque produit à embarquer, et le nombre d'heure de travail pour chaque engin. Ces dernières seront utilisées comme paramètres des fonctions objectif du problème
2. Utiliser comme deuxième étape la programmation linéaire pour optimiser les tarifs liés à la manutention des produit, à une heure d'utilisation d'un engin, et le remorquage du navire.

Le principal objectif est de maximiser la marge bénéficiaire alors, la fonction objectif est une fonction linéaire des tarifs. Les contraintes imposées par l'entreprise, celle d'avoir un bénéfice ou par la concurrence et celle de couverture des coûts sont aussi linéaires. Alors le problème peut se modéliser à l'aide de la programmation linéaire.

La manutention des produits

L'EPB importe plusieurs produits de catégories de manutention différentes. On est amené à assurer l'optimisation des tarifs à la tonne de ces produits.

Définition de la fonction objectif

Soit Z_p la fonction objectif correspondant à la maximisation des recettes de l'entreprise. Pour se faire, on définit les paramètres suivants :

Q_{pi} : représente la prévision mensuelle de la quantité à manutentionner du produit i .

• Variables de décision :

Soit T_{pi} la variable qui désigne le tarif associé à la manutention (déchargement ou déchargement) d'une tonne d'un produit i .

la fonction objectif est définie comme suit :

$$Max \quad Z_p = \sum_{i=1}^{n_p} T_{pi} Q_{pi}$$

n_p : représente le nombre de produits.

Déduction des contraintes

1. Contrainte de couverture des coûts :

$$T_{pi} \geq Cr_{pi} \quad Cr_{pi} : \text{est le coût de revient d'une tonne de produit } i.$$

2. Contrainte pour que les tarifs ne connaissent pas une baisse : il faut que les nouveaux tarifs soient supérieurs ou égaux aux anciens tarifs de L'EPB :

$$T_{pi} \geq T_{anci}, \quad T_{anci} : \text{l'ancien tarif du produit } i \text{ de l'E.P.B.}$$

3. Contraintes de bénéfice : L'E.P.B souhaite avoir un bénéfice entre 20% et 40%.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n_p} T_{pi} &\geq 1.2 \times \sum_{i=1}^{n_p} Cr_{pi} \\ \sum_{i=1}^{n_p} T_{pi} &\leq 1.4 \times \sum_{i=1}^{n_p} Cr_{pi} \end{aligned}$$

Modèle obtenu :

$$(PG1) \left\{ \begin{aligned} Max \quad Z_p &= \sum_{i=1}^{n_p} T_{pi} Q_{pi} \\ T_{pi} &\geq Cr_{pi} \\ T_{pi} &\geq T_{anci} \\ \sum_{i=1}^{n_p} T_{pi} &\geq 1.2 \times \sum_{i=1}^{n_p} Cr_{pi} \\ \sum_{i=1}^{n_p} T_{pi} &\leq 1.4 \times \sum_{i=1}^{n_p} Cr_{pi} \\ T_{pi} &\geq 0 \end{aligned} \right.$$

7.4.1 Utilisation d'un engin

Le déchargement de la marchandise se fait à l'aide des engins de l'E.P.B, c'est pour cela on est amené à assurer l'optimisation des tarifs liés à l'utilisation d'une heure d'un engin.

Définition de la fonction objectif

Soit Z_h la fonction objectif correspondant à la maximisation des recettes de l'entreprise. Pour se faire, on définit les paramètres suivants :

H_i : représente la prévision mensuelle du nombre d'heures de travail pour l'engin i .

• Variables de décision :

Soit T_{h_i} la variable qui désigne le tarif associé à une heure d'utilisation de l'engin i .

la fonction objectif est définie comme suit :

$$\text{Max } Z_h = \sum_{i=1}^{n_e} T_{h_i} H_i.$$

n_e : représente le nombre d'engins.

Déduction des contraintes

1. Contrainte de couverture des coûts :

$$T_{h_i} \geq Cr_{h_i} \quad Cr_{h_i} : \text{est le coût de revient d'une heure d'utilisation d'un engin } i.$$

2. Contrainte pour que les tarifs ne connaissent pas une baisse : il faut que les nouveaux tarifs soient supérieurs ou égaux aux anciens tarifs de L'EPB :

$$T_{h_i} \geq T_{anc_i}, \quad T_{anc_i} : \text{l'ancien tarif d'une heure d'utilisation d'un engin } i.$$

3. Contraintes de bénéfice : l'entreprise souhaite avoir un bénéfice entre 20% et 40%

$$\sum_{i=1}^{n_e} T_{h_i} \geq 1.2 \times \sum_{i=1}^{n_e} Cr_{h_i}$$

$$\sum_{i=1}^{n_e} T_{h_i} \leq 1.4 \times \sum_{i=1}^{n_e} Cr_{h_i}$$

Modèle obtenu :

$$(PG2) \left\{ \begin{array}{l} \text{Max } Z_h = \sum_{i=1}^{n_e} T_{h_i} H_i. \\ \\ T_{h_i} \geq Cr_{h_i} \\ \\ T_{h_i} \geq T_{anc_i} \\ \\ \sum_{i=1}^{n_e} T_{h_i} \geq 1.2 \times \sum_{i=1}^{n_e} Cr_{h_i} \\ \\ \sum_{i=1}^{n_e} T_{h_i} \leq 1.4 \times \sum_{i=1}^{n_e} Cr_{h_i} \\ \\ T_{h_i} \geq 0 \end{array} \right.$$

7.4.2 Le remorquage d'un navire

Les navires arrivent au port de béjaia s'installent au rade, pour attendre leurs tours pour le déchargement, lorsqu'il y'aura un poste à quai vide pour un navire, un remorqueur ou plus seront affectés spécialement pour remorquer le navire à ce poste, cette action bien sûr sera payée par le client, c'est pour cela on est amené à assurer l'optimisation des tarifs liés au remorquage.

Définition de la fonction objectif

Soit Z_R la fonction objectif correspondant à la maximisation des recettes de l'entreprise. Pour se faire, on définit les paramètres suivants :

N_{ij} : représente le nombre de fois d'arrivées des navires de type j d'une catégories i .

• Variables de décision :

Soit T_{rij} : variable qui désigne le tarif associé au remorquage de type j d'une catégorie i . la fonction objectif est définie comme suit :

$$Max \quad Z_R = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} T_{rij} N_{ij}.$$

n_t : représente le nombre de type de navire par longueur.

n_c : représente le nombre de catégories.

Déduction des contraintes

1. Contrainte de couverture des coûts :

$$T_{rij} \geq Cr_{rij} \quad Cr_{rij} : \text{est le coût de revient du remorquage de type } j \text{ de la catégorie } i.$$

2. Contrainte pour que les tarifs ne connaissent pas une baisse : il faut que les nouveaux tarifs soient superieurs ou égaux aux anciens tarifs de L'EPB :

$$T_{rij} \geq T_{ancij}, \quad T_{ancij} : \text{l'ancien tarif du remorquage de type } j \text{ dans une catégorie } i.$$

3. Contraintes de bénéfice : l'entreprise souhaite avoir un bénéfice entre 20% et 40% .

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} T_{rij} &\geq 1.2 \times \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{i=j}^{n_t} Cr_{rij} \\ \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{i=j}^{n_t} T_{rij} &\leq 1.4 \times \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} Cr_{rij} \end{aligned}$$

Modèle obtenu :

$$(PG3) \left\{ \begin{array}{l} Max \quad Z_R = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} T_{rij} N_{ij}. \\ \\ T_{rij} \geq Cr_{rij} \\ \\ T_{rij} \geq T_{ancij} \\ \\ \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} T_{rij} \geq 1.2 \times \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} Cr_{rij} \\ \\ \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} T_{rij} \leq 1.4 \times \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} Cr_{rij} \\ \\ T_{rij} \geq 0 \end{array} \right.$$

7.5 Résolution du problème

La résolution des programmes définis précédemment a été faite avec un logiciel de résolution du problème linéaire (Exel Solver).

D'après les contraintes imposées par l'entreprise, les modèles admettent une solution optimale, de plus une satisfaction à la hausse pour l'entreprise. On remarque par exemple pour la manutention une augmentation pour un seul tarif de 200 DA à 595.21 DA (le tarif du produit importé en plus grande quantité), ce qui ne va pas satisfaire le client donc l'entreprise risque de perdre ses clients avec ces valeurs. Pour trouver des solutions satisfaisants les deux cotés, on propose une autre modélisation en tenant compte de la contrainte de concurrence.

7.6 Prise en charge de la concurrence

Avant toute décision tarifaire, l'entrepreneur doit savoir comment évoluent ses coûts dans le temps. La fixation de prix dans une entreprise doit en effet se faire de manière à ne pas perdre ses clients. C'est pour cela l'EPB doit prendre en compte les tarifs de ses concurrents [4]. Dans notre étude, le fait qu'on a pas pu faire le sondage auprès du client, on a défini un seuil, où les tarifs de l'EPB ne vont pas dépasser les tarifs des autres ports concurrents. L'idée est de trouver des tarifs en variant ce seuil, pour permettre à l'entreprise d'éviter le risque de perdre ses clients. Les modèles alors seront comme suit :

7.6.1 La manutention des produits

Soit " S_1 " le seuil que les tarifs de la manutention d'un produit importé par le port de Béjaïa ne vont pas dépasser les tarifs d'un port concurrent. La différence du programme (PG1') par rapport au programme (PG1) se situe en ajoutant la contrainte (*).

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{(PG1')} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Max } Z_p = \sum_{i=1}^{n_p} T_{p_i} Q_{p_i} \\
 T_{p_i} \geq Cr_{p_i} \\
 T_{p_i} \geq T_{anc_i} \\
 \sum_{i=1}^{n_p} T_{p_i} \geq 1.2 \times \sum_{i=1}^{n_p} Cr_{p_i} \\
 \sum_{i=1}^{n_p} T_{p_i} \leq 1.4 \times \sum_{i=1}^{n_p} Cr_{p_i} \\
 T_{p_i} \leq (1 + S') T'_{p_i} \dots \dots (*) \\
 \text{ou } T'_{p_i} : \text{ les tarifs du port concurrent} \\
 T_{p_i} \geq 0
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.$$

7.6.2 Heure d'utilisation d'un engin

Soit " S_2 " le seuil que les tarifs d'heure de travail d'engin utilisé par le port de Béjaïa ne vont pas dépasser les tarifs d'un port concurrent. La différence du programme (PG2') par rapport au programme (PG2) se situe en ajoutant la contrainte (*).

$$\left. \begin{aligned}
 &Max \quad Z_h = \sum_{i=1}^{n_e} T_{h_i} H_i. \\
 &T_{h_i} \geq Cr_{h_i} \\
 &T_{h_i} \geq T_{anc_i} \\
 &\sum_{i=1}^{n_e} T_{h_i} \geq 1.2 \times \sum_{i=1}^{n_e} Cr_{h_i} \\
 &\sum_{i=1}^{n_e} T_{h_i} \leq 1.4 \times \sum_{i=1}^{n_e} Cr_{h_i} \\
 &T_{h_i} \leq (1 + S_2)T'_{h_i} \dots\dots\dots(*) \\
 &ou \ T'_{h_i} : \text{les tarifs du port concurrent} \\
 &T_{h_i} \geq 0
 \end{aligned} \right\} (PG2')$$

7.6.3 Le remorquage d'un navire

Soit "S₃" le seuil que les tarifs de remorquage du port de béjaia ne vont pas dépasser les tarifs d'un port concurrent

La différence du programme (PG3') par rapport au programme (PG3) se situe en ajoutant la contrainte (*).

$$\left. \begin{aligned}
 &Max \quad Z_R = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} T_{r_{ij}} N_{ij}. \\
 &T_{r_{ij}} \geq Cr_{r_{ij}} \\
 &T_{r_{ij}} \geq T_{anc_{ij}} \\
 &\sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} T_{r_{ij}} \geq 1.2 \times \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} Cr_{r_{ij}} \\
 &\sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} T_{r_{ij}} \leq 1.4 \times \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t} Cr_{r_{ij}} \\
 &T_{r_{ij}} \leq (1 + S_3)T'_{r_{ij}} \dots\dots\dots(*) \\
 &ou \ T'_{r_{ij}} : \text{les tarifs du port concurrent} \\
 &T_{r_{ij}} \geq 0
 \end{aligned} \right\} (PG3')$$

7.6.4 Résultats de résolution

On fait varier le seuil jusqu'à la valeur maximale, qui vérifie les contraintes. On trouve le seuil à ne pas dépasser pour chaque programme.

Tarif de la manutention des produits

Tarif A : désigne le tarif obtenu en tenant compte de ne pas dépasser 20% le tarif du port de Djendjen.

Tarif B : désigne le tarif obtenu en tenant compte de ne pas dépasser 17% le tarifs du port d'Alger.

Produits	Ciment	Bois	Poutrelles	Fer	Tole	Cornirères	Fil de fer
Tarif A	181.8	182.81	252.5	200	253.51	200	200
Tarif B	181,8	182,81	250	200	250	200	200

Produits	Rond à beton	Tubes	Rails	Grumes	Papiers	Blé	Sucre
Tarif A	210	250	200	200	192	180	223
Tarif B	200	250	200	200	192	180	223

Produits	Soja	Mais	Orge	Phosphate	Engrais	Uree	Conteneurs
Tarif A	183.06	242.4	285.3	300	330	304.01	268
Tarif B	183,06	242,4	285,3	300	330	300	268

Produits	B/Marbre	Sulfate	Marchandises divers	Platre	Argile	Grains
Tarif A	210.1	210	195	195	210	280
Tarif B	210,1	210	195	195	210	280

TABLE 7.1: Tarifs obtenus pour la manutention

Tarif des engins

Engins	Nouveaux tarif(DA)/7% tarifs Djendjen
Grue (+ de 50 T)	9040
Grue (- de 50 T)	7040
Chariot élévateurs	
- de 10 T	2560
+ de 11 T	5060
Les pelles	2510
Tracteurs	2510
Stackers	6450

TABLE 7.2: Tarifs obtenus pour les engins

7.6.5 Tarif de remorquage

Catégories/ volume	Longueur du navire	Nouveaux Tarif/ 18% tarifs de Djendjen (Dollars)	Nouveaux Tarif/ 18% tarifs d'Alger(Dollars)
De 3 000 à 6 000 m^3	<110 m	613.6	677.32
De 6001 à 12000 m^3	<110 m	774	818.92
	>110m <130m	1548	1630.84
De 12 001 à 18 000 m^3	<110 m	859	900
	>110m <130m	1786	1817.2
	> 130 m	2576	2625.8
De 18 001 à 24 000 m^3	<130m	2138	2200.24
	> 130m	3206	3300.84
De 24 000 à 30 000 m^3	> 130m	2717	2430
De 30 001 à 36 000 m^3	> 130m	4071	4100.56
De 36 001 à 42 000 m^3	> 130m	4980	4980
De 42 001 à 48 000 m^3	> 130m	5124	5124
De 48 001 à 54 000 m^3	> 130m	5549	5549
De 54 001 à 60 000 m^3	> 130m	7080	6972

TABLE 7.3: Tarifs obtenus pour le remorquage

Interprétation des résultats

Avant de procéder à interpréter les résultats, nous avons effectué des augmentations par rapport au anciens tarif pour voir son évolution.

