

Ecole des Hautes Etudes Commerciales
D'Alger
EHEC

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en
Sciences commerciales

Option : Distribution et Supply Chain Management

Thème :

**Apports des outils de simulation dans
l'optimisation des processus de production :
Essai de Mise en œuvre du logiciel « FlexSim »
Etude de cas : KAOUA FOOD ALGERIE.**

Présenté par :

BOUGUERA Moussaab Aymen.

HASEBELLAOUI Sihem.

Encadrant:

M. Farés BOUBAKOUR

Professeur à EHEC Alger.

9ème Promotion

Juin 2022

Ecole des Hautes Etudes Commerciales
D'Alger
EHEC

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en
Sciences commerciales

Option : Distribution et Supply Chain Management

Thème :

**Apports des outils de simulation dans
l'optimisation des processus de production :
Essai de Mise en œuvre du logiciel « FlexSim »
Etude de cas : KAOUA FOOD ALGERIE.**

Présenté par :

BOUGUERA Moussaab Aymen.

HASBELLAOUI Sihem.

Encadrant :

M. Farés BOUBAKOUR

Professeur à EHEC Alger.

9ème Promotion

Juin 2022

Les dédicaces

Je tiens c'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail :

A ceux qui se sont toujours dévoués et sacrifiés pour moi ; ceux qui m'ont encouragé et soutenu à combattre les aléas de la vie et donner le meilleur de moi ; en témoignage de mon éternelle reconnaissance je

dédie essentiellement cette thèse à **mes parents**.

A mes chers frères **Mohamed** et **Hichem** ; qui m'ont énormément aidé et à qui je témoigne toute mon affection et ma profonde admiration. A tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom **Hasbellaoui**.

A tous **mes amis** sans exception de promotion de 3eme année
Master en supply chain management.

HASBELLAOUJ Sihem

Les dédicaces

J'ai le plaisir de dédier ce travail de mémoire

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures. A ma famille, et mes amis, j'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

BOUGUERA Moussaab Aymen

Les remerciements

Nous remercions Dieu tout-puissant de nous avoir donné la force, la santé et la volonté de mener à bien cette mission.

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans la collaboration et l'aide de diverses personnes qui ont contribué directement ou indirectement à sa réalisation

Je remercie en premier lieu mon encadreur au niveau de l'EHEC

M. Farès BOUBAKOUR,

Son soutien et ses conseils pertinents et précieux,

Au sein de l'entreprise « KAOUA FOOD », nous souhaitons exprimer toute notre gratitude à Mr. le D.G de l'entreprise ZIANI Samir de nous avoir offert cette opportunité, Ainsi qu'à

Notre encadreur M. BRADAI Mohamed

Pour son suivi et son accompagnement.

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| TABLEAU 1: DEVELOPPEMENT ET HISTORIQUE DE LA PRODUCTION. | 6 |
| TABLEAU 2 : TABLEAU COMPARATIF ENTRE LA PRODUCTION CONTINU/ DISCONTINU | 26 |
| TABLEAU 3: UN TABLEAU PRESENTANT LES DIFFERENTS TYPES DE DONNEES DE CHOCOLAT. | 76 |
| TABLEAU 4: TABLEAU COMPORTE LES OBJETS UTILISES LORS DE LA CONCEPTION DE NOTRE MODELE. | 78 |
| TABLEAU 5 : TABLEAU COMPARATIF ENTRE LES DELAIS DE FABRICATION DES PREVISIONS ANNUELLEA | 99 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| FIGURE 1: LES FONCTIONS D'UN SERVICE PRODUCTION. | 9 |
| FIGURE 2: LES SERVICES OPERATIONNELS ET FONCTIONNELS DE LA FONCTION PRODUCTION. | 10 |
| FIGURE 3: UN SYSTEME DE PRODUCTION. | 13 |
| FIGURE 4: SCHEMATISATION DE SYSTEME DE PRODUCTION..... | 14 |
| FIGURE 5: LES COMPOSANTS D'U SYSTEME DE PRODUCTION | 15 |
| FIGURE 6: SCHEMA DE PRINCIPE D'UN JOB SHOP..... | 21 |
| FIGURE 7: SCHEMA DE PRINCIPE D'UN FLOW SHOP. | 22 |
| FIGURE 8: SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE LIGNE DE PRODUCTION. | 24 |
| FIGURE 9: SCHEMA EXPLICATIF DE LA SIMULATION. | 37 |
| FIGURE 10: PROCESSUS SIMPLIFIE DE SIMULATION..... | 44 |
| FIGURE 11: PROCESSUS D'ANALYSER UN PROBLEME EN SIMULATION. | 45 |
| FIGURE 12: LES ETAPES DE PROGRAMMATION ET EXPERIMENTATION..... | 45 |
| FIGURE 13: LA PLACE DE L'EXPERIMENTATION DANS UN PROCESSUS. | 46 |
| FIGURE 14: LES DIX ETAPES D'UN PROCESSUS DE SIMULATION..... | 48 |
| FIGURE 15: LA SIMULATION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION. | 50 |
| FIGURE 16: LA STRUCTURE ORGANISATIONNELLE DE "KAOUA FOOD »...... | 61 |
| FIGURE 17: LA CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS DE L'ENTREPRISE « KAOUA FOOD». | 64 |
| FIGURE 18: SCHEMA DESCRIPTIF DE LA LIGNE DE PRODUCTION. | 66 |
| FIGURE 19 : SCHEMA DE LA LIGNE DE PRODUCTION..... | 74 |
| FIGURE 20 : DÉMARRER AVEC FLEXSIM. | 77 |
| FIGURE 21 : BOITE DE DIALOGUE "MODEL UNITS"..... | 77 |
| FIGURE 22: MODEL GLOBAL DE LA LIGNE DE PRODUCTION EN 3D « TABLETTE AU FOURRAGE BLANC -100G ». | 78 |
| FIGURE 23: BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET "SOURCE1,2". | 80 |
| FIGURE 24 : BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET "MELANGEUR 1"..... | 81 |
| FIGURE 25: BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET "MELANGEUR 2"..... | 81 |
| FIGURE 26: BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET "POMPE"..... | 82 |
| FIGURE 27: BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET "CUISEUR1"..... | 82 |
| FIGURE 28: BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET "CUISEUR2"..... | 82 |
| FIGURE 29 : BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " RESERVE 1, 2 "..... | 83 |
| FIGURE 30 : TELECHARGER UNE IMAGE « TABLETTE CHOCOLAT ». | 83 |
| FIGURE 31 : CREATION D'UN FLOW ITEM 'CHOCOLAT'. | 84 |

| | |
|---|----|
| FIGURE 32: CREATION D'UN FLOW ITEM 'FOURRAGE BLANC'..... | 84 |
| FIGURE 33 : BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " DESPOSITEUR 1 ET 2 "..... | 85 |
| FIGURE 34: BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " D-R"..... | 85 |
| FIGURE 35 : BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " EMBALLAGE"..... | 86 |
| FIGURE 36 : BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " STOCK TEMPO"..... | 86 |
| FIGURE 37 : BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " TRANSPORT"..... | 86 |
| FIGURE 38 : PROCESS FLOW DU MODEL..... | 87 |
| FIGURE 39 : DASHBOARDS "TABLETTE AU FOURRAGE BLANC-100G"..... | 87 |
| FIGURE 40 : RESULTAT DE LA SIMULATION -PRODUIT 1-..... | 88 |
| FIGURE 41 : MODEL GLOBAL DE LA LIGNE DE PRODUCTION -PRODUIT 2-..... | 89 |
| FIGURE 42 : BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " MELANGEUR - -PRODUIT 2-"..... | 89 |
| FIGURE 43 : BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET "EMBALLAGE- PRODUIT 2-"..... | 89 |
| FIGURE 44: RESULTAT DE LA SIMULATION -PRODUIT 2-..... | 90 |
| FIGURE 45: BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " MELANGEUR - -PRODUIT 3-"..... | 91 |
| FIGURE 46: BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " EMBALLAGE - PRODUIT 3-"..... | 91 |
| FIGURE 47: RESULTAT DE LA SIMULATION -PRODUIT 3-..... | 91 |
| FIGURE 48 : BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " MELANGEUR - PRODUIT 4-"..... | 92 |
| FIGURE 49: BOITE DE DIALOGUE POUR L'OBJET " EMBALLAGE - PRODUIT 4-"..... | 92 |
| FIGURE 50: RESULTAT DE LA SIMULATION -PRODUIT 4-..... | 92 |
| FIGURE 51: INTERFACE GRAPHIQUE D'UN SGCCX..... | 97 |
| FIGURE 52: EXEMPLE D APPLIQUE SGCCX..... | 98 |

Résumé

Notre projet de fin d'étude s'est déroulé au niveau de l'entreprise « KAOUA FOOD » spécialisée dans fabrication et la commercialisation de produits agroalimentaire de chocolat et de Bonbons.

Notre mission était d'analyser la solution proposée par l'entreprise pour améliorer son système de production à l'aide de la simulation (FLEXSIM).

Nous avons réussi à modéliser la ligne de production de l'entreprise et puis à faire des modifications pour simuler la solution proposée et obtenir les résultats en conséquence.

Cela nous a permis de comprendre l'apport de la simulation dans le domaine de la production en particulier et la chaîne logistique en général.

Pour rendre notre travail plus tangible, on a créé une application à l'aide des résultats de la Simulation qui sert à montrer des scénarios de production possibles dans certaines circonstances.

Finalement, nous avons fait une analyse et une interprétation des résultats pour pouvoir proposer des solutions envisagées sur une base rationnelle.

Mots-clés : la simulation, modélisation, ligne de production, FLEXSIM.

Abstract

Our graduation project took place at « KAOUA FOOD » company specialized in the production and marketing of chocolate and candies. Our mission was to analyze the solution suggested by the company to improve its production system using simulation (FLEXSIM).

We managed to model the company's production line and then make modifications to simulate the proposed solution and obtain the results accordingly.

This allowed us to understand the contribution of simulation in the field of production in particular and the supply chain in general.

To make our work more tangible, we created an application using the results of the simulation that serves to show possible production scenarios in certain circumstances.

KEY-WORDS: Simulation, model, production, FLEXSIM.

ملخص

تم القيام بمشروع التخرج على مستوى شركة «KAOUA FOOD» المتخصصة في إنتاج وتسويق منتجات الشوكولاتة والحلويات، الهدف كان تحليل الاقتراح الموضوع من طرف الشركة بهدف تطوير وتحسين نظام الإنتاج الخاص بها وهذا بالاعتماد على المحاكاة باستخدام FLEXSIM.

تمكنا من نمذجة خط إنتاج الشركة ثم إجراء تعديلات لمحاكاة الحل المقترح والحصول على النتائج وفقا لذلك. لقد مكنا ذلك بفهم مساهمة المحاكاة في مجال الإنتاج بشكل خاص وسلسلة التوريد والإمداد بشكل عام. لجعل عملنا أكثر جاهزية، أنشأنا تطبيقا باستخدام نتائج المحاكاة المستخدمة لإظهار إمكانية القيام بسيناريوهات لعملية الإنتاج في ظروف معينة.

كلمات مفتاحية: النمذجة، المحاكاة، الإنتاج.

Sommaire

| | |
|---|------------|
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre 01 : La Production et la Flexibilité dans un système | 3 |
| Section 1 : Principes généraux relatifs à la notion Production..... | 6 |
| Section 2 : Typologie des systèmes productifs..... | 20 |
| Section 3 : La Flexibilité dans un système de production..... | 29 |
| Chapitre 02 : La simulation virtuelle d'un système de production réel..... | 34 |
| Section 1 : Introduction à la simulation..... | 36 |
| Section 2 : Le développement d'un modèle de Simulation..... | 40 |
| Section 3 : Appliquer la simulation dans un système de production..... | 50 |
| Chapitre 03 : Exemple d'étude : SARL KAOUA FOOD..... | 58 |
| Section 1 : Présentation de la société « SARL KAOUA FOOD »..... | 60 |
| Section 2 : Les Directions de « KAOUA FOOD » et leur tâche..... | 62 |
| Section 3 : Description de la ligne de production..... | 66 |
| Chapitre 04 : La modélisation et la simulation « FLEXSIM » | 70 |
| Section 1 : Analyser et identifier le problème. | 72 |
| Section 2 : Programmer et expérimenter | 75 |
| Section 3 : Interpréter et Visualiser les résultats | 94 |
| Conclusion générale | 102 |

Introduction générale

Depuis toujours, l'entreprise est face à des décisions qui peuvent avoir des répercussions sur son avenir financier. Elle doit agir rapidement et au moindre cout possible. Ceci nécessite une grande flexibilité de son système.

