

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
تلمسان

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Génie industriel

Spécialité : Management industriel et logistique

Présenté par :

Khadidja SEFRAOUI

Thème

**Conception et dimensionnement d'une
chaîne de production du miel**

Soutenu publiquement, le 29/06/2022, devant le jury composé de :

M Mehdi SOUIER	Professeur	ESM. Tlemcen	Président
M Fouad MALIKI	MCB	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M Akkacha BEKADDOUR	MCB	ESSA. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
M Mohammed BENNEKROUF	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur
M Mustapha Anwar BRAHAMI	MCA	ESSA. Tlemcen	Examinatueur

Année universitaire : 2021 /2022

Remerciement :

Au premier lieu, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé, la force et la volonté d'entamer et de réaliser ce mémoire avec plein de succès.

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, ma source d'énergie, de joie et de bonheur, celui qui m'a appris le sens du travail et de la responsabilité, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, mon cher papa **Abdelouahab SEFRAOUI**, aucun mot ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Je voudrais te remercier énormément pour ton amour, ta compréhension, ta générosité. Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours.

A la lumière de ma vie, la flamme de mon cœur, la source de ma force, mon point de départ, ma joie, mon bonheur, ma chère maman **H.TOUATI**, tu es pour moi la beauté de ma vie, la source de tendresse et l'exemple du dévouement. Ta prière et ta bénédiction m'ont offert le courage et la volonté pour bien mener mes études. Tu es toujours prête à tout me donner et à me pardonner, tu es la femme la plus généreuse et courageuse du monde. Merci est insuffisant pour toi ma chère maman.

A mes chers frères **Yassine** et **Mohammed** et ma chère petite sœur **Anfel**, qui m'avaient toujours soutenu durant toutes mes années d'études, à tous les moments d'enfance passés avec vous mes chers, sans oublier ma chère **Hadjer** qu'elle est pour moi une deuxième sœur, de ma profonde estime pour l'aide que vous m'avez apporté, Je vous remercie énormément.

A mon deuxième père, celui qui m'a appris que rien n'est impossible, à la personne qui m'a soutenu pendant toutes ces années d'étude, Mr. **Fouad MALIKI**, je vous remercie énormément pour la qualité de votre encadrement exceptionnel, votre patience, votre disponibilité et vos conseils.

Tout mon respect et mon remerciement vont vers toute personne m'a aidé à réaliser ce travail, particulièrement Mme **Amina OUHOUD**.

Sans oublier l'ensemble de mes chères amies, **Sawsane**, **Amira**, **soumia** et **Nesrine**, un grand merci à vous pour votre sincère amitié. Vous êtes pour moi des sœurs sur qui je peux compter, je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

Je veux conclure ce remerciement par une sœur que ma mère n'a pas enfantée, à la personne qu'Allah m'a offrir dans le bon moment, **Madjda MIMOUN**, je veux te rappeler que nous avons pu atteindre les objectifs que nous nous somme fixer « el hamdo lillah ». Merci d'être toujours là pour moi. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je te souhaite une vie pleine de succès, de santé, de richesse et de la joie.

Résumé :

L'objectif principal de ce projet est de concevoir une chaîne de production du miel. Ce travail a été divisé en quatre parties, la première consistait en une collection des informations sur l'apiculture et les produits dérivés de la ruche, ainsi que des statistiques concernant le taux de production du miel au niveau mondial et national. La deuxième partie est dédiée au choix de la meilleure alternative concernant les machines utilisées pour la production. La partie suivante avait pour but de trouver une meilleure disposition pour ces machines. Enfin, une simulation est réalisée avec le logiciel « Arena » afin d'évaluer les performances et positionner la chaîne de production par rapport aux trois cas de « Factory physics ».

Mots-clés : chaîne de production, l'apiculture, disposition, simulation, Arena, performance.

Abstract:

The main objective of this project is to design a honey production chain. This work was divided into four parts; the first one consists of a collection of information about beekeeping and products derived from the hive, as well as statistics concerning the rate of honey production at world and national level. The second part is dedicated to the choice of the best layout for these machines. Finally, a simulation is carried out with the software "Arena" in order to evaluate the performances and to position the production line compared to the three cases of "Factory physics".

Key-words: production chain, beekeeping, layout, simulation, Arena, performance.

ملخص :

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو تصميم سلسلة انتاج العسل, ثم تقسم هذا العمل الى اربعة اجزاء, يتكون الجزء الاول من مجموعة من المعلومات حول تربية النحل والمنتجات المشتقة من الخلية, ضامنة الى بعض الاحصائيات المتعلقة بمعد انتاج العسل على المستوى الوطني والعالمى. الجزء الثانى مخصص للخيار افضل بديل فيما يتعلق بالآلات المستخدمة فى سلسلة الانتاج. اما الجزء المالى فهو متعلق بالعثور على افضل تخطيط لتثبيت هذه الآلات ; اخيرا يتم اجراء محاكاة باستخدام برنامج 'Arena' من اجل تقييم الأداء ووضعىة سلسلة الانتاج مقارنة بالآلات الثالث فى "تقييم المصانع".

الكلمات المفتاحية: سلسلة الانتاج, تربية النحل, محاكاة, الأداء.

Table des matières

I. REMERCIEMENT :	- 2 -
RESUME :	- 4 -
II. LISTE DES FIGURES:	- 7 -
III. LISTE DES TABLEAUX :	- 9 -
CHAPITRE 01 : GENERALITES SUR L'APICULTURE ET LES PRODUITS DE RUCHE	- 13 -
1. INTRODUCTION :	- 14 -
2. LES PRODUITS DE LA RUCHE :	- 14 -
2.1. LE MIEL :	- 15 -
<i>a. Définition :</i>	- 15 -
<i>b. Les bienfaits et les propriétés du miel : (4)</i>	- 15 -
<i>c. Constituants du miel :</i>	- 15 -
2.2. LA CIRE D'ABEILLE :	- 16 -
<i>a. Définition :</i>	- 16 -
<i>b. L'utilisation de la cire d'abeille :</i>	- 16 -
<i>c. Constituants de la cire d'abeilles :</i>	- 16 -
2.3. LE POLLEN :	- 16 -
<i>a. Définition :</i>	- 16 -
<i>b. L'utilisation du pollen (8):</i>	- 17 -
<i>c. Constituants du pollen (7):</i>	- 17 -
2.3. LA GELES ROYALE :	- 17 -
<i>a. Définition :</i>	- 17 -
<i>b. L'utilisation de la gelée royale : (9)</i>	- 18 -
<i>c. Constituants de la gelée royale : (9)</i>	- 18 -
2.5. LA PROPOLIS :	- 18 -
<i>a. Définition :</i>	- 18 -
<i>b. Les bienfaits de la propolis :</i>	- 18 -
<i>c. Constituants de la propolis :</i>	- 18 -
3. L'APICULTURE DANS LE MONDE :	- 19 -
4. L'APICULTURE EN ALGERIE :	- 20 -
4.5. La production nationale du miel :	- 21 -
4.6. L'importation du miel en Algérie :	- 25 -
5. CONCLUSION :	- 25 -
CHAPITRE 02 : ANALYSE ET ETUDE DE LA CHAINE DE PRODUCTION DU MIEL	- 26 -
1. INTRODUCTION :	- 27 -
2. PROCESSUS DE FABRICATION DU MIEL :	- 27 -
3. LA MATIERE PREMIERE :	- 28 -
3.1. Définition :	- 30 -
4. LES MACHINES A ADOPTER :	- 30 -
4.1. Désoperculation :	- 30 -
4.2. Extraction :	- 31 -
4.3. Filtrage et maturation :	- 32 -
5. LA STRATEGIE :	- 32 -
6. ETUDE DES TEMPS ET PROPOSITION DES ALTERNATIVES :	- 33 -

6.1	<i>Désoperculation</i> :	- 33 -
6.2	<i>Extraction</i> :	- 34 -
7.	ANALYSE TOPSIS :	- 39 -
7.1	<i>Application de l'analyse</i> :	- 39 -
8.	PRODUCTION DE 1000 CADRES :	- 42 -
9.	CONCLUSION :	- 43 -
CHAPITRE 3 : Facilities design..		- 44 -
1.	INTRODUCTION :	- 45 -
2.	DEFINITION :	- 45 -
3.	LES TYPES DE LAYOUT (DISPOSITION):	- 45 -
3.1	<i>Disposition orientée processus « Process Layout »</i> :	- 46 -
3.2	<i>Disposition orientée produit</i> :	- 47 -
3.3	<i>Disposition fixe</i> :	- 48 -
3.4	<i>La technologie de groupe:</i>	- 48 -
3.5	<i>Disposition combinée « Hybride layout »</i> :	- 49 -
4.	LES AVANTAGES :	- 50 -
5.	LES DONNEES :	- 50 -
5.1	<i>Données qualitatives</i> :	- 50 -
5.2	<i>Données quantitatives</i> :	- 50 -
6.	METHODES ET ALGORITHMES :	- 50 -
6.1	<i>SLP (Systematic layout planning)</i> :	- 51 -
6.1.1	la collecte des données :	- 51 -
6.1.2	Analyse des flux :	- 51 -
6.1.3	Tableau des relations d'activité :	- 52 -
6.1.4	Diagramme de relation :	- 53 -
6.1.5	Diagramme de relation spatiale :	- 55 -
6.2	<i>Algorithme MST</i> :	- 55 -
7.	CHOIX DE LA MEILLEURE DISPOSITION POUR LA CHAINE DE PRODUCTION DU MIEL :	- 56 -
7.1	<i>Application de SLP</i> :	- 58 -
7.1.2	Analyse de flux :	- 59 -
7.1.3	Tableau des relations d'activité :	- 59 -
7.1.4	Diagramme de relation :	- 60 -
7.1.5	Diagramme de relation spatial :	- 61 -
7.2	<i>Application de MST</i> :	- 63 -
7.3	<i>Comparaison entre les deux dispositions</i> :	- 66 -
8.	CONCLUSION :	- 67 -
CHAPITRE 4 : SIMULATION ET EVALUATION DES PERFORMANCES DE LA LIGNE DE PRODUCTION....		- 68 -
1.	INTRODUCTION :	- 69 -
2.	SIMULATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION :	- 69 -
3.	MODELISATION DE LA CHAINE :	- 69 -
a.	<i>Modèle basique</i> :	- 70 -
b.	<i>Modélisation de la chaine de production du miel</i> :	- 70 -
4.	APPLICATION DU FACTORY PHYSICS :	- 74 -
4.1	<i>Les cas de performance</i> :	- 74 -
4.3.	<i>Les résultats obtenus</i> :	- 75 -
4.2	<i>Interprétation des résultats</i> :	- 77 -
5.	CONCLUSION :	- 80 -
IV.	BIBLIOGRAPHIE.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

Liste des figures

Chapitre 1:

Figure I. 1 : Les produits de la ruche.....	- 14 -
Figure I. 2 : carte représentant la répartition de la production de miel en Algérie, en tonne par wilaya (12).....	- 21 -
Figure I. 3 : Evolution de la production du miel en Algérie entre 2000 et 2018 (14).....	- 22 -

Chapitre 2:

Figure II. 1 : Processus de fabrication du miel.....	- 28 -
Figure II. 2 : les éléments essentiels d'une ruche (1).....	- 29 -
Figure II. 3 : Hausse pleine.....	- 30 -
Figure II. 4 : Stratégie de travail.....	- 32 -
Figure II. 5 : Alternative 1	- 36 -
Figure II. 6 : Alternative 2	- 36 -
Figure II. 7 : Alternative 3.....	- 37 -
Figure II. 8 : Alternative 4.....	- 37 -
Figure II. 9 : Alternative 5	- 37 -
Figure II. 10 : Alternative 6.....	- 38 -
Figure II. 11 : Alternative 7.....	- 38 -
Figure II. 12 : Alternative 8.....	- 38 -
Figure II. 13 : Alternative 9.....	- 39 -
Figure II. 14 : Production de 100 ruches.....	- 42 -

Chapitre 3:

Figure III. 1 : les types de layout.....	- 46 -
Figure III. 2 : Disposition orienté processus (3).....	- 47 -
Figure III. 3 : Disposition orientée produit (3).....	- 47 -
Figure III. 4 : Fixed-position layout (3).....	- 48 -
Figure III. 5 : Cellular layout (3).....	- 49 -
Figure III. 6 : Hybride layout (3).....	- 49 -
Figure III. 7 : Matrice « De-à ».....	- 52 -
Figure III. 8 : matrice « Entre ».....	- 52 -
Figure III. 9 : Exemple d'un Relationship chart.....	- 53 -
Figure III. 10 : Exemple d'un Relationship diagramme (4).....	- 54 -
Figure III. 11 : Exemple d'un Space Relationship diagramme (1).....	- 55 -
Figure III. 12 : Matrice de flux « entre ».....	- 59 -
Figure III. 13 : Relationship chart.....	- 60 -
Figure III. 14 : Relationship Diagramme.....	- 61 -
Figure III. 15 : Space Relationship diagramme.....	- 61 -
Figure III. 16 : Disposition 1.....	- 62 -

Figure III. 17 : dimensions d'exemple de calcul	- 63 -
Figure III. 18 : Matrice de poids d'adjacence.	- 64 -
Figure III. 19 : étape 1 MST.....	- 64 -
Figure III. 20 : résultat MST.....	- 65 -
Figure III. 21 : disposition 2.	- 65 -
Figure III. 22 : Matrice de distance.	- 66 -

Chapitre 4 :

Figure IV. 1 : Modèle basique sous Arena.	- 70 -
Figure IV. 2 : Modèle Arena de la chaîne de production de miel.	- 71 -
Figure IV. 3 : L'arrivée des hausses.	- 71 -
Figure IV. 4 : La désoperculation.....	- 72 -
Figure IV. 5 : L'extraction.	- 72 -
Figure IV. 6 : Maturation et remplissage.	- 73 -
Figure IV. 7 : Stockage de produits finis.	- 73 -
Figure IV. 8 : Affichage du temps entre deux sorties de la machine goulot (r_{bb}) et du temps entre de sorties de toute la chaîne (tes)	- 75 -
Figure IV. 9 : Temps de cycle.....	- 76 -
Figure IV. 10 : WIP.....	- 77 -
Figure IV. 11 : les résultats de calcul sous Excel.	- 78 -
Figure IV. 12 : Graphe des cases.....	- 79 -
Figure IV. 13 : Position de la chaîne de production du miel.....	- 79 -

Liste des tableaux

Chapitre 1:

Tableau I. 1 : La production mondiale du miel (11).....	- 19 -
Tableau I. 2 : La consommation mondiale du miel par personne et par année (11).	- 20 -
Tableau I. 3 : Répartition de la production nationale, en tonnes par wilaya, entre 2013 et 2017, avec un profil d'évolution, un indicateur de croissance et un indicateur de variabilité (12).	- 24 -

Chapitre 2:

Tableau II. 1 : définitions des éléments principales de la ruche.	- 29 -
Tableau II. 2 : les types de miel et les zones correspondantes.	- 33 -
Tableau II. 3 : temps d'enlèvement des opercules. (2).....	- 33 -
Tableau II. 4 : la répartition des temps opératoire durant l'étape d'extraction.....	- 34 -
Tableau II. 5 : coûts des extracteurs.....	- 35 -
Tableau II. 6 : coût total des alternatives.....	- 35 -
Tableau II. 7 : Matrice de décision originale.	- 40 -
Tableau II. 8 : Matrice de décision normalisée.....	- 40 -
Tableau II. 9 : Résultat TOPSIS.	- 41 -

Chapitre 3:

Tableau III. 1 : les classes et leurs codes couleur.	- 53 -
Tableau III. 2 : Types de lien entre département selon la classe.	- 54 -
Tableau III. 3 : les éléments de la chaîne de production de miel.	- 58 -
Tableau III. 4 : Dimensions des machines.	- 59 -

Introduction générale

L'apiculture est une branche de l'agriculture, ses produits sont très utilisés dans divers secteurs. Cette discipline a pour objet d'élever les abeilles afin d'assurer la production du miel et d'autres produits tel que le pollen, la gelée royale, la propolis et la cire.

La filière apicole doit être impérativement développée vu ses avantages et les enjeux soulevés à lesquels elle doit répondre, D'une part l'apiculture contribue à la protection de l'environnement et à la production agroforestière par la pollinisation des abeilles. D'autre part, les produits offerts par les abeilles sont très utilisés dans différents domaines, notamment le domaine médical.

En Algérie, les entreprises de production du miel d'abeilles sont tellement rares puisqu'il existe que des coopératives. Nous avons fait un « brainstorming » pour proposer une étude complète d'une entreprise de fabrication de ce produit.

Suite à l'étude du marché réalisée à propos de ce domaine, nous avons constaté que la quantité du miel produite localement est très faible par rapport à la demande. De ce fait, la satisfaction de la demande se fera en se basant sur des produits importés. Par conséquent, Notre principale motivation consiste à augmenter le taux de production au niveau local afin d'améliorer l'économie nationale de ce produit, et réduire les prix.

Dans ce mémoire on s'intéresse à la partie opérationnelle de l'entreprise qui sert à concevoir une nouvelle chaîne de production de miel ; tout en respectant les contraintes d'efficacité, de la performance et des coûts.

En intégrant l'aspect technique dans le domaine d'apiculture, nous passerons par plusieurs étapes afin d'atteindre l'objectif fixé au préalable en suivant une succession de chapitres complémentaires qui sont liés entre eux.

Le premier chapitre présente des généralités sur l'apiculture ainsi que des statistiques concernant la production du miel au niveau mondial et local.

Le deuxième chapitre est dédié au choix de la meilleure alternative concernant les machines utilisées dans la chaîne de production du miel en utilisant la méthode TOPSIS.

Dans le troisième chapitre, nous déterminons la meilleure disposition des machines en utilisant les algorithmes de « Facilities design » MST et SLP.

Le dernier chapitre présente la simulation de la chaîne de production conçue en utilisant le logiciel « Arena », ceci nous permettra d'évaluer les performances de notre système de production avec les principes de factory physics.

*Chapitre 01 : Généralités sur
l'apiculture et les produits de ruche*

1. Introduction :

L'apiculture est une branche de l'agriculture qui a pour objet d'élever des abeilles dans le but d'obtenir de manière rentable les produits de la ruche (le miel, le pollen, la gelée royale, la cire et la propolis)(1).

L'apiculture est une activité importante dans le domaine agricole, elle contribue à la protection de l'environnement et à la production agroforestière par la pollinisation des abeilles(2).

2. Les produits de la ruche :

Les abeilles et leurs services de pollinisation contribuent à maintenir l'équilibre biologique de la nature et permettent à diverses espèces animales et végétales, y compris les humains, de prospérer. Ils fournissent également des produits apicoles qui sont une source de nourriture entièrement naturelle ce sont le miel, le pollen, la gelée royale, la propolis et la cire. Les gens les utilisent depuis des temps immémoriaux, et ils sont une source de nourriture particulièrement adaptée au rythme de vie de plus en plus rapide d'aujourd'hui.

Ces produits sont illustrés dans la figure suivante :

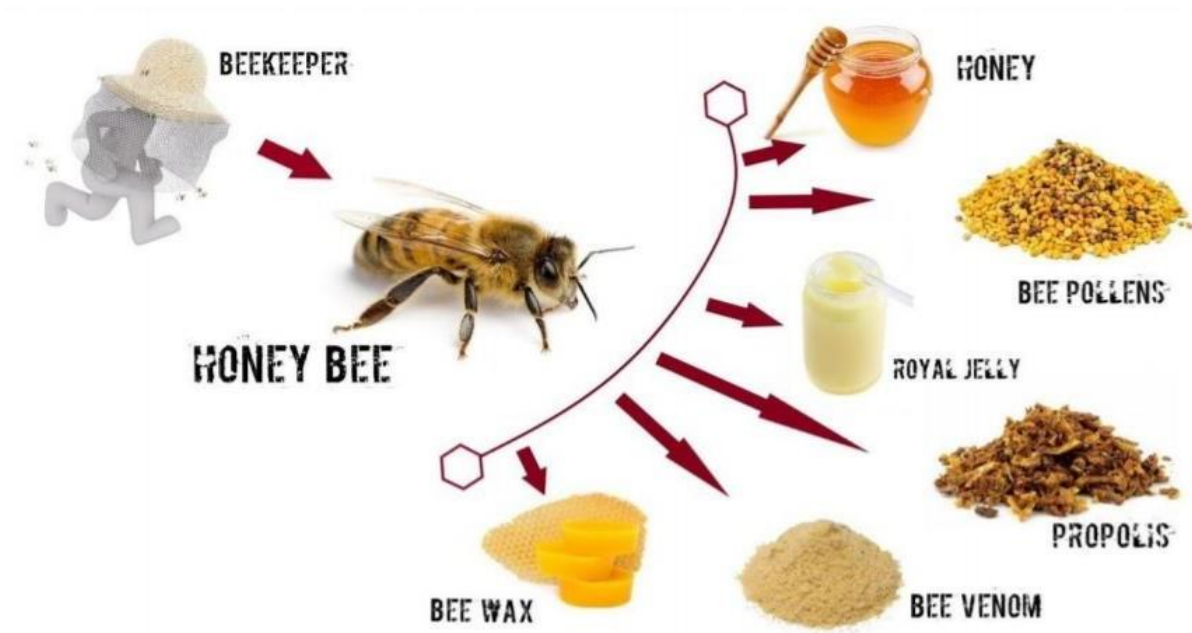


Figure I. 1 : Les produits de la ruche.