1. La manutention :

Si on considère une tonne de chaque produit.

Les tarifs trouvés en tenant compte des tarifs du port de Djendjen sont en augmentation de 6.27% par rapport aux anciens tarifs, de 19.8% par rapport aux tarifs du port de Djendjen, de 39% par rapport aux charges, de 3% par rapport à l'augmentation de 3%

Les tarifs trouvés en tenant compte des tarifs du port d'Alger sont en augmentation de 5.8% par rapport aux anciens tarifs, de 16% par rapport aux tarifs du port d'alger, de 38% par rapport aux charges, et de 2.84% par rapport à l'augmentation de 3%.

2. Les engins :

Pour une heure d'utilisation de chaque engin.

Les résultats nous montrent que les tarifs proposés sont en augmentation de 4.6% par rapport aux anciens tarifs, de 5.99% par rapport aux tarifs du port de Djendjen, de 38% par rapport au charges, et de 1.57% par rapport à l'augmentation de 3%.

Le remorquage :

Les tarifs trouvés en tenant compte des tarifs du port de Djendjen nous montrent une augmentation de 1.4% par rapport aux anciens tarifs, de 17% par rapport au port de Djendjen, et de 39% par rapport aux charges, de 1% par rapport à l'augmentation de 3% .

Les tarifs trouvés en tenant compte des tarifs du port d'Alger sont en augmentation de 1.39% par rapport aux anciens tarifs, une augmentation de 18% par rapport aux tarifs du port d'Alger, de 39% par rapport aux charges, de 1% par rapport à l'augmentation de 3%. On remarque qu'il a eu une petite augmentation pour le remorquage, dûe au tarif forfaitaire qui est inventé à la fin de l'année 2014.

7.7 Conclusion

Les résultats de la première modélisation nous amènent à conclure que malgré les performances du port, l'E.P.B doit toujours faire face aux tarifs des concurrents, c'est-à-dire, tenir compte du seuil de fixation des tarifs.

Les résultats obtenus par la deuxième modélisation nous a montré que l'application de la programmation linéaire, pour le système de tarification à l'E.P.B a prouvé son efficacité. En effet, les résultats obtenus par les méthodes mathématiques respectent les contraintes de concurrence, et de couverture des charges, tout en dégageant une marge bénéficiaire pour l'entreprise.

Références

1. Ndiaye P., Port Autonome de Dunkerque, L'importance économique et stratégique des ports maritimes , Actes du Colloque international. Le port de Dakar dans l'économie sénégalaise . 353 pages, p. 94, 1995.
2. La tarification portuaire : Rapport du secrétariat de la CNUCED (Conférence Des Nations Unies Sur le Commerce Et le Développement), Genève, 1975.
3. Aissani K. & Madaoui K., Optimisation de la restructuration tarifaire à l'E.P.B., Mémoire d'ingénieur en recherche opérationnelle. Université A/Mira de Béjaia. 1999.
4. Martin E. & Michel E. Gestion de cycle d'exploitation au port autonome de contonou : période de 2004 à 2008, Mémoire de Maîtrise Es-Sciences Economique et de Gestion, Benin. 2010 .

Quatrième partie

Gestion des Stocks

Gestion des Stocks des Matières Premières : Cas de l'entreprise Ifri Béjaïa Algérie

Ait Habib N., Bouhali S., Aiane N. et Aïssani D.

E-mail : lamos_bejaia@hotmail.com

E-mail : aianenedjma@hotmail.com

Résumé L'entreprise Ifri est une entité économique de l'agro-alimentaire financièrement indépendante, elle possède un volume important de matières premières afin d'assurer sa capacité de production.

A cet effet, il y a lieu de déterminer les quantités à stocker de chaque produit (matière première) et les ordres de lancement de ces commandes.

Dans ce travail, nous avons proposé un modèle linéaire, pour la détermination des quantités optimales à commander de chaque concentré ainsi qu'un plan optimal des ordres de lancement de ces commandes.

Nous avons pris comme objectif la minimisation des quantités des matières premières à stocker sous des contraintes de capacité de stockage. A la fin, nous présentons une approche de résolution basée sur l'algorithme du Simplex et l'algorithme de Branch and Bound en utilisant le solveur CPLEX. Un plan optimal pour le stockage des concentrés de boisson a été dégagé.

Mots clefs : Gestion des stocks, Optimisation combinatoire, Programmation linéaire, Modélisation, CPLEX.

8.1 Introduction

Comme nous le savons, toute entreprise possède des stocks pour plusieurs raisons tel que la satisfaction de la demande de sa clientèle, éviter les pénuries et assurer la continuité de sa production. Mais le stock présente aussi un inconvénient majeur pour l'entreprise car il présente un capital immobilisé et nécessite des coûts pour son entretien. C'est pour cela que chaque entreprise cherche à déterminer la quantité optimale à stocker en faisant appel aux spécialistes de la recherche opérationnelle.

Les problèmes de gestion des stocks constituent une part importante des recherches dans le domaine de la recherche opérationnelle, en effet, il existe plusieurs travaux de recherche traitant cette problématique [8, 9, 11, 12] en utilisant diverses méthodologies tel que : l'optimisation combinatoire [6], la modélisation multicritère, la programmation stochastique, la théorie des files d'attente ou la simulation.

L'objectif de ce travail est d'apporter des solutions et des éléments de réponse à une (ou plusieurs des) préoccupation(s) de l'entreprise, en s'inspirant d'un cas d'étude réel qu'est l'entreprise Ifri de Béjaïa (Algérie), cette dernière est une entité économique de l'agro-alimentaire financièrement indépendante, elle possède un volume important de matières premières afin d'assurer sa capacité de production. Vue l'existence des stocks au sein de l'entreprise Ifri et son importance pour la continuité de son fonctionnement, une étude par les spécialistes de la recherche opérationnelle doit être effectuée en appliquant une méthode de gestion des stocks rigoureuse afin de mieux gérer les stocks de cette entreprise. En effet, il existe plusieurs travaux établie par l'unité de Recherche LaMOS (Modélisation et Optimisation des Systèmes) s'inscrivant dans le même cadre d'étude [1, 2, 3, 4, 5, 7, 10].

Pour mieux gérer les stocks détenus par l'entreprise Ifri, nous avons modélisé ce problème par un programme linéaire en nombre entier, dont la solution vise à trouver un niveau minimum à avoir en stock et déterminer les moments et les quantités optimales à commander afin d'éviter les ruptures de stock et la périssabilité des produits. Cette étude est établie sur l'une des matières premières (les concentrés de boissons) stockées par l'entreprise Ifri. Ce choix peut être expliqué par le fait que ces concentrés constituent la matière première la plus importante dans le processus de fabrication des boissons.

Cet article est organisé comme suit : Dans la section 2, nous exposons la problématique dégagée. Dans la section 3, nous proposons une approche de résolution pour traiter le problème de la gestion des stocks rencontré au niveau de l'entreprise Ifri. Une modélisation du problème dégagé sous forme d'un programme linéaire en nombres entiers sera établie dans la section 4. Dans la section 5, nous exposons les résultats obtenus via le solveur CPLEX, suivi d'une analyse et d'une interprétation de ces résultats dans la section 5. Nous concluons par quelques perspectives éventuelles en développement du travail présenté dans cet article.

8.2 Position du problème

La gestion des stocks tente de réaliser l'équilibre entre deux impératifs apparemment contradictoire, d'un côté, un niveau élevé des stocks entraîne des coûts élevés de stockage. On a donc tendance à réduire le niveau moyen des stocks, car ces stocks représentent une immobilisation du capital, de l'autre côté, un niveau faible des stocks augmente le risque de rupture et peut provoquer l'arrêt de production, le client souhaite que sa demande soit satisfaite dans les délais et conçoit difficilement l'absence de stock. Pour le satisfaire, on a tendance à augmenter le niveau du stock.

Le but de la gestion des stocks est justement de déterminer les moments et les quantités optimales afin de satisfaire la demande des clients en minimisant les coûts en tenant compte de la capacités des chambres froides, de saisonnalité de consommation, des délai d'approvisionnement par matière et la durée de vie de ces dernières. Les modèles d'optimisation stochastique ainsi obtenus sont souvent très complexes et ne peuvent être résolus que de façon approximative. Enfin, de nombreuses autres caractéristiques peuvent venir enrichir les modèles considérés : le délai de livraison connu ou aléatoire, la capacité de stockage et de production limitée et le budget accordé.

Le problème dégagé au niveau de l'entreprise Ifri, Béjaia (Algérie) consiste à déterminer les quantités optimales qu'il faut commander de chaque concentré afin de définir un plan des ordres de lancement des commandes en minimisant le stock. Autrement dit, comment assurer l'approvisionnement en continu pour assurer le fonctionnement de la chaîne de production sans qu'il y ait perte des concentrés en raison de leurs dates de péremption.

Cet objectif doit être atteint au minimum tout en respectant les contraintes liées à la capacité de stockage, les dates de péremptions des concentrés et éviter la rupture du stock.

8.3 DESCRIPTION ET MODELISATION DU PROBLEME

8.3.1 Description du problème

Le problème formulé est établi en s'inspirant d'un cas d'étude réel, celui de l'entreprise Ifri/Béjaia produisant pour le marché algérien. Ce problème tient compte des facteurs suivants : les quantités initiaux de stock de chaque concentré, la quantité à consommer, la durée de vie, le stock visé pour chaque concentré et la capacité de stockage de la chambre froide.

Les décisions à prendre concernent :

- Les quantités à commander de chaque concentré durant chaque semaine,
- Le moment de lancement de ces commandes.

Le problème de gestion des stocks de matière première (concentrés de boisson) est formulé en un programme linéaire en nombres entiers, qui vise à minimiser la quantité stockée des concentrés pendant une période du temps.

8.3.2 Formulation du problème

Détermination des variables de décision

Les variables de décision sont définies comme suit :

$x_{i,j}$: la quantité du concentré i à commander à la semaine j .

i : le i^{me} concentré, $i = \overline{1, 9}$.

j : la j^{me} semaine, $j = \overline{1, 70}$.

On distingue deux formes de désignes pour les concentrés, les concentrés : dont la forme est conique sont défini dans le tableau 1, ceux de la forme cylindrique sont défini dans le tableau 2.

Variabes	Désignation (conique)
$x_{1,j}$	La quantité à commander du Pulpes Cellule d'Orange/Ifruit pendant la j^{me} semaine.
$x_{2,j}$	La quantité à commander du concentré de Jus De Citron pendant la j^{me} semaine.
$x_{4,j}$	La quantité à commander du concentré de Raisin Mûre pendant la j^{me} semaine.

TABLE 8.1: Les variables de décision dont la forme est conique.

Remarque : Nous considérons que toute les quantités commandées sont réceptionnées le 31/12/2018 pour chaque concentré i , et la première commande sera lancée à partir de 01/01/2019.

L'objectif

Ce sont les buts visés par l'entreprise, qui sont représentés par une ou plusieurs fonctions. Dans le cas de l'entreprise Ifri, le but visé est la minimisation de la quantité stockée des concentrés pendant une période du temps.

Variabes	Désignation (cylindrique)
$x_{3,j}$	La quantité à commander du concentré d'Orange A47 ° BRIX/IFRUIT pendant la $j^{gr\grave{a}veme}$ semaine.
$x_{5,j}$	La quantité à commander du concentré d'Orange Carotte Citron pendant la j^{me} semaine.
$x_{6,j}$	La quantité à commander du concentré de Pomme Fraise Au Lait pendant la j^{me} semaine.
$x_{7,j}$	La quantité à commander du concentré de Multiifruit Cocktail pendant la j^{me} semaine.
$x_{8,j}$	La quantité à commander du concentré d'Orange Pêche pendant la j^{me} semaine.
$x_{9,j}$	La quantité à commander du concentré de Pêche Abricot pendant la j^{me} semaine.

TABLE 8.2: Les variables de décision dont la forme est cylindrique.

$$\min Z = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{70} x_{i,j}$$

Détermination des contraintes du problème

Les contraintes déterminent les conditions à respecter en prenant en considération les exigences et les moyens dont on dispose. Elles délimitent l'espace des solutions réalisables.

1. Contrainte liée au stockage :

L'entreprise *ifri* dispose de sept chambres froides, de capacité totale de stockage est notée par C_p .

Cette famille de contraintes assure que la quantité commandée et stockée dans la chambre froide et ne doit pas dépasser sa capacité de stockage qui est égale à 5921500 Kg.

$$\sum_{i=1}^9 (x_{i,j} + S_{i,j}) \leq 5921500, \quad j = \overline{1,70} \quad (8.1)$$

$x_{i,j}$: la quantité à commander du concentré i à la j^{me} semaine.

$S_{i,j}$: la quantité du stock initial du concentré i à la j^{me} semaine.

2. Contrainte liée à la consommation :

Sachant que les concentrés sont périssables, alors la durée maximale de la consommation du concentré i dans le stock ne doit pas dépasser sa durée de péremption.

$$x_{i,j} + S_{i,j} \leq \sum_{k=j}^{DV_i} C_{i,k}, \quad i = \overline{1,9} \quad (8.2)$$

$x_{i,j}$: la quantité à commander du concentré i à la j^{me} semaine.

$S_{i,j}$: la quantité du stock initial du concentré i à la j^{me} semaine.

DV_i : la durée de vie du concentré i .

$C_{i,j}$: la quantité à consommer de concentré i pendant la j^{me} semaine.

3. Contrainte liée à la rupture :

Si le point de commande est bien déterminé et les quantités commandées arrivent au délai d'approvisionnement, aucune rupture ne sera dans le stock.

$$x_{i,j} + S_{i,j} - V_{i,j} \geq C_{i,j}, \quad i = \overline{1,9} \quad (8.3)$$

$S_{i,j}$: le stock initial du concentré i à la j^{me} semaine.

$C_{i,j}$: la quantité à consommer du concentré i à la j^{me} semaine.

4. Contrainte de non négativité

$$x_{i,j} \geq 0; \quad (8.4)$$

8.3.3 Forme générale du problème

La forme générale du problème s'écrit comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Z = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{70} x_{i,j} \\ sc \\ \sum_{i=1}^9 (x_{i,j} + S_{i,j}) \leq C_p, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{i,j} + S_{i,j} \leq \sum_{k=j}^{DV_i} C_i, \quad i = \overline{1,9} \\ x_{i,j} + S_{i,j} - V_{i,j} \geq C_{i,j}, \quad i = \overline{1,9} \\ x_{i,j} \geq 0 \text{ entier;} \end{array} \right.$$

8.4 EXPERIMENTATION ET RESOLUTION

8.4.1 Présentation des données

Pour étudier le fonctionnement, nous avons eu recours au service de stock dans le but d'évaluer la capacité de stockage pour chaque concentré.

Les données relatives aux prévisions statistiques de la consommation des concentrés et la capacité de stockage sont représentées par l'historique de la figure 1. Ces dernières étaient recueillies au niveau de la direction industrielle (planification et ordonnancement) de l'entreprise Ifri. Les prévisions statistiques sont obtenues avec Excel.