La survie de l'entreprise dépend de sa capacité à s'adapter et de sa compétitivité face à la concurrence. L'entreprise est appelée à prendre des risques. Il faudrait toutefois que ces risques soient calculés. Dans ce cadre-là, il existe des outils qui permettent de faire des simulations au préalable. Dans le domaine de la supply chain, les outils de simulation sont souvent utilisés aussi bien pour optimiser les systèmes existants mais aussi pour simuler des systèmes à construire et ce, en mode virtuel.

Le développement de l'outil informatique a facilité énormément la simulation. Il existe aujourd'hui de nombreux outils performants. Dans le maillon « fabrication » de la supply chain et les systèmes industriels, la simulation coûte ainsi moins chère et permet de comparer les scénarios en virtuel avant d'investir des sommes importantes dans des constructions et des installations.

Dans le cadre de notre stage dans la société algérienne « KAOUA FOOD », nous avons eu l'occasion de prendre en charge une problématique dans leur supply chain. Les propriétaires voulaient élargir leur gamme de fabrication et optimiser la ligne de production tout en minimisant les temps d'arrêt. Et à la suite des discussions avec notre encadrant au sein de l'école, il nous orienté sur des outils permettant de résoudre le problème. Nous avons ainsi opté pour un outil simulation le logiciel « FLEXSIM. »

L'intérêt majeur de la modélisation est d'apporter des modifications au modèle en faisant des tests avant que les modifications ne soient mises en œuvre sur le système réel. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre problématique de recherche à savoir :

« Comment l'outil de simulation contribue-t-il à solutionner des problèmes de gestion de flux de la ligne de production et à aide ainsi à la prise de décision et à l'optimisation de la supply chain ? ».

Pour mieux cerner la problématique générale et répondre aux questions posées ci-dessus :
Nous avons émis les hypothèses suivantes

- H1 : Oui, la simulation est un outil d'analyse qui permet d'aider à la prise de décision.
- H2 : L'outil FlexSim est un outil performant et permet d'apporter des solutions sûres et efficaces.

Notre mémoire est composée de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons aborder les généralités de la production industrielle dans une entreprise et notamment la notion de flexibilité en fonction des types de système de production qui existent.

Nous traiterons par la suite, de la simulation et la modélisation et les différents outils informatiques liés à cette fonction.

En troisième lieu, la SARL KAOUA FOOD et ses différents départements. Nous nous intéresserons plus précisément aux départements de production pour expliquer le processus de fabrication des produits de chocolat et la problématique que nous avons rencontrée sur place et que nous nous proposons de résoudre dans le présent mémoire.

Dans le quatrième chapitre, nous allons présenter notre travail de simulation que nous avons réalisé au sein de l'entreprise à l'aide de l'outil FlexSim et ce, tout en intégrant un autre outil informatique (Delphi) afin de rendre nos résultats directement utilisables.

Chapitre 01 :
La Production et la
Flexibilité dans un
systeme.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 4

Introduction

La production est la mission principale d'une entreprise industrielle, elle doit satisfaire la demande en quantité, qualité et prix. Pendant son activité, elle utilise des stratégies bien définies en amont, pour atteindre certains objectifs dans les délais prévus.

Dans une entreprise on parle généralement de différents concepts : fonction production, un système de production, éléments de production, processus de production ... Et vue que la production est la principale activité d'une entreprise industrielle, donc elle sera obligée d'accorder une grande valeur à chaque élément puisque d'une part elle confère à elle un avantage concurrentiel, et à l'autre côté elle engendre des coûts importants.

Gérer cette production, nécessite une grande connaissance de domaine pour faire des bons choix en ce qui concerne sa typologie de production par rapport à ses objectifs. Mais il faut bien être conscient que cette activité de production se relève complexe et multiple, les entreprises doivent donc mettre en place de nouveaux processus qui combinent les avantages d'un modèle de masse en termes d'économies d'échelle tout en restant suffisamment flexibles pour s'adapter aux diverses demandes des consommateurs c'est le nouveau dilemme de la productivité-flexibilité, qui oblige les entreprises de réadapter leurs systèmes d'opération de production en vue d'augmenter leur flexibilité.

Pour ce faire, ce chapitre est dédié en général à trouver une relation entre ses trois termes (production, système, flexibilité), nous commencerons par une présentation de la fonction production comme elle se trouve au cœur du processus de création de valeur, nous montrerons les services de la fonction de production dans une entreprise, après on aborde un thème plus global c'est le système de production et son impact sur le choix de processus de réalisation d'un produit (**section 1**).

Dans la (**section 2**), nous allons identifier les modes de la production grâce à des différents critères cités dans cette section, pour ensuite fixer ses objectifs.

Enfin, on va traiter de la notion de flexibilité, et ses dimensions c'est-à-dire la manière d'appliquer la flexibilité dans un système de production et les raisons pour lesquelles une entreprise cherche à devenir de plus en plus flexible (**Section3**).

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 5

Le but de ce chapitre est de répondre à la sous-question suivante :

« Si une entreprise modifierait ses objectifs et donc sa stratégie, ce qui inclut le changement de son mode de production, quels sont les critères essentiels pour réaliser le bon choix ? et si elle serait capable de s'adapter (d'être flexible) et surtout rentable dans ce scénario ? »

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 6

Section 1 : Principes généraux relatifs à la notion Production.

Cette section a pour objectif d'introduire des généralités de la notion production, puis d'aborder en détail le domaine des systèmes de production. Au début, nous allons donner quelques définitions concernant les paramètres les plus en vue de ce domaine, et en particulier dans notre cas pratique.

Nous avons trouvé utile, voire nécessaire, de commencer par définir la fonction production et ses éléments, et d'identifier sa relation avec les grandes fonctions de l'entreprise.

Ensuite, nous avons adopté un concept plus large qu'est le « système de production », et cité ses différents composants. Ce système qui comporte trois catégories en interaction le Physique, le décisionnel, l'information-. Nous aurons l'occasion de le détailler dans la section suivante.

En nous basant sur le fait que la fonction est une capacité apportée par un système, la production représente à la fois une fonction et un système. Nous avons divisé cette section en 3 grands titres :

- Historique de la production.
- La production comme une fonction.
- La production comme un système.

1. Historique de la production

Le concept de fonction de production a été inventé par l'économiste britannique (*Philip Wicksteed*) en 1894, puis elle est développée en 4 période (à partir de la fin du 19^{ème} siècle), les caractéristiques de chaque période sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 1: Développement et historique de la production.

| Périodes | | Caractéristiques |
|----------|-----------------------|---|
| I. | À partir de la fin du | <ul style="list-style-type: none">– Une production proche de l'artisan.– Les produits sont de faible quantité et grande diversité. |

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 7

| | | |
|-------------|-----------------------------|---|
| | 19ème siècle | <ul style="list-style-type: none">– Nécessite la qualification des personnels |
| II. | De 1945 à 1975 | <ul style="list-style-type: none">– Une demande supérieure à l'offre.– Les produits sont en grandes quantité et faible diversité.– Personnel peu qualifié.– Le travail est découpé en tâche rapide et simple.– « <i>PRODUIRE PUIS VENDRE.</i> » |
| III. | De 1975 à 1985 | <ul style="list-style-type: none">– L'offre et la demande s'équilibrent.– Il est nécessaire de faire des prévisions commerciales.– D'organiser les approvisionnements, de réguler les stocks.– « <i>PRODUIRE CE QUI SERA VENDU</i> » |
| IV. | Depuis la fin des années 70 | <ul style="list-style-type: none">– Des marchés sont fortement concurrentiels.– L'offre est supérieure à la demande.– Des quantités importantes, mais très diversifiées.– « <i>PRODUIRE CE QUI EST DEJA VENDU.</i> » |

Source : GAOUAR(A), « proposition d'un outil d'aide à l'évaluation des stratégies de coordination dont le fonctionnement d'un WEB-DOS », mémoire de magister, université Abou Bakr Belkaid , 2013, P11.

2. La production comme une fonction

a. Définition de la fonction production

➤ [Selon le Petit Larousse]

✓ Produire : « Assurer la production de richesses économiques ; créer des biens, des services. »

✓ Production : « Action de produire, de créer ou d'assurer les conditions de création de richesses économiques (biens, services...). »

➤ [Selon Georges Javel]

La production comme une fonction qui consiste à produire, en temps voulu, les quantités demandées par les clients dans des conditions de coût de revient et de qualité déterminés en

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 8

optimisant les ressources de l'entreprise de façon à assurer sa pérennité, sa compétitivité et son développement.¹

➤ *[Selon Vincent GIARD]*

La production comme étant une transformation de ressources appartenant à un système productif et conduisant à la création de biens et de services. Les ressources peuvent être de quatre types : - des équipements (machines, ...), - des hommes (opérateurs, ...), - des matières (matières premières et composants), - des informations techniques ou procédurales (gammes, nomenclatures, fiches opératoires, ...).²

b. Mission et tâches de la fonction production

- Les tâches de cette fonction seront :
 - ⇒ Mettre au point des produits répondant aux besoins du marché.
 - ⇒ Concevoir les produits, les procédés et méthodes de fabrication.
 - ⇒ Définir, mettre en place et organiser les moyens humains et matériels de production.
 - ⇒ Fabriquer les produits dans de bonnes conditions.

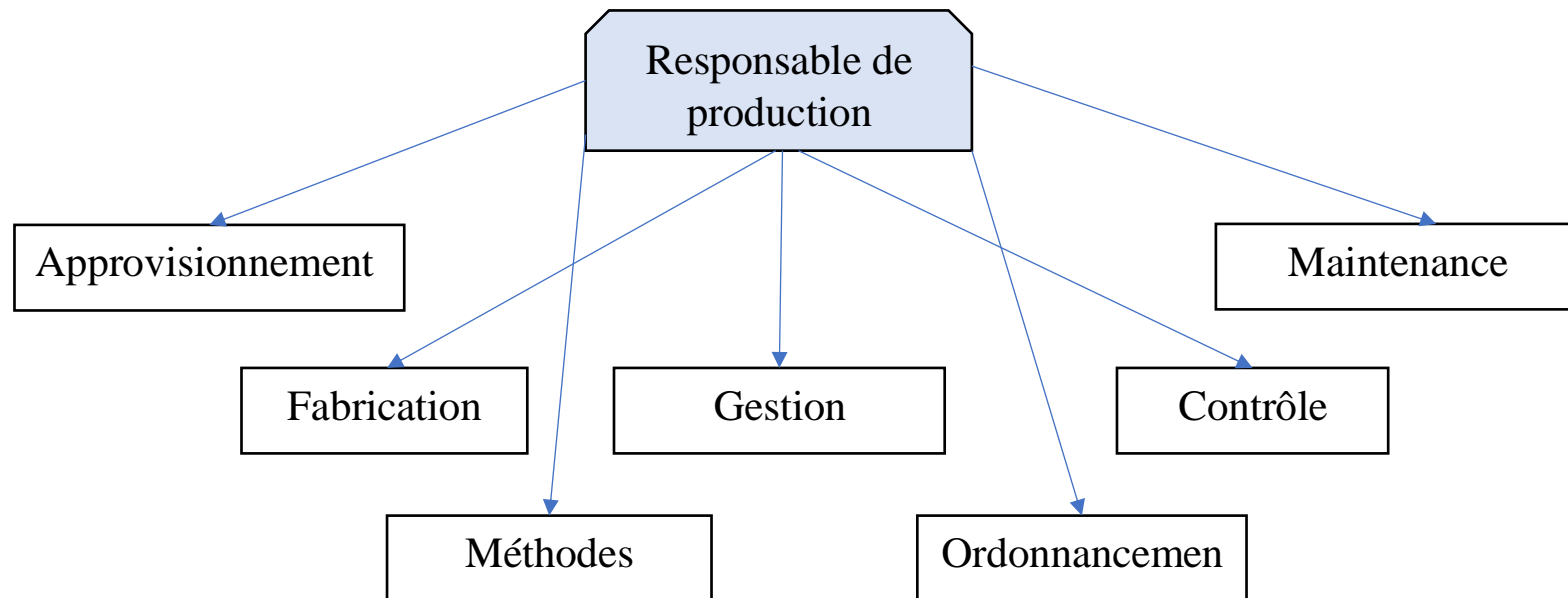
- Les fonctions de ce service sont résumées dans le schéma suivant :

¹ GEORGES (Javel), « organisation et gestion de la production », édition DUNOD, France, 2010, P127.