2.1. Le miel :

a. Définition :

le miel est une substance sucrée naturelle produite par les abeilles à partir du nectar des plantes ou à partir des sécrétions de parties vivantes de plantes, ou d'excrétions d'insectes qui sucent les parties vivantes des plantes et que les abeilles récoltent et transforment en les combinant à des substances spécifiques qu'elles produisent, déposent, déshydratent, et stockent et font murir dans les rayons à miel (3).

b. Les bienfaits et les propriétés du miel:(4)

- ✓ **Une immunité régénérée** : le miel offre une nouvelle jeunesse au système immunitaire (propriétés énergétiques et tonifiantes).
- ✓ **Dans les médicaments** : connu pour ses propriétés antiseptiques, cicatrisantes, anti-inflammatoires, respiratoires, digestives, protectrices cardiovasculaire, sédatives et calmantes.
- ✓ **Dans les aliments** : le miel est une source utile d'aliments dont le taux en glucides est élevé et qui contient généralement une grande variété d'éléments secondaires (minéraux, protéines, vitamines, etc.) qui vient enrichir le régime alimentaire des populations au niveau nutritionnel.
- ✓ **Dans les savons et les produits de beauté** : utilisé depuis l'antiquité dans les soins de beauté, le miel dispos d'un PH proche de celui de la peau (4 à6), et sa riche composition lui confère en fait un très bon agent hydratant, émollient, adoucissant et tonifiant. Il nourrit les cellules, favorise leur renouvellement et participe au maintien de la jeunesse de la peau.
- ✓ **Support d'huiles essentielles en ingestion** : le miel est une très bonne solution pour diluer les huiles essentielles et servir de support à leur ingestion.

c. Constituants du miel :

De manière générale, le miel est composé de 75 à 80% de sucres avec majoritairement du glucose et du fructose, de 15-20% d'eau plus des nutriments divers (minéraux, enzymes, vitamine B, protéines, acides aminés, etc.)(4).

2.2. La cire d'abeille :

a. Définition :

La cire d'abeille est la substance de couleur crémeuse que les abeilles utilisent pour construire le rayon qui structure leur nid afin d'y stocker le miel, le pollen et le couvain ; Pour obtenir 1kg de cire, les abeilles consomment environ 8kg de miel(3).

b. L'utilisation de la cire d'abeille :

Selon **BRADBEARN**. (3) la cire d'abeille a des centaines utilisations :

- ✓ Produits de beauté : environ 40% du commerce mondial de cire d'abeille est utilisé pour l'industrie cosmétique.
- ✓ Préparations pharmaceutiques : environ 30% du commerce mondial de cire d'abeille est utilisé par l'industrie pharmaceutique.
- ✓ Fabrication de bougies : environ 20% du commerce de la cire d'abeille est utilisé pour fabriquer des bougies.
- ✓ Autres utilisations : fabriquer des éléments de décoration, sculpture, bijouterie, teinture, etc.

c. Constituants de la cire d'abeilles :

La cire comprend plusieurs centaines de composés, parmi lesquels on trouve 70% des esters d'acides gras et d'alcools, 14% des acides libres, 12% des hydrocarbures, de l'eau et d'autres substances(6).

2.3. Le pollen :

a. Définition :

Les grains de pollen ressemblent à des petits points blancs ou dorés, produits par milliers à l'intérieur des fleurs(3). le pollen - appelé aussi « le pain des abeilles » - est un élément très important que le miel pour la vie des abeilles(7).

L'anatomie des abeilles est parfaitement adaptée à la collecte du pollen et à son stockage dans des corbeilles placées à l'arrière des pattes des abeilles butineuses qui peuvent ainsi le transporter au nid.

b. L'utilisation du pollen(8):

Certain personnes estiment que le pollen est un supplément nutritionnel très précieux pour les êtres humains en raison de la diversité de ses constituants. Il permet d'améliorer la flore digestive et intestinale, renforce le système cardio-vasculaire, lutte contre le vieillissement oculaire et stimule l'immunité, etc.

c. Constituants du pollen (7):

D'une manière générale le pollen est composé de :

- Eau : 10 à 12%.
- Glucides : environ 35% (principalement du glucose et du fructose).
- Lipides : environ 5%.
- Protéines : environ 20%.
- Les vitamines : A C D E et une grande quantité de vitamine B.
- Les acides aminés, les minéraux...

2.3 La gelée royale :

a. Définition :

La gelée royale est une substance blanchâtre et nacré, acide et légèrement sucrée, sécrétée par certaines glandes des jeunes abeilles nourricières. C'est un produit entièrement fabriqué par les abeilles ouvrières en très petite quantité. Elle est destinée à l'alimentation des larves qui viennent de naître, celles qui sont pressenties à devenir reine ainsi que la reine durant toute son existence au sein de la ruche (9).

b. L'utilisation de la gelée royale :(9)

Elle est utilisée par les humains comme complément alimentaire afin de profiter de ses énormes bienfaits pour la santé : elle sert à renforcer le système immunitaire, Aide à la conception et à l'équilibre du système nerveux, permet de retrouver efficacement l'appétit, Lutte contre la rhinite chronique, Effacer les baisses de moral et la dépression, Diminue les taux de cholestérol et elle a aussi une action sur les cheveux et les ongles.

c. Constituants de la gelée royale :(9)

Après un certain nombre d'analyses et d'études approfondies, les scientifiques peuvent aujourd'hui identifier les composants de la gelée royale qui contient une grande partie d'eau (66%), 14,5% de glucides, 13% de protides (acides aminés), 4,5% de lipides et 2% d'autres produits (les vitamines (B5, B3, B6...), les minéraux (cuivre, phosphore, fer...), les oligoéléments, l'acétylcholine (un antibiotique et anti bactérien naturel), les acides gras).

2.5. La propolis :

a. Définition :

la propolis est une substance résineuse ambrée récoltée par les ouvrières d'abeilles sur certains végétaux, à laquelle elles ajoutent leurs propres sécrétions (principalement de cire et sécrétions salivaires) afin de pouvoir l'utiliser comme mortier dans la ruche pour boucher les interstices, pour lisser les parois intérieures et pour protéger la nid des agressions extérieures (microbes et bactéries) (10).

b. Les bienfaits de la propolis :

La propolis est fortement différente de tous les autres produits de la ruche, surtout par son utilisation dans le domaine de la santé ou comme alicament (aliment fonctionnel). Elle possède de très bonnes propriétés anti-inflammatoires, anesthésiques et des vertus antibiotiques naturelles, elle sert à stimuler les défenses immunitaires, protège notre organisme, aide dans presque toutes les maladies où des virus et bactéries sont impliqués, comme elle est très utilisée dans le domaine cosmétique (soin de peau, visage et corps) (8).

c. Constituants de la propolis :

La propolis est composée de 30 à 40 % de cire, 50 à 55 % du résine et de baumes végétaux, 5 à 10% d'huiles essentielles ou volatiles, 5% du pollen et 5% d'autres substances(10).

3 L'apiculture dans le monde :

L'apiculture est une activité pratiquée depuis la plus haute antiquité et encore largement répandue dans le monde (2),les produits récoltés àpartie de cette activité sont utilisés dans de nombreux domaines mais beaucoup plus dans le secteur médical.De point de vue pratique, l'apiculture diffère d'une région à une autre, d'un pays à un autre et d'un continent à un autre. Cela est dû au climat, à la flore ainsi qu'aux conditions techniques et organisationnelles dans lequel on pratique l'apiculture.

Pour produire 1kg de miel il faut : 1 million de fleurs, 50.000 abeilles et 2kg de nectar (11).

Le tableau ci-dessous contient les statistiques de la production mondiale du miel de l'année 2020, la Chine est la plus grande productrice(457.203 tonnes/an) et la plus grande exportatrice (322.762 tonnes/an) de produit apicole. Donc 26% de la production mondial, c'est environ 1,8 millions de tonnes.

pays	Tonnes
Chine	457 203
Turquie	114 113
Argentine	79 468
Iran	77 567
Ukraine	71 279
Etats-Unis	69 104
Inde	67 442

Tableau I. 1 :La production mondiale du miel (11).

La consommation mondiale du miel par habitant diffère d'un pays à un autre, les statistiques montrent que les Centrafricains sont les plus gros consommateurs de produit apicole avec 3,3 kg/habitant/an.

Pays	kg/personne/an
Afrique centrale	3.3
Nouvelle-Zélande	1.9
Slovénie	1.6
Grèce	1.5
Canada	0.83
Etats-Unis	0.58
Italie	0.4

Tableau I. 2 : La consommation mondiale du miel par personne et par année (11).

4 L'apiculture en Algérie :

L'apiculture est pratiquée dans notre pays dans de nombreuses zones non cultivées et désertiques, mais beaucoup plus dans les régions montagneuses densément peuplées comme les Aurès, la Kabyle, le Dahra ; dans les plaines littorales comme celle d'Annaba, de la Mitidja, de Relizane, d'Oran ; dans les vallées des grands oueds comme l'oued EL Kébir, la Soummam, l'Isser, l'oued EL Hammam et la Tafna(2).

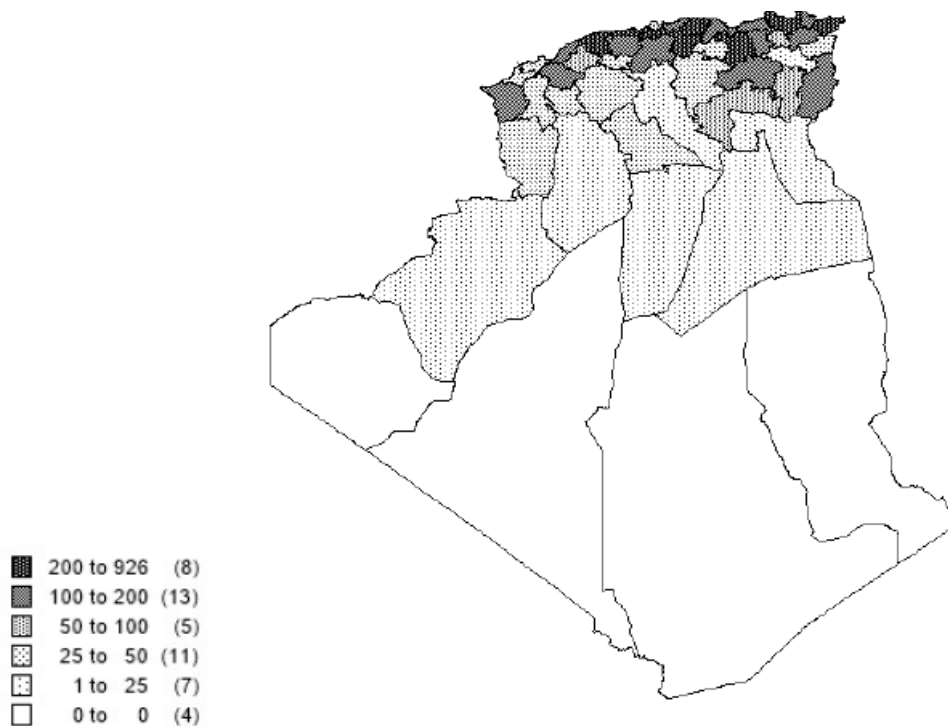


Figure I. 2 : carte représentant la répartition de la production de miel en Algérie, en tonne par wilaya(12).

L'Algérie compte 51.539 apiculteurs déclarés et 1,6 millions de colonies apicoles réparties à travers les régions mentionné précédemment(13).

4.5 La production nationale du miel :

La production nationale du miel est très faible non seulement par rapport à la demande, mais aussi par rapport au potentiel mellifère dont dispose le pays ; Elle varie entre 6.000 et 7.000 tonnes par an(12).

La figure suivante montre l'évolution de cette production entre 2000 et 2018.

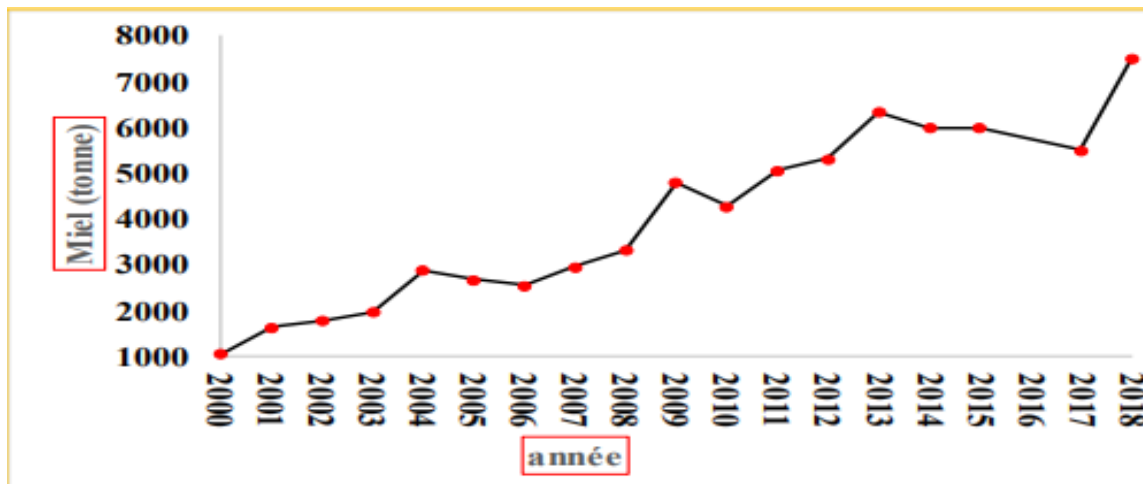


Figure I. 3 : Evolution de la production du miel en Algérie entre 2000 et 2018 (14).

On remarque que la quantité de miel continue d’augmenter, au cours des années 2000 (1100), 2001 (1600), 2002 (1950), etc.

Elle est passée de 4.770 en 2010 à 7.000 tonnes en 2018(**Figure I.3**).

D’après l’ITELV 2020(13), la production nationale du miel a presque doublé au cours des dix dernières années (+85%), pour atteindre 74.420 quintaux/an en 2020.

Ces chiffres n’est cependant pas exhaustif car il y a aussi des volumes produits et commercialisés par des réseaux informels(13).

Le tableau ci-dessous montre la production totale du miel par wilaya et par an entre l’année 2013 et 2017. On trouve en premier lieu la wilaya de Skikda avec 920 tonnes suivie par la wilaya de Bouira avec 652 tonnes durant l’année 2016.

Wilaya	2013	2014	2015	2016	2017	rapport	variations
Adrar							
Chlef	230	231	200	252	255	1,11	0,24
Laghouat	25	27	39	39	43	1,72	0,52
Oum El	22	14	13	15	8	0,36	0,97

Bouaghi							
Batna	344	145	365	250	177	0,51	0,86
Bejaia	195	121	143	165	195	1,00	0,45
Biskra	54	54	62	63	70	1,30	0,26
Bechar	3	1	7	7	7	2,33	1,20
Blida	235	456	352	446	453	1,93	0,57
Bouira	550	645	680	652	550	1,00	0,21
Tamanrasset	-	-	-	-	-	-	-
Tebessa	65	90	120	99	110	1,69	0,57
Tlemcen	200	163	180	165	150	0,75	0,29
Tiaret	34	53	53	50	32	0,94	0,47
Tizi Ouzou	300	160	298	491	313	1,04	1,06
Alger	40	49	49	50	54	1,35	0,29
Djelfa	17	13	15	19	19	1,12	0,36
Jijel	546	97	230	518	168	0,31	1,44
Sétif	224	127	227	326	222	0,99	0,88
Saida	36	35	24	36	31	0,86	0,37
Skikda	610	614	622	920	926	1,52	0,43
Sidi Bel Abbes	39	35	29	47	46	1,18	0,46
Annaba	78	81	85	90	101	1,29	0,26
Guelma	218	228	266	244	162	0,74	0,47
Constantine	277	192	205	114	83	0,30	1,11
Médéa	165	123	152	157	196	1,19	0,46
Mostaganem	113	95	113	107	125	1,11	0,27
Msila	58	58	63	52	33	0,57	0,57
Mascara	130	150	180	175	173	1,33	0,31

Ouargla	1	0	1	1	5	5,00	3,13
Oran	10	16	21	24	25	2,50	0,78
El Bayadh	3	6	17	5	8	2,67	1,79
Ilizi	-	-	-	-	-	-	-
Bordj Bou Arreridj	74	69	90	70	35	0,47	0,81
Boumerdes	192	163	196	207	154	0,80	0,29
El Tarf	163	180	272	269	240	1,47	0,48
Tindouf	-	-	-	-	-	-	-
Tissemsilt	41	33	28	26	44	1,07	0,52
El Oued	-	-	2	2	4	-	0,75
Khenchela	9	45	56	45	57	6,33	1,13
SoukAhras	260	465	149	183	42	0,16	1,92
Tipaza	119	158	325	279	368	3,09	1,00
Mila	204	227	206	211	138	0,68	0,45
Ain Defla	113	118	119	122	135	1,19	0,18
Naama	10	10	11	8	31	3,10	1,64
Ain Temouchent	36	40	38	37	39	1,08	0,11
Ghardaia	6	9	9	7	6	1,00	0,41
Relizane	101	110	120	90	90	0,89	0,29
Total	6150	5706	6432	7135	6123	1,00	0,23

Tableau I. 3 : Répartition de la production nationale, en tonnes par wilaya, entre 2013 et 2017, avec un profil d'évolution, un indicateur de croissance et un indicateur de variabilité(12).

4.6 L'importation du miel en Algérie :

Entre 2013 et 2019, l'Algérie a importé 3600 tonnes de miel -soit en moyenne 700 tonnes par an- de plusieurs pays, l'Espagne est sa principale source (84% des importations) (14) et le reste provient de l'Allemagne, la France, le Canada etc.

Cette quantité indique une moyenne de 700 tonnes par an, qui représente un taux de 9 à 11% de la production nationale au cours de cette période avec une exception à 16% en 2016 car c'est l'année à plus forte production enregistrée récemment en Algérie (12).

Malgré la quantité importée et la quantité produite par le pays, la demande dépasse toujours l'offre à un taux élevé, bien que la consommation du miel par l'algérien n'excède pas les **176g/an** en 2020 (13).

L'absence d'un marché structuré et la faible production de ce produit précieux sont les principales raisons de sa cherté, son prix devrait osciller entre 3 500 et 5 600 DA/kg mais il peut atteindre les 10 000 DA/kg, par contre du miel d'importation cédé autour de 2 500 DA/kg, selon la variété (13).

5. Conclusion :

L'apiculture est une branche incluse dans le domaine d'agriculture qui est très importante. On ne doit pas la ignorer par ce qu'elle nous fournit plusieurs produits qui ont différents avantages dans notre vie quotidienne.

Ce chapitre a inclus différents aspects de cette branche : des généralités sur les produits de ruche, des définitions, ainsi que des statistiques concernant la production d'un liquide précieux qui est le miel au niveau mondiale au national.

Dans les chapitres suivants, on va intégrer l'aspect technique dans ce domaine pour atteindre notre objectif cité dans l'introduction générale.

*Chapitre 02 : Analyse et étude de la
chaîne de production du miel.*

1. Introduction :

L'apiculture est une activité très importante dans le domaine agricole, elle a un grand impact sur la protection de l'environnement. Plus précisément, les abeilles sont indispensables pour la reproduction (pollinisation) des fleurs et végétaux, ce qui signifie que cette petite insecte joue un rôle très important dans notre écosystème.