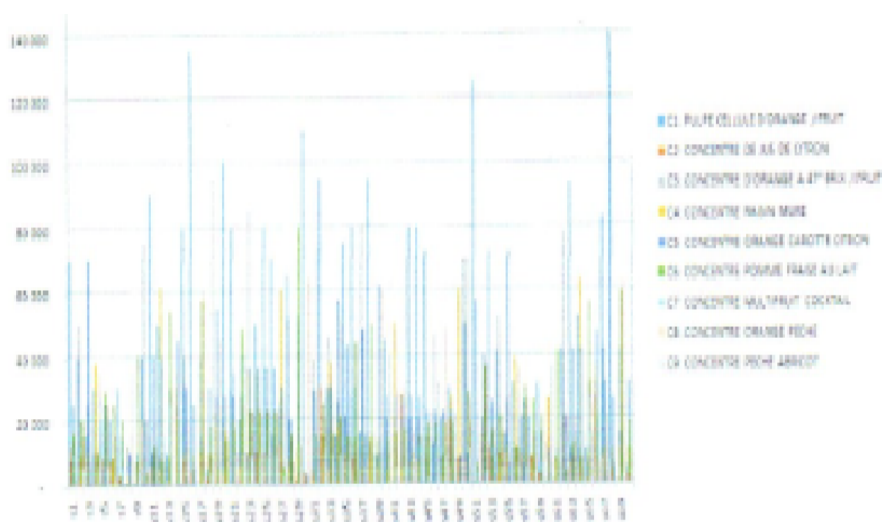


FIGURE 8.1: Prévisions statistiques de la consommation des concentrés pour l'année 2019, 2020.

8.4.2 Modélisation du problème

Notre objectif est de déterminer les quantités optimales à commander de chaque concentré $x_{i,j}$ et un plan optimal de lancement des commandes des produits.

Soient $x_{i,j}$; $i = \overline{1,9}$, $j = \overline{1,70}$ la quantité du concentré i à commander à la semaine j .

Sachant que tous les concentrés sont périssables, mais cette contrainte n'a pas été intégrée vue que tous les produits sont consommables, le modèle s'écrit alors sous la forme suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Z = x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + \dots + x_{1,70} + \dots + x_{9,1} + \dots + x_{9,70} \\ sc \\ (x_{1,j} + S_{1,j}) + (x_{2,j} + S_{2,j}) + \dots + (x_{8,j} + S_{8,j}) + (x_{9,j} + S_{9,j}) \leq 5921500, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{1,j} + S_{1,j} - V_{1,j} \geq C_{1,j}, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{2,j} + S_{2,j} - V_{2,j} \geq C_{2,j}, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{3,j} + S_{3,j} - V_{3,j} \geq C_{3,j}, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{4,j} + S_{4,j} - V_{4,j} \geq C_{4,j}, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{5,j} + S_{5,j} - V_{5,j} \geq C_{5,j}, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{6,j} + S_{6,j} - V_{6,j} \geq C_{6,j}, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{7,j} + S_{7,j} - V_{7,j} \geq C_{7,j}, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{8,j} + S_{8,j} - V_{8,j} \geq C_{8,j}, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{9,j} + S_{9,j} - V_{9,j} \geq C_{9,j}, \quad j = \overline{1,70} \\ x_{1,j}, \dots, x_{9,j} \geq 0, \quad \text{entier;} \end{array} \right.$$

8.5 RESULTATS OBTENUS

Pour trouver une solution optimale, nous avons utilisé le solveur CPLEX, qui est l'un des solveurs les plus performants spécialisé dans la programmation linéaire.

La solution optimale donnée par le solveur figure dans les tableaux 3 et 4 résumant les différentes quantités à commander de chaque concentré à chaque semaine avant l'ordre de lancement.

$j \setminus i$	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s10	25000	0	58400	0	0	0	0	0	0
s11	61000	0	0	0	40000	0	0	0	9060
s12	0	11000	28400	75760	37000	0	0	0	9060
s13	0	0	41400	33760	9000	0	14560	0	9060
s14	114000	21160	17400	69760	49000	0	0	0	0
s15	74000	0	43400	0	1000	0	0	44920	0
s16	62000	0	0	0	26000	0	0	0	89060
s17	0	320	22900	17240	47000	58900	0	92400	21700
s18	0	4820	0	12400	14000	0	0	0	124860
s19	35000	25320	41400	18560	50000	0	5560	17860	0
s20	131000	0	20900	15720	0	31640	5560	0	0
s21	1000	0	81900	31880	58250	36220	24310	0	0
s22	0	13480	9900	45040	51500	46880	9060	13100	20820
s23	61000	5640	67400	16360	36000	540	16560	24840	1980
s24	99000	15640	0	0	24250	23040	1310	23580	23230
s25	58000	6300	0	19520	30250	6620	4060	2820	1390
s26	65000	14800	6400	3680	26250	21620	4060	3920	1390
s27	0	0	5400	74680	48500	62700	9560	1270	0
s28	98000	0	43400	0	0	8440	8560	68820	0
s29	0	0	0	0	55500	88440	34060	2490	55140
s30	142000	25460	0	0	0	0	9910	75090	17120
s31	0	9370	74600	6460	14000	0	30910	0	97280
s32	28000	36320	0	37460	18000	8760	11510	30610	0

TABLE 8.3: Les différentes quantités à commander de chaque concentré à chaque semaine avant l'ordre de lancement.

s33	14200	0	56100	26480	67000	13260	18310	25850	17420
s34	54800	0	0	0	52000	40840	0	37240	11580
s35	83000	0	66500	3640	38000	0	7710	0	4240
s36	111000	0	0	21640	0	71500	560	0	6740
s37	0	940	80400	13550	57000	0	25060	10120	21740
s38	60000	4440	0	0	0	33240	0	15320	39900
s39	0	1540	0	45210	77000	0	1560	79960	0
s40	0	23940	8400	0	0	0	0	0	41220
s41	0	2600	28400	48280	24000	0	9560	23680	0
s42	53000	37100	24400	0	27000	13300	21560	1120	0
s43	154700	0	10200	0	25500	2730	2560	0	0
s44	2000	0	56700	0	24000	26780	18560	0	10040
s45	14500	0	7000	0	18000	28560	0	32920	42540
s46	0	0	48900	10600	16500	25890	2560	16760	30110
s47	0	0	0	78600	1000	4470	7560	50550	58270
s48	28000	22420	29600	10440	10500	32470	9560	0	2750
s49	99000	0	400	43240	53500	0	21560	0	51500
s50	53000	3580	90400	0	46500	40880	1560	29880	0
s51	152200	0	0	0	71750	0	4880	0	0
s52	0	22600	0	0	0	43410	10160	39990	0
s53	12200	0	1920	0	40750	0	22760	0	0
s54	0	10960	63840	15740	0	0	0	12200	0
s55	0	0	0	0	65000	5110	4280	4060	20700
s56	19200	0	0	32640	0	41650	6920	50480	16460
s57	15800	0	0	0	0	38920	12680	0	0
s58	0	9280	0	8980	0	0	0	0	2760
s59	2200	22480	0	10540	0	28210	0	0	8040
s60	12800	0	62160	33420	0	0	0	24960	59740
s61	82400	35200	0	0	30000	43120	0	9780	0
s62	104000	4960	75600	27180	58500	0	0	26500	5000
s63	70400	8160	0	14700	62500	35140	17240	33980	20620
s64	0	0	0	92700	37500	8050	14120	0	0
s65	0	40800	11040	0	10250	56980	19400	46520	0
s66	12840	5600	36000	0	52000	0	0	0	0
s67	91600	8960	40320	0	4000	0	0	50920	0
s68	58000	0	0	0	30000	14770	0	0	82160
s69	0	0	0	0	0	52780	0	55760	0
s70	0	0	0	0	11250	0	0	0	93800

TABLE 8.4: Les différentes quantités à commander de chaque concentré à chaque semaine avant l'ordre de lancement.

Une fois que les quantités à commander pour chaque concentré sont déterminés, nous devons déterminer les dates de lancement des commandes en se basant sur les cycles d'approvisionnement Les résultats sont résumés dans les tableaux 5 et 6.

$j \setminus i$	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
s1	25000	11000	58400	75760	0	0	14560	0	9060
s2	61000	0	0	33760	40000	0	0	0	9060
s3	0	21160	28400	69760	37000	0	0	0	9060
s4	0	0	41400	0	9000	58900	0	44920	0
s5	114000	0	17400	0	49000	0	0	0	0
s6	74000	320	43400	17240	1000	0	0	92400	890600
s7	62000	4820	0	12400	26000	31640	5560	0	21700
s8	0	25320	22900	18560	47000	36220	5560	17860	124860
s9	0	0	0	15720	14000	24310	0	0	0
s10	35000	0	41400	31880	50000	540	9060	0	0
s11	131000	13480	20900	45040	0	23040	16560	13100	0
s12	1000	56400	81900	16360	58250	6620	1310	24840	20820
s13	0	15640	9900	0	51500	21620	4060	23580	1980
s14	61000	6300	67400	19520	36000	62700	4060	2820	23230
s15	99000	14800	0	3680	24250	8440	9560	9320	1390
s16	58000	0	0	74680	30250	8844	8560	1270	1390
s17	65000	0	6400	0	26250	0	34060	68820	0
s18	0	0	5400	0	48500	0	9910	2490	0
s19	98000	25460	43400	0	0	8760	30910	75090	55140
s20	0	9370	0	6460	55500	13260	11510	0	17120
s21	142000	36320	0	37460	0	40840	18310	30610	97280
s22	0	0	74600	26480	14000	0	0	25580	0
s23	28000	0	0	0	18000	71500	7710	37240	17420
s24	14200	0	56100	3640	67000	0	560	0	11580
s25	54800	0	0	21640	52000	33240	25060	0	4240
s26	83000	940	66500	13550	38000	0	0	10120	6740
s27	111000	4440	0	0	0	0	1560	15320	21740
s28	0	1540	80400	45210	57000	0	0	79960	39900
s29	60000	23940	0	0	0	13300	9560	0	0
s30	0	2600	0	28280	77000	2730	21560	23680	41220
s31	0	37100	8400	0	0	26780	2560	1120	0
s32	0	0	28400	0	24000	28560	18560	0	0
s33	53000	0	24400	0	27000	25890	0	0	0
s34	157500	0	10200	0	25500	4470	2960	32920	10040
s35	2000	0	56700	10600	24000	32470	7560	16760	42540

TABLE 8.5: Les ordres de lancement des quantités à commander de chaque concentré.

s36	14500	0	7000	78600	18000	0	9560	50550	30110
s37	0	22420	48900	10440	16500	40880	21560	0	58270
s38	0	0	0	43240	1000	0	1560	0	2750
s39	28000	3580	29600	0	10500	43410	4880	29880	51500
s40	99000	0	400	0	53500	0	10160	0	0
s41	53000	22600	90400	0	46500	0	22760	39990	0
s42	152200	0	0	0	71750	5110	0	0	0
s43	0	10960	0	15740	0	41650	4280	12200	0
s44	12200	0	1920	0	40750	38920	6920	4060	0
s45	0	0	63840	32640	0	0	12680	50480	20700
s46	0	0	0	0	65000	28210	0	0	16460
s47	19200	9280	0	8980	0	0	0	0	0
s48	15800	22480	0	10540	0	43120	0	0	2760
s49	0	0	0	33420	0	0	0	24960	8040
s50	2200	35200	0	0	0	35140	0	9780	59740
s51	12800	4960	62160	27180	0	8050	17240	26500	0
s52	82400	8160	0	14700	30000	56980	14120	33980	5000

TABLE 8.6: Les ordres de lancement des quantités à commander de chaque concentré.

8.6 ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Après 630 itérations, le solveur CPLEX, nous a fourni les quantités optimales à commander de chaque concentré durant chaque semaine ainsi qu'un plan optimal des ordres de lancement de ces commandes. A titre d'exemple, d'après le tableau 5, on constate que l'entreprise Ifri doit commander 25000 unités de la pulpe cellule d'orange ifruit durant la première semaine et qui sera reçu à la dixième semaine (tableau 3).

Les quantités à commander de chaque concentré avant les ordres de lancement des commandes durant chaque semaine sont présentés dans les tableaux : Tableau 3 et Tableau 4.

Les ordres de lancement des quantités à commander de chaque concentré durant chaque semaine sont présentés dans les tableaux : Tableau 5 et Tableau 6.

La quantité optimale engendrée par la solution trouvée est égale à $Z^* = 8063730$ unités.

Afin de déterminer un plan optimal pour les quantités à commander pour chaque concentré des boissons, nous avons utilisé le logiciel CPLEX, qui est l'un des solveurs les plus performants spécialisé dans la programmation linéaire.

Après avoir introduit les données du problème (la consommation, le stock visé, le délai d'approvisionnement) ainsi que les contraintes et la fonction objectif à minimiser, après 630 itérations, le solveur CPLEX nous a fourni les quantités à commander illustrés par les tableaux 3 et 4.

8.7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans notre travail, nous avons appliqué une des méthodes de recherche opérationnelle, afin de gérer le stock des matières premières au niveau de l'entreprise Ifri (Algérie). La modélisation par la programmation linéaire avec des variables entières nous a permis d'améliorer la gestion des stocks des matières premières, en obtenant les quantités à commander de chaque concentré durant chaque semaine, ainsi que les ordres de lancement de ces commandes sous contrainte de stockage.

Il serait intéressant de poursuivre ce travail qui s'inscrit dans le cadre de la gestion des stocks et planification et ordonnancement de l'entreprise Ifri, en appliquant une autre approche et en réalisant une étude comparative. On peut également considérer d'autres matières premières et l'application de la programmation (linéaire) stochastique.

Références

1. Aïssani D., Aoudia Z., Allab D. and Hammami N. (2016) 'Gestion de la Production et Optimisation de la Distribution : cas de l'entreprise CANDIA Bejaia (Algerie)', 10ème Conférence Internationale de MODélisation, Optimisation et SIMulation - MOSIM' 16. 22 au 24 AOUT 2016 .Montral, Canada.
2. Ait Habib, N. et Bouhali, S. (2019) Gestion des stocks des matières premières : Cas de l'entreprise Ifri. Memoire de Master, Université de Béjaia, Algérie.
3. Amraoui, A. and Ouakli, F. (1999) Modèle de Prévision à Court Terme des Commandes de Voitures Touristiques et Utilitaires et Modélisation par Simulation de la Gestion des Stocks au sein de la SIMB, Algérie. Mémoire fin d'études ingénieur, Université de Bejaia, Béjaia, Algérie.
4. Anabi, D. and Djema, N. (2016) Gestion des Stocks des Pièces de Rechange cas : RTC-Sonatrach, Bejaia (Algerie). Mémoire de Master, Université de Béjaia, Algérie.
5. Bernine, N. et Guechari, E. (2004) Planification Multicritère de la Gestion de Production au Niveau de la SARL Ifri (Algerie). Memoire d'Ingéniorat en Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, Algérie.
6. Hadley, G. (1983) Linear programming. Addison-Wesly Publishing Company.
7. Hassaini, K., Kernou, F., Aoudia, Z. and Aïssani, D. (2004) Calcul et détermination des besoins en composants produits Candia au niveau de l'entreprise Tchilait/Candia, Rapport interne, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia.
8. Harris, F.W. (1913) 'How Many Parts to Make at Once', *Factory (The Magazine of Management)*, Vol. 10, No. 2, pp. 135–136.
9. Mouhoubi, Z. and Aïssani, D. (2007) 'Stability of the Inventory-Backorder Process In the (R, S) Inventory Production Model', *Pliska. Stud. Math. Bulgar*, Vol. 18, No. 1, pp. 255–270.
10. Oubraham, S. et Toufouti, S. (2016) Réapprovisionnement en Matières Premières : Cas de la SARL Ramdy. Mémoire de Master, Université de Béjaia, Béjaia, Algérie.
11. Rabta, B. and Aïssani, D. (2005) 'Estimate of the Strong Stability in an (R, s, S) Inventory Model', *Journal of Mathematical Sciences*, Vol. 131, No. 3, pp. 5669–5673.
12. Scarf, H. (1960) 'The Optimal of (s, S) Policies in the Dynamic Inventory Problem', in *Mathematical Methods in the Social Sciences*, A. et al (Eds.), Stanford Press, pp. 196–202.