² VINCENT (Giard), « Gestion de la production et des flux », 3 Edition, p38.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 9

Figure 1: les fonctions d'un service production.



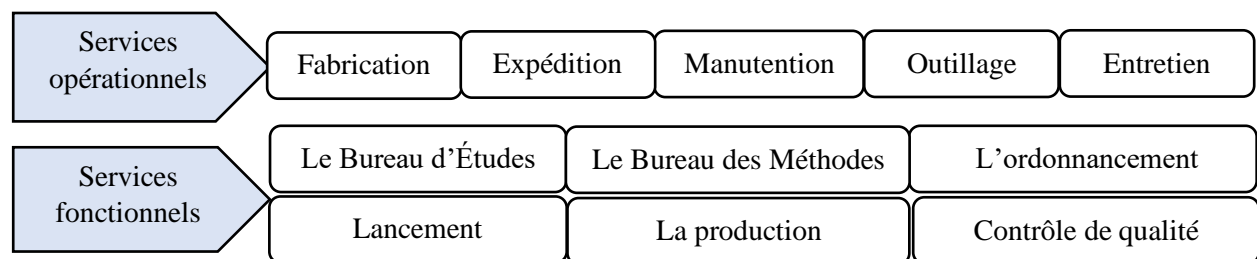
Elaboré par : Nos soins.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 10

c. Les Services de la fonction production

La fonction de production est en lien direct avec toutes les autres fonctions de telle sorte qu'elle se retrouve au cœur du processus de création de valeur, Lorsque l'on parle de fonction de production, il est important de noter que cette fonction se décompose en un certain nombre de services qui ont un rôle soit opérationnel, soit fonctionnel. Comme la présente cette figure :

Figure 2: Les services opérationnels et fonctionnels de la fonction production.



Elaboré par : Nos soins.

Ensuite, nous allons détailler et expliquer la fonction de chaque service,

| | | |
|--|-------------|--|
| Services opérationnels : Chargés de la fabrication et de l'expédition | Fabrication | Produit des choses en fonction des commandes (quantités, qualité et délais). Ou "à vendre" Elle est organisée en sections et se compose d'ateliers. De nombreuses entreprises de fabrication industrielle utilisent la fabrication assistée par ordinateur. Son administration est souvent informatisée sous la forme d'une gestion de la production assistée par ordinateur |
| | Expédition | Prépare matériellement les commandes et la charge des commandes pour le transport. Elle s'appuie de |

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 11

| | | |
|---|--------------------|---|
| | | plus en plus fréquemment sur la gestion des stocks assistée par ordinateur. |
| | Manutention | Réalise la circulation des flux physiques (matières, composants, etc.) d'entre les différents ateliers et postes de travail. L'automatisation de la manutention se développe grâce à différents procédés. C'est la transitique. |
| | Outillage | Fabrique les outils, les achète ou les fait fabriquer, mais également contrôle |
| | Entretien | Assure l'entretien préventif du matériel et aussi des dépannages et réparations de celui-ci. Sa gestion est parfois automatisée dans une gestion de la maintenance assistée par ordinateur. |
| Services Fonctionnels : Chargés de définir, d'organiser et de contrôler l'activité des services opérationnels | Bureau d'études | Il conçoit des prototypes, teste leur efficacité et établit une définition complète du produit, en fonction des moyens de production disponibles et dans une optique de standardisation des pièces et composants utilisés dans l'entreprise. Ce travail est réalisé en collaboration avec le service mercatique et la recherche et développement. Il s'appuie sur une analyse de la valeur. Il est considérablement facilité par le recours à des logiciels de simulation et de conception assisté par ordinateur. Il aboutit à l'établissement d'un projet (plans, nomenclature des composants, coûts) et d'un dossier d'exécution (prototype, industrialisation). |
| | Bureau de méthodes | Il définit les méthodes de production à appliquer pour produire au meilleur coût. Pour cela, il établit une « gamme de fabrication » (succession des opérations, temps, quantités) pour chaque pièce. Il |

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 12

| | | |
|--|-------------------------|--|
| | | étudie l'implantation des différents postes et leur outillage. Le travail est facilité par le recours à n logiciel de conception et fabrication assistées par ordinateur. |
| | Bureau d'ordonnancement | L'ordonnancement consiste à assurer le lancement des opérations de production, à les répartir entre les différents postes de façon à minimiser le temps global de production, sans dépasser un niveau donné de coût. |
| | Contrôle de production | Il doit aider les services opérationnels à atteindre les objectifs de qualité en formant les opérateurs et en effectuant des sondages concernant les encours et les produits. Il est de plus en plus complété par l'auto-contrôle des opérateurs et des machines, etc. |

Source : M'Rabet (Rachid), « *Les clés de la gestion* », P05.

En Fonction de production, nous nous considérons, généralement, comme données les caractéristiques du produit qui sont :

- La définition du produit.
- La demande à satisfaire.
- Le processus de production

3. La production comme un Système

Les systèmes de production sont complexes et dynamiques, leurs performances dépendent des buts à atteindre et des stratégies utilisées. L'étude des systèmes de production demande un certain nombre de principes.

a. Définition d'un système de production

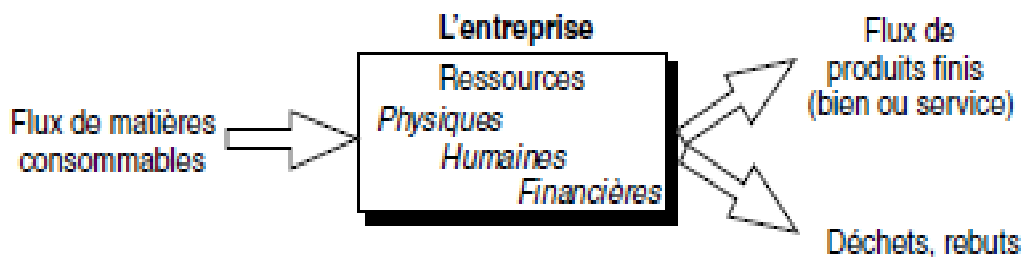
Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 13

➤ [Selon Georges] :

Le système de production regroupe l'ensemble des ressources qui conduisent à la création de biens ou de services, Afin de réaliser les objectifs prévus. L'entreprise possède trois types de ressources :

- Des ressources physiques.
- Des ressources humaines.
- Des ressources financières.

Figure 3: un système de production.



Source : GEORGES (Javel), « organisation et gestion de la production », édition DUNOD, France, 2010, P11.

- **Un système de production** : est un ensemble de ressources qui concourent à la fabrication d'un bien par le biais de diverses opérations telles que : des opérations manuelles, d'usinage et/ou d'assemblage., les activités de transport et de stockage.³
- **Moyens de production** : Ensemble des moyens permettant la transformation des matières premières ou des composants en vue de l'obtention des produits, le mode de production caractérise le processus de réalisation d'un produit⁴. ».

³ Tamani (K), « Développement d'une méthodologie de pilotage intelligent par régulation de flux adaptée aux systèmes de production », Thèse de Doctorat, 2008.

⁴ Op.cit, P127.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 14

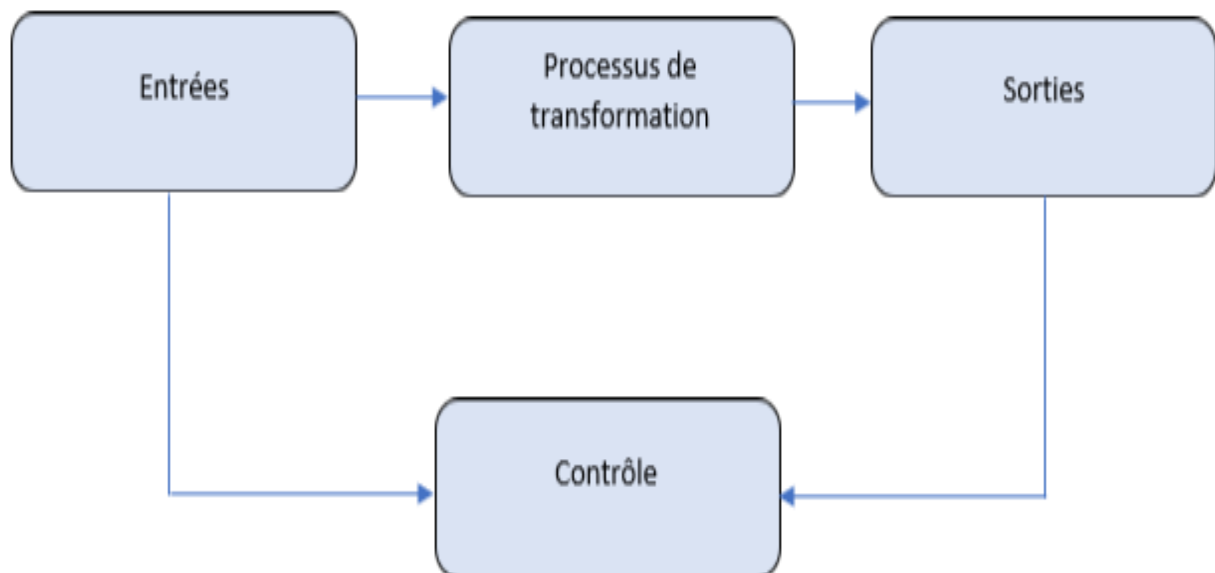
b. Définition d'un processus production

➤ [Selon le Petit Larousse]

- ✓ Processus : Enchaînement ordonné de faits ou de phénomènes, répondant à un certain schéma et aboutissant à quelque chose.
- ✓ Processus de production : Installation dans laquelle des matières premières sont soumises à une succession d'opérations afin d'élaborer un produit fini

c. Schématisation de système de production

Figure 4: Schématisation de système de production.



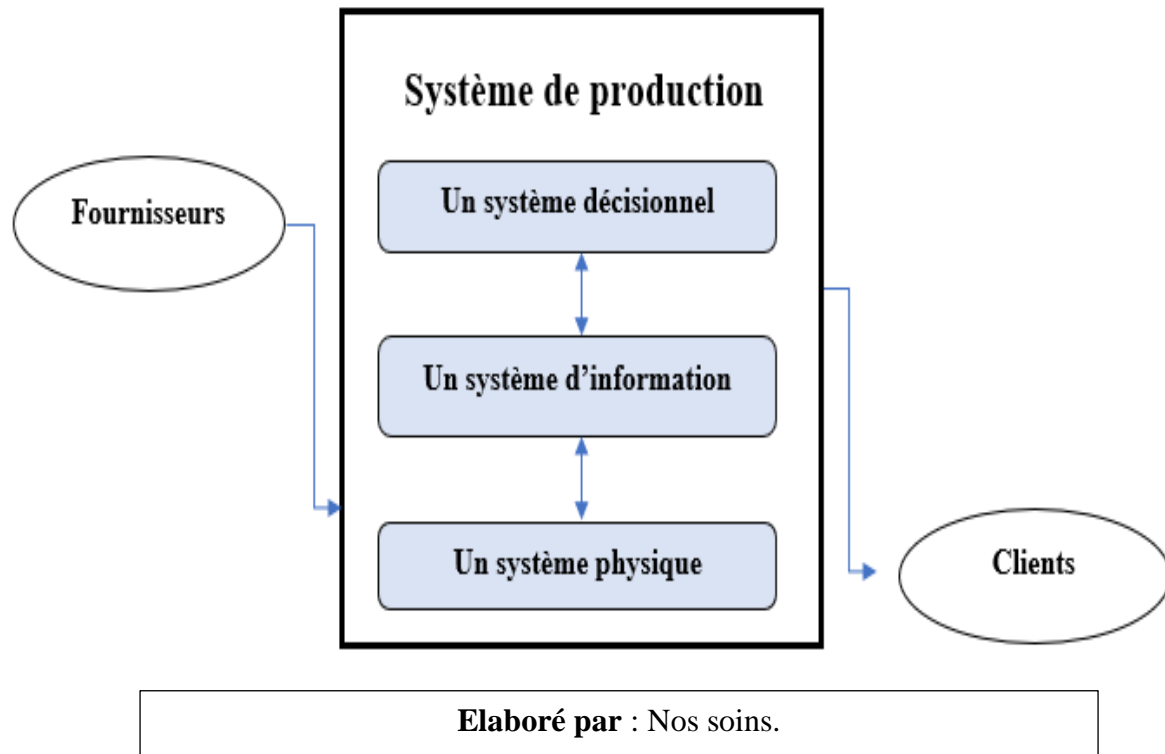
Source : BARANGE (P.), HUGUEL(G) et VIBERT(B) : « *Production* », Paris 1981, P04.

d. Les différents composants d'un système de production

Dans un système évolue quatre populations distinctes : les produits et les moyens de production, les personnes de production et le flux d'information. On distingue actuellement trois sous-systèmes de production, présentés dans la figure suivante.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 15

Figure 5: Les composants d'u système de production



- **Un système décisionnel** : est l'ensemble des actions qui permettent de gérer (les Politiques de gestion des stocks et d'ordonnancement), les activités de production, de maintenance ou même de contrôle dans un système manufacturier.
Le système décisionnel s'appuie le plus souvent sur le système d'information pour fonctionner.
- **Un système d'information** : est l'ensemble des données permettant : d'identifier la structure physique, les processus de fabrication, la nature des produits. Stocker des informations relatives au déroulement des activités de production et permet de faire une évaluation globale des systèmes de production.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 16

➤ **Un système physique** : est l'ensemble des ressources à savoir les personnes, les machines ou postes de travail, les produits en cours de production, les matières premières et les moyens de transport.