Le CNRS et l'INRA (Centre et institue des recherches scientifiques en France) ont estimé qu'environ 35% de la production alimentaire mondiale dépend de la pollinisation (vaccination des fleurs) et 80% d'espèces végétales dépend également de cette dernière pour leur survie, leur reproduction et leur développement.

On constate que la disparition des abeilles pose de graves problèmes dans plusieurs domaines. Selon Albert Einstein : « Si les abeilles disparaissaient de la surface du globe, l'homme n'aurait plus que 4ans à vivres ».

Ce travail est fait pour basée sur le domaine d'apiculture en se basent sur le côté technique, c'est-à-dire l'étude technique des machine nécessaire pour la récolte d'un liquide précieux « le miel ».

2. Processus de fabrication du miel :

Afin que le client puisse obtenir un pot de miel naturel et propre, l'apiculteur passe par plusieurs étapes pour confirmer la satisfaction, de la récolte jusqu'au conditionnement.

Sa première tâche est d'apporter la hausse –la partie supérieure de la ruche– à la miellerie ; Le miel est disposé dans les cadres de la ruche, fermées dans les alvéoles par des opercules de cire. L'apiculteur ne récolte le miel qu'à partir de la hausse afin qu'il laisse suffisamment de nourriture dans la ruche pour la colonie en vue de l'hiver.

La première étape dans la miellerie est la désoperculation, elle consiste à enlever la couche de cire –qui servira à créer de nouveaux cadres- à l'aide d'un couteau spécifique à désoperculer (ou bien une machine à désoperculation).

L'étape suivante sert à vider les cadres de son contenu qui sont placés dans un extracteur par la force centrifuge. Puis, il arrive à l'étape de filtration du produit obtenu à l'aide d'une cuve rotative. Une dernière étape consistant à faire remonter les particules restantes est effectuée dans un maturateur.

Après une période spécifique de maturité, il reste que le conditionnement (la mise en pot et l'étiquetage) puis le stockage, ce produit précieux doit être entreposé dans un endroit sombre et sec, et à une température d'environ 25°C.

La figure suivante illustre ce processus de fabrication :

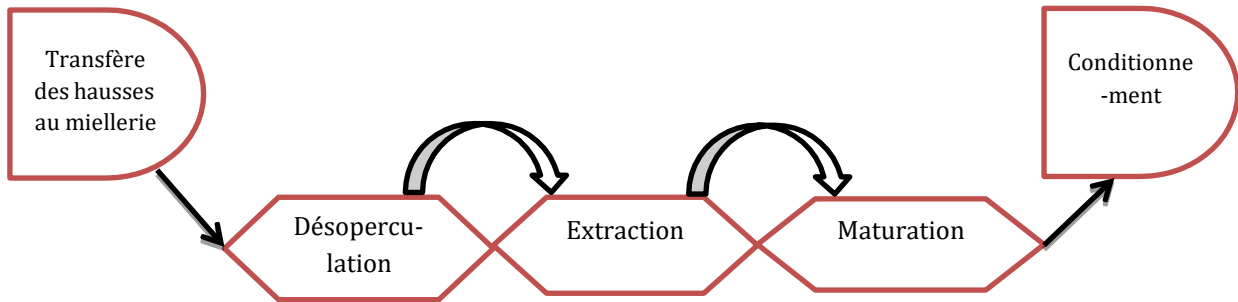


Figure II. 1 : Processus de fabrication du miel.

3. La matière première :

L'entreprise aura besoin d'un seul type de matière première, c'est la hausse.

Tout d'abord, il faut avoir une idée sur les éléments principaux d'une ruche. La figure II.1 montre une ruche décomposée et Le tableau II.1 montre ses éléments avec une petite définition pour chaque un.

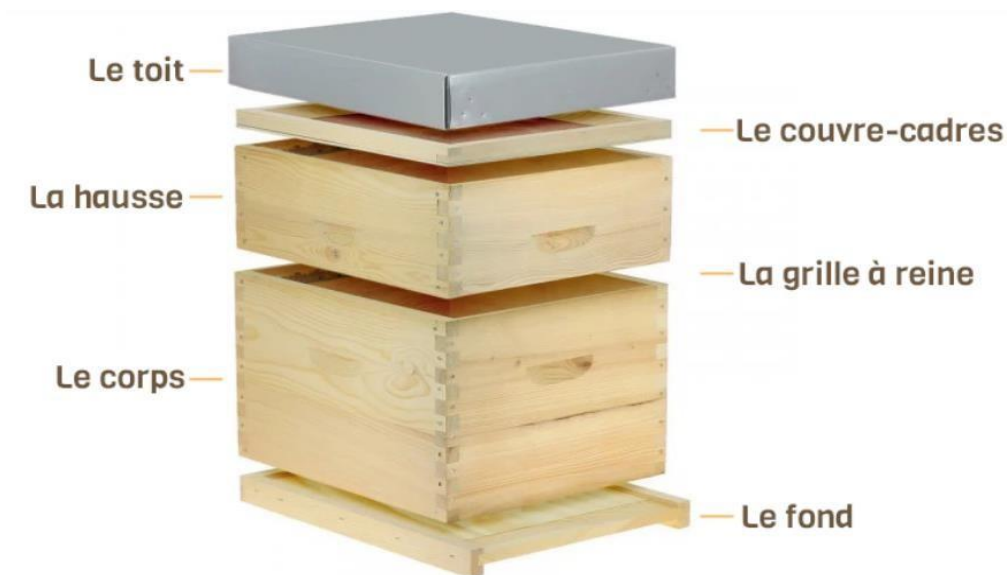


Figure II. 2 : les éléments essentiels d'une ruche (1).

Élément de la ruche	Définition
Le toit	C'est la porte d'accès de la ruche pour l'apiculteur et qui protège la colonie des intempéries.
Le couvre cadre	C'est l'élément et qui empêche les abeilles de monter dans le toit et de coller avec la propolis.
La hausse	Cet élément tire son nom de sa position dans la ruche, il se trouve au-dessus du corps. Lors de la récolte, l'apiculteur prélève les cadres de cette hausse afin qu'il extraire le miel qu'ils contiennent.
La grille à reine	La grille à reine est utilisée pour empêcher la reine de quitter le corps de la ruche vu qu'elle la est plus grande que les abeilles ouvrières.
Le corps	C'est l'élément le plus important dans la ruche, il contient 8 à 10 cadres ou la reine pond ses œufs et les ouvrières stockent le pollen et le miel pour la nourriture.
Le fond	C'est le dernier élément principal qui se trouve à la partie inférieure de la ruche, il constitue le plancher de cette dernière et fournit un seul côté d'entrée et de sortie pour les abeilles ;

Tableau II. 1 : définitions des éléments principales de la ruche.

Maintenant on va voir que signifie une hausse ? Qu'est-ce qu'elle contient ? Et à quoi elle sert ?

3.1 Définition :

La hausse –appelée aussi « le magasin à miel »- est l'élément le plus essentiel durant notre travail –c'est-à-dire- pour la production du miel- elle sert à stocker le miel fabriqué par les abeilles ouvrières exactement dans les cellules des cadres de cire qu'elle contient. Généralement une hausse contient 10 cadres dedans.

La figure II.2 illustre cet élément.



Figure II. 3 : Hausse pleine.

4. Les machines à adopter :

Dans cette partie on va citer les machines nécessaires dans chaque étape de production de miel : la désoperculation, l'extraction et la maturation.

4.1 Désoperculation :

Quand les cellules des cadres des hausses seront remplies du miel par les abeilles ouvrières, ces dernières vont ajouter une couche fine de cire pour couvrir leur produit.

Donc la première étape dans le processus de fabrication du miel au sein de la miellerie consiste à enlever cette couche pour faciliter l'extraction du miel. Pour cela on va citer trois types d'outils servent à bien appliquer l'opération de désoperculation.

- **Couteau ordinaire** : c'est l'élément le moins cher il permet une découpe de la cire qui recouvre les rayons des ruches.
- **Couteau électrique** : ce couteau permet de désoperculer les cadres plus facilement par rapport au couteau ordinaire grâce au réglage automatique de température de la lame.
- **Machine à désoperculer** : cette machine contient une lame et un bac dans lequel les chutes de cire tombent, elle est plus pratique que les couteaux car l'opérateur doit juste faire passer les cadres dedans pour désoperculer les deux faces simultanément.

4.2 Extraction :

Après la phase de désoperculation, on arrive à la deuxième étape qui concerne l'extraction du miel. Pour cela, les cadres doivent être soumis à un mouvement de rotation rapide pour libérer le miel des cellules par l'action de la force centrifuge. Cette opération sera faite par une machine qu'on l'appelle « extracteur ».

On constate deux types d'extracteur :

- **Extracteur tangentiel** : dans lequel les cadres seront placés face à la paroi. Plusieurs manipulations sont nécessaires avec ce type, car le miel s'écoule par un seul côté du cadre. Il faut donc faire tourner chaque cadre après l'extraction. L'opération peut être à renouveler plusieurs fois.
- **Extracteur radiaire** : dans lequel les cadres seront placés dans le sens perpendiculaire par rapport au bord de la cuve. Ce système permet de vider simultanément les deux faces du cadre.

Dans chaque type d'extracteur, on trouve deux catégories : manuel et électrique. Chaque un se caractérise par la capacité du nombre de cadre qu'il contient. Le manuel peut contenir de 2 jusqu'à 12 cadres et l'électrique peut contenir de 4 jusqu'à 40 cadres.

4.3 Filtrage et maturation :

Cette étape est beaucoup plus simple que les deux précédentes mais elle est très importante dans la production du miel. Lors de l'extraction du miel, des chutes de cire des cadres cassés seront mélangés avec ce produit précieux. Donc, il sera indispensable de filtrer le miel à l'aide d'outils précises. Pour cela on le fait passer à travers des tamis, chaque un comportera des mailles de dimension précise.

Par la suite, on stock le miel dans des maturateurs durant une période qui dépend de la qualité de miel, généralement de 5 à 7 jours.

5. La stratégie :

Durant notre travail, on va se baser sur le processus de fabrication d'un seul produit de ruche qui est le miel. Pour cela, on va faire une étude technique sur la quantité de ruche qu'on a déjà acheté (100 ruches).

D'après les résultats qu'on a trouvés dans le chapitre I, la moyenne de la production nationale du miel d'une seule ruche est 4 kg/an.

Notre objective consiste à produire six types de miel par an, ce qui signifie qu'on doit déplacer nos ruches d'une zone à une autre pour une meilleur utilisation.

Chaque zone contient un type de plante spécifique qui permet aux abeilles de produire un type de miel précis. La durée de production dans chaque zone est montrée dans la figure suivante.



Figure II. 4 : Stratégie de travail.

Les types de ce liquide précieux et leurs zones sont présentés dans le tableau II.2.

Type de miel	La zone correspondante
Miel d'asperges	Tlemcen (Ouzidan)
Miel de caroubier	Tlemcen (Nadrouma)
Miel de romarin	Tlemcen (Sidi Djijali)
Miel d'oranger	Tlemcen (Ain EL Houte)
Miel de chardon	El Bayadh (Montagne El gour)
Miel de jujubier	Bechar

Tableau II. 2 : les types de miel et les zones correspondantes.

6. Etude des temps et proposition des alternatives :

Notre objectif dans cette partie est d'avoir le meilleur choix de machines pour la production du miel de 100 ruches selon deux critères : le temps opératoire et le coût de chaque machine.

Pour cela, on va étudier étape par étape le processus, et dans chaque une on se base sur la production de 36 cadres qui implique quatre hausses.

6.1 Désoperculation :

Le tableau suivant montre le coût et le temps opératoire (pour 36 cadres) de chaque alternative proposée dans l'étape de désoperculation des cadres. Le couteau ordinaire nécessite 0.61 minutes pour un seul cadre, le couteau électrique 0.5 minutes et la machine 0.42 minutes (2).

Alternatives	Coûts (DA)	Temps pour 36 cadres (min)
Couteau ordinaire	2.750	22
Couteau électrique	15.000	18
Machine	137.650	15

Tableau II. 3 : temps d'enlèvement des opercules. (2)

6.2 Extraction :

Les temps opératoires de chaque extracteur sont répartis de la manière suivante (tableau II.4) :

Alternatives Temps (min)	Extracteur 9 cadres	Extracteur 18 cadres	Extracteur 36 cadres
Chargement de l'extracteur :	0.75	1.5	3
Centrifugation (durée de rotation) :	10	10	10
Déchargement de l'extracteur et rangement des cadres vides dans les hausses :	0.75	1.5	3

Tableau II. 4 : la répartition des temps opératoire durant l'étape d'extraction.

On constate que chaque extracteur nécessite un temps opératoire précis :

- Extracteur 9 cadres : 11,5 minutes.
- Extracteur 18 cadres : 13 minutes.
- Extracteur 36 cadres : 16 minutes.

Le tableau suivant montre le cout de chaque extracteur et son temps opératoire pour traiter 36 cadres.

Alternatives	Coûts (DA)	Temps pour 36 cadres
Extracteur 9 cadres	155.870	46 (4 Séquences de 11.5min)
Extracteur 18 cadres	195.000	26 (2 Séquences de 13min)
Extracteur 36 cadres	600.000	16 (1 séquence)

Tableau II. 5 : coûts des extracteurs.

Le tableau II.6 montre le cout total de chaque alternative et le temps pour produire 36 cadres :

C.O : couteau ordinaire, **C.E** : couteau électrique ; **M.D** : machine à désoperculer, **E9** : extracteur 9 cadres, **E18** : extracteur 18 cadres, **E36** : extracteur 36 cadres.

Alternatives	MATÉRIEL		Cout total (da)	Cmax (min) (36cadres)
	Désoperculation	Extraction		
1	C.O	E9	174.620	51.5
2	C.O	E18	213.750	37
3	C.O	E36	618.750	38
4	C.E	E9	186.870	50.5
5	C.E	E18	226.000	35
6	C.E	E36	631.000	34
7	M	E9	309.520	49.75
8	M	E18	348.650	33.5
9	M	E36	753.650	31

Tableau II. 6 : coût total des alternatives.

Le calcul des temps opératoires (Cmax) de chaque alternative sont montrés dans les diagrammes de Gantt qui sont illustrés dans les figures suivantes

(Les temps dans les diagrammes sont en secondes).

La figure II.5 montre le diagramme de Gantt de l'alternative 1 qui nécessite un Cmax égale à 51,5 minutes.

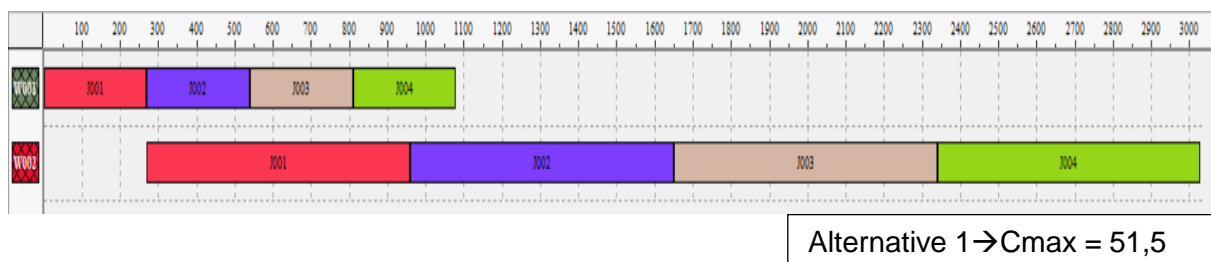


Figure II. 5 : **Alternative 1.**

La figure II.6 montre le diagramme de Gantt de l'alternative 1 qui nécessite un Cmax égale à 37 minutes.

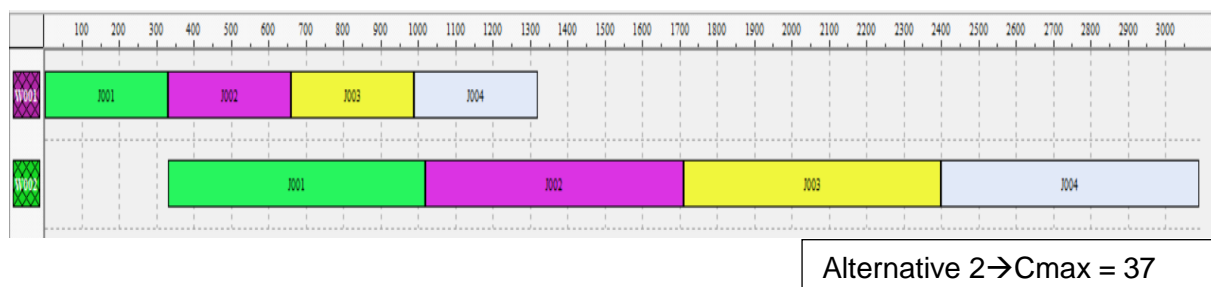


Figure II. 6 : **Alternative 2.**

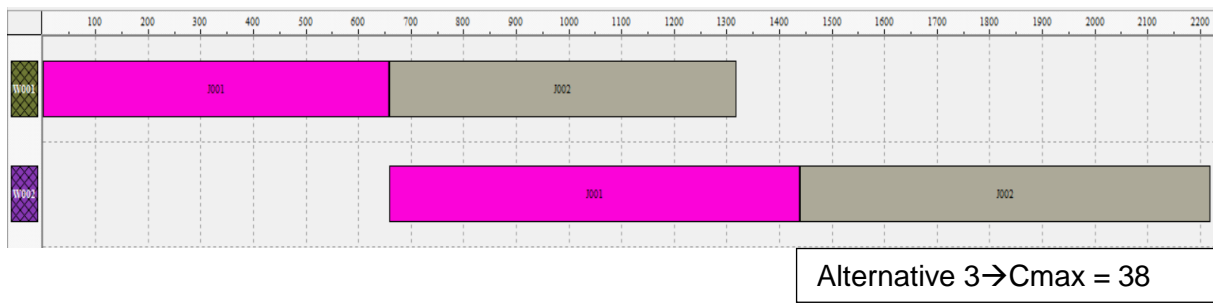


Figure II. 7 : Alternative 3.

La figure II.7 montre le diagramme de Gantt de l'alternative 1 qui nécessite un C_{max} égale à 38 minutes.

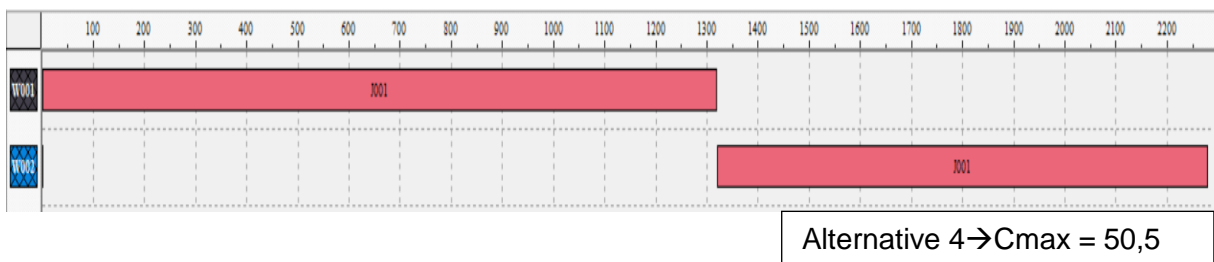


Figure II. 8 : Alternative 4.

La figure II.8 montre le diagramme de Gantt de l'alternative 1 qui nécessite un C_{max} égale à 50,5 minutes.

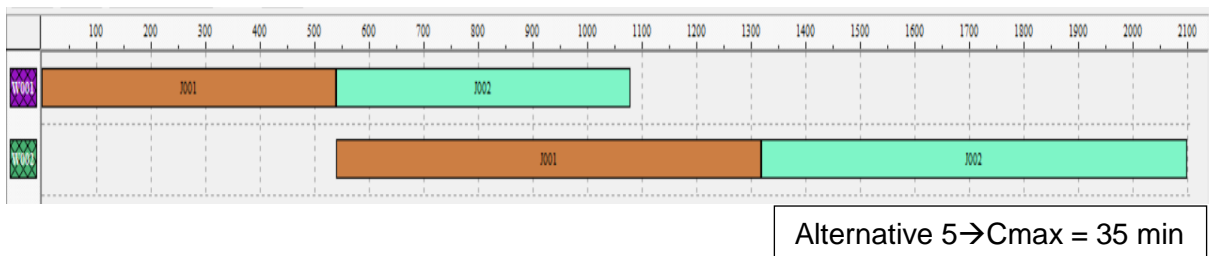


Figure II. 9 : Alternative 5.