Application des flux tendus à la gestion du stock tampon de l'atelier process : cas de l'entrepris Danone Djurdjura Algérie

Hidja H. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com

Résumé L'évolution de la logistique vers ce que nous appelons la supply chain s'accompagne de nombreux défis à relever en terme d'organisation pour une entreprise agro-alimentaire comme **Danone Djurdjura Algérie**. La problématique présentée dans notre travail concerne le problème d'un stock tampon qui alimente en matière première l'un des ateliers de production de l'entreprise dans un espace de temps restreint provoquant ainsi l'accumulation de la matière première sans qu'elle soit utilisée pendant cette période. Cette accumulation est à l'origine des coûts des pertes en ingrédients et des difficultés de gestion à ce niveau de la chaîne logistique.

La contribution de notre travail, pour parvenir à apporter des améliorations à ce stade de la chaîne, se traduit par l'introduction des méthodes de gestion de la production et d'organisation des stocks de matières premières ainsi que d'optimisation des espaces de stockage, à savoir les flux tendus qui s'insèrent dans la philosophie Juste à Temps. Ce mode de gestion permettra une fluidification de la circulation de la matière première et rendre l'accès facile au service qualité et le service performance lors des évaluations des inventaires de fin de mois.

Mots clés : Supply chain, Logistique, Stock tampon, Juste à Temps, Flux tendus, Matière première.

9.1 Introduction

L'entreprise agro-alimentaire **Danone Djurdjura Algérie**, comme toutes les entreprises industrielles, se trouve confrontée à une forte mutation de son environnement qui se traduit par une compétition devenue rude, un marché incertain, une clientèle de plus en plus exigeante sur le coût, la qualité du produit et les délais de livraison. Ces diverses contraintes imposent automatiquement une amélioration croissante de la productivité tout en recherchant une grande flexibilité des moyens de production afin d'adapter la capacité des systèmes productifs à des modifications de la demande et aux aléas internes du système productif.

En effet, face à la situation actuelle qui impose une qualité encore meilleure, des délais toujours plus courts, une fiabilité accentuée, les entreprises se sont alors orientées vers une réflexion bien plus globale : pourquoi, en effet, ne pas réfléchir au niveau des différents maillons de la chaîne logistique. L'importance stratégique de la fonction logistique n'est plus à démontrer et se traduit d'ailleurs par un rattachement croissant de cette fonction à la direction générale, et non plus à la direction production et/ou industrielle. Un autre indicateur est la professionnalisation croissante de la fonction logistique, illustrée par l'apparition de la fonction "**Supply Chain Management**".

Dans ce contexte de concurrence permanente, la supply chain doit adapter ces processus productifs aux flux tendus (tirés) dans le cadre de la philosophie Juste à Temps (JAT) [10], l'une des méthodes qui lutte contre toute forme de surplus de stocks et l'éradication des sources de gaspillage, développée au Japon dès la fin de la seconde guerre mondiale, afin de maîtriser les stocks intermédiaires entre les différents éléments (maillons) constitutifs de la chaîne, soit sous forme de produits finis, de matière première, ou bien de produits semi-fini, . . .

9.2 Danone Djurdjura Algérie

Les premiers contacts ont été effectués par Danone auprès de la PME algérienne à la fin de l'année 1999 en vue de la signature d'un accord de partenariat entre le groupe Danone et le groupe familiale Batouche spécialisé dans les produits laitiers frais. Les négociations ont donné lieu à la création d'une SPA de droit privé algérien dont le capital est détenu à 51 et 49% par les actionnaires de Djurdjura.

L'accord entre Danone et le groupe Batouche a donné lieu à une alliance stratégique entre une firme multinationale agro-alimentaire et un groupe familial algérien.

Aujourd'hui, la participation de Danone est portée à 95% contre 5% pour le groupe Batouche.

9.3 La logistique

Le concept de logistique, est apparu il y a fort longtemps. Les Égyptiens, lors de la construction des grandes pyramides, ont bien dû se poser des questions logistiques pour faire converger tous les composants nécessaires à la réalisation des travaux au bon moment [1].

C'est au début des années 1990, qu'on assiste à l'apparition de nouvelles méthodes et philosophies de gestion de l'entreprise, ainsi, qu'à l'actualisation d'autres méthodes plus anciennes et qui sont ancrées dans le milieu industriel. Ces changements ont engendré l'apparition de nouvelles terminologies comme supply chain, supply chain management. . .

Définition 9.3.1 [10] *le terme logistique décrit l'intégration de deux (ou plus) d'activités dans le but de planifier, mettre en oeuvre et contrôler un flux efficace de matières premières, produits semi finis ou finis, de leur point d'origine au point de consommation. Ces activités peuvent inclure le type de service offert par clients, la prévision de la demande, le contrôle des stocks, la maintenance des matériaux, le traitement des commandes, le service après vente et des pièces détachées, le choix des emplacements d'usines et entrepôts, les achats, les emballages, le traitement des marchandises retournées, la négociation ou la réutilisation des éléments récupérables ou mise à la ferraille, l'organisation du transport effectif des marchandises ainsi que l'entreposage et le stockage".*

9.3.1 La Supply Chain

Définition 9.3.2 (Supply Chain)

" Ensemble des processus requis, depuis l'acheminement des matières premières, jusqu'à la livraison de produits et services, et qui sont reliés d'un bout à l'autre de la chaîne afin de satisfaire les besoins des clients" [1].

La supply chain, englobe la gestion des flux **physiques** et des flux **d'information** tout au long de la chaîne logistique, depuis le fournisseur du fournisseur, jusqu'au client du client. Son rôle est **stratégique, tactique** par la définition des organisations à mettre en place pour piloter ces flux, et opérationnelle par la gestion des flux physiques des marchandises.

Définition 9.3.3 (Flux physique) *Concerne l'approvisionnement, entrée et circulation des matières premières, des composants, des pièces de rechange, des sous-ensembles, circulation, sortie et distribution des produits finis circulant entre les membres de la chaîne logistique [2].*

Définition 9.3.4 (*Flux d'information*) *Ce flux contient des données nécessaires au pilotage des flux physiques. La qualité d'échange d'informations entre les membres de la supply chain permet une meilleure circulation des dits flux, il concerne donc : le suivi des commandes, des ordres de fabrication, suivi des données techniques, suivi des heures de main d'oeuvre, des heures machines, des consommations de matières, des rebuts (activités de nulles valeur),. . . [2]*

9.4 Supply Chain Management (SCM)

Le Supply Chain Management ou gestion de la chaîne logistique constitue un enjeu prioritaire pour la productivité d'une entreprise. On cherche à fluidifier les flux circulant au sein de l'entreprise elle même ainsi que entre l'entreprise et son environnement. Pour cette raison, elle doit déterminer les outils et méthodes permettant d'améliorer l'approvisionnement en réduisant les stocks et les délais de livraison. Depuis peu la gestion de la chaîne logistique prend en compte les paramètres environnementaux qui entourent l'entreprise . On peut représenter trois types de l'organisation et de la chaîne logistique, qui correspondent le plus souvent à trois stades d'évolution d'une entreprise à partir de l'organisation traditionnelle.

9.4.1 Organisation fonctionnelle

Qualifié de type I, ce mode d'organisation privilégie dans l'organigramme les principales fonction verticales (achat/approvisionnement, fabrication, distributions) et revient à une organisation en "silos". Les différentes entités , notamment marketing/ vente et fabrication, travaillent d'une manière isolée et peu coordonnée. Les processus sont orientés avant tout vers l'exécution. Chaque fonction cherche à mettre en place des procédures opérationnelles qui garantissent une exécution la plus fiable possible. Le but ultime est d'obtenir les coûts, les délais de livraison et les cadences de produits prévus.

9.4.2 Supply Chain intégrée

A ce niveau II, les entreprises commencent à construire une organisation "orienté client". La focalisation à ce stade est le service au client, et non plus les optimisations fonctionnelles "locales ". Une culture prenant en compte les relations avec les clients et les fournisseurs internes se développent au sein de l'entreprise. L'ensemble des acteurs de l'entreprise commencent donc nécessairement à entrer dans une relation de collaboration.

9.4.3 Supply Chain étendue

Au stade III, les entreprises commencent à identifier des potentialités d'améliorations au travers d'approches coopératives, non seulement avec l'ensemble des fonctions de l'entreprise, mais aussi avec les acteurs externes à l'entreprise.

9.5 Les progiciels de gestion de la Supply Chain

Il existe plusieurs logiciels regroupés sous forme de progiciel pour gérer la chaîne logistique, parmi lesquels on peut citer :

1. Entreprise Ressource Planning (ERP) :

Les ERP qui signifient "planification des ressources de l'entreprise" et traduit en français par "progiciel de gestion intégré" (PGI). Ce type de logiciel correspond à une organisation au support de base capable d'assurer une "gestion intégrée", définie comme étant l'interconnexion et l'intégration de l'ensemble des fonctions de l'entreprise dans un système informatique centralisé.

2. Advanced Planning and Scheduling (APS) :

Planification de la chaîne logistique, les applications de type APS permettent à l'entreprise à la fois de planifier et d'optimiser les approvisionnements, les ressources de production, ..., en partant de la demande, c'est-à-dire la meilleure prévision possible. Ils désignent des progiciels décisionnels permettant de simuler et de synchroniser les flux de la chaîne logistique.

3. Supply Chain Execution (SCE) :

Exécution de la chaîne d'approvisionnement, est le flux des tâches impliquées dans la chaîne d'approvisionnement, telles que l'exécution des commandes, l'approvisionnement, l'entreposage et le transport, appliquer le logiciel SCE permet de suivre l'état physique des marchandises, la gestion des matières, et de l'information financière impliquant toutes les parties.

4. Manufacturing Execution System (MES) :

Est un système informatique dont les objectifs sont d'abord, de collecter en temps réel les données de production de tout ou partie d'une usine ou d'un atelier. Ces données collectées permettent ensuite de réaliser un certain nombre d'activités d'analyse : traçabilité, contrôle de la qualité, suivi de production.

5. Systems Applications and Products in data processing (SAP) :

L'entreprise Danone Djurdjura Algérie utilise SAP. C'est un système dans lequel les différentes fonctions de l'entreprise (comptabilité, finances, production, approvisionnement, marketing, ressources humaines, qualité, maintenance, ...) sont reliées entre elles par l'utilisation d'un système d'information centralisé.

9.6 Les outils d'amélioration de la Supply Chain

9.6.1 La méthode des 5S

La méthode « 5S » tire son nom de la première lettre de chacune des 5 opérations, qui en japonais commencent toutes par un **S**. C'est une véritable philosophie d'ordre et de propreté qui se peut se déployer dans chacune de nos industries, dans chacune de nos sociétés de service.

- **Seiri** ou débarrasser : éliminer de l'espace de travail ce qui n'y a pas sa place. Ne garder sur le poste de travail que les outils, les matériels qui servent.
- **Seiton** ou mettre en ordre : ranger les outils, les matériels sur le poste de travail, utiliser des méthodes visuelles, organiser de façon rationnelle le rangement, ce qui sert souvent, ce qui sert ponctuellement, ce qui est lourd, ce qui est petit, ...
- **Seiso** ou nettoyer : l'espace de travail rangé et organisé est facile à nettoyer.
- **Seiktsu** ou rendre évident, maintenir la propreté : les 5S ne sont pas une opération ponctuelle de nettoyage et de rangement, mais un état permanent d'un niveau de propreté, de rangement et d'organisation sur les postes de travail.
- **Shitsuke** ou rigueur : l'efficacité du 5S dépende de la rigueur avec laquelle il est appliqué. Auditer, contrôler les 4 premiers S.

9.6.2 Total Productive Maintenance (TPM)

Confier aux opérateurs la responsabilité de la maintenance de leur outil (d'où le terme productive) et faire ainsi la chasse aux pannes, aux temps d'arrêt. Cette méthode est à réserver aux outils les plus critiques. Elle nécessite de former les opérateurs à une polyvalence métier de production et d'entretien des outils (reconnaissance des multi-compétences).

9.6.3 Single Minute Exchange Die (SMED)

Réussir à changer d'outils sur une ligne de production en un temps record. Cette méthode de changement rapide d'outil a été mise au point chez TOYOTA dans le but final de pouvoir réduire les tailles de lot sans augmenter les coûts. Il faut se baser sur une analyse précise des processus pour pouvoir séparer les tâches internes (à faire machine à l'arrêt) des tâches externes (à faire machine en marche).

9.6.4 Les techniques de flux

Le supply chain management va définir pour chacun des articles ou pour chacune des familles d'articles la technique de flux la plus appropriée en fonction des objectifs visés (ventes, prévisions, stocks, processus de production, outils, ...).

- **Les flux poussés** : pour anticiper au maximum les commandes clients : une approche rationnelle de la régulation de la production consiste à suivre une démarche partant des prévisions de vente pour extrapoler des prévisions de production, ce qui permet de déduire les besoins nécessaires, machine par machine, à date optimale. Dans ce cas, les flux d'information et les flux physiques circulent dans un même sens. Cette méthode est mise informatiquement en oeuvre par des logiciels informatiques : ERP (Entreprise Resource Planning), MRP (material requirement planning [3, 9]).
- **Les flux tirés** : accélérer et tendre les flux, assurer une production juste à temps. Les objectifs du JAT [3] sont ambitieux : améliorer la compétitivité en réduisant les coûts tout en répondant aux clients et en éradiquant les sources de gaspillage et tout cela sans stocker. Dans ce cas, les flux d'informations et les flux physiques circulent dans un sens opposé. Sa mise en place requiert quelques conditions : il ne faut pas produire pour gonfler les stocks, donc il ne faudra jamais produire pour stocker mais seulement pour les commandes du client final ou les demandes du client interne aval.

9.7 Méthodes d'organisation des stocks

9.7.1 La méthode ABC

On l'appelle aussi méthode de Pareto ou des 20/80. Le principe de base est de classer les individus composant une population par ordre décroissant d'un critère simple ou de critères combinés. Tout cela part d'observations de l'économiste et sociologue italien Vilfredo Pareto sur la répartition du volume des impôts fonciers entre les contribuables. Il s'est aperçu que 80 % de cet impôt était payé par 20 % des assujettis.