– Les éléments physiques d'un système de production sont ⁵:

a) Poste de travail

C'est une machine ou un endroit aménagé spécifiquement où peut être exécutée une opération donnée. Les caractéristiques d'un poste de travail ou d'une machine sont : son activité, sa capacité et son temps d'exécution.⁶

- La capacité d'un poste de travail : elle représente la quantité de produits traités de manière simultanée par ce dernier, soit : Un poste est capacitaire : lorsque l'on peut augmenter dans une certaine mesure sa Capacité. Par exemple un poste de travail où s'effectue une opération manuelle peut Être considéré comme capacitaire dans la mesure où on peut rajouter des personnes en renfort. Par contre un poste qui est composé d'une machine automatisée peut être considéré comme non capacitaire si on ne peut pas augmenter le nombre de produits que la machine peut traiter de manière simultanée.
- La fonctionnalité : c'est l'ensemble des opérations que peut réaliser un poste de travail. Si ce dernier n'effectue qu'une seule opération, on dira qu'il a une fonction unique. C'est en général le cas des machines. Dans le cas où au niveau d'un poste de travail on peut réaliser plusieurs tâches on dira que le poste de travail ou la machine est multifonction. Il faut aussi préciser que le fait qu'un poste de travail soit multifonction ne veut pas forcément dire qu'il soit multitâche. En effet la plupart des postes de travail sont mono-tâches, on parle de contraintes disjonctives. Cependant il n'est pas exclu que plusieurs tâches soient effectuées sur un même produit de manière simultanée par des opérateurs différents et sur un même poste de travail.
- Les temps d'exécution : ce sont les durées des opérations effectuées par les postes de travail. Celles-ci dépendent de la nature du produit qui est traité et de celle de la ressource

⁵ Javel(G) , « *Organisation et gestion de la production-4e édition : Cours, exercices et études de cas* ». Dunod, 2010. P128.

⁶ Giard(V), « *Gestion de la production et des flux, production et techniques quantitatives Appliquées à la gestion* », ed," Economica, 2003.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 17

qui effectue l'opération. De cette manière, un robot aura une très faible variabilité dans ces temps d'exécution contrairement à un humain.

- La Modularité : C'est la capacité pour une machine de modifier sa structure physique afin de pouvoir effectuer d'autres opérations.

b) Moyen traditionnel

De tout temps l'homme a cherché à s'aider d'outils pour accomplir des travaux très variés. Ces outils ont évolué dans le temps et bon nombre d'entre eux font actuellement appel à des techniques d'automatique ou d'informatique. Nous appellerons moyen traditionnel, un outil plus ou moins sophistiqué permettant d'effectuer un travail de base sans avoir recours à un automatisme.

c) Machine transfert

Le premier souci d'un chef de fabrication, dans les années 50, était de réaliser des gains de productivité. Pour cela, le premier réflexe a été de constituer des lignes de fabrication dans lesquelles les opérations de montage de démontage, d'usinage et de manutention s'enchaînent de façon automatique. Ces machines, ou lignes transfert, ont permis de sérieux gains de productivité mais présentent l'inconvénient de manquer de souplesse et d'être d'un coût prohibitif. Il est donc nécessaire, dans ce cas, d'avoir des très grandes séries de pièces afin de pouvoir amortir la ligne sur le temps de fabrication de la série.

d) Machines à commande numérique

La recherche de gain de productivité sans perte de flexibilité a permis le développement des machines à commande numérique. À l'origine, l'idée est venue d'automatiser une machine-outil pour réaliser une pièce très complexe. Cette idée a été ensuite reprise pour des fabrications de grande précision et en grande série.

Cette technique consiste à commander les mouvements d'une machine-outil à l'aide d'un système électrique de commande appelé « directeur de commande numérique ». Les ordres de commande sont obtenus par programmation et transmis à la machine-outil, le plus souvent, par l'intermédiaire d'un support magnétique. La programmation de l'usinage sur une telle machine nécessite :

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 18

- Une définition géométrique de la pièce à usiner ;
- Une définition de l'usinage : définition des outils, des trajectoires d'outils et des conditions de coupe (vitesse, épaisseur de la passe).

⇒ La CN (commande numérique)

Le directeur de commande est une armoire avec un mécanisme câblé. C'était, très souvent, des Mécanismes très sophistiqués d'une fiabilité très aléatoire et d'un prix de revient très élevé.

⇒ La CNC (commande numérique avec calculateur)

Grâce à une meilleure maîtrise de la technique et à l'apparition des min calculateurs, les concepteurs de ces machines ont eu idée de remplacer le directeur de commande en logique câblée par un mini calculateur industriel. Cette technique a permis, non seulement un abaissement des coûts de réalisation de ce type de machine mais également une augmentation de la souplesse d'évolution et de programmation de la machine.

⇒ La DNC (commande numérique directe)

Du fait de l'augmentation de la fiabilité des matériels, il est apparu très vite le besoin de relier plusieurs machines entre elles pilotées par un ordinateur industriel de commande. Celui-ci pilote simultanément plusieurs machines-outils, soit directement, soit par l'intermédiaire des directeurs de commande de chaque machine. Partant, au départ, d'un rôle de coordination du fonctionnement des machines, cet ordinateur industriel a de plus en plus un rôle de gestion des moyens associés en liaison avec la gestion de production

e) Centre d'usinage

Un centre d'usinage, résultat du développement des machines-outils à commande numérique, est une machine-outil qui rassemble les fonctions des fraiseuses, des perceuses et des aléseuses. Un centre de tournage assure intégralement le tournage de pièces complexes sans démontage ou intervention de l'opérateur.⁷

⁷ Op.cit, P140.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 19

Chaque composant du système a ses propres caractéristiques qui ne sont pas constantes et qui varient dans le temps, Il existe trois variables :

- De matière : nature, débit, volume, délai, déclenchement.
- D'information : nature, fréquence, déclenchement
- Financier : quantité, fréquence, déclenchement.

Donc, cette première section, nous avons donné quelque définition de base de la production et son système, pour ensuite développer ce dernier dans la section suivante.

Section 2 : Typologie des systèmes productifs

Le thème système de production n'est pas un concept original ou nouveau, mais il a connu une certaine reformulation ces dernières années. Aujourd'hui, Les systèmes de production sont conçus pour optimiser les performances de production dans une entreprise industrielle.

L'objectif de cette section, est de présenter la manière dont une entreprise est organisée pour produire des biens et services, en se basant sur les critères de sélection dans un environnement économique qui est devenu concurrentiel, pour enfin tirer des objectifs en termes de : quantités, produits, qualité, cout, délai, et flexibilité en (section 3).

1. Le Choix d'un mode de production

a. Définition d'un mode de production

- C'est la manière dont se déroulent les différentes étapes nécessaires à la production d'un bien ou d'un service, nécessite de satisfaire des contraintes techniques et commerciales pour une meilleur efficacité et productivité.

b. Principaux modes de production ⁸

⇒ Production de type « série unitaire »

Est un cas particulier qui ne se produit que rarement, c'est l'utilisation et la mobilisation de toutes les ressources de l'entreprise pour réaliser un projet de production sur une période assez longue. Il est nécessaire de disposer d'un personnel hautement qualifié, chargé d'effectuer des tâches non répétitives. Généralement, l'utilisé est Polyvalent. La question du stock est souvent secondaire dans ce type d'entreprise, car le produit fini est rarement stocké.

⇒ Organisation en « ateliers spécialisés »

Un système productif est organisé en ateliers spécialisés dont :

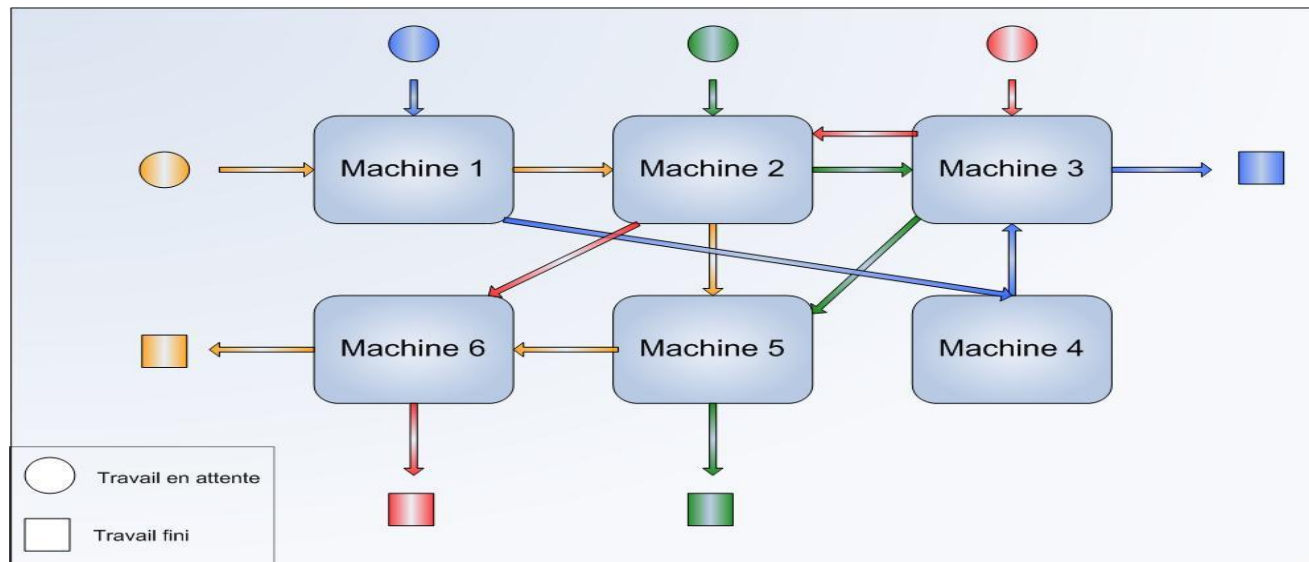
La main-d'œuvre utilisée est plutôt qualifiée et les équipements sont polyvalents, On distingue deux types d'atelier :

⁸ COURTOIS(A), PILLET(M) et (MARTIN-BONNEFOUS(C), « *Gestion de production* », 4 Edition d'organisation, P18.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 21

- Job shop : Il n'y a eu aucune raison que le chemin nécessaire à la fabrication de deux articles différents soit identique lorsque tous les équipements remplissant la même fonction technique sont situés au même endroit.

Figure 6: Schéma de principe d'un job shop.



Source : job shop [en ligne] , https://www.wikiwand.com/en/Job_shop , (consulte le 22 mai 2022).