La figure II.9 montre le diagramme de Gantt de l'alternative 1 qui nécessite un Cmax égale à 35 minutes.

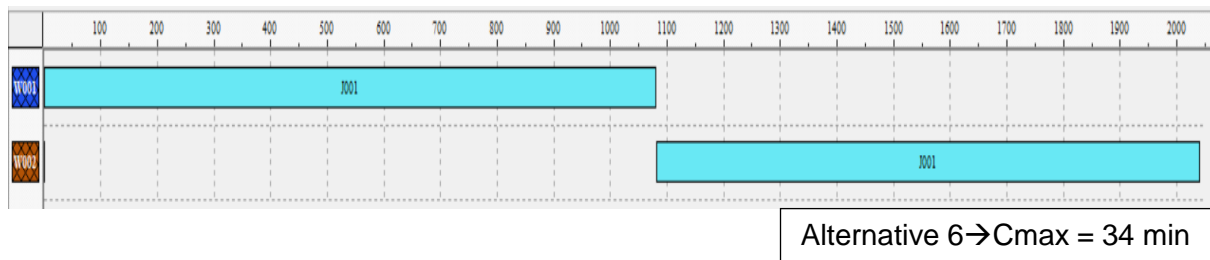


Figure II. 10 : Alternative 6.

La figure II.10 montre le diagramme de Gantt de l'alternative 1 qui nécessite un Cmax égale à 34 minutes.

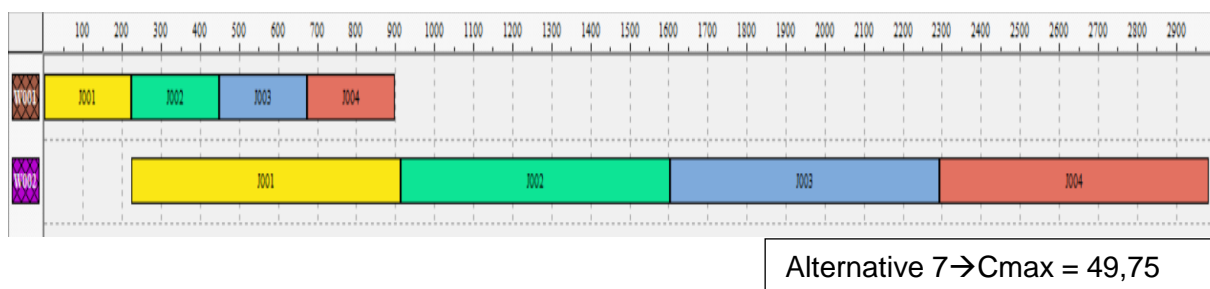


Figure II. 11 : Alternative 7.

La figure II.11 montre le diagramme de Gantt de l'alternative 1 qui nécessite un Cmax égale à 49,75 minutes.

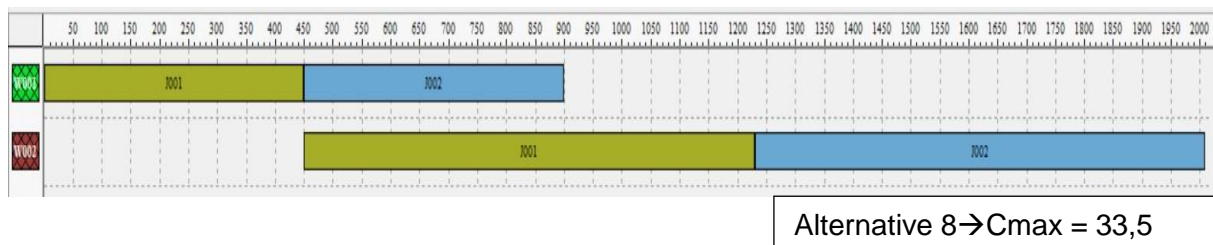


Figure II. 12 : Alternative 8.

La figure II.12 montre le diagramme de Gantt de l'alternative 1 qui nécessite un Cmax égale à 33,5 minutes.

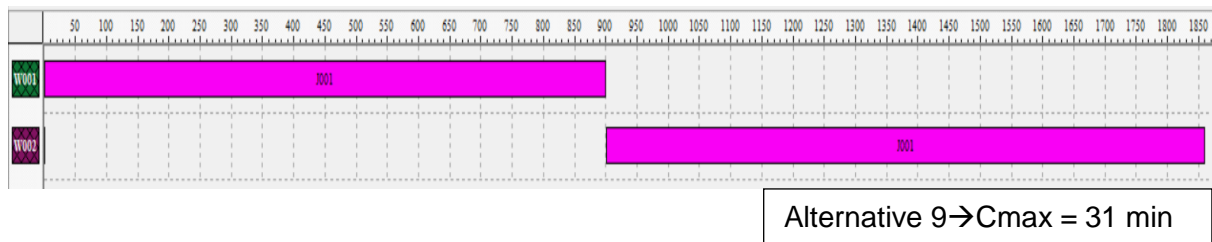


Figure II. 13 : Alternative 9.

La figure II.13 montre le diagramme de Gantt de l'alternative 1 qui nécessite un Cmax égale à 31 minutes.

Maintenant il faut choisir la meilleure alternative parmi les neufs qu'on a proposés pour le bon déroulement de travail. Pour cela on va utiliser un outil d'aide à la décision multicritère.

7. Analyse TOPSIS :

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution): est une méthode qui permet de classer par ordre de choix un certain nombre d'alternative sur la base d'un ensemble de critère favorable ou défavorable. Cette méthode appartient aux techniques utilisées dans le domaine d'aide à la décision multicritères (MCDM : Multiple Criteria Decision Marking).

Dans ce qui suit, on va appliquer les étapes de cet outil sur notre problème qui concerne le choix du meilleur alternatif pour le processus de fabrication du miel.

7.1 Application de l'analyse :

Premièrement, on va déterminer les éléments (Y_{ij}) de la matrice de décision normalisé (Tableau II.7) en appliquent la loi suivante : $Y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_i (x_{ij})^2}}$ tel que les X_{ij} sont les éléments de la matrice de décision originale (Tableau II.6).

Alternatives	Cout	Temps
1	174629	51,5
2	213750	37
3	618750	38
4	186870	50,5
5	226000	35
6	631000	34
7	309520	49,75
8	348650	33,5
9	753650	31
Racine (somme. Carrée)	1314739,93	122,289871

Tableau II. 7 : Matrice de décision originale.

Alternatives	Cout	Temps
1	0,13282399	0,42113055
2	0,16257968	0,30255981
3	0,4706254	0,3107371
4	0,14213457	0,41295325
5	0,17189711	0,28620523
6	0,47994283	0,27802793
7	0,23542299	0,40682028
8	0,26518553	0,27393929
9	0,57323124	0,25349606

Tableau II. 8 : Matrice de décision normalisée.

Maintenant, on doit choisir une valeur de poids (r_j) pour chaque critère. Et puisque on a considéré que le cout et le temps de production ont le même degré d'importance, on donne un poids de 0,5 pour chaque un.

Cela nous permet de calculer la nouvelle matrice de décision en considération des poids de critères. Puis, on calcul V_{i+} , V_{i-} , S_{i+} , S_{i-} et P_i tel que :

V_{i+} : C'est l'alternative favorable idéale. Cela implique dans notre cas le cout et le temps les plus petits. $\rightarrow V_{i+} = \min \{Y_{ij} * r_j\}$.

V_{i-} : C'est l'alternative défavorable idéale. Cela implique dans notre cas le cout et le temps les plus élevés. $\rightarrow V_{i-} = \max \{Y_{ij} * r_j\}$.

S_{i+} : C'est l'écart de chaque alternative par rapport à la meilleure solution $V_{i+} \rightarrow S_{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (V_{ij} - V_{j+})^2}$

S_{i-} : C'est l'écart de chaque alternative par rapport à la pire solution $V_{i-} \rightarrow S_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (V_{ij} - V_{j-})^2}$

P_i : C'est le coefficient de proximité de la solution idéale ou ce qu'on appelle le score de performance tel que : $P_i = \frac{S_{i-}}{(S_{i+}) + (S_{i-})}$

Le tableau suivant résume tous les calculs précédents et le résultat final de notre problème.

Alternative s	S_{i+}	S_{i-}	$(S_{i+}) + (S_{i-})$	P_i	Classement
1	0,08381724	0,22020363	0,30402087	0,72430431	5
2	0,02869082	0,17173715	0,20042797	0,8568522	2
3	0,17130844	0,28197775	0,45328619	0,62207443	7
4	0,07986439	0,21836473	0,29822913	0,73220459	4
5	0,02547842	0,16692966	0,19240808	0,86758136	1
6	0,17399231	0,27732862	0,45132093	0,61448206	8
7	0,09224271	0,23501422	0,32725693	0,71813366	6
8	0,06696548	0,19063453	0,25760001	0,74004085	3
9	0,22020363	0,31339045	0,53359408	0,58731996	9

Tableau II. 9 :Résultat TOPSIS.

D'après le tableau II.8, on constate que le cinquième alternatif est la meilleure solution pour notre travail de production de miel. Cette solution correspond au choix du couteau électrique pour l'étape de désoperculation et l'extracteur de 18 cadres pour l'étape d'extraction de miel.

Donc on sera besoin d'acheter ce matériel qui coute 226.000 DA et qui permet de produire une quantité de miel de 36 cadres pendant 35 minutes.

D'autre part, on remarque que cette solution n'est pas beaucoup loin de la deuxième qui correspond au choix du couteau ordinaire pour la désoperculation et l'extracteur de 18 cadres pour l'extraction de ce liquide précieux. Ce matériel coute 213.750 DA et nous permet de terminer le processus de production pendant 37 minutes.

L'écart entre ces deux solutions est de 12.250 DA par rapport au cout d'achat et de 2 minutes par rapport au temps d'exécution.

Dans la suite, on va appliquer ces deux solutions pour la production du miel de nos 100 ruches pour avoir la différence du temps entre les deux alternatives.

Tout d'abord, il faut connaitre que la quantité de miel produite à partir de 100 ruches sera égale à 400 kg avec une moyenne de 4kg par ruche. En plus d'après la stratégie qu'on a proposée pour le bon déroulement de travail et une meilleure utilisation de ces ruches, on va réaliser six récolte par an, cela implique qu'on va avoir une capacité de production de miel de 2400 kg par an (400 kg de chaque récolte et de types différents de miel FigureII.4).

8. Production de 1000 cadres :

Dans cette partie on va déterminer le temps nécessaire pour terminer la production de quantité de miel qui vient de 100 ruches, en se basant sur les machines préalablement sélectionnées :

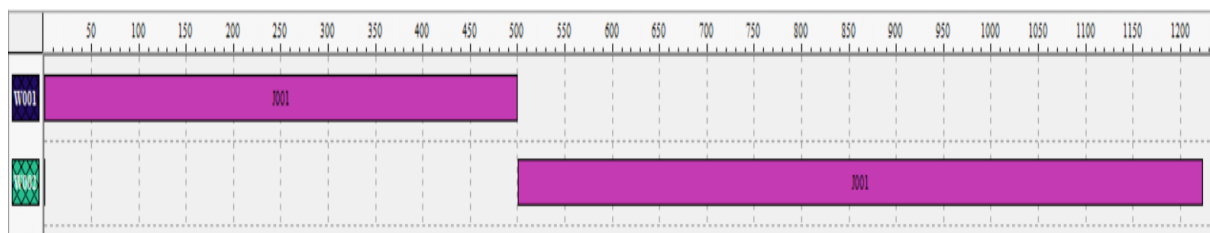


Figure II. 14 : Production de 100 ruches.

La figure ci-dessus montre le diagramme de Gantt qui résume les deux premières étapes de production du miel –désoperculation et extraction de nos 100 ruches.

On constate que ces deux étapes nécessitent une durée de travail égale à 1223 minutes (20, 37h). La durée totale de production ou ce qu'on appelle le temps de cycle de la chaîne sera déterminé dans le dernier chapitre de cette étude.

9. Conclusion :

L'analyse multicritère est un outil très important pour la prise de décision développée pour résoudre des problèmes multicritères qui contiennent différentes caractéristiques qualitatives et quantitatives.

Ce chapitre a été dédié à l'utilisation d'un outil de ce domaine pour résoudre le problème de choix d'un meilleur alternatif concernant les machines utilisées dans la chaîne de production de miel.

Donc, on aura besoin de choisir la meilleure disposition pour les éléments de cette chaîne. C'est ce qu'on va détailler dans le chapitre suivant.

*Chapitre 3 : **Facilities design.***

1. Introduction :

Les propriétaires de petites entreprises doivent tenir compte de nombreux facteurs opérationnels lors de la construction ou de la rénovation d'une installation pour une efficacité maximale de l'aménagement. Cela est également important pour nous car on doit mettre en œuvre l'aménagement de nos machines de la ligne de production du miel.

Dans le chapitre précédent, on a défini notre chaîne de production et on a sélectionné les machines nécessaires selon deux critères grâce à l'outil d'aide à la décision multicritère TOPSIS. Par conséquent, dans cette partie on va étudier l'installation de ces machines afin d'atteindre une efficacité maximale.

2. Définition :

Facilities ou les installations peuvent être définies comme des bâtiments ou les gens utilisent du matériel, des machines et d'autres ressources pour fabriquer un produit tangible ou fournir un service (1). Autrement dit, l'installation est l'espace dans lequel se déroulent les activités d'une entreprise. La disposition et la conception (design) de cet espace ont un impact considérable sur la manière dont le travail est effectué : le flux de travail, les matériaux et les informations dans le système (2).

Facilities design ou bien l'aménagement des installations est un élément important des opérations globales d'une entreprise, à la fois pour maximiser l'efficacité du processus de production et pour répondre aux besoins des employés (2). Les objectifs principaux de cette notion sont : la minimisation des coûts et maximisation des profits, la diminution des risques dans les entreprises et l'optimisation des flux matériaux (3).

3. Les types de layout (disposition):

Il existe cinq types de conceptions d'aménagement d'usine, Chacun offre un ensemble unique d'avantages, d'utilisations et d'exigences de disposition. Les cinq types sont différents y compris la disposition orientée processus, la disposition orientée produit, la disposition fixe, la technologie de groupe et la disposition combinée.

La figure suivante résume les cinq types de disposition ainsi que leur variété et volume de production.

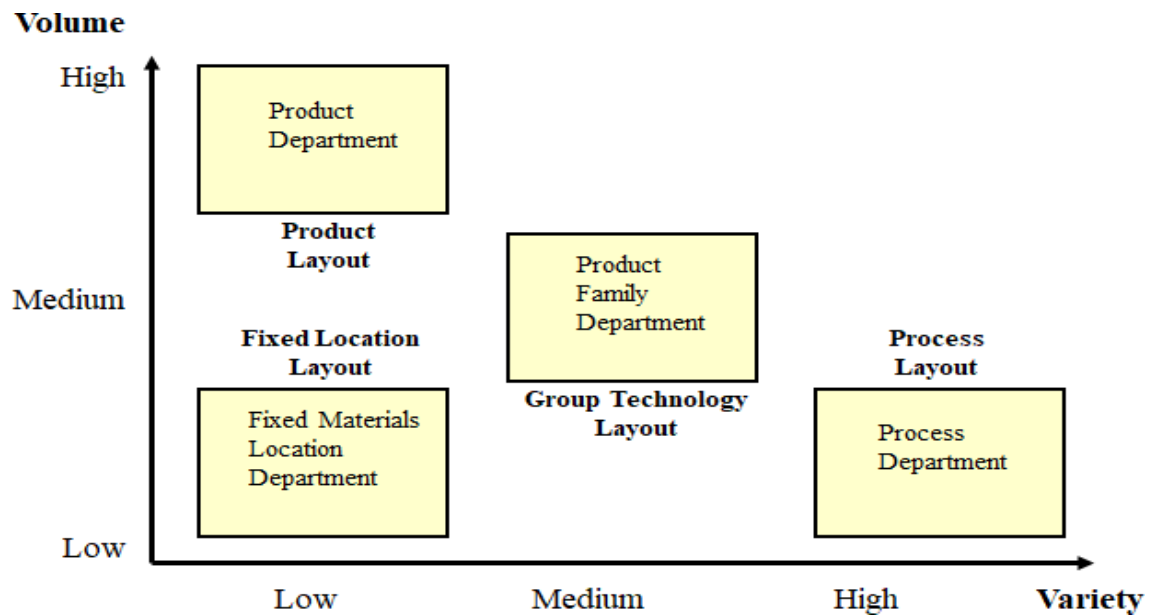


Figure III. 1 : les types de layout.

3.1 Disposition orientée processus « Process Layout » :

Ce type de disposition est centré sur le processus de production, il implique le regroupement de machines qui effectuent des opérations similaires dans le même département. Ce qui signifie une variété de produit en petites quantités.

La figure suivante montre un exemple de ce type de disposition.

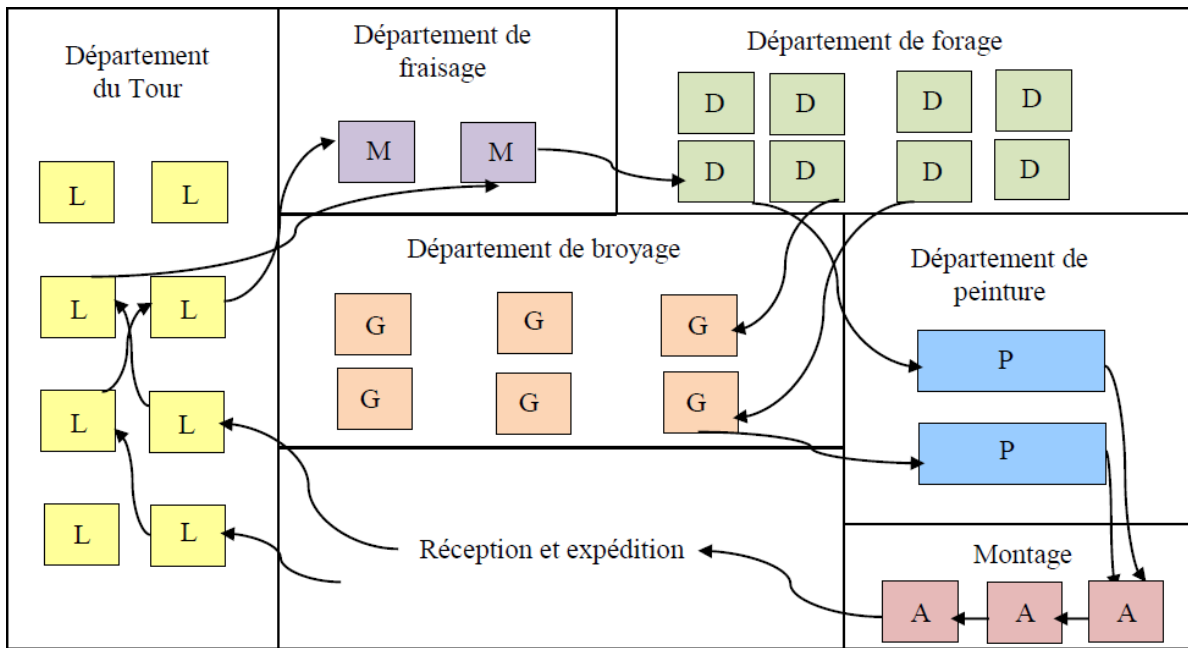


Figure III. 2 : Disposition orienté processus (3).

3.2 Disposition orientée produit :

Egalement appelée « Process layout », c'est une disposition où les machines sont disposées le long de la chaîne de production qui est réservée aux opérations répétitives à volumes élevés, ce qui implique une production -dans une zone de travail- d'un seul type de produit en grande quantité.

La figure suivante montre ce type de disposition.