● Procédure de la mise en place de la classification ABC :

1. **Définir l'étude** : On commence par définir l'objet de l'étude, c'est-à-dire la population concernée, le ou les critères à étudier.
2. **Classer le critère selon l'ordre décroissant** : On classe l'ensemble de la population selon l'ordre décroissant du critère.

3. **Calcul des cumuls** : On calcule la population cumulée et le critère cumulé.
4. **Calcul des pourcentages cumulés** : On calcule les pourcentages cumulés de la population et du critère.
5. **Définition des zones A, B et C** :

Classes et pourcentages	A	B	C
% de la population cumulée	10 à 20%	30 à 40%	40 à 50%
% du critère cumulé	70 à 80 %	15 à 20 %	5 à 10 %

Table 1 - Procédure de la classification

9.7.2 Le Juste à Temps (JAT)

Chaque entreprise est unique de par son organisation et la spécificité des produits qu'elle fabrique. Une typologie de production (flux tirés ou flux poussés) est fondamentale, car elle conditionne le choix des méthodes de gestion de production qui sont les plus adaptées.

Le juste à temps, également nommée flux tendu ou zéro stock, est souvent présenté comme une nouvelle philosophie du management de la production et de la logistique. Les spécialistes japonais qui en sont à l'origine n'avaient pas pour objectif d'en faire une nouvelle philosophie, ils souhaitaient lutter contre le gaspillage des ressources, qu'il s'agisse de matière première, de temps ou d'espace. Le pilotage en flux tirés permettait de réduire les stocks, par conséquent, permettait de réduire les immobilisations financières et les surfaces consacrées au stockage.

Contexte et principes directeurs du JAT

L'idée de JAT germe chez Taiichi Ohno, dès la fin de la seconde guerre mondiale [10], alors que le Japon est très faible sur le plan industriel. Directeur de la fabrication chez Toyota, Ohno décide d'appliquer à la fabrication de l'automobile l'organisation logistique des supermarchés américains, où les clients se servent exactement de la quantité dont ils ont besoin et où les rayons sont réapprovisionnés en fonction des ventes.

L'objectif du JAT est de livrer au bon moment, c'est-à-dire ni trop tôt, ni trop tard, les composants ou les marchandises demandés par le client. Ni trop tôt pour éviter les stocks qui coûtent chers à l'entreprise, ni trop tard pour éviter les ruptures.

De façon générale, la philosophie a pour principe d'affirmer que la production doit être égale à tout moment à la demande et l'ultime objectif recherché est l'élimination des stock à tous les niveaux de la chaîne logistique.

9.8 Les éléments de l'étude

Notre étude sera basée sur une famille d'ingrédients résumé dans le tableau suivant là où nous avons indiqué leurs surfaces de stockage :

Ingrédient	Quantité	Espace occupé
Sucre	48 tonnes	35.28 m ²
Fibrigum	2 tonnes	3.12 m ²
Amidon Purity	3 tonnes	3.6 m ²
Poudre de lait	35 tonnes	33.6 m ²
Lactose alimentaire	2 tonnes	2 m ²
Amidon national	1 tonne	1.44 m ²
Cacao GT 50	0.7 tonne	1.03 m ²
Ing.danette	0.390 tonne	1.44 m ²
Citrate de calcium	0.405 tonne	1.7 m ²
Acide citrique	1 tonne	1.44 m ²
Goma Guar	0.1 tonne	1.44 m ²
CMC	1tonne	1.44 m ²
Ings.mini danette	0.575 tonne	1.5 m ²
Nutrilac 1110	1.050 tonne	1.5 m ²
Ing.activia boire	0.300 kg	0.8 m ²
Variolac	0.7 tonne	2 m ²
Thermtex	1 tonne	2.5 m ²

Table 2 – Surfaces détaillées des ingrédients

9.8.1 Résultats de l'application de l'analyse ABC

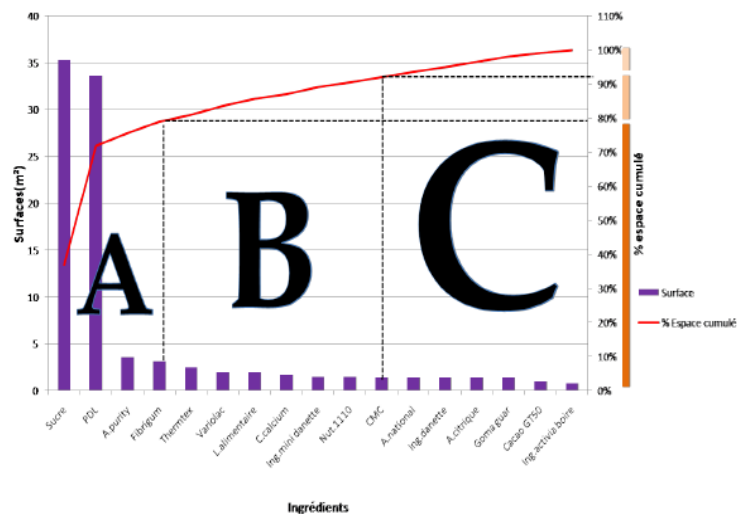


FIGURE 9.1: Analyse ABC.

- **La classe A** : Les ingrédients : sucre, poudre de lait, amidon purity, fibrigum qui représentent 23 l'ensemble des ingrédients, occupent à eux seuls 79 convient de prêter une attention particulière à ces ingrédients, de mieux les gérer.
- **La classe B** : 30% des ingrédients prennent 12
- **La classe C** : 42% de l'ensemble des ingrédients ne représentent que 9

Ingrédients	Classification A,B,C	Ingrédients	Classification A,B,C
Sucre	A	Nut.1110	B
PDL	A	CMC	C
Amidon Purity	A	A.national	C
Fibrigum	A	Ing.danette	C
Thermtex	B	A.citrique	C
Variolac	B	Goma guar	C
Lactose A.	B	Cacao GT50	C
C.calcium	B	Ing.activia boire	C
Ing.mini danette	B		

Table 3 – Classes des ingrédients

9.8.2 Les effets de l'augmentation de la production sur les surfaces de stockage

1. La poudre de lait

La zone destinée au stockage de la poudre de lait est d'une superficie de 34 :5 m², pour une commande d'environ 400t=j. Cet espace réceptionne alors chaque jour 35 tonnes. Le stock maximum de cet ingrédient est de 36 tonnes/j, pour une commande qui peut atteindre les 410 tonnes/j.

La zone de stockage sera encombrée de la matière première (poudre de lait) pour une commande qui varie entre 400 et 410 tonnes/j, au delà d'une commande de 410 tonnes/j la salle ne peut plus réceptionner la poudre de lait.

2. Le sucre

La zone destinée au stockage du sucre est d'une superficie de 36 m², pour une commande d'environ 400t=j. Cet espace réceptionne chaque jour 48 tonnes. Le stock maximum de cet ingrédient est de 49,2 tonnes/j, pour une commande qui peut atteindre les 410 tonnes/j. La zone de stockage sera encombrée de la matière première (sucre) pour une commande qui varie entre 400 et 410 tonnes/j, au delà de d'une commande de 410 tonnes/j, la salle ne peut plus réceptionner le sucre.

3. Fibrigum

La zone destinée au stockage de cet ingrédient est d'une superficie de 3 ; 12 m². Il est utilisé pour le poudrage de **Activia**. Cet espace réceptionne chaque jour 2 tonnes pour une commande en moyenne de 180t=j. Le stock maximum est 2 :5 tonnes pour une commande de 200 tonnes du produit fini. Une augmentation de la production de **Activia** va engendrer un débordement de la matière première.

4. Amidon purity

La zone destinée au stockage de cet ingrédient est d'une superficie de 3 :6 m². L'Amidon purity est utilisé pour le poudrage de **Dan'up et Fruix**. Cet espace réceptionne chaque jour 3 tonnes pour une commande en moyenne de 50 tonnes, c'est à dire 20 tonnes du produit **Dan'up** et une moyenne de 30 tonnes du produit **Fruix**. Une augmentation de production de l'un de ces produits va engendrer un encombrement de l'espace et au delà de ces 50 tonnes du produit fini, il y aura impossibilité d'alimentation de la matière première nécessaire pour le poudrage.

9.8.3 Coûts des déclassements

1. **Coûts des ingrédients poudre** : sont évalués à 182754 DA, soit 22% du coût total des pertes.
2. **Coûts des ferments et vitamines** : sont évalués à 283091.2 DA, soit 33% du coût total des pertes.
3. **Coûts des jus et arômes** : sont évalués à 382984.8 DA, soit 45% du coût total des pertes.

9.9 Application des flux tendus

Pour illustrer le fonctionnement et l'application de cette méthode, nous allons procéder comme suit : au lieu d'alimenter la salle de préparation des besoins en composants à la production de 24 heures sur un intervalle de temps qui s'étend sur 8 heures, c'est à dire de 08H à 16H30 et saturer les zones de stockage sans que ces quantités soient réellement consommées pendant cette période les magasiniers vont pouvoir le faire en 16h.

L'équipe de magasiniers qui travaille actuellement va être divisée en deux équipes, une équipe qui travaillera de 05H jusqu'à 13H et une autre équipe travaillera de 13H jusqu'à 21H.

La première équipe approvisionne pour la liste des ingrédients élaborée le (j-1) nécessaire pour le poudrage de 17H jusqu'à 05H, et qui devra aussi préparer la liste des ingrédients pour la deuxième équipe afin d'effectuer l'approvisionnement en matière première pour la période de production de 05H jusqu'à 17H.

9.9.1 Coûts supplémentaires de mise en place de la méthode flux tendu

- Coût de la main d'oeuvre : il y a six magasiniers qui assurent l'approvisionnement des trois ateliers de production par la matière première, le passage au flux tendu ne va pas influencer sur ce nombre car ils vont travailler en équipe. Cependant, ils vont recevoir une prime de 15% sur le salaire de base, soit 4500 DA chacun et par mois, pour la charge supplémentaire du travail.
- Les coûts de transport sont négligeables car il n'y a pas une distance importante qui sépare le MMP de l'unité de production. Le MMP utilise trois camions pour l'alimentation des ateliers, qui sont loués pour un mois et qui sont disponibles 24h/24h, et il n'y aura pas de coût supplémentaire sur le transport.
- Le matériel utilisé dans la salle (transpalette, chariots élévateurs), sera à la disposition des deux équipes. Par conséquent, ils n'auront pas à s'en procurer d'autre.

9.10 Résultats de l'application des flux tendus

1. La méthode des flux tendus appliquée à la gestion du stock tampon de l'atelier process a permis de réduire les stocks de la matière première. Les stocks des ingrédients relevés pendant la période du stage indiquent une saturation des zones qui réceptionnent les différents ingrédients utilisés.

Une augmentation de la production qui engendre un encombrement des zones de stockage sur 8 heures de réapprovisionnement, et voire même une impossibilité de réception de la matière première, avec la nouvelle gestion et l'alimentation sur 16H il y aura une possibilité

de réception de la matière première lorsque les commandes journalières dépasseront les 400 t/j.

2. Les flux tendus luttent contre toute forme de gaspillage au niveau de l'appareil de production. Les avantages financiers sont alors évidents, il n'y a aucun risque de détérioration des stocks, ce qui va minimiser les pertes en matière première. Cette méthode va considérablement réduire les coûts des déclassements. Les coûts de pertes des ingrédients poudre vont pouvoir être réduits de 22 par rapport au coût total des déclassements de la salle.
3. Les coûts supplémentaires de mise en place des flux tendus estimés à 108000 DA pour les quatre mois (Janvier, Février, Mars, Avril) du moment qu'on a estimé les coûts de pertes pour ces quatre mois.

Ce que l'entreprise investit financièrement pour cette stratégie, elle le récupère en minimisant les pertes et les gaspillages dans les ateliers de production avec l'application des flux tendus. Le coût total des pertes de l'atelier process avec la gestion actuelle pendant les mois de (Janvier, Février, Mars, Avril) sont à 848830 DA. Par conséquent, l'argent supplémentaire de la main d'oeuvre est récupéré en minimisant les pertes en ingrédients.

9.11 Conclusion

Nous nous sommes intéressés dans ce travail à l'un des maillons de la chaîne logistique portant sur l'organisation et la gestion des flux de matière première dans le processus de production avec un seul objectif : la réduction des quantités de matière première en stock et minimisation des coûts des pertes, et pour mener à bout ces objectifs notre étude s'est concentrée alors sur l'utilisation des méthodes de gestion de production dans le cadre du Juste à Temps (flux tendus) et d'analyse des stocks (ABC), après avoir relevé les données nécessaires.

Au terme de notre analyse, nous avons pu constater l'utilité de ces méthodes, étudiées au cours de notre formation dans le cadre des modules gestion de production et gestion des stocks, à travers les résultats satisfaisants obtenus avec une gestion flux tendus dont le principe est d'étendre l'alimentation en matière première sur 16H par rapport au mode de pilotage actuel basé sur l'approvisionnement en une seule fois sur 8H. Ces résultats se résument dans un premier temps, dans la baisse des niveaux de stocks des ingrédients qui était notre objectif dominant dans ce projet. Deuxièmement, l'élimination des gaspillages et des pertes en ingrédients au niveau de l'unité de production.

Références

1. A. Courtois, M. Pillet, C. Martin-Bonnefous, *Gestion de production*, Éditions d'Organisation, Paris Cedex, 2003.
2. A. EL Korchi, Conditions stratégiques d'émergence d'une reverse supply chain à des fins de remanufacturing chez le fabricant d'origine, Université de la méditerranée CRET LOG, France, 2010.
3. D. Medjani, *Contribution à la modélisation de la chaîne logistique à l'aide du calcul de besoin en composant (MRP)*, Mémoire de fin d'étude en Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2010.
4. D. Tixier, J. Colin, *La logistique au service de l'entreprise*, Paris : Dunod, 1983.
5. E. Havyarimana, J. A. Evard, *Le rôle du transport dans la supply chain*, Mémoire de fin d'étude en science économique, Université de Béjaïa, 2010.
6. F. Cheriet, *Analyse des alliances stratégiques entre FMN et PME : Cas de l'accord Danone Djurdjura en Algérie*, Thèse de Master of Science, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 2006.
7. J. M. Bomy, *Dimensionnement et pilotage des flux de produits*, Juillet 2007.
8. J. Vivens, *Les stocks*, Centre de ressources pour l'enseignement professionnel en économiegestion, juin 2006.

9. K. Hassaini, F. Kernou , *Calcul et détermination des besoins en composants des produits Candia au niveau de l'entreprise TCHIN-LAIT*, Mémoire de fin d'étude en Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2004.
10. P. Médan, A. Gratacap, *Logistique et supply chain management*, Paris : Dunod, 2008.
11. <http://www.businesspme.com/articles/production/85/la-methode-mrp.html>.
12. <http://www.danone.com/fr/outils/sites-du-groupe.html>.
13. http://www.cat-logistique.com/supply_chain.htm.
14. <http://www.cat-logistique.com/stocks.htm>.
15. http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Pareto.
16. D. Aïssani, *cours de TAGS (Techniques Avancées de Gestion des Stoks)*, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2012.