- Avantages
 - ✓ Une grande flexibilité dans la création de produits
 - ✓ Grande flexibilité d'expansion (les machines sont facilement ajoutées ou substituées)
 - ✓ Grande flexibilité du volume de production (en raison des faibles augmentations de la capacité de production).
 - ✓ Faible obsolescence (les machines sont généralement polyvalentes)
 - ✓ Grande robustesse aux pannes de machines
- Inconvénients
 - ✓ Programmation difficile en raison de la grande variabilité des produits.
 - ✓ Faible utilisation des capacités.

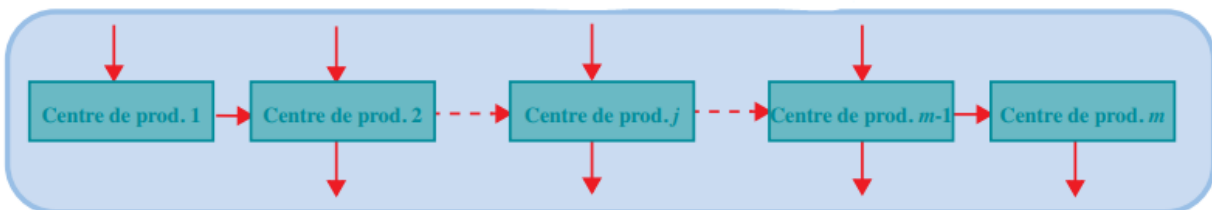
Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 22

- Flow shop : Lorsque l'itinéraire est identique pour toutes les commandes utilisant un même groupe de machines, sachant qu'une commande peut ne pas utiliser toutes les machines de ce groupe et que les temps opératoires peuvent varier fortement sur une même machine, ce qui distingue cette structure productive de la ligne de production ou d'assemblage. Les produits subissent une même séquence d'opérations avec des temps opératoires éventuellement différents.⁹

Les contraintes du problème sont de deux types :

- Les contraintes de gamme : toutes les tâches doivent passer sur toutes les machines, de la machine 1 à la machine m ;
- Les contraintes de ressource : une machine ne peut traiter qu'une tâche à la fois

Figure 7: Schéma de principe d'un flow shop.



Source : VINCENT (G) « *Gestion de la production et des flux* », P53.

- Inconvénients
 - ✓ Le grand nombre de chemins alternatifs entre les postes de travail que les différentes productions peuvent emprunter crée des difficultés opérationnelles indéniables. Ils entraînent des files d'attente plus ou moins longues, ainsi qu'une utilisation inefficace des ressources humaines et des machines.
 - ✓ Le problème de la gestion des stocks est crucial. Cela conduit de manière irréversible à des coûts de maintenance (automatisée ou non) relativement élevés.

⁹ Javel(G) , « *Organisation et gestion de la production-4e édition : Cours, exercices et études de cas* ». Dunod, 2010. P17.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 23

En ce qui concerne le problème de l'organisation efficace des ressources, deux problèmes principaux sont à considérer :

- Essayer de Diminuer ces coûts de là de manutention entre les différents postes de travail par : déterminer la meilleure localisation des machines les unes par rapport aux autres dans l'atelier. Ceci fait appel aux méthodes d'agencement dans l'espace.
- Déterminer l'ordre d'exécutions des différentes tâches sur une ou plusieurs machines.¹⁰

⇒ Organisation en ligne de production ou d'assemblage

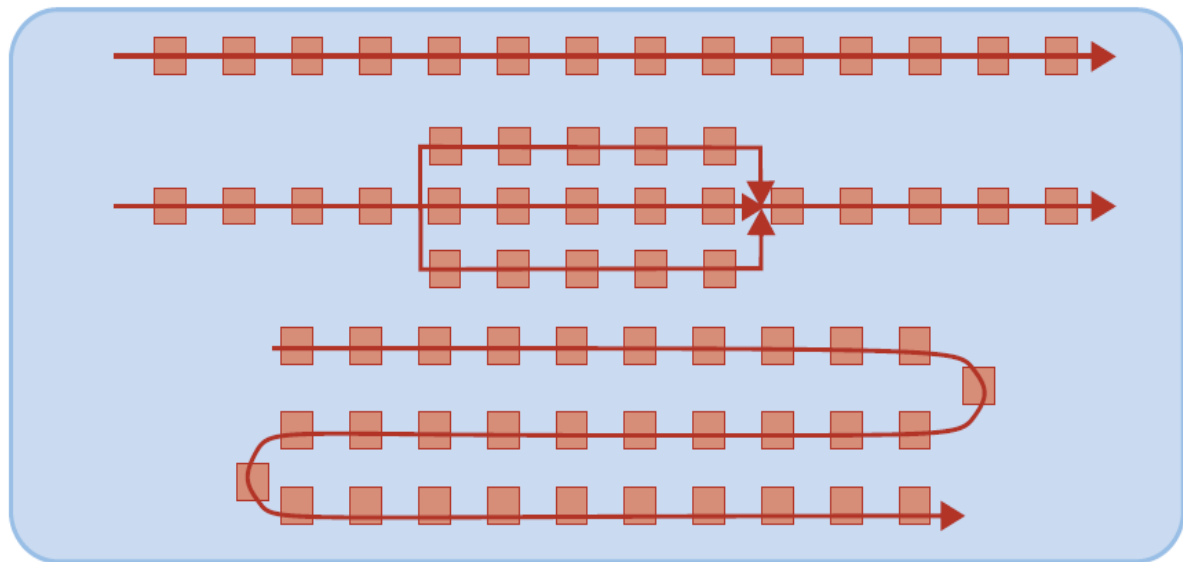
Lorsque l'équipement est structuré de manière à permettre à un flux de passer régulièrement par la même séquence de postes de travail, une chaîne de production est formée, et un ensemble de procédures de fabrication ou d'assemblage conduisant à la fabrication d'une variété de produits. Les industries de process.

- **Avantage**
 - ✓ L'équipement a été conçu pour réduire au maximum les temps de fonctionnement des unités.
- **Inconvénients**
 - ✓ Lorsque la chaîne de production doit être modifiée, l'équipement peut ne plus être utilisable (lorsque la ligne de production doit se spécialiser sur un autre produit).
 - ✓ La problématique des stocks tampons entre les postes de travail est modeste.
 - ✓ Les problématiques de fiabilité et de maintenance sont primordiales. La maintenance de l'équipement est critique car lorsqu'une machine s'arrête, c'est toute la ligne qui s'arrête

¹⁰ Source : <http://production-management.over-blog.com/article-35218324.html>.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 24

Figure 8: Schéma de principe d'une ligne de production.



Source : ibid. p53

⇒ Les industries de process

Se retrouve dans les industries lourdes de transformation de matières premières. Ce type d'organisation se caractérise par un flux important et régulier de matières premières arrivant dans le système productif pour y être transformé en une (ou plusieurs) matières premières « élaborées ».

c. Critères de sélection d'un mode de production¹¹

Vue l'importance de la bonne gestion d'une production, tout une mise en place ou de restructuration d'un système de production doit commencer par une étude détaillée de chaque catégorie que nous allons aborder dans cette section.

L'entreprise est différente par sa structure et les biens qu'elle produit, donc elle sera amenée à mettre en œuvre des stratégies variées. De ce fait, elles peuvent cependant être classées selon les

¹¹ Courtois(A) ,Maurice (P) , Martin-Bonnefous(C), « *Gestion de production* », Edition d'organisation .P18.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 25

critères, Ces critères ne sont en aucun cas limitatif, mais ils permettent d'identifier le type d'entreprise, on trouve trois types de classification, Selon notre Reference :

- Classification en fonction de l'importance des séries et de la répétitivité
- Classification selon la relation avec le client
- Classification selon le type d'implantation

➤ Classification en fonction de l'importance des séries et de la répétitivité

Le volume des productions est, bien évidemment, la première distinction appréciable entre les entreprises, *Les quantités lancées* peuvent être :

- En production unitaire.
- En production par petites séries.
- En production par moyennes séries.
- En production par grandes séries.

Les quantités associées aux concepts de petite, moyenne et grande série varient beaucoup selon les produits, et chaque type de fabrication nécessite une approche de gestion unique et une méthode de production adaptée.

➤ Classification selon le type d'implantation

Les entreprises sont organisées de différentes manières, en fonction des décisions organisationnelles prises et du type de produit fabriqué.

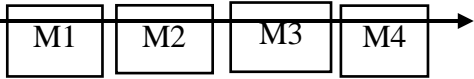
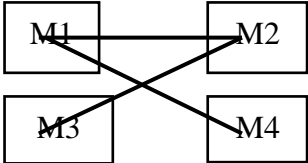
- L'implantation en continu : Dans cette forme d'organisation, les ressources sont proches les unes des autres dans l'ordre, pour la fabrication de grandes quantités d'un produit ou d'une famille de produits simultanément. L'implantation est réalisée en ligne de production, ce qui rend le flux du produit linéaire (flow shop) donc les machines ou les usines sont dédiées au produit à créer, par conséquent, il ne permet pas de flexibilité. Cette structure est optimale pour les grandes séries où la diversité des produits est contrôlée, ou pour les entreprises de transformation.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 26

- Implantation par Atelier (discontinus) : un ensemble de machines à fonction multiple est utilisé pour traiter des quantités relativement faibles de nombreux articles différents, elles ne sont pas spécifiques à un produit ce qui permet une plus grande flexibilité.

L'installation est réalisée par des ateliers, qui regroupent les machines en fonction de la tâche qu'elles effectuent Le flux des produits est déterminé par l'ordre dans lequel les tâches doivent être accomplies.

Tableau 2 : tableau comparatif entre la production continu/ discontinu

| | Type continu | Type discontinu |
|-------------------|--|--|
| Flux des produits | Flux linéaire  | Flux complexes  |
| Efficacité | REP moyen de 80 à 100 % | REP moyen de 5 à 30 % |
| Flexibilité | Lignes de production rigides | Lignes de production souples |
| Délais | Faibles | Longs |
| En-cours | Faibles | Importants |

Source : ibid . P 23

- Implantation par projet : Le produit est unique dans le cas de la production par projet.et son processus de fabrication est unique et ne sera pas reproduit. L'objectif de ce mode de production est de relier toutes les opérations menant à la réalisation du projet, en minimisant les temps d'arrêt afin de livrer le produit avec le moins de retard possible ou dans les délais prévus.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 27

2. Production basée sur la relation avec le Client

Dans la classification selon la relation avec le client, on distingue trois types de production et de vente :

- La production puis vente sur stock :

Le client achète des produits qui sont en stock dans l'entreprise, pour deux raisons :

- Le délai de fabrication > au délai de livraison accepté par le client.
- Pour produire en grande quantité et ainsi baisser les coûts.

- La production à la commande :

Ce n'est que lorsqu'un engagement précis du client est en place que la production sur commande commence. Cette méthode de production réduit les niveaux de stock et, par conséquent, les frais de stockage.

Cette organisation est possible pour deux raisons :

- Le délai de fabrication accepté par le client = le délai de livraison par le client.
- Pour les articles non standard, cette organisation est nécessaire.

- L'assemblage à la commande :

Cette forme de production se trouve quelque part entre la première et la seconde. Des sous-ensembles standard sont déjà disponibles. Ces sous-ensembles sont construits selon les besoins du client. Cet arrangement permet de réduire considérablement le délai entre la commande et la livraison du produit. En effet, le délai apparent peut être retracé jusqu'à l'assemblage des sous-ensembles. Cet arrangement diminue la valeur des stocks et permet de personnaliser les articles finaux en fonction des demandes des clients

3. Les objectifs de la Gestion production

Dans le cadre d'une entreprise, la fonction de production vise à répondre à diverses exigences en plus de son objectif principal, qui est de créer un bien économique.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 28

D'autres objectifs secondaires sont visés en plus de l'objectif principal de production d'un bien économique.

– Objectif en termes de quantités produites

- Répondre à la demande qui lui est adressée.
- La capacité de production de l'entreprise doit correspondre au volume des ventes.
- Sinon, L'entreprise adapte sa capacité de production au volume de ventes
 - ⇒ Cela se fait par des activités visant à maintenir la capacité de production actuelle ou par l'élaboration de plans d'investissement en capacité.