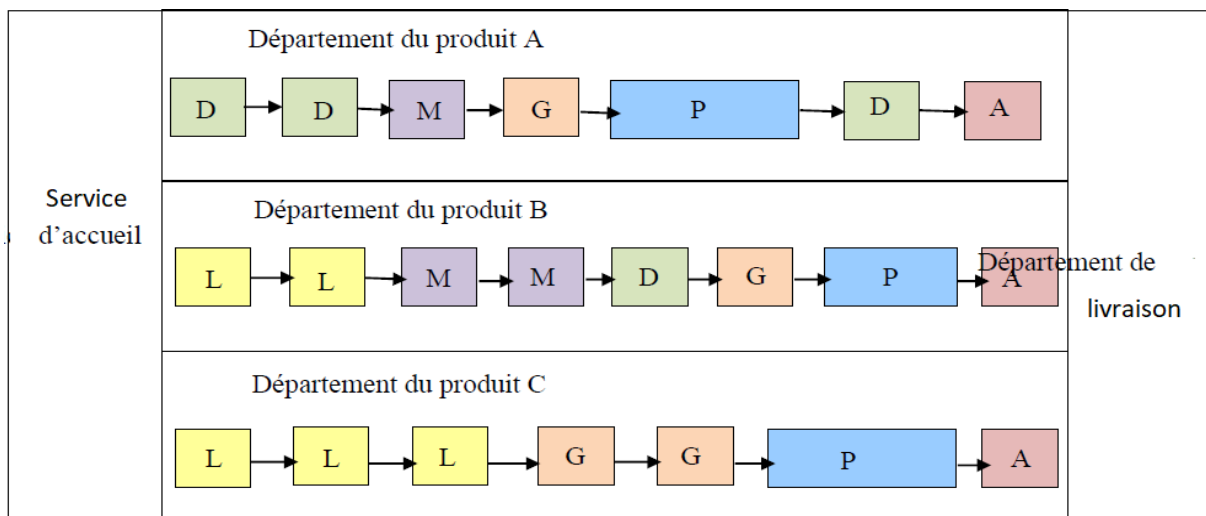


Figure III. 3 : Disposition orientée produit (3).

3.3 Disposition fixe :

Une disposition à position fixe -Appelée aussi « Fixed-position layout »- est réservée pour les produits qui ne peuvent pas être déplacés facilement comme un bateau ou un stade. Dans ce cas, c'est les équipements de fabrication qui vont amener à lui. Ce qui implique une production d'un seul produit volumineux.

Un exemple concret de cette disposition est illustré dans la figure suivante.

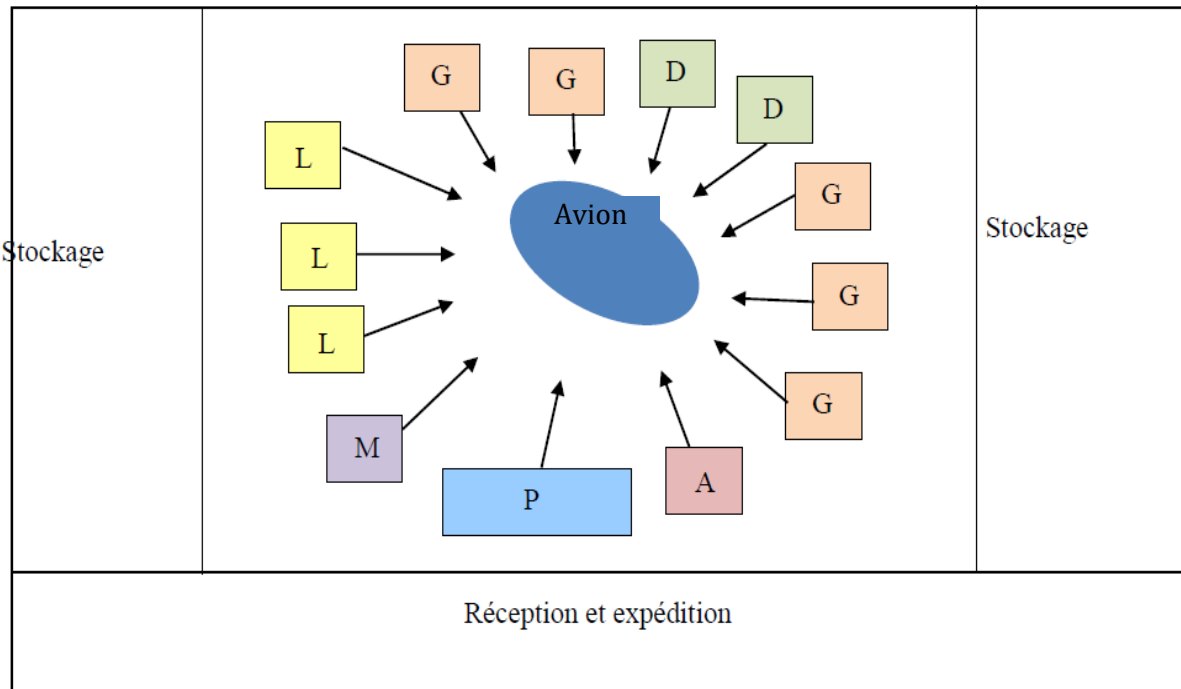


Figure III. 4: Fixed-position layout (3).

3.4 La technologie de groupe:

Appelée aussi Cellular layout ou plusieurs machines sont groupées dans des cellules différentes, chaque cellule va être utilisée pour la réalisation d'une famille de produit, ce qui signifie mi- volume et mi- variété.

La figure III.5 montre cette technologie.

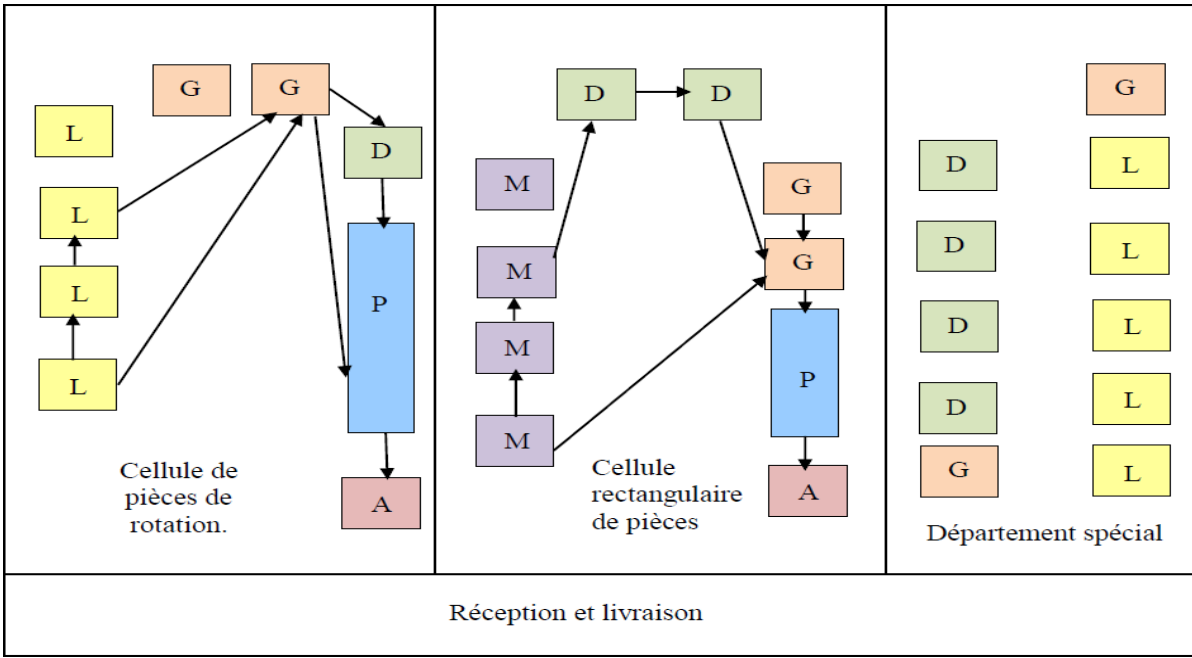


Figure III. 5 : Cellular layout (3).

3.5 Disposition combinée « Hybride layout » :

On constate de son nom que c'est une combinaison entre les types de disposition cités précédemment, elle est utilisée quand on ne peut pas appliquer un seul type de layout et on doit aussi fabriquer une variété de famille de produit.

Ce dernier type de disposition est illustré dans la figure suivante.

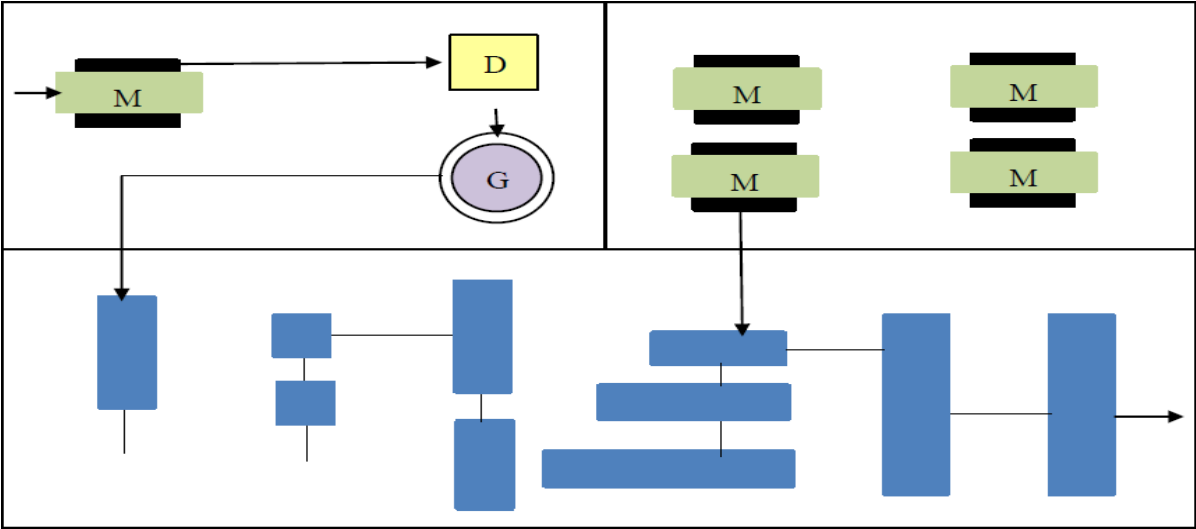


Figure III. 6 : Hybride layout (3).

4. Les avantages :

Une disposition bien conçue s'avère utile non seulement pour ceux qui sont liés au processus de production, mais aussi à l'ensemble de l'organisation. On va citer les avantages les plus importants d'une conception d'installations (facilities design).

Elle en résulte :

- Une efficacité améliorée.
- Une réduction du temps de cycle de fabrication.
- Une réduction du temps de manutention des marchandises.
- Une réduction des coûts.
- Une augmentation de la rotation des stocks.
- Un moral élevé des employés et la satisfaction au travail.
- Une amélioration de la satisfaction client.

5. Les données :

Il existe deux types de données : qualitatives et quantitatives.

5.1 Données qualitatives :

Ces données apportent les détails et le contexte pour en comprendre toutes les implications dans une entreprise comme la situation et les relations entre les départements. Ils sont interprétés avec le diagramme d'adjacence (Relationship chart).

5.2 Données quantitatives :

Ces données fournissent les chiffres qui valident les points généraux des attributs, variables mesurables d'une étude comme le flux entre les machines. Ils sont représentés généralement par la matrice de flux.

6. Méthodes et algorithmes :

Il existe plusieurs algorithmes et méthodes aidant à la conception d'une nouvelle installation ou son amélioration si elle déjà existe.

6.1 SLP (Systematic layout planning) :

SLP est une démarche inventée par Richard Mather en 1961, aide à l'implantation ou la réimplantation d'une installation. Il s'agit d'une combinaison d'analyses qualitative et quantitative qui comprend quatre étapes pour identifier, évaluer et visualiser toutes les zones impliquées dans l'organisation de layout.

6.1.1 la collecte des données :

Cette étape est résumé en cinq lettres « PQRST », chaque lettre répond à une question :

- ❖ **P : Produit** : répond à la question « quoi ? », données concernant le type de produit à fabriquer.
- ❖ **Q : Quantité** : répond à la question « combien ? », données concernant le volume de production de chaque famille de produit.
- ❖ **P : Routage** : répond à la question « comment ? », données concernant la séquence d'opération de chaque type de produit.
- ❖ **S : Support** : répond à la question « avec quoi ? », données concernant les services implémentés dans la chaîne.
- ❖ **T : Temps** : répond à la question « quand ? », données concernant le temps opératoires des machines utilisés.

6.1.2 Analyse des flux :

Cette étape vise à déterminer la quantité de matériaux circulant entre les différents départements, elle peut être représentée par une matrice « **Entre** » qui est une matrice non symétrique qui contient le nombre de déplacement entre les départements, ou bien par une matrice « **De-à** » qui est une matrice symétrique qui contient le nombre de déplacement d'un département à un autre.

La figure III.7 et III.8 représentent les deux types de matrice.

	Dept 1	Dept 2	Dept 3	Dept 4	Dept 5	Dept 6
Dept 1	-	33	7	3	1	4
Dept 2	33	-	5		2	9
Dept 3	7	5	-	8	10	8
Dept 4	3		8	-	19	11
Dept 5	1	2	10	19	-	38
Dept 6	4	9	8	11	38	-

Figure III. 7 : Matrice « De-à ».

	Dept 1	Dept 2	Dept 3	Dept 4	Dept 5	Det 6
Dept 1	-	12	3	3		
Dept 2	21	-				
Dept 3	4	5	-	8	8	8
Dept 4				-	4	4
Dept 5	1	2	2	15	-	19
Dept 6	4	9		7	19	-

Figure III. 8 : matrice « Entre ».

6.1.3 Tableau des relations d'activité :

En 1973, Muther a utilisé une approche qualitative systématique du tableau des relations d'activité –appelée aussi Relationship chart- pour résoudre le problème d'aménagement, cette approche est basée sur la définition des relations entre chaque paire de départements (1). Ces relations doivent être bien déterminées.

Les classes de cette approche sont illustrées dans le tableau suivant.

Code relationnel	Description de classe	Couleur
A	Absolument nécessaire	Rouge
E	Particulièrement important	Jaune ou orange
I	Important	Vert
O	Ordinaire	Bleu
U	Sans importance	Blanc
X	Indésirable	Marron

Tableau III. 1 : les classes et leurs codes couleur.

La figure suivante montre un simple exemple d'une Relationship chart.

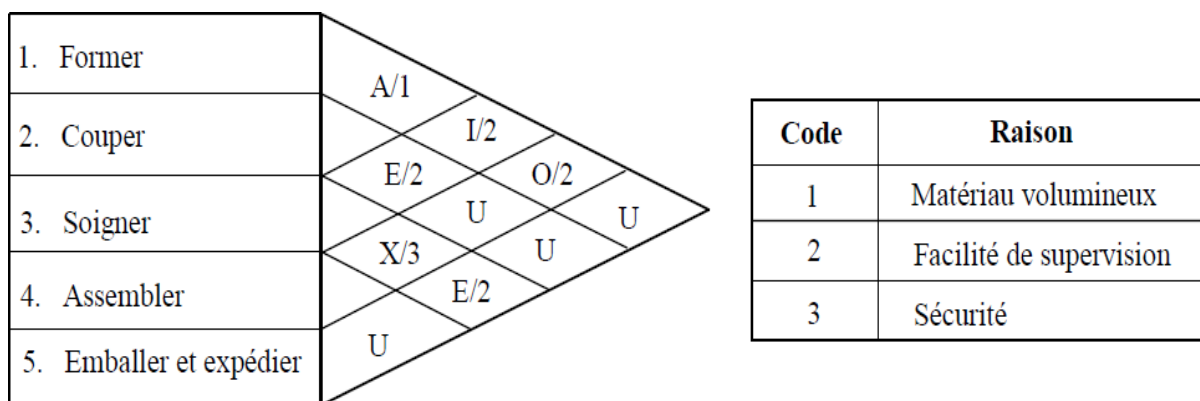


Figure III. 9 : Exemple d'un Relationship chart.

On prend un cas de cet exemple de la figure III.9 : la relation entre le département 2 (Couper) et le département 3 (Soigner) est de classe « Particulièrement importante », cela pour faciliter la supervision entre les deux.

6.1.4 Diagramme de relation :

Ce diagramme de relation –également appelé Relationship diagram- permet d'établir une localisation initiative des installations. Ces derniers sont connectés entre eux par des lignes comme le montre le tableau suivant :






Code relationnel	Lien entre départements
A	
E	
I	
O	
U	
X	

Tableau III. 2 : Types de lien entre département selon la classe.

La figure suivante montre un exemple d'un diagramme de relation.

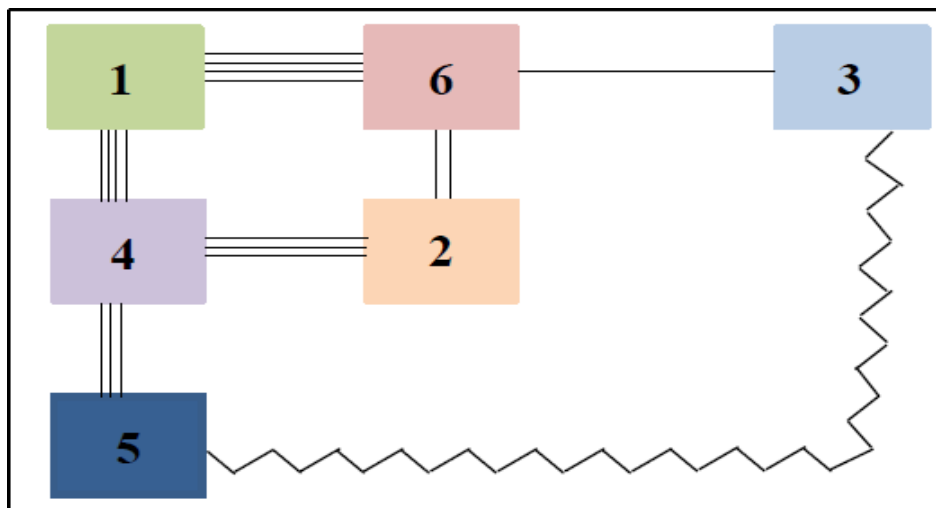


Figure III. 10 : Exemple d'un Relationship diagramme (4).

6.1.5 Diagramme de relation spatiale :

Cette dernière étape consiste à réaliser un diagramme de relation spatiale-également appelé Space Relationship diagram- qui sert à visualiser les surfaces de départements qui sont déjà connecté dans l'étape précédent, ces surfaces s'adaptent aux espaces réels. La figure suivante montre un exemple de ce diagramme.

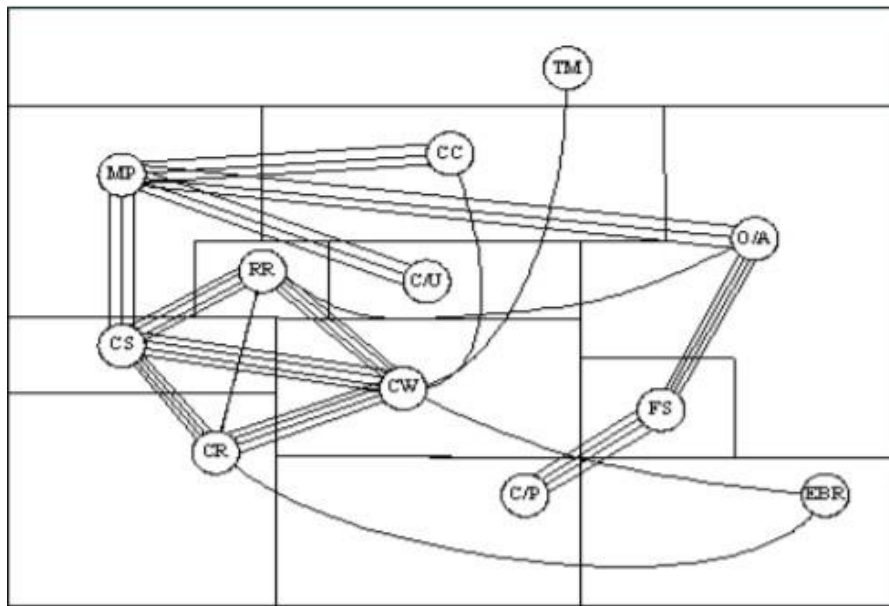


Figure III. 11 : Exemple d'un Space Relationship diagramme (1).

6.2 Algorithme MST :

Le MST (Modified Spanning Tree) est un algorithme de construction utilisé pour construire une nouvelle disposition d'une cellule de fabrication avec une structure linéaire (5) en minimisant le cout de transport entre chaque deux machines. Voici dans la suit les étapes de cette approche :

- ✓ **Etape 1** : Calcul de la matrice de poids d'adjacence f'_{ij} :

$$f'_{ij} = f_{ij}(d_{ij} + 0.5(l_i + l_j))$$

- ❖ f_{ij} : la matrice de flux.

- ❖ d_{ij} : la matrice de clearance.
- ❖ l_i : la longueur de la machine i .
- ❖ l_j : la longueur de la machine j .
- ❖ i : indice de la machine i .
- ❖ j : indice de la machine j .