Gestion des stocks d'une famille de pièces de rechange : cas de l'entreprise Sonatrach Béjaïa, Algérie

Anabi D., Djema N., Aiane N. et Aïssani D.

E-mail : lamos_bejaia@hotmail.com

E-mail : aianenedjma@hotmail.com

Résumé Les problèmes de gestion des stocks restent parmi les plus étudiés par les spécialistes de la recherche opérationnelle vu que l'existence des stocks au sein de l'entreprise amène le gestionnaire à se poser la question sur le niveau optimal de ces derniers, en évitant à la fois le sur-stockage et le sous-stockage. Pour cela, le gestionnaire doit appliquer une politique (règle) de contrôle.

C'est le cas de l'entreprise Sonatrach où les responsables du service gestion des stocks des pièces de rechange au sein de cette entreprise envisagent une politique rigoureuse de gestion des stocks afin d'éviter les ruptures de stocks et le sur-stockage tout en minimisant le coût total de gestion. Dans ce travail, nous avons proposé les politiques de gestion des stocks adéquates tout en déterminant le modèle minimisant le coût total de gestion. Après avoir eu recours à une classification de tous les articles par la méthode ABC, nous nous sommes intéressés à une seule famille d'article pour lesquels nous avons effectué des prévisions sur la loi de la demande par la méthode de lissage exponentiel de Holt et Winters, pour déterminer enfin la politique de gestion de stock adéquate.

Mots clefs : Gestion des stocks, pièce de rechange, la demande, optimisation du coût, rupture, sur-stockage, prévision, modèle de stock.

10.1 Introduction

Les problèmes de gestion des stocks constituent une part importante des recherches dans le domaine de la recherche opérationnelle, en effet, depuis le travail introduit par Harris en 1913 [5] plusieurs travaux de recherche dans ce domaine ont vu le jour [6,8,9], cela peut être expliqué par le fait que les modèles de gestion des stocks contiennent un grand nombre de paramètres. En plus de cela, nous savons que l'existence des stocks au sein de l'entreprise amène le gestionnaire à se poser la question sur le niveau optimal de ces derniers, en évitant à la fois le sur-stockage et le sous-stockage [7]. Pour cela, le gestionnaire doit appliquer une règle de contrôle.

Parmi les principaux buts de chaque entreprise : la minimisation de ses coûts est pour cela, elle doit bien gérer ces stocks, car lorsque une entreprise stocke, cette dernière engage des dépenses pour acquérir des biens qui produiront des revenus qu'ultérieurement. Selon ce qu'elle stocke, en quelle quantité et suivant la durée, ces dépenses peuvent s'avérer conséquent, c'est pour cela qu'une méthode de gestion rigoureuse doit être appliquée par les spécialistes de la recherche opérationnelle.

En effet, il existe plusieurs travaux réalisés par l'unité de Recherche LaMOS (Modélisation et Optimisation des Systèmes) s'inscrivant dans le domaine de la recherche opérationnelle, qui visent à apporter des solutions et des éléments de réponse à une (ou plusieurs des) préoccupations de l'entreprise [1,2,3,4]. Ce travail a pour but la gestion des stocks des pièces de rechanges à la région de transport centre (RTC) de l'entreprise Sonatrach de Béjaïa.

Suite aux différents entretiens que nous avons eu au service gestion des stocks au sein de l'entreprise Sonatrach, nous avons constaté qu'une tenue du stock assistée par ordinateur existe. Cependant, sur le point de vue compréhension, il s'agit seulement d'une gestion intuitive qui est essentiellement basée sur l'expérience des responsables du service.

L'objectif de ce travail est d'appliquer une méthode de gestion rigoureuse à l'aide d'outils mathématiques dont la modélisation et les prévisions au stock de l'entreprise Sonatrach afin d'apporter une amélioration à la politique de gestion des stocks au sein de cette entreprise.

Cet article est organisé comme suit : Dans la section 2, nous exposons la problématique dégagée ainsi que l'approche que nous envisageons d'appliquer pour traiter le problème de la gestion des stocks des pièces de rechanges à la région de transport centre (RTC) de l'entreprise Sonatrach de Béjaia. Une modélisation du problème sera établie dans la section 3 via une étude statistique. Dans la section 4, nous déterminons enfin la politique de gestion des stocks adéquate à chaque article étudié. Nous concluons par quelques perspectives éventuelles en développement du travail présenté dans cet article suivi d'une annexe.

10.2 Position du problème

Le service gestion des stocks des pièces de rechange au niveau de l'entreprise nationale Sonatrach (plus exactement à la RTC - Direction Régionale Centre de Béjaia) gère près de 17 783 articles non périssables classés en deux catégories : les pièces de rechange et les pièces consommables, ces pièces sont stockées dans des hangars appartenant à l'entreprise. Nous avons constaté qu'une tenue du stock assistée par ordinateur existe. Cependant, aucune gestion scientifique des stocks n'est appliquée. Les responsables de la RTC envisagent une politique rigoureuse de gestion des stocks afin d'éviter les ruptures et les sur-stockages tout en minimisant les coûts encourus.

La problématique majeure à traiter concerne la détermination d'une politique de contrôle des stocks minimisant le coût total de gestion des stocks tout en évitant à la fois le sur-stockage et le sous-stockage. Pour ce faire, nous nous sommes seulement intéressés aux pièces de rechange. Cette intérêt porté à cette catégorie peut être justifié par leurs coûts élevés.

La famille de pièces de rechange étudiée dans ce travail est nommée la pompe Guinard. Les étapes de cette étude se résume comme suit : une classification ABC des articles de cette famille puis une étude statistique pour prévoir l'évolution future de la loi de la demande des articles de classe A et enfin la détermination du modèle de gestion de stock approprié.

10.3 Modélisation et application

Afin de déterminer le modèle de gestion des stocks minimisant le coût total et assurant en parallèle un niveau de service contre la pénurie, nous commençons tout d'abord par la collecte de données de la famille d'articles nommée la pompe Guinard. Les données utilisées sont annuelles et s'étalent sur une période allant de 2001 à 2015 selon l'historique de chaque article. Nous avons donc modélisé les données recueillies pour connaître l'évolution actuelle et future des articles spécifiés.

10.3.1 La classification ABC des articles de la pompe Guinard

Pour la détermination des pièces à étudier (Classe A), nous avons réalisé une analyse ABC sur les articles de la pompe Guinard, illustrée par la **Figure. 10.1**.

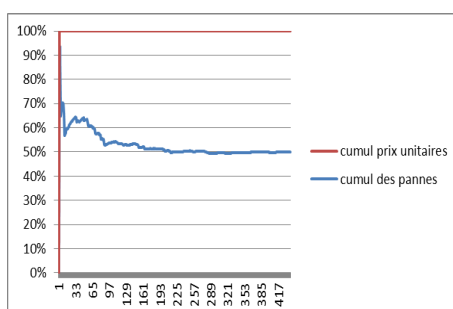


FIGURE 10.1: Classification ABC des articles de la pompe Guinard.

Pour avoir la courbe illustrée par la **Figure. 10.1**, nous avons trié les articles de la pompe Guinard par ordre décroissant de leur consommation traduit en pannes dans notre cas, puis nous avons tracé la courbe par rapport au cumul de leur panne et le cumul de leur prix. D'après la courbe de classification des articles de la pompe Guinard, on constate qu'il y a sept articles dans la classe A représentant 72 pour cent de la consommation totale de tous les articles. Les sept articles cités dans le **Tableau. 10.1** feront l'objet de notre étude.

Article	Libelle
724001690C	RONDELLE EN CUIVRE POUR VOLUTE (DVDS 14X14X16H FOLIO 177261)
724000360C	JOINT U NEOPRENE REP 645 (GM U 96-140)
724000340C	GRAIN FIXE AU CARBONE AVEC ERGOT D'IMMOBILISATION REP 644 (GM U 98-140)
724000250C	BAGUE TOURNANTE STELLITEE REP 640 (GM U 96-140)
724007270C	VIS DE FILTRE POMPE P21V
724000380C	JOINT TOURIQUE DE GRAIN FIXE REP 6440 (GM U 98-140)
724004150C	MANCHON COUSSIN ET TUBE HUILE REP 528 (VB 1150-25 2 ETAGES)

TABLE 10.1: Les sept articles de la classe A de la pompe Guinard.

10.3.2 Modélisation et approche de résolution

Il existe dans la littérature plusieurs modèles et approches de résolution permettant d'atteindre une politique de réapprovisionnement optimale, du moins satisfaisante. Le problème du choix d'une méthode consiste à déterminer le niveau de risque que le gestionnaire est prêt ou pas à prendre. En effet, l'approche anticipée des flux de sorties constitue le premier pilier de la gestion des stocks.

Sachant que le facteur décideur pour le système de stockage est la demande, donc une étude statistique s'impose pour prévoir au moins son évolution future.

Identification du modèle

Afin de déterminer la loi de la demande nous avons procédé par l'approche prévisionnelle, en utilisant le logiciel R, qui est spécialisé dans le calcul et l'analyse statistique. Il permet d'analyser les séries chronologiques des échantillons des articles, d'établir des prévisions sur leurs lois de demande et enfin de les valider ou pas en établissant un test d'ajustement.

Plus précisément, nous avons opté pour les méthodes de prévisions par lissage exponentiel, car elles fournissent de bons résultats en ce qui concerne les prévisions à court terme mais aussi elles présentent l'avantage de la simplicité dans leur mise en œuvre.

Dans la **Figure. 10.2**, nous présentons le graphe de la série originale de l'article 1 (rondelle en cuivre pour volute), nous constatons que ce graphe présente une tendance et une saisonnalité d'où le modèle de lissage exponentiel le plus approprié est le modèle de Holt-Winters.

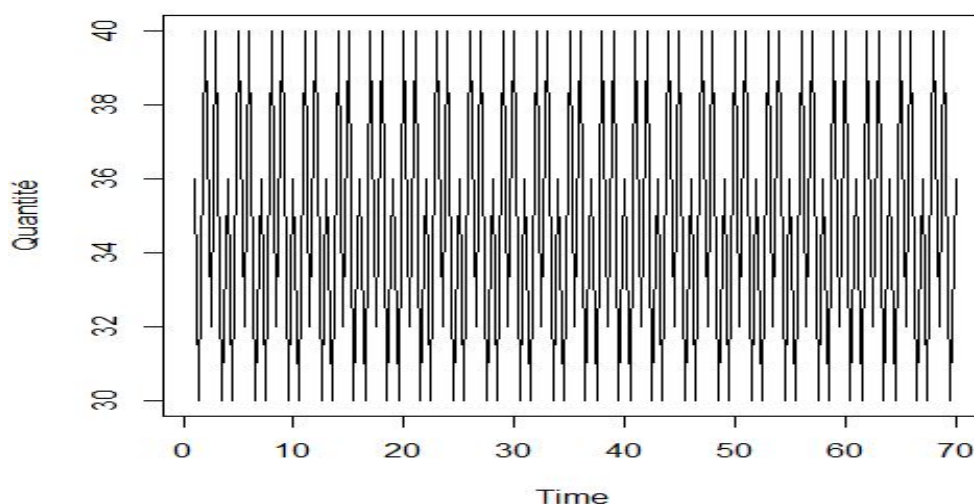


FIGURE 10.2: Graphe de la série originale de l'article 1 (rondelle en cuivre pour volute).

Les graphes des séries originales des six articles restant sont donnés en annexe, les six graphes montrent une tendance et une saisonnalité. Donc, le modèle de lissage exponentiel qui leur est adéquat est celui de Holt-Winters.

Le graphe de la série originale et de la série lissée de l'article 1 (rondelle en cuivre pour volute) est illustré par la **Figure. 10.3**.

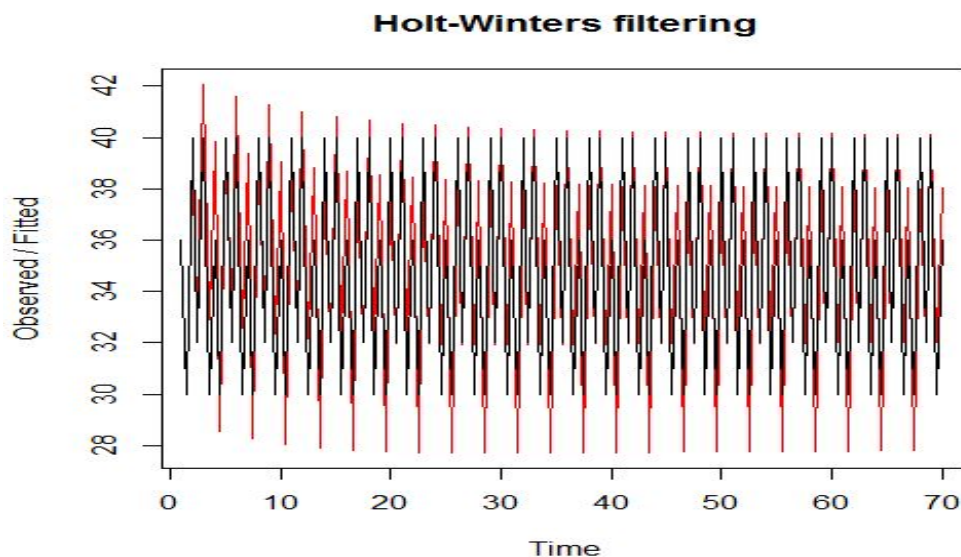


FIGURE 10.3: Graph de la série originale et la série lissée de l'article 1.

Après avoir effectué le lissage, la deuxième étape consiste à l'estimation des paramètres du modèle.

Estimation des paramètres de lissage

Les paramètres du modèle (Alpha, Beta et Gamma) pour chacun des articles de la classe A de la pompe Guinard sont déterminés à l'aide du logiciel R. Le **Tableau. 10.2** résume les différentes valeurs des paramètres du modèle pour les sept articles de la pompe Guinard.

Article	Alpha	Beta	Gamma
724001690C	0.983	0.055	1
724000360C	0.166	0.042	0.027
724000340C	0.002	0.052	0.005
724000250C	0.200	0.053	0.039
724007270C	0.079	0.441	0.009
724000380C	0.154	0.403	0.035
724004150C	0.081	0.466	0.009

TABLE 10.2: Les paramètres du modèle (Alpha, Beta et Gamma) pour chacun des articles de la classe A de la pompe Guinard.

Après avoir déterminé les paramètres du modèle, on passe maintenant à l'étude statistique.

Étude statistique

Pour pouvoir effectuer une étude statistique, il faut d'abord faire un calcul des prévisions de la demande de chaque article. Lors de cette étude, nous avons obtenu pour chaque article la série lissée ainsi que le calcul des prévisions.

A titre d'exemple, nous présentons le graphe de la série lissée de l'article 1 de la pompe Guinard illustré par la **Figure. 10.4**, les autres graphes seront donnés en annexe.