– Objectif en termes de qualité

- Les biens économiques produits doivent être de bonne qualité,
- La qualité doit pouvoir répondre aux besoins des clients.
- La production doit être de haute qualité en termes de consommation de ressources.

– Objectif de cout

- Le SP doit proposer les plus faibles couts de production possible

– Objectif de délai

- Production dans des délais raisonnables.
- Mise en place d'un SP réactif.

– Objectif de flexibilité

- Pouvoir s'adapter aux variations de la demande
- Tenir compte des évolutions de l'environnement productif de l'entreprise
- Permettre une production simultanée de plusieurs types de produits différents en même temps.

Une entreprise est unique par son mode d'organisation et sa gamme des produits qu'elle fabrique, les entreprises peuvent être classées selon des différents critères, et ces derniers ils permettent de bien cerner le type d'une entreprise, Chacun de ces types de production nécessite un type de gestion particulier.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 29

Section 3 : La Flexibilité dans un système de production.

La flexibilité fait actuellement non seulement un débat ouvert dans la société, mais elle représente également un défi important pour la compétitivité des entreprises puisque le produit évolue selon l'offre et la demande dans un marché très concurrentiel et la plupart des entreprises industrielles ont pour but principal de fabriquer des pièces diverses en petites et moyennes séries d'une manière aussi efficace qu'en grandes séries. Donc cette adaptation est devenue un objectif à atteindre pour l'entreprise à travers la bonne gestion de production, et par conséquent, les entreprises doivent gérer à la fois l'incertitude et l'urgence.

1. Définition

« On ne sait pas à l'avance ce qu'il faut faire, mais il faut le faire vite ¹²».

a. Notion de flexibilité

La capacité à s'adapter à ces deux contraintes : l'urgence et l'incertitude, est définie en tant que flexibilité. (*Georges Javel*) a défini la flexibilité comme :

- La flexibilité : Ce mot est très à la mode de nos jours. La flexibilité peut être définie comme l'aptitude à répondre à une variation de la demande. Elle peut être vue sous l'angle des employés, des produits ou de l'élaboration des produits
- La flexibilité d'un objet ou d'un système, est une propriété qui recouvre généralement deux aspects complémentaires mais distincts :
 - Un aspect interne lié à une capacité de changement et de déformation à une variété d'états possibles.
 - Un aspect externe lié à une capacité d'adaptation à des modifications de l'environnement.¹³
- Si, de manière générale, la flexibilité se définit comme la capacité du décideur à s'adapter ou, plus précisément, comme son aptitude à remettre en cause à tout moment sa décision, tout en

¹² [Ch.Everaere- ,P.Perrier 99].

¹³ Erschler. (J), De Terssac (G)., « *Flexibilité et rôle de l'opérateur humain dans l'automatisation intégrée de production* », Rapport laas no 88137, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes, Toulouse, France, 1988.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 30

conservant *l'optimalité de son choix*, nous verrons que ce concept a évolué au fil du temps et qu'il est aujourd'hui à multiples facettes.¹⁴

b. Un système flexible de production

La capacité d'une entreprise à s'adapter aux frustrations de la concurrence sur de nombreux facteurs, simultanés et potentiellement contradictoires, tels que la diversité, la quantité, les prix, les délais, la qualité et les services.

- Pourquoi la flexibilité dans un système ?
 - Besoin d'un système manufacturier apte à s'adapter à la nature changeante de la demande (volume et variété)
 - Besoin de groupes de machines-outils qui fonctionnent en continue avec une intervention humaine minimale.
- Comment quantifier la flexibilité d'un système ?
 - Variété de pièces : Capacité à produire différents types de pièces.
 - Changements de cédule de production : Capacité à répondre à un changement de quantité de production
 - Récupération due aux erreurs : Capacité de rattrapage en cas de bris
 - Intégration de nouveaux produits : Capacité d'ajouter de nouveaux produits en plus de la production annuelle.

2. Dimensions de flexibilité dans un système de production

Il n'existe pas une, mais plusieurs formes de flexibilité, La classification différencie la flexibilité dans le système de production en sept dimensions d'après notre référence ¹⁵ :

- Flexibilité process

Capacité de faire varier les tâches nécessaires à la réalisation d'un travail. Ceci permet de réaliser plusieurs travaux différents dans le système, en utilisant une variété des machines.

¹⁴ Gratacap (A) , Médan(P): «*Management de la production* » , 3e édition, p194.

¹⁵ Thomas.(C), « *Analyse de la flexibilité : le cas d'une unité de production d'aluminium* », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2003.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 31

- Flexibilité sur le routage

Capacité de changer la séquence de passage des pièces sur les machines et de continuer à produire un ensemble donné des pièces même lorsqu'une machine tombe en panne. (Existe seulement s'il y a plusieurs séquences de production possible ou lorsque chaque opération peut être réalisée sur plus d'une machine).

- Flexibilité sur les opérations

Capacité de changer l'ordre des certaines opérations dans une gamme de production.

- Flexibilité machine

Capacité de changer d'outils et d'assembler ou monter les fixations nécessaires sans interférer avec la production et sans temps de reconfiguration long. C'est la facilité du système à faire les changements nécessaires sur les machines pour produire un ensemble donné des pièces.

- Flexibilité produit

Capacité de mettre en œuvre, rapidement et de manière économique, les changements nécessaires à l'intégration des nouvelles pièces dans le plan actuel.

- Flexibilité sur le volume

Capacité de faire fonctionner un atelier à des niveaux de production différents tout en restant à un niveau de profit acceptable.

- Flexibilité sur la production

Capacité de faire varier rapidement et de manière économique la gamme des pièces qu'un atelier peut produire. Cette flexibilité ne peut être atteinte que lorsque les autres dimensions sont satisfaites.

- Flexibilité sur l'expansion

Capacité de construire un système ou de l'agrandir facilement et de manière séparable.

Chapitre 01 : la Production et la Flexibilité dans un système | 32

3. Bénéfices d'un Système de production flexible ¹⁶

- **D'un point de vue économique**
 - Réduction du coût de la main d'œuvre directe
 - Réduction du nombre de machines nécessaires
 - Réduction du temps opérationnel
- **D'un point de vue productivité**
 - Utilisation optimale des machines
 - Réduction des besoins en espace
 - Haute productivité

¹⁶ Notes de cours de GOL 302, J. Pronovost, Département GPA, ÉTS, 2006.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons posé les bases de notre travail en définissant dans un premier temps les systèmes de production. Nous avons par la suite présenté plusieurs classifications de ceux-ci. Nous avons accordé une attention particulière aux systèmes de Production flexible et à la notion de flexibilité qui sont au cœur de nos préoccupations.

Chapitre 02 :
La simulation virtuelle
d'un système de
production
réel.

Introduction

Traditionnellement, les décisions concernant le développement, l'optimisation ou la réorganisation des industries, sont prises sur la base de l'intuition et de l'expérience passée, et sont influencées par une variété de facteurs, tandis que les résultats sont difficiles à obtenir avant la mise en œuvre, car ils sont très coûteux, dangereux et souvent il est impossible de faire des expériences avec de vrais systèmes.

Actuellement, à chaque fois qu'un modèle mathématique ne peut trouver une solution, ou que l'expérimentation se révèle impossible ou trop coûteuse il est possible de réaliser un modèle réaliste, grâce à une technique employée actuellement pour analyser les systèmes complexes et de grande taille composés de plusieurs éléments en interaction.

Cette méthode essaye d'abstraire le monde réel pour trouver une image pertinente de la réalité, en toute sécurité et à moindre coût que l'application réelle. Elle donne aux entreprises un avantage stratégique significatif et leur permet d'assurer un développement plus efficace de leurs solutions.

L'objectif de ce chapitre est de présenter le concept de la simulation, ses objectifs et ses étapes, et aussi de présenter l'apport de cette technique à l'optimisation des processus et de justifier l'utilisation de cet outil informatique pour trouver une solution à notre problématique.

Sous question : « comment la simulation peut contribuer à l'optimisation d'un processus de production ? ». Nous avons divisé le chapitre en trois sections :

Une présentation générale de la simulation, son historique ses domaines, ses avantages et inconvénients (**Section 1**).

Après on passe aux étapes de conception d'une simulation d'un modèle réel, son analyse et son interprétation (**Section 2**).

Enfin, nous présentons les différents outils (logiciel) de la simulation, leurs caractéristiques, et les résultats obtenus par chaque outil (**Section 3**).

Section 1 : Introduction à la simulation

« Aujourd'hui, créer une version virtuelle d'un processus réel est possible ».

Cette section a pour objectif de définir cette technique, son historique, citer ces domaines d'application et l'objectif de l'utilisation de cette technique. Ensuite, dénombrer ses avantages et ses limites dans un système industriel.

1. Historique et Définition

– Historique ¹⁷:

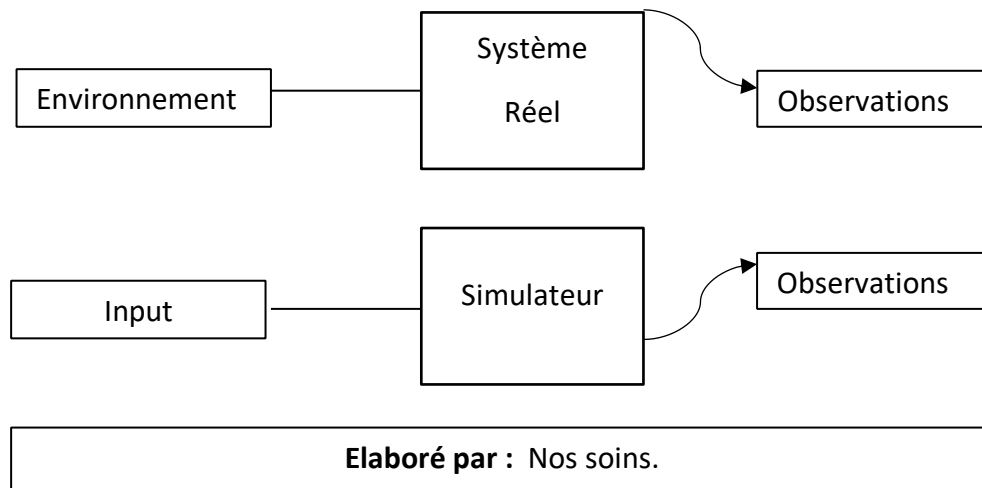
L'histoire de la modélisation des principes physiques de la dynamique des systèmes couvre une période de plus de 300 ans, mais avec la percée des ordinateurs, des études de cas réalistes grâce à la simulation sont abordées.

- **Années 30** : 1ers travaux sur un ordinateur digital.
- **Années 40** : Les 1 ère simulations sur ordinateur : Neumann et Ulam ont résolu des problèmes concernant des boucliers nucléaires qui étaient trop dangereux et chers à expérimenter et trop compliqués pour être étudiés analytiquement.
- **Années 50** : 1ers travaux de simulation sur le transport sur les autoroutes
- **Années 60 et 70** : développement des modèles de simulation
- **1981** : Les modèles de simulation du trafic sont tellement développés aux États-Unis qu'une conférence spéciale de 3 jours est tenue à ce sujet et conduite par le Transportation Research Board.
- Cependant, il faut attendre **la deuxième partie du XXe** siècle pour voir apparaître un formidable renouveau de cette discipline avec l'arrivée d'outils informatiques puissants et la conception assistée par ordinateur (la CAO).
- Définition
 - [Selon Larousse]
 - ✓ Le dictionnaire Larousse définit la « simulation » comme une méthode de mesure et

¹⁷ Pellecuer (Luc), et Poteau(Sandrine) , « La simulation », COURS DE THEORIE DE LA CIRCULATION CIV 6705. P4.

- d'étude consistant à remplacer un phénomène, un système à étudier, par un modèle plus simple, mais ayant un comportement analogue. De nombreuses autres définitions existent selon le champ d'application de la simulation (militaire, industrie, relationnel,).
- ✓ Représentation du comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié. (Les modèles de simulation prennent le plus souvent la forme de programmes d'ordinateurs auxquels sont parfois associés des éléments de calcul analogique.)
 - [Selon Claver et al. 1997]
 - ✓ La simulation est l'activation d'un modèle dans le temps, afin de connaître son Comportement dynamique et de prédire son comportement futur.

Figure 9: schéma explicatif de la simulation.