✓ **Etape 2 :**

A partir de la matrice précédente, déterminer le pair des machines qui a la plus grande valeur dans cette matrice (f_{ij}) et changer leurs indices de i et j à i^* et j^* et leurs valeurs à $-\infty$, c'est-à-dire : $f_{i^*j^*} = f_{j^*i^*} = -\infty$

✓ **Etape 3 :**

Dans cette étape, on doit trouver le plus grand élément f_{i^*k} et f_{j^*l} à partir des deux lignes i^* et j^* , puis on teste :

- ❖ **Si** $f_{i^*k} > f_{j^*l}$: on connecte la machine k avec i^* et on supprime la ligne et la colonne i^* puis on met i^* égale à k .
- ❖ **Sinon** : on connecte la machine l avec j^* , on supprime la ligne et la colonne j^* et on met j^* égale à l .

Finalement, on met à jours de la matrice de poids d'adjacence en changeant les valeurs suivant : $f_{i^*j^*} = f_{j^*i^*} = -\infty$.





✓ **Etape 4 :**

Répéter l'étape 3 jusqu'à ce que toutes les machines soient connectées.

7. Choix de la meilleure disposition pour la chaine de production du miel :

Dans cette partie, on va utiliser deux méthodes pour le choix de la meilleure disposition ; la première –SLP- est basée sur les contraintes qualitatives, alors que la deuxième –MST- est basée sur les contraintes quantitatives.

On va tout d'abord montrer la figure de chaque élément de la chaîne de production ainsi que sa dimension et sa quantité qu'on aura besoin.

Elément	Figure	Quantité	Dimension d'une seule unité (m)
Hausse		100 Hausse	0.5x0.43
Station de désoperculation		1 Bac et 1 couteau à désoperculer	1x0.51
Extracteur		1 extracteur de 18 cadres	Ø 0.63
Maturateur		2 maturateurs de 200 Kg	Ø 0.47



Remplisseuse		1 remplisseuse	0.35x0.27
Produit fini		8 lots de 100 bocaux (500g)	0.67x0.67

Tableau III. 3 : les éléments de la chaîne de production de miel.

7.1 Application de SLP :

On applique chaque étape de cette méthode sur notre chaîne de production de miel.

7.1.1 Identification des machines :

- ❖ **SH** : Stock des hausses pleines.
- ❖ **SD** : Station de désoperculation.
- ❖ **ME** : machine d'extraction.
- ❖ **Mat** : Maturateur.
- ❖ **Rem** : Remplisseuse.
- ❖ **SPF** : Stock des produits finis.

Le tableau suivant montre les dimensions de chaque machine ainsi que l'espace de stockage de la matière première et de produits finis.

Département	Longueur(m)	Largeur (m)	Diamètre (m)	Surface (m ²)
SH	2.5	2.15	/	5.375
SD	1	0.51	/	0.51
ME	/	/	0.63 Ø	0.312
Mat	/	/	0.94 Ø	0.173

Rem	0.35	0.27	/	0.1
SPF	5.36	1.34	/	11.22

Tableau III. 4 : Dimensions des machines.

7.1.2 Analyse de flux :

Tout d'abord, on va considérer que le maturateur et la remplisseuse présente une seule station (**Stat1**) vu que ils ont un flux continue entre eux.

Le flux parcourus d'une machine à une autre chaque une heure est présenté dans la figure suivante.

/	<i>SH</i>	<i>SD</i>	<i>ME</i>	<i>Stat1</i>	<i>SPF</i>
<i>SH</i>	—	120	0	0	0
<i>SD</i>	120	—	83	0	0
<i>ME</i>	0	83	—	33	0
<i>Stat1</i>	0	0	33	—	66
<i>SPF</i>	0	0	0	66	—

Figure III. 12 : Matrice de flux « entre ».

7.1.3 Tableau des relations d'activité :

Tout d'abord, on va citer les contraintes d'adjacence des machines qui nous facilite la détermination de Relationship chart.

Contraintes :

- ❖ Espace de locale disponible.
- ❖ Contrainte de routage entre les machines (la précédence).
- ❖ Emplacement des espaces de stockage de matière première (hausses) et de produits finis (bocaux de miel) suivant les entrées et les sorties.
- ❖ Contrainte d'isoler la remplisseuse du lieu de travail (elle nécessite un lieu sec et propre, plus loin de l'extracteur et le bac à désoperculer).

La figure suivante montre le Relationship chart de la chaine de production.

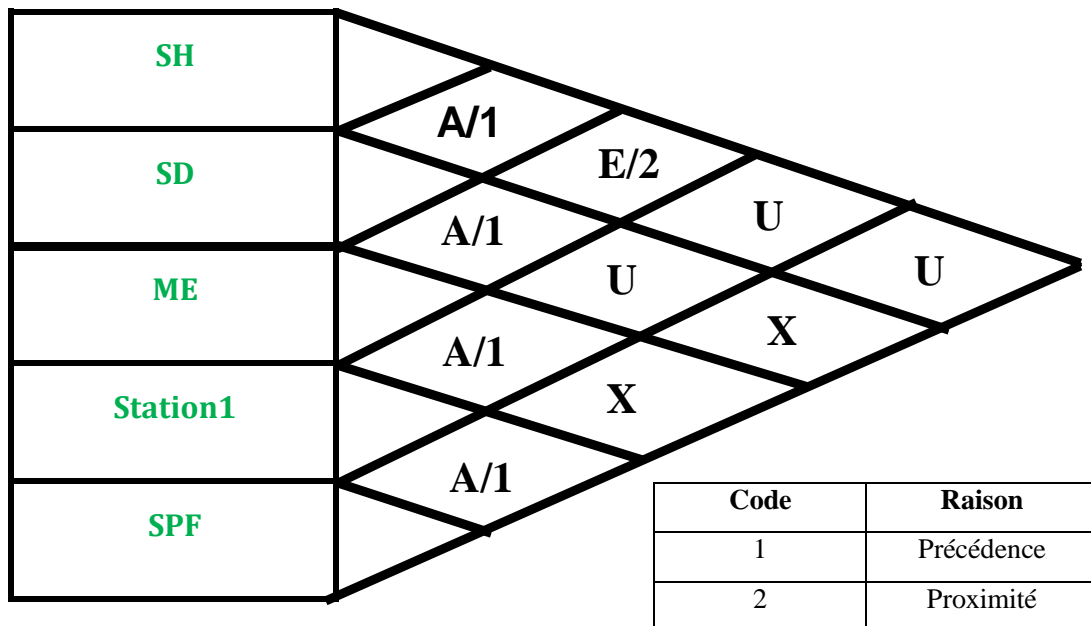


Figure III. 13 : Relationship chart.

7.1.4 Diagramme de relation :

Grâce à l'utilisation des contraintes citées précédemment et le Relationship chart on a pu obtenir le diagramme de relation illustré dans la figure suivante :

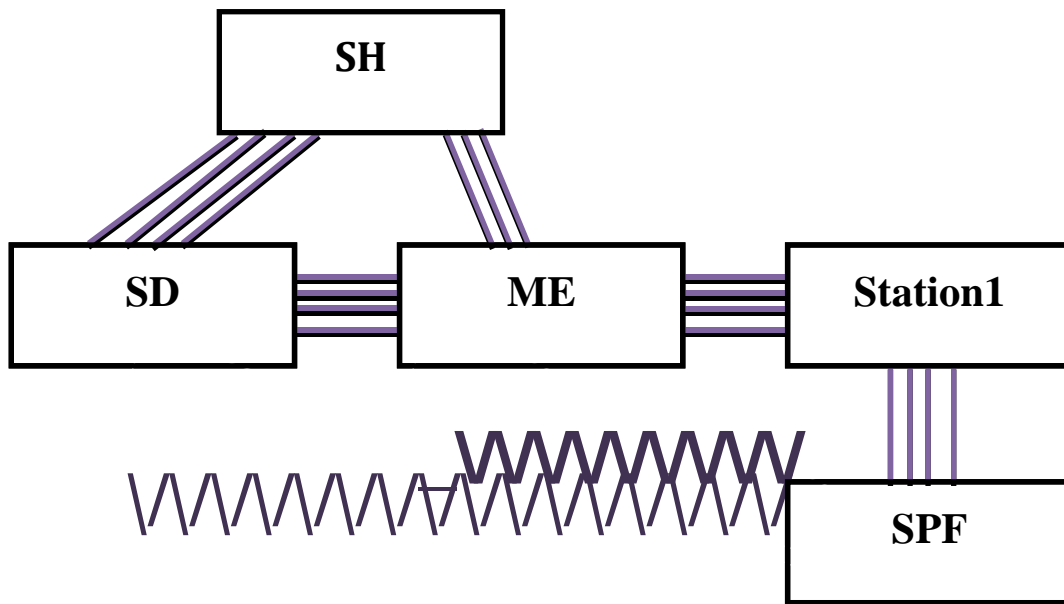


Figure III. 14 : Relationship Diagramme.

7.1.5 Diagramme de relation spatial :

On peut obtenir le diagramme de relation spatial en se basant sur le diagramme réalisé précédemment.

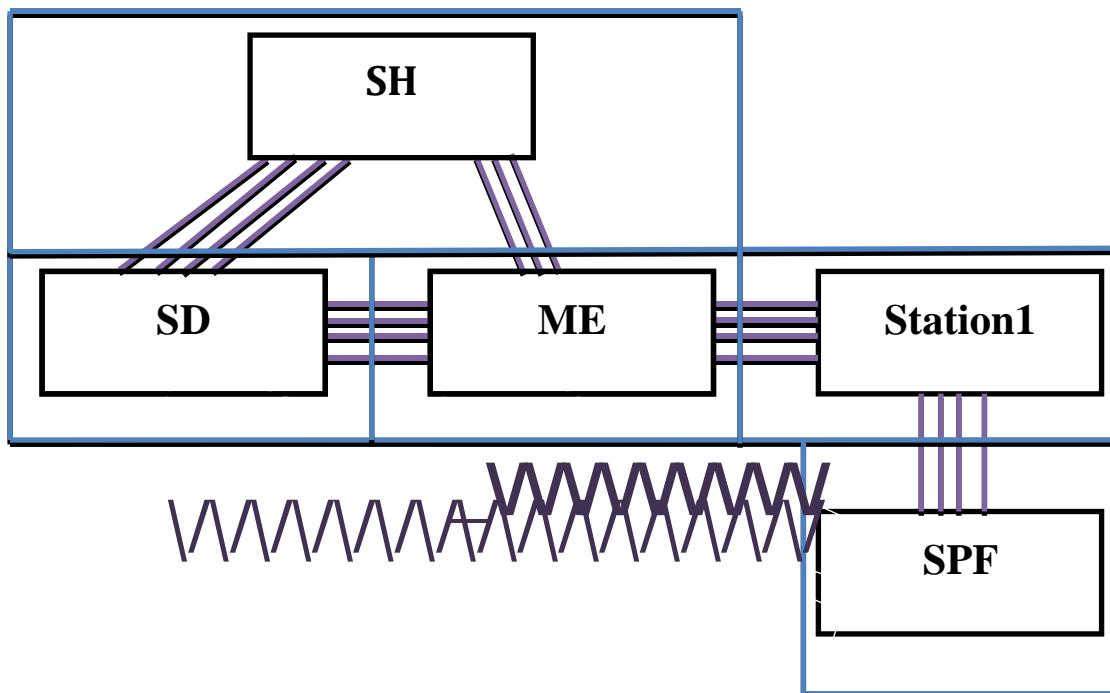


Figure III. 15 : Space Relationship diagramme.

On a obtenu la disposition suivante :

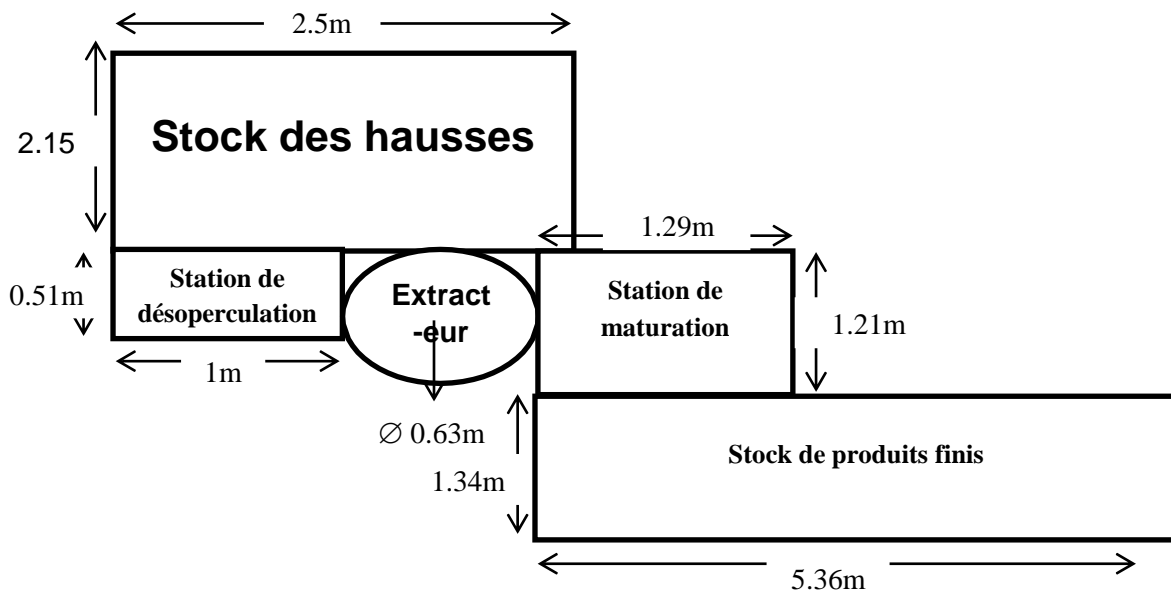


Figure III. 16 : Disposition 1.

Maintenant on va calculer la matrice de distance de la disposition trouvée.

/	<i>SH</i>	<i>SD</i>	<i>ME</i>	<i>Stat1</i>	<i>SPF</i>
<i>SH</i>	—	2.08	1.64	1.025	6.015
<i>SD</i>	2.08	—	0.875	2.125	5.434
<i>ME</i>	1.64	0.875	—	1.25	4.56
<i>Stat1</i>	1.025	2.125	1.25	—	3.31
<i>SPF</i>	6.015	5.434	4.56	3.31	—

On donne un exemple de calcul d'un élément de la matrice de distance en se basant sur le calcul de distance rectiligne :

$$D_{SH, SD} = X_2/2 + [(X_1/2) - X_2] + Y_1/2 + Y_2/2$$

$$D_{SH, SD} = 1/2 + [(2.5/2) - 1] + 2.15/2 + 0.51/2$$

$$D_{SH, SD} = 2.08m$$

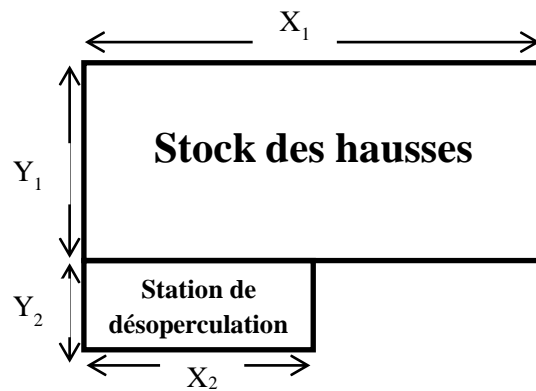


Figure III. 17 : dimensions d'exemple de calcul.

7.2 Application de MST :

Pour avoir une nouvelle alternative de disposition, on va appliquer l'algorithme MST (Modified Spanning Tree) qui nous aide à déterminer une séquence linéaire de machines.

Donc, on va appliquer les étapes de cette approche sur notre chaîne de production de miel.

Premièrement, on identifie la longueur de chaque machine et la clearance (distance entre chaque deux machine) :

- La clearance égale à 1.
- La longueur des machines :
 - ❖ SH: 2.5m.
 - ❖ SD: 1m.
 - ❖ ME:0.63m.
 - ❖ Stat1: 1.21m.
 - ❖ SPF: 5.36m.
- Calcul des éléments de la matrice de poids d'adjacence.

$$f'_{1,2} = 120 * (1 + (0,5 * (2,5 + 1))) = 330.$$

$$f'_{2,3} = 83 * (1 + (0,5 * (1 + 0,63))) = 151.$$

$$f'_{3,4} = 33 * (1 + (0,5 * (0,63 + 1,29))) = 65.$$

$$f'_{4,5} = 66 * (1 + (0,5 * (1,29 + 6,7))) = 329.67.$$

/	<i>SH</i>	<i>SD</i>	<i>ME</i>	<i>Stat1</i>	<i>SPF</i>
<i>SH</i>	–	330	0	0	0
<i>SD</i>	330	–	151	0	0
<i>ME</i>	0	151	–	65	0
<i>Stat1</i>	0	0	65	–	329.7
<i>SPF</i>	0	0	0	329.7	–

Figure III. 18 : Matrice de poids d'adjacence.

Maintenant on va dérouler la première itération de l'algorithme MST.

/	<i>SH</i>	<i>SD</i>	<i>ME</i>	<i>Stat1</i>	<i>SPF</i>
<i>SH</i>	–	330	0	0	0
<i>SD</i>	330	–	151	0	0
<i>ME</i>	0	151	–	65	0
<i>Stat1</i>	0	0	65	–	329.7
<i>SPF</i>	0	0	0	329.7	–



Figure III. 19 : étape 1 MST.

Voici ce qu'on a obtenu après quatre itérations :

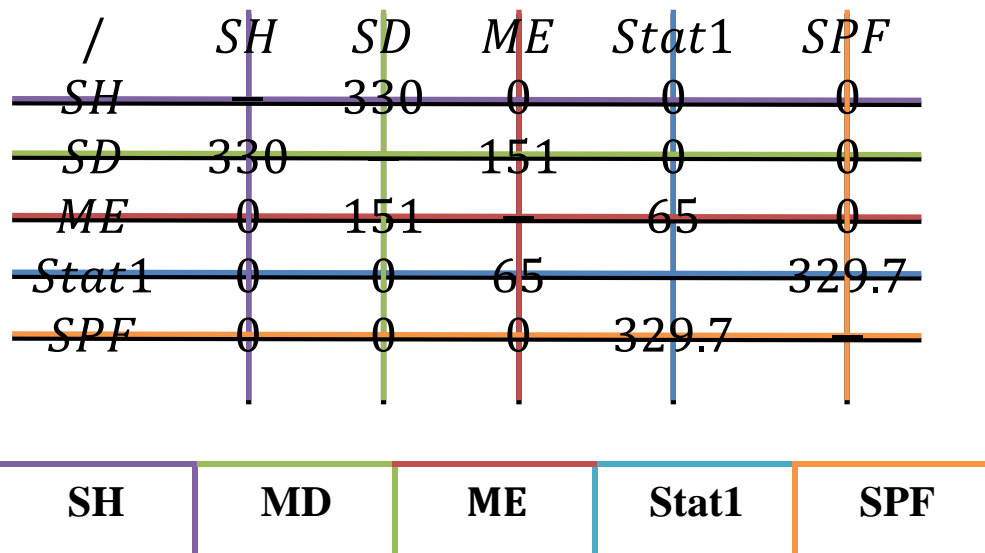


Figure III. 20 : résultat MST.

Donc la disposition finale de notre chaine de production sera comme la suite :

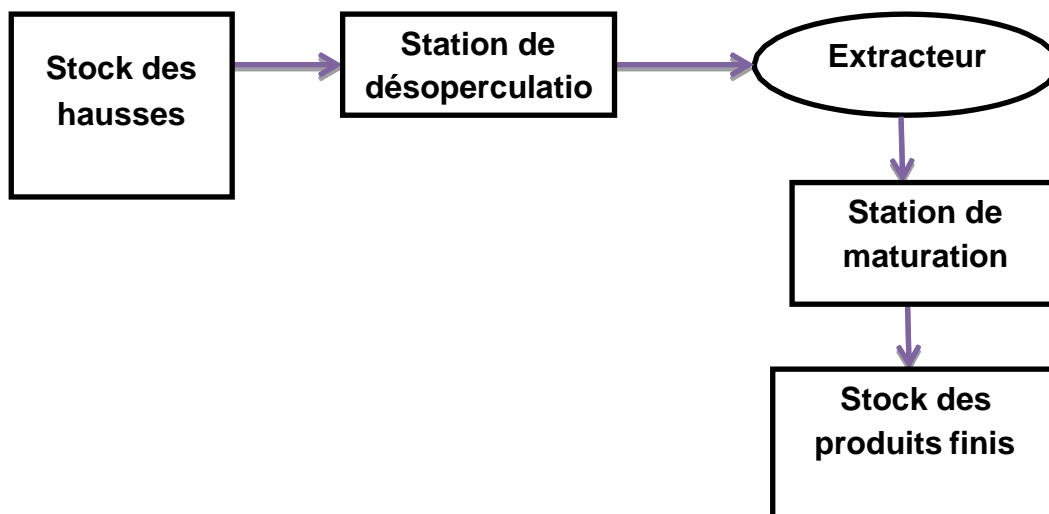


Figure III. 21 : disposition 2.