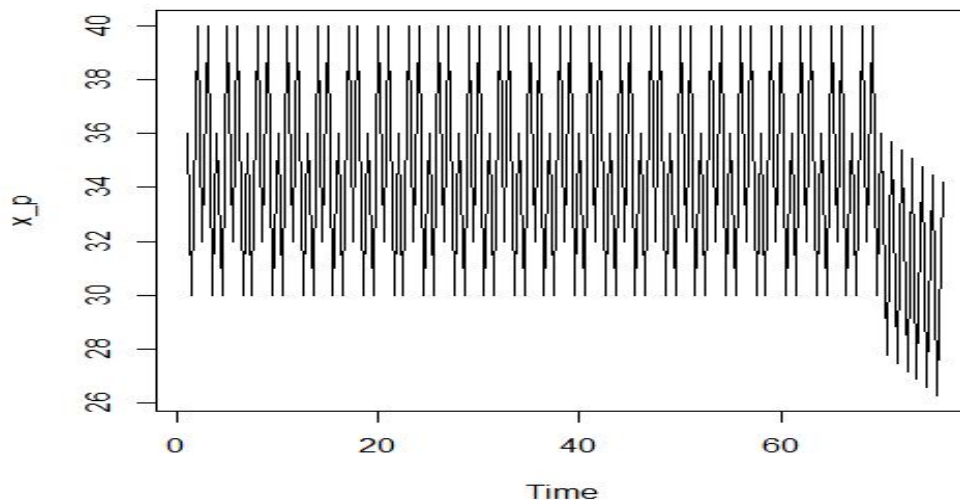


FIGURE 10.4: Graphe de la série lissée de l'article 1.

Le graphe de l'ajustement de la distribution de la demande de l'article 1 de la pompe Guinard est illustré par la **Figure. 10.5**.

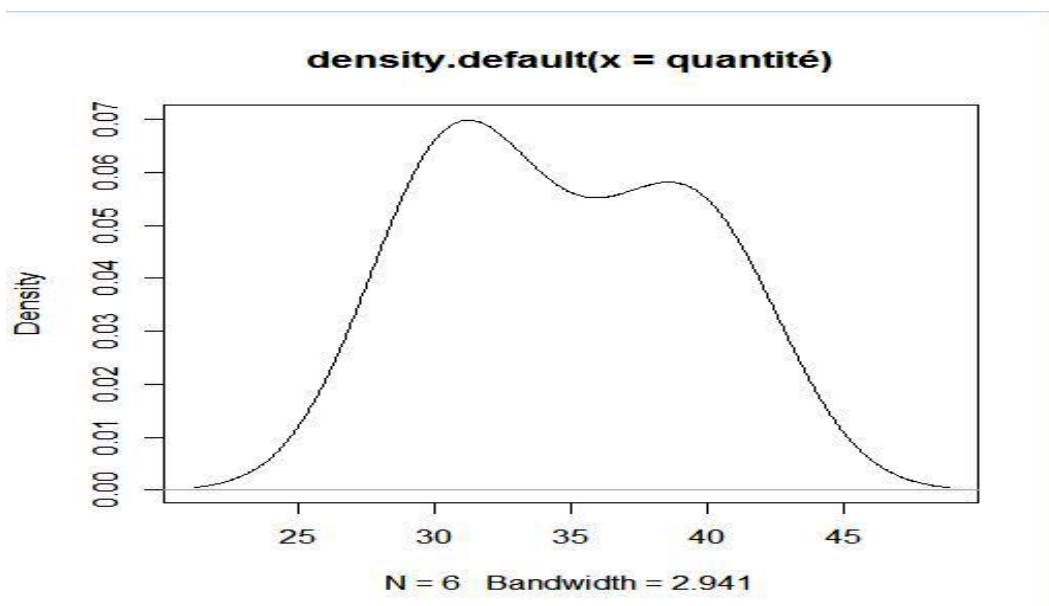


FIGURE 10.5: Ajustement de la distribution de la demande.

D'après la **Figure. 10.5**, nous constatons que l'ajustement de la distribution de la loi de la demande de l'article 1 de la pompe Guinard est de loi normale.

Les figures qui illustrent l'ajustement des lois de la demande des autres articles par une loi normale sont données en annexe.

A l'issue de cette étude statistique, la moyenne et la variance de chaque échantillon ont été évaluées et l'ajustement des distributions par une loi normale a été accepté par le test de Kolmogorov-Smirnov.

La dernière étape consiste en la détermination du modèle de gestion des stocks le plus adéquat en terme de minimisation du coût total de gestion des stocks et d'assurer un niveau de service contre la pénurie.

10.4 Détermination du modèle de gestion des stocks

Le modèle de gestion des stocks doit répondre à deux exigences majeures, il doit non seulement assurer un niveau de service contre la pénurie mais aussi optimiser les coûts. Le modèle en question doit aussi offrir une aide à la prise de décision quelle que soit la nature de la demande.

L'approche de résolution que nous allons proposer doit minimiser le coût total de gestion avec un niveau de service fixé à 0,99. Pour ce faire, il faut d'abord déterminer la quantité économique de commande dite aussi la quantité de Wilson en utilisant les formules données dans le chapitre 2 de la référence [3].

Le **Tableau. 10.3** présente les différents coûts ainsi que le prix unitaire de chaque article de la pompe Guinard.

Article	coût de lancement	coût de stockage	prix unitaire
724001690C	1268.71	288.28	2356.17
724000360C	1104.08	84.43	2050.44
724000340C	11136.53	729.95	20682.14
724000250C	46671.9	3008.18	86676.39
724007270C	20.31	1.06	37.72
724000380C	493.07	24.23	915.7
724004150C	3.2	0.1	5.95

TABLE 10.3: Les différents coûts ainsi que le prix unitaire de chaque article de la pompe Guinard.

La quantité économique de commande (quantité de Wilson) pour chaque article de la pompe Guinard est donné dans le **Tableau. 10.4**.

Après avoir déterminé la quantité économique de commande (quantité de Wilson) pour chaque article de la pompe Guinard, nous devons à présent déterminer le point de commande r pour ce qui est du modèle de gestion des stocks (Q, r) et la quantité de reapprovisionnement R pour ce qui est du modèle de gestion des stocks (R, T) . Les formules utilisées pour effectuer le calcul des paramètres r et R de chacun des modèles de gestion des stocks (Q, r) et (R, T) sont données en détail dans le chapitre 2 de la référence [3].

Article	La quantité économique de commande
724001690C	18
724000360C	14
724000340C	18
724000250C	14
724007270C	21
724000380C	12
724004150C	20

TABLE 10.4: La quantité économique de commande (quantité de Wilson) pour chaque article de la pompe Guinard.

Le **Tableau. 10.5** résume les différentes valeurs des paramètres pour le modèle de gestion des stocks à point de commande (Q, r) pour chaque article de la classe A de la pompe Guinard.

Article	L	E(D)	V(D)	Alpha	E(X)	Sigme(X)	r	S
724001690C	1	34.66	21.86	0.99	3	4.64	46	12
724000360C	1	5.41	59.35	0.99	5.41	7.70	23.36	19
724000340C	1	2.22	12.87	0.99	2.22	3.58	11	9
724000250C	1	2.08	10.32	0.99	2.08	3.21	10	8
724007270C	1	10.28	44.57	0.99	10.28	6.67	26	16
724000380C	1	1.40	0.24	0.99	1.40	0.49	3	2
724004150C	1	3	3.77	0.99	3	1.94	8	5

TABLE 10.5: Les différentes valeurs des paramètres pour le modèle de gestion des stocks à point de commande (Q, r) pour les articles de la classe A de la pompe Guinard.

Le **Tableau. 10.6** résume les différentes valeurs des paramètres pour le modèle de gestion des stocks de périodicité de commande (R, T) pour chaque article de la classe A de la pompe Guinard.

Article	$L + T$	E(D)	V(D)	Alpha	E(X)	Sigme(X)	Q(0)	R
724001690C	2	34.66	4.67	0.99	69.33	6.61	0	85
724000360C	2	5.41	7.70	0.99	10.83	10.89	0	37
724000340C	2	2.22	3.58	0.99	4.44	5.07	0	17
724000250C	2	2.08	3.21	0.99	4.17	4.54	0	15
724007270C	2	10.28	6.67	0.99	20.57	9.44	5	38
724000380C	2	1.40	0.49	0.99	2.81	0.70	0	5
724004150C	2	3	1.94	0.99	6	2.74	0	13

TABLE 10.6: Les différentes valeurs des paramètres pour le modèle de gestion des stocks de périodicité de commande (R, T) pour les articles de la classe A de la pompe Guinard.

Le **Tableau. 10.7** résume les différentes valeurs du coût total de gestion des stocks pour chaque article de la classe A de la pompe Guinard dans le cas du modèle à point de commande (Q, r) et celui de périodicité de commande (R, T) .

On observe que le coût total de gestion des stocks de l'article 1 de la pompe Guinard est égale à 9389 unités lorsque on applique le modèle à point de commande (Q, r) et lorsque on

Article	$Ct(Q, r)$	$Ct(R, T)$	Politique à adopter
724001690C	9389	9847.31	(Q, r)
724000360C	17656	17664.51	(R, T)
724000340C	23555.08	26012.08	(Q, r)
724000250C	605975.13	585032.13	(R, T)
724007270C	464.7	457.66	(R, T)
724000380C	3200	3171.67	(R, T)
724004150C	39.34	38.48	(R, T)

TABLE 10.7: Les différentes valeurs du coût total de gestion des stocks pour chaque article de la classe A de la pompe Guinard dans le cas du modèle à point de commande (Q, r) et celui de périodicité de commande (R, T) .

applique le modèle de périodicité de commande (R, T) , son coût de gestion des stocks est de 9847.31 unités. De ce fait, le gestionnaire a intérêt à appliquer le modèle (Q, r) pour l'article 1 afin de minimiser le coût total de gestion des stocks.

D'après les résultats du **Tableau. 10.7**, nous proposons aux responsables du service gestion des stocks d'appliquer le modèle à point de commande (Q, r) pour les articles 1 et 3 de classe A de la pompe Guinard, et d'appliquer le modèle de périodicité de commande (R, T) pour ce qui est des articles 2, 4, 5, 6 et 7 de classe A de la pompe Guinard.

10.5 Conclusion

Dans ce travail, nous avons appliqué une méthode de recherche opérationnelle afin de bien gérer les stocks au sein de la RTC de l'entreprise Sonatrach (Algérie). Dans un premier temps, nous nous sommes limités à une analyse statistique qui nous a permis de classer les articles stockés (pièces de rechange) afin de déterminer les articles qui méritent d'être analysés par des méthodes de gestion rigoureuse. Nous avons ensuite procédé à l'étude prévisionnelle sur la consommation de sept articles appartenant à une même famille d'article nommée pompe Guinard plus précisément à la classe A de cette famille pour pouvoir estimer la demande.

Cette étude nous a permis d'améliorer la gestion des stocks des pièces de rechange de l'entreprise Sonatrach, en obtenant les modèles de gestion des stocks à appliquer pour chaque article de la classe A de la famille pompe Guinard dans le but de minimiser le coût total de gestion des stocks et d'éviter les ruptures de stocks ainsi que le sur-stockage des articles.

Il serait intéressant de poursuivre ce travail qui s'inscrit dans le cadre de la gestion des stocks de l'entreprise Sonatrach, en appliquant d'autres modèles de gestion des stocks et/ou d'autres articles afin de tirer les modèles de gestion des stocks qui minimisent le coût total de chaque article pour enfin minimiser le coût total de gestion des stocks de l'entreprise Sonatrach.

Références

1. Aïssani, D., Aoudia, Z., Allab, D. and Hammami, N. (2016) 'Gestion de la Production et Optimisation de la Distribution : cas de l'entreprise CANDIA Bejaia (Algérie)', 10^{me} Conférence Internationale de MODélisation, Optimisation et SIMulation - MOSIM'16. 22 au 24 Août 2016. Montréal, Canada.
2. Amraoui, A. and Ouakli, F. (1999) Modéle de Prévision à Court Terme des Commandes de Voitures Touristiques et Utilitaires et Modélisation par Simulation de la Gestion des Stocks au sein de la SIMB, Algérie. Mémoire fin d'études ingénieur, Université de Béjaia, Algérie.

3. Anabi, D. and Djema, N. (2016) Gestion des Stocks des Pièces de Rechange cas : RTC-Sonatrach, Béjaia (Algérie). Mémoire de Master, Université de Béjaia, Algérie.
4. Hassaini, K., Kernou, F., Aoudia, Z. and Aïssani, D. (2004) Calcul et détermination des besoins en composants produits Candia au niveau de l'entreprise Tchinelait/Candia, Rapport interne, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia.
5. Harris, F.W. (1913) 'How Many Parts to Make at Once', *Factory (The Magazine of Management)*, Vol. 10, No. 2, pp. 135-136.
6. Mouhoubi, Z. and Aïssani, D. (2007) 'Stability of the Inventory-Backorder Process In the (R,S) Inventory Production Model', *Pliska. Stud. Math. Bulgar*, Vol.18, No.1, pp. 255-270.
7. Rabta, B. (2006) Nouvelles Conditions et Nouvelles Estimations de la Stabilité des Chaines de Markov Application aux Modèles Stochastiques de Gestion des Stocks. Thèse de doctorat, Université de Béjaia, Algérie.
8. Rabta, B. and Aïssani, D. (2005) 'Estimate of the Strong Stability in an (R, s, S) Inventory Model', *Journal of Mathematical Sciences*, Vol.131, No.3, pp. 5669-5673.
9. Scarf, H. (1960) 'The Optimal of (s, S) Policies in the Dynamic Inventory Problem', in *Mathematical Methods in the Social Sciences*, A. et al (Eds.), Stanford Press, pp. 196-202.
10. Aïssani D., (2016) Cours de TAGS (Techniques Avancées de Gestion des Stocks), Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2016.

Annexe

Nous présentons ici les graphes de la série originale et la série lissée ainsi que l'ajustement de la distribution de la demande des six articles restant de la pompe Guinard.

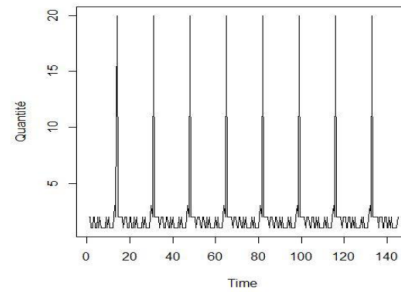


FIGURE 10.6: Graphe de la série originale de l'article 2.

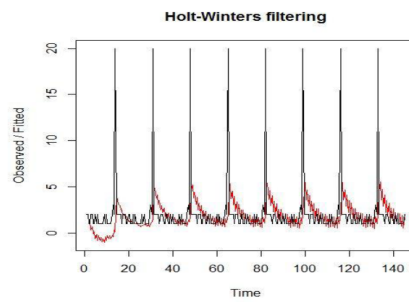


FIGURE 10.7: Graphe de la série originale et la série lissée de l'article 2.

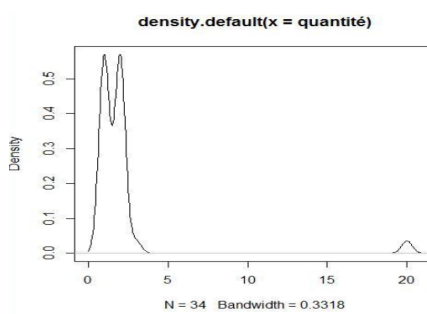


FIGURE 10.8: Ajustement de la distribution de la demande de l'article 2.