2. Domaines d'application de la simulation

Les applications de la simulation sont innombrables. Parmi les domaines dans lesquels elle est le plus utilisée, on peut citer :

- L'informatique : recherche de configurations, réseaux, architectures de bases de données.

- La production : gestion des ressources de fabrications, machines, stocks, moyens de manutention, ...Conception des systèmes de transfert entre des postes.
- La gestion : marketing, tarification, prévisions, gestion du personnel, ...
- L'administration : gestion du trafic, du système hospitalier, de la démographie, ...
- L'environnement : pollution et assainissement, météorologie, catastrophes naturelles, ...

Nous utilisons la simulation dans des différents domaines pour des différents objectifs :

- Aide à prendre des décisions concernant un flux existant. Il vous permet d'estimer les performances actuelles et de mettre en œuvre des solutions sous un schéma existant pour mesurer la différence entre différentes alternatives.
- Aide à la conception des futures unités de production en qualifiant la conception et en dimensionnant les ressources nécessaires au fonctionnement attendu. Comme les technologies évoluent rapidement, la conception de l'usine peut être très différente de ce qui a été développé il y a quelques années.
- Aide à fournir des solutions visuellement observées et de modifier rapidement les processus.
- Sert à anticiper les soucis au démarrage.
- Facilite la compréhension du projet pour toutes les parties prenantes. La simulation représente aussi une méthode de travail dans le projet pour fiabiliser l'argumentaire.

3. Avantage et inconvénients de la simulation¹⁸

a. Avantage de la simulation

La simulation peut couvrir tous les flux de l'entreprise car elle est capable de représenter : les flux physiques, les flux informationnels et les flux décisionnels, la simulation aide son utilisateur à :¹⁹

- **Economiser de temps et d'argent**
 - La simulation coûte moins cher que de faire des expériences réelles.

¹⁸ ibid, P05.

¹⁹ Habchi(G) , « *Conceptualisation Et Modélisation Pour La Simulation Des Systèmes De Production* », Université De Savoie, 2001.

- Estimer les performances actuelles.
- Mettre en œuvre toutes solutions possibles sous un schéma.

- **Gestion de l'incertitude**
 - Facilite la compréhension du projet pour toutes les parties prenantes.
 - Représente une démarche dans la réalisation d'un projet pour rendre l'argument plus fiable.
 - Valider ou modifier la conception des futures unités de production et dimensionner les ressources nécessaires au fonctionnement prévu.
 - Expérimenter de nouvelles situations qui n'existent pas encore aujourd'hui.
 - Le système peut être étudié en temps réel, en temps compressé ou en temps étendu.

- **Environnement sans risque**
 - Des simulations potentiellement peu sécuritaires peuvent être réalisées sans risque pour les usagers du système.

- **Rapidité**
 - Il est possible de copier les conditions de base pour effectuer équitablement des comparaisons entre les différentes alternatives d'amélioration.
 - Il est possible d'étudier les conséquences d'un changement sur l'opération du système.
 - Il est possible de fournir des solutions visuellement observées et de modifier rapidement les processus.

- b. Inconvénients de la simulation**
 - Nécessite une grande variété de données d'entrée et de paramètres, qui peuvent être difficiles ou impossibles à collecter.
 - Nécessite une vérification, une validation du modèle pour le rendre utile.
 - Exige des connaissances dans différents domaines (les probabilités, l'analyse statistique, la programmation).
 - Le modèle de simulation peut être difficile à comprendre pour les personnes qui n'ont pas développé le programme en raison du manque de documentation.

- Nécessite une compréhension parfaite du système.

Simuler au lieu de tester dans l'environnement réel est plus sécuritaire et économique. C'est pour cette raison que les modèles sont utilisés dans l'industrie, le commerce et dans le secteur militaire : il est très coûteux, dangereux et souvent impossible de faire des expériences avec de vrais systèmes, « mais comment appliquer cette démarche de simulation pour garantir l'efficacité d'un projet ? ».

Section 2 : Le développement d'un modèle de Simulation

Après avoir compris le concept de la simulation, nous avons besoin de savoir « comment simuler ? », connaître les termes théoriques liés directement à la simulation, et de comprendre

quelle démarche suivre pour élaborer une simulation d'un modèle, cela est l'objectif de cette section.

1. Des définitions

a. Le Modèle

➤ [Selon Larousse]

- ✓ Représentation schématique d'un processus, d'une démarche raisonnée.
- Un modèle est une structuration simplifiée qui représente censément des caractéristiques et des relations significatives de la réalité sous une forme généralisée. Les modèles sont des approximations subjectives de haut niveau qui n'incluent pas toutes les observations ou 48 mesures associées, mais font apparaître les aspects fondamentaux de la réalité tout en ignorant certains détails secondaires ²⁰.
- Brièvement, le modèle est un outil permettant de réaliser des expériences virtuelles et de simuler la réalité.

b. Modélisation

➤ [Selon thompson 1884]

- ✓ La modélisation est l'activité qui consiste à construire des modèles.

Mais aussi, représente l'ensemble des activités qui permettent la création, la mise au point et l'exécution sur un ordinateur de maquettes virtuelles des systèmes à étudier.

c. A quoi sert la modélisation ?²¹

- Compréhension de la réalité.
- Génération de solutions : les solutions du modèle fournissent des exemples de comportement du système.
- Étudier et analyser le comportement de solutions en fonction des paramètres ou de la structure du modèle.

²⁰ Xiaojun (Ye), « *Modélisation et simulation des systèmes de production : une approche orientée-objets. Modélisation et simulation* ». INSA de Lyon , p48.

²¹ G.bontempi : « *Projet de la modélisation et la simulation* », assistant M.L.Lerman, Département d'informatique, septembre 17/2015.

- Contrôle : conception de règles ou d'un système de contrôle capable d'amener le système vers un état désiré

2. Types de modèles de simulation²²

La classification distingue 2 modèles :

- ⇒ Les modèles statiques : pour lesquels le temps n'intervient pas.
- ⇒ Les modèles Dynamiques : pour lesquels le comportement est en fonction du temps.

a. Première distinction

- Continus : plus adaptés aux flux continus (changement continu d'état avec stimuli continus).
- Discrets (ou discontinus) : un modèle où les changements d'état ne surviennent que lors d'événements (succession d'états changeant brusquement d'un instant à son suivant)
 - Discrets dans le temps (division du temps en intervalle de longueur constante). Les calculs sont effectués pour chacun des intervalles.
 - Discrets dans les événements (division du temps en période s'écoulant entre deux événements connus – les phases d'un feu par exemple). Ce type de modélisation permet de sauver du temps de calcul mais ne peut être avantageusement utilisé que lorsque la circulation change peu d'état ou que la taille du système étudié reste relativement petite.
- Les modèles combinés (ou mixtes), qui intègrent les deux aspects.

b. Deuxième distinction

Selon le niveau de détails qu'il propos on distingue trois types de modèle ;

- Modèles microscopiques (MI) : Ils rendent compte, à un haut niveau de détails, des objets du système ainsi que de leurs interactions. Les MI sont relativement plus chers à développer, à faire tourner (en temps) et à mettre à jour. Ils possèdent potentiellement une

²² PELLECUER (Luc), POTEAU(Sandrine), « *La simulation COURS DE THEORIE DE LA CIRCULATION CIV 6705* ».

plus grande finesse de résultats qui n'est pas forcément atteinte à cause de leur complexité et de la calibration de leurs nombreux paramètres.

- Modèles mésoscopiques (ME) : Ils représentent la plupart des objets à un haut niveau de détails mais leurs interactions à un niveau de détails relativement moindre
- Modèles macroscopiques (MA) : Représentent à un faible niveau de détails les objets et leurs interactions.

Le créateur du modèle doit donc choisir le niveau de détails en fonction de ce que l'on désire montrer ou ce dont l'on veut rendre compte

c. Troisième distinction

Selon le type des variables utilisés, on distingue deux types de modèle ;

- Modèles déterministes : aucune variable aléatoire, les relations sont du type mathématique, statistiques ou logiques.
- Modèles stochastiques : Incluant des fonctions de probabilités.

3. Le processus d'élaboration d'un système de simulation ²³

Pour garantir l'efficacité d'un projet de simulation, il semble acquis que celui-ci soit associé à la réalisation d'un processus défini et formalisé.

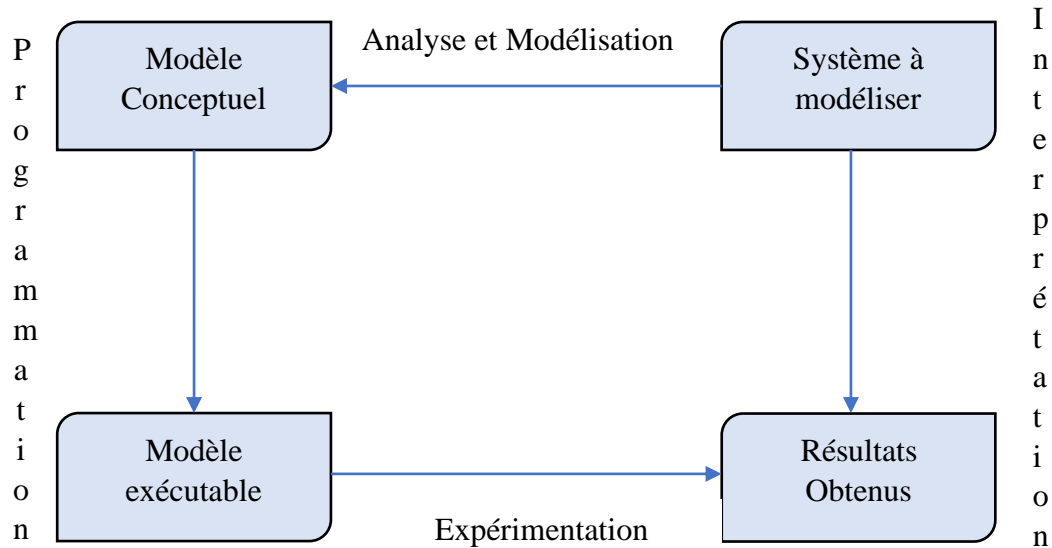
De manière Générale, le processus de simulation peut être éclaté en quatre étapes :

- ⇒ ***L'analyse et la modélisation du problème*** : qui décrivent le comportement du système et fournissent un modèle conceptuel,
- ⇒ ***La programmation*** : qui fournit un modèle exécutable.
- ⇒ ***L'expérimentation*** qui fournit les résultats.
- ⇒ ***L'interprétation et l'analyse des résultats.***

De manière relativement simplifiée, le processus de simulation peut être représenté selon la figure ci-dessous :

²³ B. Jullien And F. Grimaud, "Simulation Des Systèmes De Production Avec Arena Version 3.02," Ecole Des Mines De Saint-Etienne -Centre Simade, 1997

Figure 10:Processus simplifié de simulation



Source : Revel(L), Habchi(G),et Maire(J.L) : « *Analyse du processus d'élaboration d'un projet de simulation* ».P10.

Nous allons ensuite, expliquer minutieusement chaque étape du processus :

a. Analyse et modélisation

C'est la première étape dans notre processus ; cette phase est critique car c'est ici que nous devons identifier de façon précise et claire l'objectif de notre simulation. En même temps, nous spécifions les informations dont nous avons besoin et identifions toutes les entrées du modèle et d'y associer les sorties afin de pouvoir collecter les données à l'étape suivante. Ensuite, nous définissons le problème à résoudre sous forme de schéma conceptuel. Le but de cette étape est de créer un modèle fiable tout en restant dans le cadre de nos objectifs.

Pour ce faire, on a une liste de questions à répondre clairement et précisément :

- ✓ Quels sont les résultats attendus ?
- ✓ Quels sont les facteurs qui influencent les résultats ?
- ✓ Quelles sont les limites temporelles et spatiales du problème ?

- ✓ Existe-t-il des lignes ?
- ✓ Les schémas de circulation évoluent-ils dans le temps ?