Maintenant on calcul la matrice de distance de cette disposition :

/	<i>SH</i>	<i>SD</i>	<i>ME</i>	<i>Stat1</i>	<i>SPF</i>
<i>SH</i>	—	3.57	5.325	6.995	11.885
<i>SD</i>	3.57	—	1.875	4.125	8.515
<i>ME</i>	5.325	1.875	—	2.25	6.64
<i>Stat1</i>	6.995	4.125	2.25	—	4.39
<i>SPF</i>	11.885	8.515	6.64	4.39	—

Figure III. 22 : Matrice de distance.

7.3 Comparaison entre les deux dispositions :

Après avoir deux alternative de dispositions grâce à l'utilisation des méthodes SLP et MST, on peut maintenant facilement faire une comparaison entre les deux en calculant la fonction objectif de chacune, cette fonction est la suivante :

$$F = \sum_i \sum_j C_{ij} * f_{ij} * d_{ij}$$

C_{ij} : le cout de transport des produits entre le département i et j.

f_{ij} : le flux entre le département i et j.

d_{ij} : la distance entre le département i et j.

On considère que le cout de transport entre les machines égale à 1 vu qu'on veut se baser uniquement sur le flux et la distance.

➤ **Fonction objectif de la disposition obtenue par la méthode SLP :**

$$F1 = 120*2.08 + 83*0.875 + 33*1.25 + 66*3.31$$

$$F1 = 581.935$$

➤ **Fonction objectif de la disposition obtenue par la méthode MST :**

$$F2 = 120*3.57 + 83*1.875 + 33*2.25 + 66*4.39$$

$$F2 = 948.015$$

On constate que la première disposition obtenue par la méthode SLP est meilleure que la deuxième de MST vu que la fonction objectif de la disposition 1 est beaucoup plus petite que celle de la disposition 2, et notre but c'est de minimiser cette fonction.

8. Conclusion :

Le « Facilies Design » est un module très utile pour faire une étude de création des nouvelles installations ou bien de réaménagement. Il contient différents méthodes et algorithmes qui servent à trouver des solutions satisfaisantes concernant la disposition des machines ou des départements.

Ce chapitre a inclut différents aspects de « Facilies Design » sur lesquels on a basé dans le choix de la meilleurs disposition des machines déterminés précédemment concernant la chaine de production de miel.

Dans le chapitre suivant on va réaliser une simulation à l'aide d'un logiciel très utile pour étudier les performances de toute la chaine de production.

*Chapitre 4 : Simulation et évaluation
des performances de la ligne de
production.*

1. Introduction :

La simulation sur ordinateur est un outil très utile pour bien comprendre le principe de fonctionnement de n'importe quel système (système de production, de transport, de manutention, de stockage, etc.), elle aide à analyser et étudier les performances en temps réel.

Pour vérifier l'efficacité d'une chaîne de production, il faut visualiser toutes les interactions qui se déroulent entre ses éléments et savoir leur degré de compatibilité. Pour cela il faut créer une chaîne similaire virtuelle qui a les mêmes caractéristiques.

Dans ce dernier chapitre, nous réalisons la modélisation et la simulation de la chaîne de production du miel sous Arena qui est un logiciel de simulation et d'automatisation d'événements discrets. Ensuite on va appliquer les notions du « factory physics » pour déterminer le pire cas (worst case), le meilleur cas (best case) et le pire cas pratique (Practical worst case) afin de positionner notre chaîne de production.

2. Simulation des systèmes de production :

Un système de production est constitué de trois éléments essentiels qui sont : un système physique, un système de conduite (partie commande) et un système d'information qui relie les deux précédents (1). Donc pour bien comprendre la circulation de ces trois flux, il est nécessaire de simuler tous le système.

- **Définition :**

La simulation est un moyen très utile pour la compréhension du principe de fonctionnement d'un système de production, elle aide à modéliser ce dernier et observer le déroulement des opérations en temps réel (1).

La simulation aide l'utilisateur à : comprendre le fonctionnement du système et gérer des solutions en fonction des paramètres ou de la structure du modèle étudié, fournir des estimations réalistes et désirer le système vers un état désiré.

3. Modélisation de la chaîne :

Avant d'entamer la modélisation de toute la chaîne de production, on va définir le logiciel « Arena » et présenter ses modules de base.

Arena est un logiciel de simulation à évènements discrets, créé et développé par l'entreprise Rockwell automate en 2000. C'est un outil d'une interface simple qui est facile à utiliser, il permet une bonne visibilité et une bonne compréhension de la modélisation. Il contient toutes les ressources pour la modélisation, l'élaboration de projet, la représentation des processus, l'analyse statistique et l'analyse des résultats.

a. Modèle basique :

Il existe trois modules basiques du logiciel Arena qui sont les plus utilisés: « create », « process » et « dispose ».

La figure suivante montre un modèle simple qui contient ses trois modules.

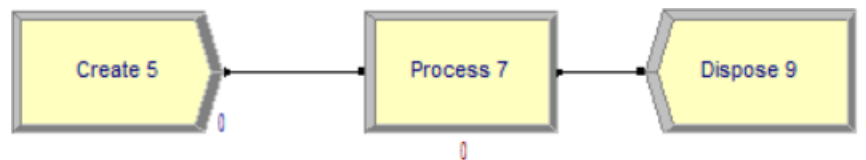


Figure IV. 1 : Modèle basique sous Arena.

Create : c'est le module qui représente l'arrivée des entités.

Process : c'est le module qui représente les ressources disponibles dans le système.

Dispose : c'est le module qui représente la sortie de produits finis.

b. Modélisation de la chaîne de production du miel :

La modélisation de cette chaîne à l'aide du logiciel Arena est illustrée dans la figure suivante.

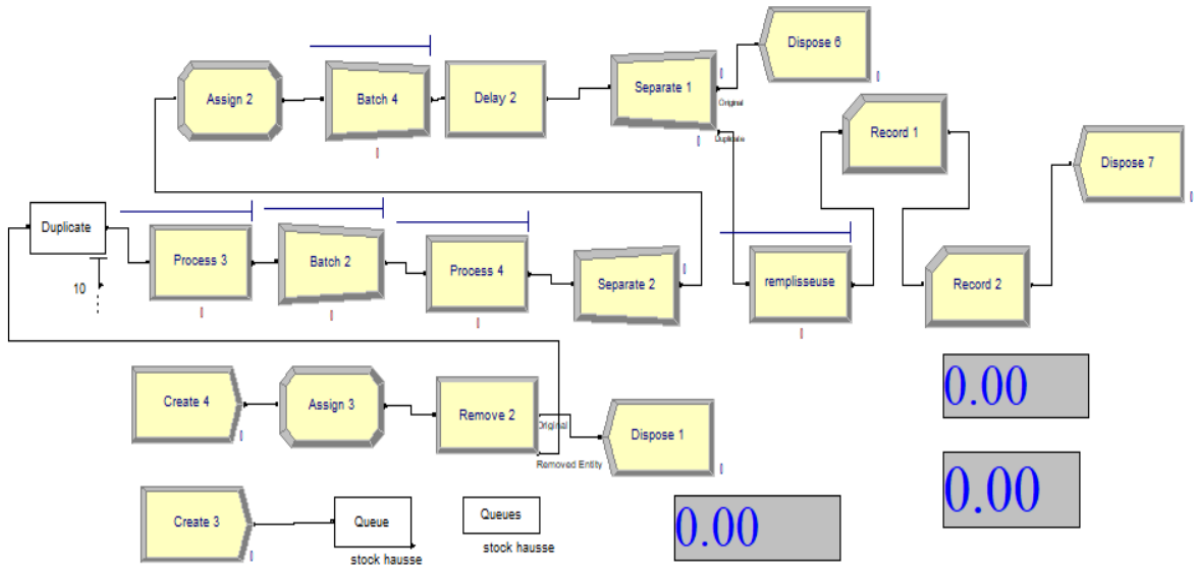


Figure IV. 2 : **Modèle Arena de la chaîne de production de miel.**

Pour bien comprendre les éléments de ce modèle, on va le diviser en cinq parties, chacune représente une étape spécifique de la production.

- **Partie 1** : Stockage des hausses.

La figure suivante montre les modules utilisés pour la présentation de l'arrivée des hausses.

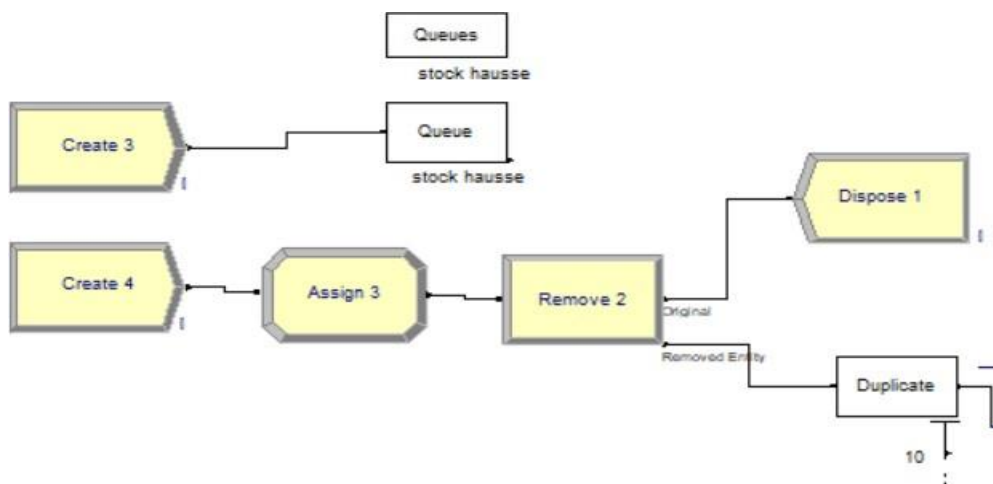


Figure IV. 3 : L'arrivée des hausses.

Dans cette partie, on a utilisé des modules basiques pour présenter l'arrivé de matière première –hausse–.

L'utilisation du module « create3 » sert à insérer le nombre d'entités par arrivée ainsi que le temps entre deux arrivées. Le « Assign » contient le temps d'entrée de chaque hausse et le « create 4 » représente les informations concernant l'arrivée des cadres de hausse qui sont dupliquées à l'aide du module « duplicate »

- **Partie 2** : Opération de désoperculation.

Les modules de « Arena » qui font fonctionner cette opération sont montrés dans la figure ci-dessous.

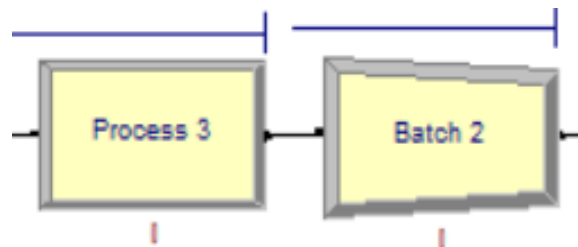


Figure IV. 4 : La désoperculation.

Cette partie est composée de deux modules, le premier est le « process3 » qui contient une ressource qui peut effectuer la désoperculation d'un seul cadre en 0.5 minute. Le deuxième module c'est le « Batch 2 », il est utilisé pour regrouper un nombre précis de cadres qui seront préparés pour l'opération suivante.

- ❖ **Partie3** : Extraction.

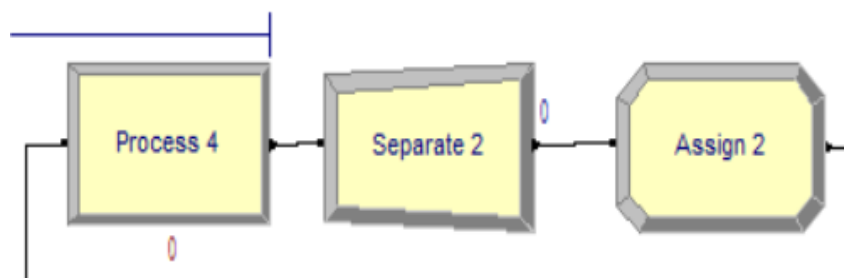


Figure IV. 5 : L'extraction.

On voit que cette partie contient trois modules, le « process 4 » contient le temps opératoire pour dérouler cette opération ainsi que ses ressources nécessaires. Le module « Separate 2 » est utilisé pour séparer le lot qui est déjà regroupé à la fin de l'étape précédente. On a ajouté le

« Assign 2 » pour créer une variable qui nous aide à récupérer le nombre de sorte à la fin de la chaîne.

❖ **Partie 4 : Maturation et remplissage.**

Les modules utilisés pour visualiser cette partie sont illustrés dans la figure suivante.

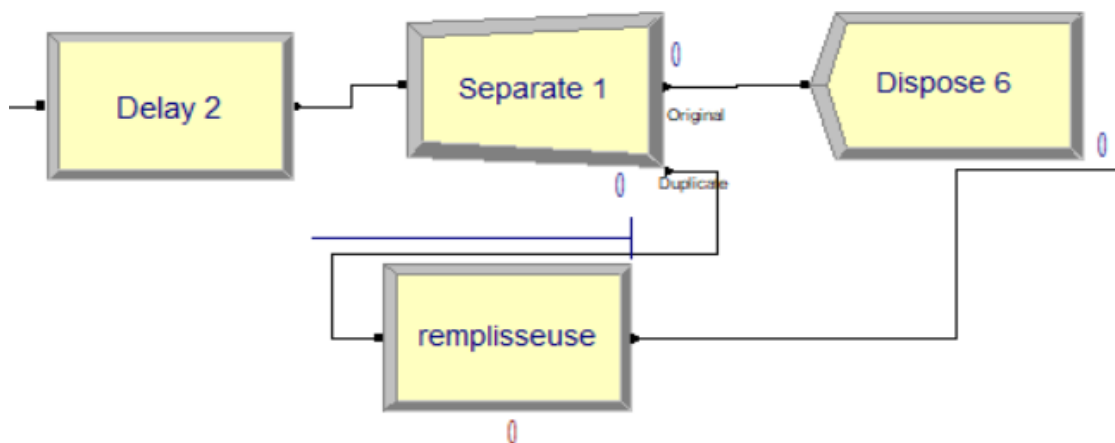


Figure IV. 6 : Maturation et remplissage.

Le module « Delay 2 » présente la durée d'attente nécessaire du produit semi fini. Le dernier process nommé « remplisseuse » montre les informations concernant le temps opératoire et les ressources pour effectuer la dernière étape du remplissage.

❖ **Partie 5 : Stockage de produits finis.**



Figure IV. 7 : Stockage de produits finis.

Finalement on a ajouté des « record » qui nous aident à récupérer le temps de cycle et le temps entre deux sorties. Le « dispose » indique la sortie de produits finis.

4. Application du Factory physics :

Factory physics est une description systématique du comportement des systèmes de fabrication. Dans ce qui suit, nous utilisons trois cas de performance de ce module.

4.1 Les cas de performance :

Les règles des trois cas de performances sont les suivantes :

❖ Règles de meilleur cas (Best case) :

Le temps de cycle minimal de cette règle (CT best) pour un certain niveau d'encours (w) est donné par :

$$CT(best) = \begin{cases} T0, & \text{si } w < W0. \\ W/rb, & \text{sinon.} \end{cases}$$

Le taux de production maximal de cette règle (TH best) pour un certain niveau d'encours donnée (w) est donné par :

$$TH(best) = \begin{cases} w/T0, & \text{si } w < W0. \\ rb, & \text{sinon.} \end{cases}$$

❖ Règles du pire cas pratique (Practical worst case) :

Le temps de cycle du pire cas pratique (CT_{PWC}) pour un certain niveau d'encours donnée (w) est donné par :

$$CT(PWC) = T0 + \frac{w - 1}{rb}$$

Le taux de production du pire cas pratique (TH_{PWC}) pour un certain niveau d'encours donnée (w) est donné par :

$$TH(PWC) = \frac{w}{W0 + w - 1} rb$$

Où W_0 est l'encours critique.

❖ Règles du pire cas pratique (Practical worst case) :

Le temps de cycle pour le pire cas (CT_{worst}) pour un certain niveau d'encours donnée (w) est donné par :

$$CT(worst) = w.T0$$

Le taux de production pour le pire cas (TH_{worst}) pour un certain niveau d'encours donnée (w) est donné par :

$$TH(worst) = 1/T0$$

4.3. Les résultats obtenus :

Tout d'abord, pour déterminer les trois courbes du meilleurs cas, pire cas et pire cas pratique, on doit déterminer les trois paramètres suivants :

- ❖ **rb** : le taux de production de la machine goulot (la machine ayant le plus grand taux de production).
- ❖ **T₀** : le temps d'opération globale qui égale à la somme des temps d'opération moyens de chaque station de travail.
- ❖ **W₀** : c'est l'encours critique qui signifie le niveau d'encours ou la chaîne atteint le taux de production maximum avec un temps de cycle minimum, tel que : **W₀ = rb * T₀**.

D'après le modèle de simulation qu'on a réalisé avec le logiciel Arena, on a obtenu les différents paramètres qui sont montrés dans les figures qui suit.

Tally

Between	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
rbb	1440.00	(Insufficient)	1440.00	1440.00
tes	101.29	8,20362	0.2500	1436.75

Figure IV. 8 : Affichage du temps entre deux sorties de la machine goulot (r_{bb}) et du temps entre de sorties de toute la chaîne (tes).

- **Taux de production de la machine goulot :**

r_{bb} est le temps entre de sorties de la machine goulot, donc pour calculer le taux de production de cette machine, on calcule l'inverse de ce temps et on le multiplie par 18 qui est le nombre de produits assemblés dans le 'batch' qui précède le 'process' de cette machine.

$$r_b = 1/r_{bb} = (1/1440) * 18$$

$$r_b = 0.0125 \text{ p/min}$$

- **Taux de production globale :**

Le temps de cycle minimum T_0 est montré dans la figure suivante.

Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
temps de cycle	44666.87	(Correlated)	1465.25	87868.50

Figure IV. 9 : Temps de cycle.

Ce paramètre est extrait à l'aide de l'utilisation d'un 'Assign' au début de la chaîne simulée qui contient une variable présentant le 'tnow' (le temps actuel), et un 'Record' à la fin de cette chaîne qui calcule le temps de sortie d'une pièce. La figure suivante illustre ces deux modules.

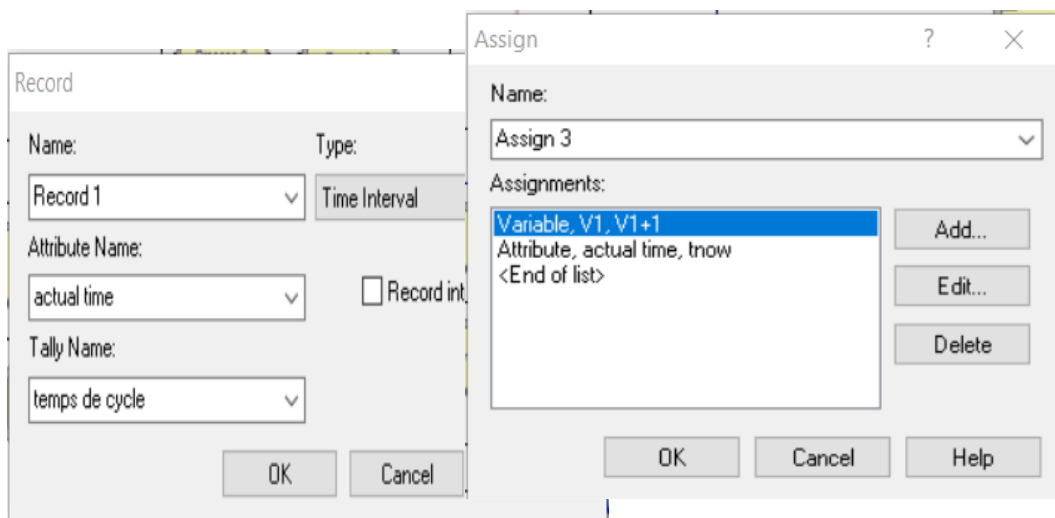


Figure IV. 10 : Insertion du temps de cycle.