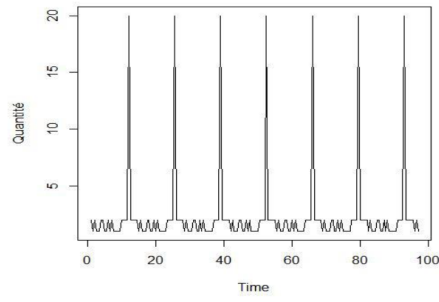


FIGURE 10.9: Graphe de la série originale de l'article 3.

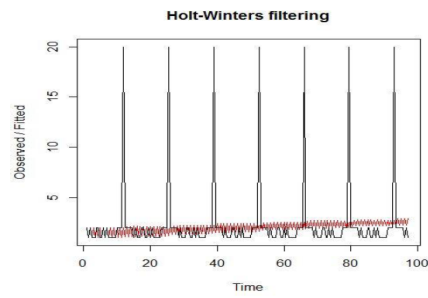


FIGURE 10.10: Graphe de la série originale et la série lissée de l'article 3.

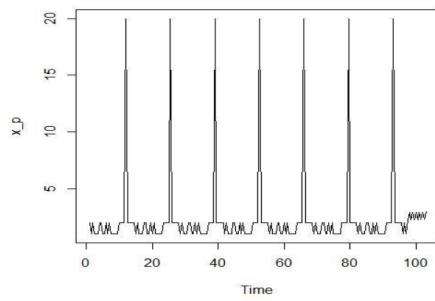


FIGURE 10.11: Graphe de la série lissée de l'article 3.

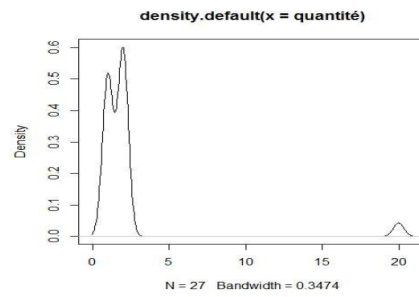


FIGURE 10.12: Ajustement de la distribution de la demande de l'article 3.

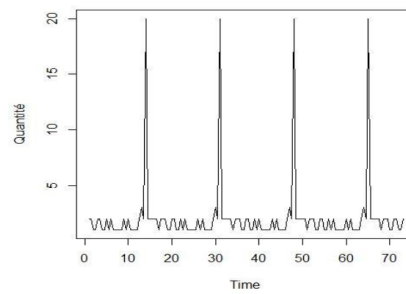


FIGURE 10.13: Graphe de la série originale de l'article 4.

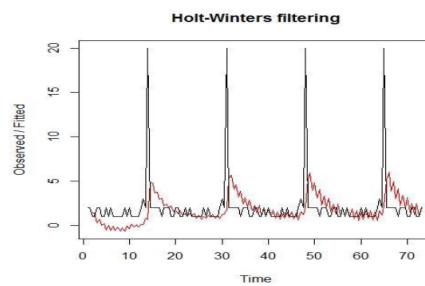


FIGURE 10.14: Graphe de la série originale et la série lissée de l'article 4.

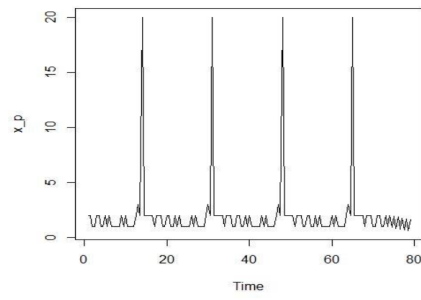


FIGURE 10.15: Graphe de la série lissée de l'article 4.

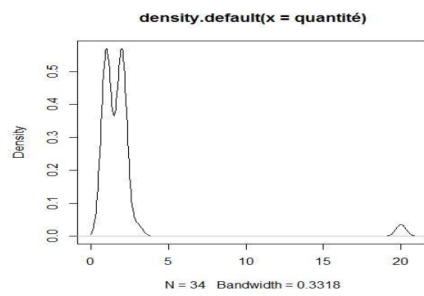


FIGURE 10.16: Ajustement de la distribution de la demande de l'article 4.

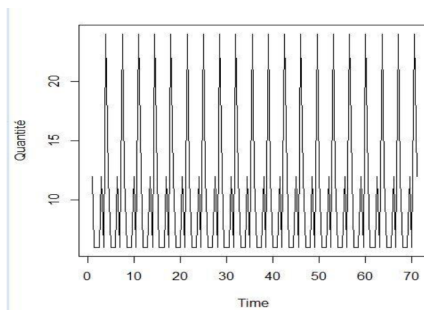


FIGURE 10.17: Graphe de la série originale de l'article 5.

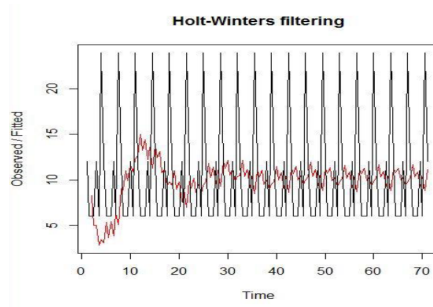


FIGURE 10.18: Graphe de la série originale et la série lissée de l'article 5.

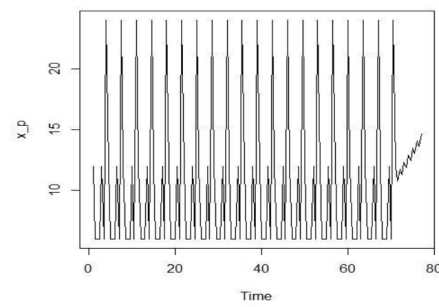


FIGURE 10.19: Graphe de la série lissée de l'article 5.

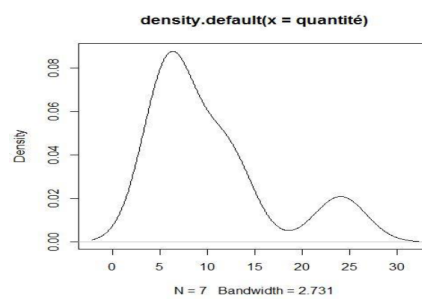


FIGURE 10.20: Ajustement de la distribution de la demande de l'article 5.

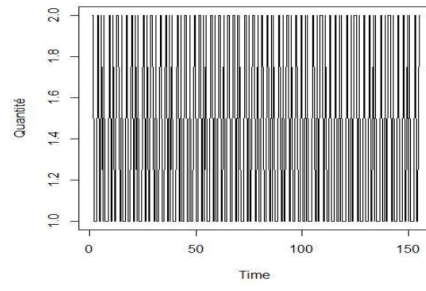


FIGURE 10.21: Graphe de la série originale de l'article 6.

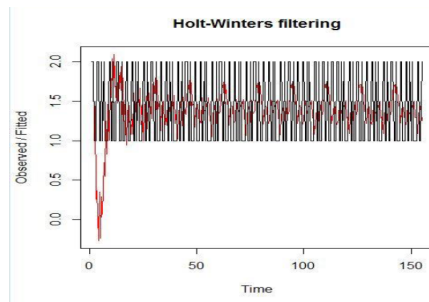


FIGURE 10.22: Graphe de la série originale et la série lissée de l'article 6.

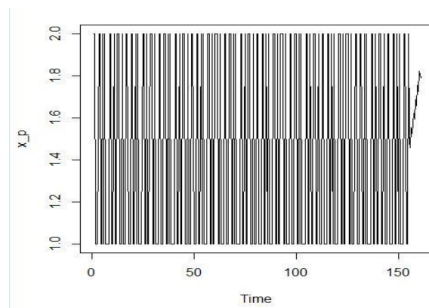


FIGURE 10.23: Graphe de la série lissée de l'article 6.

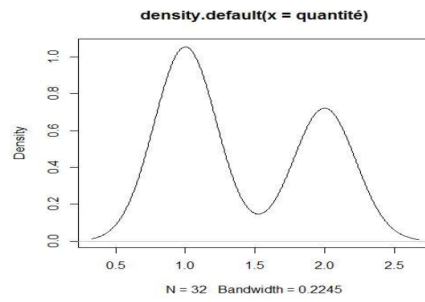


FIGURE 10.24: Ajustement de la distribution de la demande de l'article 6.

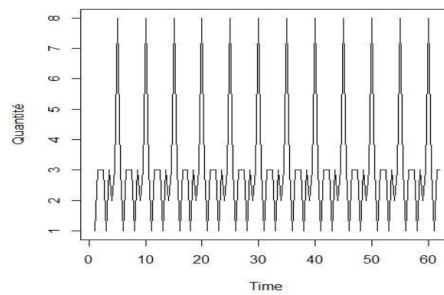


FIGURE 10.25: Graphe de la série originale de l'article 7.

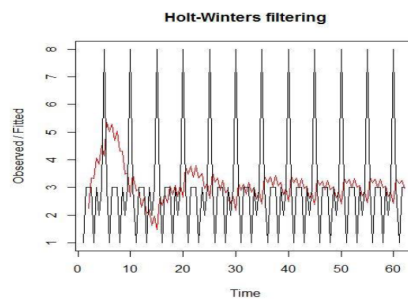


FIGURE 10.26: Graphe de la série originale et la série lissée de l'article 7.

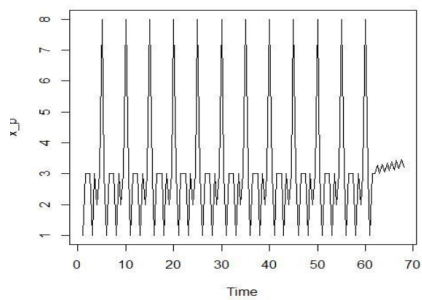


FIGURE 10.27: Graphe de la série lissée de l'article 7.

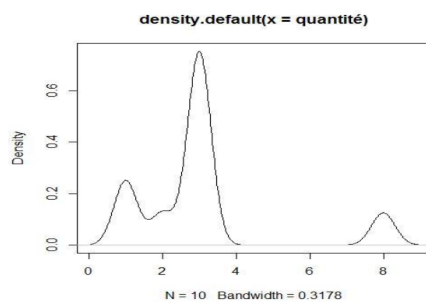


FIGURE 10.28: Ajustement de la distribution de la demande de l'article 7.

Cinquième partie

Index des Auteurs

Index

Aïssani D., 3, 21, 32, 47, 67, 80, 91, 105, 116, 128
Adel-Aïssanou K., 91
Aiane N., 105, 128
Ait Habib N., 105
Anabi D., 128
Aoudia Z., 21, 32

Bennour Z., 47
Bouaziz O., 47
Bouhali S., 105
Bouregba A., 80

Chabane A., 80

Djema N., 128

Hidja H., 116

Idres L., 80

Makhloufi Y., 32
Medjkoune M., 3
Medjoudj R., 47
Mehani A., 32
Merah R., 21
Moussaoui S., 91

Nasri S., 21

Rachedi K., 67
Remila K., 3

Saaoui D., 91

Tatah A., 67

LaMOS Edition, 2021.

« **Mathématiques industrielles 1** : Gestion de la Production, Planification et Optimisation de la Distribution, Coût et Restructuration Tarifaire, Gestion des Stocks »

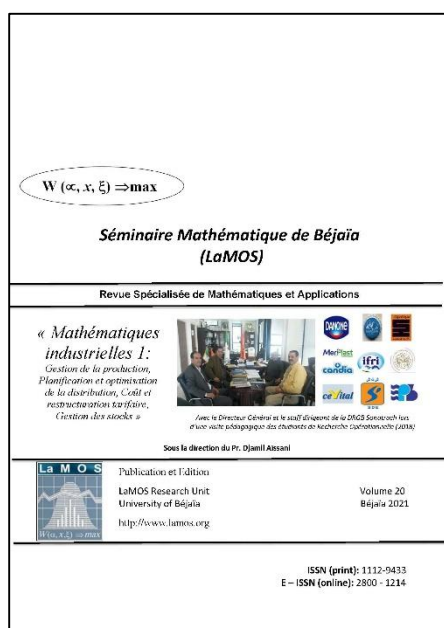
L'ouvrage :

Ce volume (numéro 20, année 2021) est le deuxième d'une trilogie que nous consacrons aux applications des *Méthodes et des Outils de la Recherche Opérationnelle* pour la prise en charge des problèmes posés par *des entreprises industrielles et des organismes socio-économiques*. Il regroupe dix articles qui concernent les rubriques suivantes : « *gestion de la production* » (Danone - Djurdjura, Candia – Tchik Lait, Meriplast), « *planification et optimisation de la distribution* » (SDE-Sonelgaz, Ministère de l'Agriculture, Cevital), « *coût et restructuration tarifaire* » (EPB – Port de Béjaia), et enfin « *gestion des stocks* » (Sonatrach, Danone – Djurdjura, IFRI). Le premier Volume (numéro 18, année 2020) a consacré la première partie du contenu (05 articles sur 11) aux applications aux *systèmes de santé* (Hôpital Khelil Amrane, CHU Béjaia, Cabinet Privé, Urgences de Kherrata et EPB – Port de Béjaia).

Quant au troisième Volume (numéro 21, année 2022), les 10 articles concernent les rubriques : « *Retour d'expérience, fiabilité et maintenance* » (Sonelgaz, Mac Soum, Edeimia – ADE et Sonatrach), « *Ordonnancement et gestion des projets* » (IFRI, Sonatrach) et « *Evaluation des Performances* » (ICOSNET Alger, Cevital, BMT).

Mots clés : Gestion de la production, Planification et optimisation de la distribution, Coût et restructuration tarifaire, Gestion des stocks.

Séminaire Mathématique de Bejaia (LaMOS). ISSN (print): 1112 – 9433. E – ISSN (online): 2800 – 1214.



Le premier exposé à Bejaia a été présenté en 1987 par Rachid Senoussi (alors enseignant à l'Université de Constantine), à l'époque du projet de création de l'Unité de Recherche en Statistiques Appliquées (1985). Le Séminaire a atteint son rythme de croisière en 1991/1992, après la création du Département des Sciences Exactes (22 exposés programmés). Depuis 1995, il est lié à la Post-Graduation "Modélisation Mathématique et Techniques de Décision" (cf. Bulletin de la **S.M.A.I. Société Française de Mathématiques Appliquées et Industrielles** N°49, 1997, pp. 50).

La trilogie initiée par la revue « Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS) », à savoir les 03 volumes 18, 20 et 21 est liée à la parution du livre - synthèse « *Mathématiques industrielles* » (LaMOS Editions, décembre 2022, 750 pages. ISBN : 978–9931–884–14–9.), qui présente, de manière structurée, 160 problèmes posés au niveau de 60 entreprises industrielles et organismes socio-économiques et résolus en appliquant les *Méthodes et les Outils de*

la Recherche Opérationnelle.

Pour citer ce volume : Revue « *Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)* », (« *Mathématiques industrielles 1* : Gestion de la Production, Planification et Optimisation de la Distribution, Coût et Restructuration Tarifaire, Gestion des Stocks »), Volume 20, 2021, 158 pages. ISSN (print) : 1112 – 9433. E – ISSN (online): 2800 – 1214

ISSN (print) : 1112 – 9433

E – ISSN (online): 2800 - 1214