Donc, on déduit que :

$$T_0 = 1465.25$$

- **L'encours critique :**

Après avoir calculé le temps de production globale (T_0) et le taux de production de la machine goulot (r_b), on utilise l'équation définie précédemment pour calculer l'encours critique (W_0).

$$W_0 = 0.0125 * 1465.25$$

$$W_0 = 18.32$$

4.2 Interprétation des résultats :

D'après le modèle Arena de la chaîne de production de miel que nous avons établie, les valeurs des indicateurs de performances suivants sont déduites :

- ❖ Taux de production de la chaîne :

$$TH = 1 / \text{temps entre deux sorties.}$$

Le temps entre deux sorties -nommé (tes)- est montré dans la figure IV.8.

$$TH = 1 / (101.29/60)$$

$$TH = 0.6 \text{ produit/ h}$$

- ❖ Nombre d'encours : les encours sont montrés dans la figure suivante :

WIP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
hausse	588.15	(Correlated)	0.00	1175.00
PRODUCT	0.00	(Insufficient)	0.00	1.0000

Figure IV. 10 : WIP.

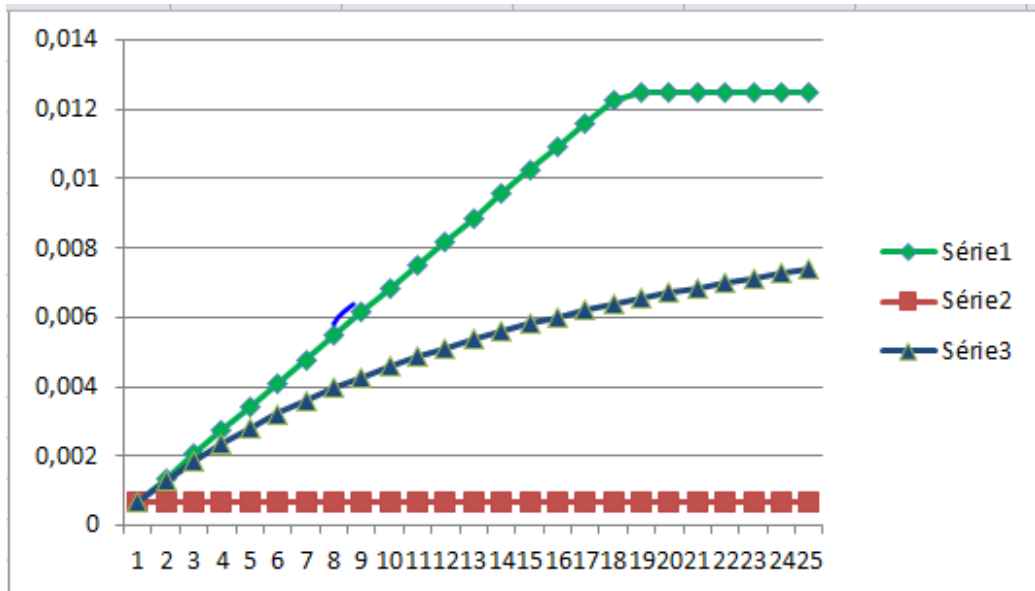
Donc,

$$WIP = 588.15$$

En utilisant un fichier Excel pour appliquer les trois règles afin de situer notre chaîne de production. Les paramètres sont insérés comme le montre la figure IV.11, le graphe des trois règles est illustré dans la figure IV.12.

w	w/rb	Rb	T0	W0	CT	W*TO	T0+(w-1)/Rb	th best	th worst	th pwc
1	80,00	0,0125	1465,25	18,31563	1465,25	1465,25	1465,25	0,00068248	0,00068248	0,00
2	160,00				1465,25	2930,5	1545,25	0,00136495	0,00068248	0,00
3	240,00				1465,25	4395,75	1625,25	0,00204743	0,00068248	0,00
4	320,00				1465,25	5861	1705,25	0,00272991	0,00068248	0,00
5	400,00				1465,25	7326,25	1785,25	0,00341239	0,00068248	0,00
6	480,00				1465,25	8791,5	1865,25	0,00409486	0,00068248	0,00
7	560,00				1465,25	10256,75	1945,25	0,00477734	0,00068248	0,00
8	640,00				1465,25	11722	2025,25	0,00545982	0,00068248	0,00
9	720,00				1465,25	13187,25	2105,25	0,0061423	0,00068248	0,00
10	800,00				1465,25	14652,5	2185,25	0,00682477	0,00068248	0,00
11	880,00				1465,25	16117,75	2265,25	0,00750725	0,00068248	0,00
12	960,00				1465,25	17583	2345,25	0,00818973	0,00068248	0,01
13	1040,00				1465,25	19048,25	2425,25	0,00887221	0,00068248	0,01
14	1120,00				1465,25	20513,5	2505,25	0,00955468	0,00068248	0,01
15	1200,00				1465,25	21978,75	2585,25	0,01023716	0,00068248	0,01
16	1280,00				1465,25	23444	2665,25	0,01091964	0,00068248	0,01
17	1360,00				1465,25	24909,25	2745,25	0,01160212	0,00068248	0,01
18	1440,00				1465,25	26374,5	2825,25	0,01228459	0,00068248	0,01
19	1520,00				1520,00	27839,75	2905,25	0,0125	0,00068248	0,01
20	1600,00				1600,00	29305	2985,25	0,0125	0,00068248	0,01
21	1680,00				1680,00	30770,25	3065,25	0,0125	0,00068248	0,01
22	1760,00				1760,00	32235,5	3145,25	0,0125	0,00068248	0,01
23	1840,00				1840,00	33700,75	3225,25	0,0125	0,00068248	0,01
24	1920,00				1920,00	35166	3305,25	0,0125	0,00068248	0,01
25	2000,00				2000,00	36631,25	3385,25	0,0125	0,00068248	0,01

Figure IV. 11 : les résultats de calcul sous Excel
(Source : A.OUHOUD).



Série 1: best case, série 2: worst case, Série3: practical worst case.

Figure IV. 12 : Graphe des cases.

Vu que le nombre des encours W0 est très important, nous modifions l'échelle du graphe pour bien visualiser la position. Ceci est illustré dans la figure suivante.

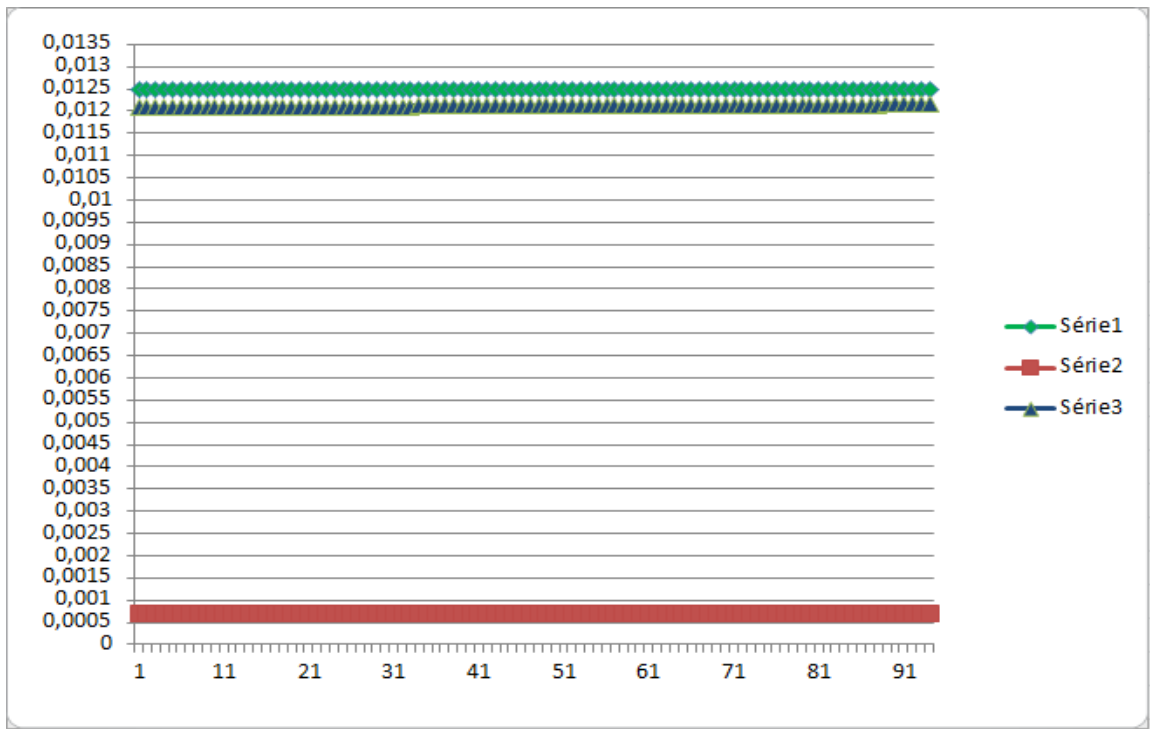


Figure IV. 13 : Position de la chaîne de production du miel.

➤ **Interprétation :**

Le point sur le graphe (588 ; 0,6) indique la position de notre chaîne de production du miel. On remarque que la chaîne s'approche de la courbe du meilleur cas sauf que le nombre d'encours est très grand, c'est à cause de la machine de maturation qui est présentée dans la figure IV.2 sous le module « process 8 ». Cette machine possède un temps d'attente important qui s'élève à une journée.

5. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de simuler la chaîne de production du miel avec le logiciel Arena afin d'évaluer les performances et voir la position de cette chaîne par rapport au trois cas : best case, worst case et practical worst case.

Les résultats obtenus montrent que notre chaîne se situe dans l'intervalle du meilleur cas, même si le nombre d'encours est très important. De ce fait, d'autres machines de maturation peuvent être ajoutées afin de réduire ces encours et améliorer la position de la chaîne ainsi que ses performances.

Conclusion générale

Des climats différents, une géographie et des cultures diverses...L'Algérie a les atouts pour être un grand pays apicole. Aujourd'hui, la production nationale correspond à 7000 tonnes/an et n'arrive pas à couvrir la consommation nationale qui est de 176 grammes/an/habitant.

Passionné par ce domaine, nous avons réalisé ce projet afin de satisfaire un besoin du marché pour un produit largement consommé en Algérie. Notre principal objectif est de concevoir et dimensionner une chaîne de production du miel afin d'augmenter les quantités produites et le taux de satisfaction des demandes.

L'objectif de ce travail consistait à prendre en considération tout le cycle de production du miel en utilisant des méthodes simples et efficaces que nous avons apprises tout au long de notre parcours notamment la **méthode TOPSIS** qui sert à choisir les meilleures machines à utiliser dans chacune des étapes de notre processus.

Afin d'optimiser les performances du système conçue, nous avons utilisé les méthodes du **facilities design** pour avoir la meilleure disposition des machines, gérer efficacement le flux physiques et assurer le meilleur taux de productivité possible.

L'analyse des indicateurs de performances obtenus après simulation nous a permis de se positionner au meilleur cas selon les principes de Factory Physics. Ceci montre que le système de production conçu fonctionne convenablement avec une meilleure productivité et un maximum de profit assurant ainsi la satisfaction des clients et la pérennité de notre système.

Plusieurs perspectives de ce travail peuvent être considérées :

- Effectuer une étude détaillée du marché afin de se positionner par rapport aux quantités produites.
- Considérer d'autres produits dérivés de la ruche comme le pollen et la gelé royale.
- Acquérir des marchés et augmenter la capacité de production.

Références bibliographiques

1. **CATAYS, Guillaume.** CONTRIBUTION A LA CARACTÉRISATION DE LA DIVERSITE GÉNÉTIQUE DE L'ABEILLE DOMESTIQUE APIS MELLIFERA EN FRANCE : CAS DU LOCUS CSD DE DETERMINATION DU SEXE. [THESE pour obtenir le grade de DOCTEUR VETERINAIRE]. 2016.
2. **BADREN, M.A.** La situation de l'apiculture en Algérie et les perspectives de développement. [Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique]. 2016.
3. **Alimentarius, Codex.** Codex norme pour le miel. *fao*. [En ligne] 2001. Norme adoptée en 1981. Révision en 1987 et 2001. http://www.fao.org/input/download/standards/310/cxs_012.pdf.
4. **Compagnie des sens .** PROPRIÉTÉS THÉRAPEUTIQUES DU MIEL : ANTISEPTIQUE, CICATRISANT ET ANTI-INFLAMMATOIRE. *compagnie-des-sens*. [En ligne] [Citation : 11 03 2022.] <https://www.compagnie-des-sens.fr/miel-proprietes-therapeutiques/>.
5. **Bradbear, Nicola.** *Le rôle des abeilles dans le développement rural (Manuel sur la récolte, la transformation et la commercialisation des produits et services dérivés des abeilles)*. 2011. p. 238.
6. QU'EST-CE QUE LA CIRE D'ABEILLE ? -ICKO Apiculture - BLOG. *ICKO Apiculture*. [En ligne] 05 06 2019. [Citation : 15 03 2022.] <https://blog.icko-apiculture.com/qu-est-ce-que-la-cire-d-abeille/>.
7. **Asma, MOSBAH.** DIVERSIFICATION DES PRODUITS DE LA RUCHE "POLLEN". 2020. Université Frères Mentouri Constantine 1.
8. **Cécile, Marie.** Pollen- Bienfaits, Posologie, Consommation. *domaine-chezelles*. [En ligne] 09 03 2022. [Citation : 11 03 2022.] <https://www.domaine-chezelles.com/blog/pollen/>.
9. **Ramzi.** GELLE ROYALE Bienfaits, Cure, Production & Conservation. *blog.mieletvertus*. [En ligne] [Citation : 15 03 2022.] <https://blog.mieletvertus.com/gelee-royale-bienfaits-cure-production-conservation-guide-complet/>.
10. **Marie-Cécile.** La Propolis: le guide 2022- Domaine Apicole de Chezelles. *domaine-chezelles*. [En ligne] [Citation : 15 03 2022.] <https://www.domaine-chezelles.com/blog/propolis/>.
11. **The Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Production quantity of honey (natural) in 2020. 2020.
12. **BOCQUET, Michel.** *Mise en valeur des produits de l'apiculture locaux dans les wilayas Aïn Temouchent, Laghouat, Sétif et Tlemcen*. 2019. p. 87. PAP-ENPARD-Algérie.
13. La production nationale de miel a presque doublé durant des dix dernières années. *Algérie presse service* . [En ligne] 11 01 2020. [Citation : 21 03 2022.] ITELV (institut technique des

élevages). <https://www.aps.dz/economie/99990-la-production-nationale-de-miel-a-presque-double-durant-les-10-dernieres-annees>.

14. **Mounia, HOMRANI.** Caractérisation physico-chimique, spectre pollinique et propriétés biologiques de miels algériens crus de différentes origines florales. 2020. Présentée pour l'obtention du Diplôme de Doctorat 3ème Cycle LMD.

15. **Apiculture.net.** Notre guide pour bien débuter en apiculture. *apiculture.net*. [En ligne] [Citation : 15 05 2022.] <https://www.apiculture.net/content/35-le-guide-de-l-apiculteur-debutant>.

16. **Piel-Desruisseaux, J.** ORGANISATION DU TRAVAIL D'EXTRACTION DU MIEL. étude réalisée par le Laboratoire d'Organisation scientifique du Travail .

17. **Sunderesh, Heragu.***Facilities Design*. Fourth edition. 2016. p. 574.

18. Facilities layout and design. *Inc*. [En ligne] 06 02 2020. [Citation : 27 05 2022.] <https://www.inc.com/encyclopedia/facility-layout-and-design.html>.

19. **Habib, HAMAIDA Mohamed el.** Conception d'une chaîne de conditionnement Etude de cas : Moulins Hamamat. 2021. p. 86.

20. **ALI, Sofiane KARA et ABIB, Houria Farah.** Aménagement, installation et calcul des performances du système de production de meubles de l'entreprise Kara Design. 2021.

21. *DYNAMIC MODIFIED SPANNING TREE ALGORITHM FOR SINGLE-ROW DYNAMIC FACILITY LAYOUT PROBLEM.* **Yogaswara, Yogi.**

22. **NOUÇAIR, Sara Fatima Zohra MEGAIZ & Meriem Hanene.** Modélisation et Simulation d'un système de production de produits d'emballage de la Société Algérienne des Sacs Enduits SPA SASACE. 2020. p. 84.

23. **Sunil Chopra, Peter Meindl.***Supply Chain Management Strategy, Planning, and Operation*. 5. 2013. p. 516.

24. *Benefits, barriers, and bridges to effective supply chain management.* **Stanley E. Fawcett, Gregory M. Magnan, Matthew W. McCarter.** 2008.

25. *Sharing service semantics using SOAP-based and REST Web services.* **Shi, Xuan.** 2006, Vol. 8.

26. **Sana, SELLAMI.** cours master recherche services web. *bestcours*. [En ligne] 2016. [Citation : 10 04 2022.] <https://www.bestcours.com/documents/0570-les-services-web.pdf>.

27. **Refes, Chabane.** les services web. *openclassrooms*. [En ligne] 12 10 2016. [Citation : 02 04 2022.] <https://openclassrooms.com/courses/lesservicesweb>.

28. *Events-Based Exception Handling in Supply Chain Management.* **Piyush Maheshwari, Sharon Si-Long Tam.** 2006.

29. **Onkal, Dilek.***Supply Chain Management - Pathways for Research and Practice*. 2011. p. 248.

30. *Defining the Concept of Supply Chain Management.* **Mihai Felea, Albăstroi Irina.** 2013.

31. **Maxime, Thuillier.** La gestion de la chaîne d'approvisionnement et sa valeur ajoutée pour les entreprises. *appvizer*. [En ligne] 17 09 2021. [Citation : 09 05 2022.] <https://www.appvizer.fr/magazine/operations/chaine-logistique/chaine-approvisionnement>.
32. **Leila, SOLTANI.** les code à barres. *staff.univ-batna2*. [En ligne] [Citation : 01 05 2022.] http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/soltani_leila/files/les_codes_a_barres.pdf.
33. *DEFINING SUPPLY CHAIN MANAGEMENT.* **John T. Mentzer, William DeWitt, James S. Keebler, Soonhong Min, Nancy W. Nix, Carlo D. Smith, Zach G. Zacharia.** 2, 2001, Vol. 22.
34. **HUGOS, MICHAEL.** *ESSENTIALS of Supply Chain Management*. 3. 2011. p. 332.
35. **Hachet, Nicolas.** L'architecture REST expliquée en 5 règles. *blog.nicolashachet*. [En ligne] 15 06 2012. [Citation : 02 04 2022.] <https://blog.nicolashachet.com/developpement-php/larchitecture-rest-expliquee-en-5-regles/>.
36. **Domingue, Dieter Fensel · Holger Lausen · Axel Polleres Jos de Bruijn · Michael Stollberg · Dumitru Roman John.** *Enabling Semantic Web services*. 2007.
37. **Cyrielle Lablanche, Florens Seine, Sébastien Gastaud.** *les web services*. 2005. TE.
38. web service: explication, exemple et définition. *ionos*. [En ligne] 15 04 2020. [Citation : 02 04 2022.] <https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-web/services-web/>.
39. service-web. *techno-science*. [En ligne] [Citation : 01 04 2022.] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Service-Web.html>.
40. Qu'est-ce qu'un encodage? - définition de techopedia - Logiciel - 2022. *fr.theastrologypage*. [En ligne] 2022. [Citation : 20 04 2022.] <https://fr.theastrologypage.com/encode>.
41. Qu'est-ce que RESTful Web Service? *devstory*. [En ligne] [Citation : 15 04 2022.] <https://devstory.net/10773/qu-est-ce-que-restful-web-service>.
42. definition-web-service. *oracle*. [En ligne] [Citation : 02 04 2022.] <https://www.oracle.com/fr/cloud/definition-web-service/>.
43. chaîne d'approvisionnement (supply chain) : définition. *faq logistique*. [En ligne] [Citation : 09 05 2022.] <https://www.faq-logistique.com/Definition-Chaine-Approvisionnement.htm>.
44. Chaîne d'approvisionnement. *infonyet*. [En ligne] 23 09 2020. [Citation : 09 05 2022.] <https://infonyet.fr/lexique/definitions/chaine-dapprovisionnement/>.