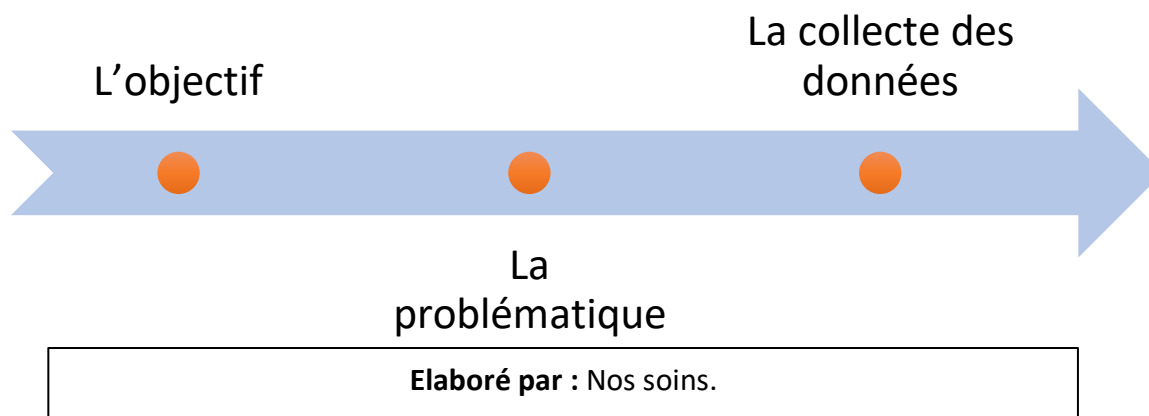
Ensuite, nous allons confirmer que ce type de problème n'a une solution qu'avec la technique de simulation, par une autre liste de questions :

- ✓ Comment le problème pourrait-il être résolu sans simulation ?
- ✓ Pourquoi la simulation est-elle la meilleure solution ?
- ✓ Comment d'autres ont-ils déjà résolu ce type de problème ?

À la fin de cette étape, nous allons collecter les données soit secondaires soit des données primaires.

Nous avons résumé les phases d'analyser un problème dans le schéma suivant :

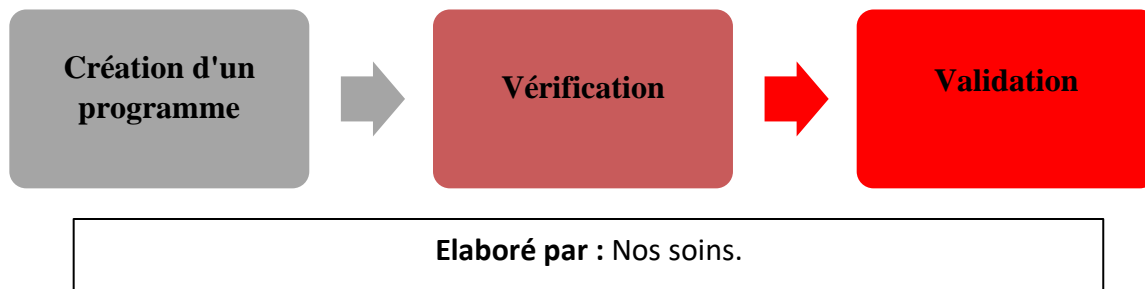
Figure 11:Processus d'analyser un problème en simulation.



b. La Programmation

C'est la deuxième étape, nécessite la *création d'un programme* qui peut être facilement ajusté et qui fait la distinction entre le système physique, le système de pilotage et le système d'information. Ce processus se termine par la validation, qui consiste à *comparer* le comportement du modèle au système physique qu'il est censé refléter.

Figure 12:Les étapes de programmation et expérimentation.



Pour l'étape de validation, nous avons 2 volets à considérer :

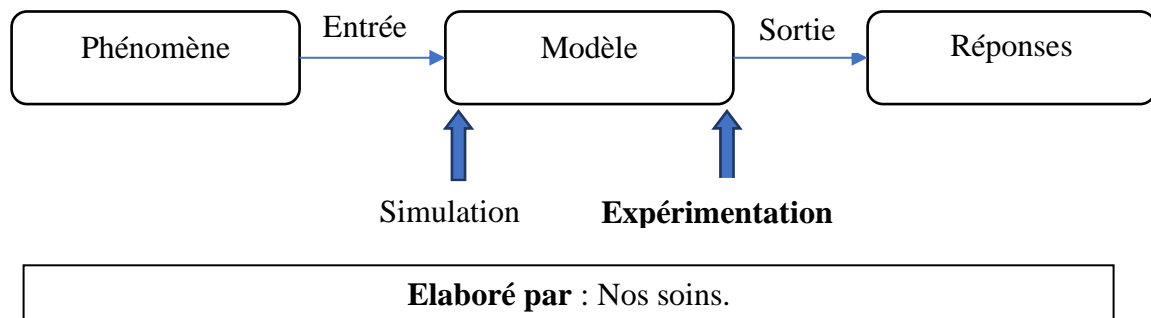
- ✓ Validité conceptuelle : consiste à déterminer si la structure du modèle représente clairement le système réel.
- ✓ Validité opérationnelle : consiste à déterminer si les données du modèle concernant son comportement sont représentatives du système réel.

c. Expérimentation

Toutes les applications basées sur des modèles de simulation nécessitent l'utilisation d'un cadre d'expérimentation, il est déterminé par :

- La taille du modèle.
- La flexibilité du modèle.
- La complexité et la variété des situations à évaluer.

Figure 13: La place de l'expérimentation dans un processus.



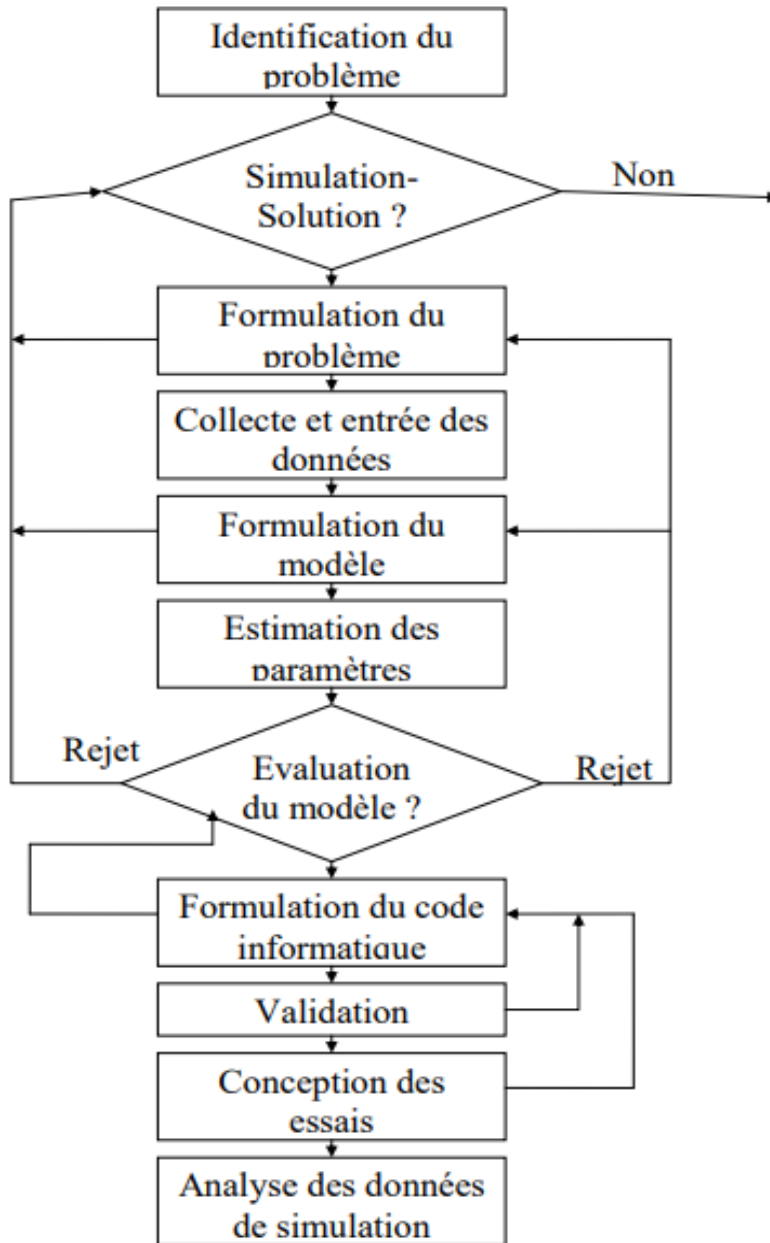
d. Interprétation²⁴

La phase qui permet de comparer les différentes solutions, les analyser puis les interpréter. Elle ne devrait pas seulement contenir les résultats obtenus, mais aussi toutes les variables, les commentaires.

De manière plus détaillée, le processus de simulation peut être éclaté en dix étapes, sont résumées dans la figure suivante puis ensuite l'appliquer en pratique :

²⁴ BALCI (O), «*Verification, Validation And Accreditation Of Simulation*».P14.

Figure 14: Les dix étapes d'un processus de simulation.



Source : Pritsker (1986) : « Modélisation et simulation des systèmes de production ».P21.

En bref, la simulation est outil moderne, pour l'utiliser on a besoin de suivre une logique expérimentale et on a besoin de suivre les mêmes étapes quel que soit le domaine d'application de cet outil comme c'est bien détaillé dans cette section (L'analyse et la modélisation du problème suivi par la programmation après l'expérimentation et pour finir l'interprétation et l'analyse des résultats).

« Mais il existe plusieurs logiciels informatiques destinés pour la simulation, qu'elles sont ces logiciels ? et comment faire le bon choix du logiciel ? ».

Section 3 : Appliquer la simulation dans un système de production.

Il est important de réorganiser régulièrement l'atelier ou les lignes de production pour faire intégrer de nouvelles marchandises ou optimiser la circulation des produits et les moyens de manutention, mais c'est difficile de réaliser des essais en réalité, donc cette section a pour objectif, de connaître d'abord les logiciels les plus connus en simulation des flux à événement discrets (système de production) puis comparer entre eux.

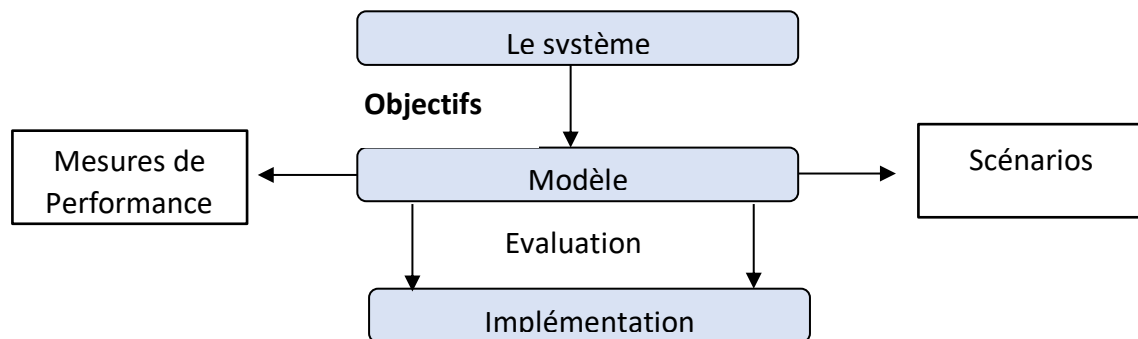
1. La simulation des flux

Comme déjà mentionné dans le chapitre 1 : un système de production est composé d'un système physique, d'un système décisionnel et d'un système d'informations reliant ces deux systèmes, il est traversé par un flux d'informations et un flux physique.

Par conséquent, l'application de la simulation dans un système de production sert à étudier les flux physiques (pièces, matériaux, outils, etc.) et informationnels (ordres de fabrication, Kanban, etc.) dans l'atelier et la disponibilité des ressources (opérateurs, machines, convoyeurs, etc.).

Afin de décrire son fonctionnement (sa structure et son comportement) avec le degré de détail nécessaire à la résolution du problème posé.

Figure 15: La simulation d'un système de production.



Source : BACHIRI (Imene). LARBI BENHADJAR (Abdelkrim), « *Simulation d'un système de production avec ARENA* » .P 12

a. Définition

- Est un outil d'analyse basé sur une vision du processus, permet de créer des modèles numériques réels qui reflètent des comportements complexes d'un système, elle permet également d'introduire et de gérer la diversité à travers différents scénarios et réaliser des simulations de plusieurs mois en quelques minutes.
- La simulation de flux dynamique, utilisant une technique d'événements discrets (ce que nous allons aborder dans le titre suivant).

b. Les enjeux de la simulation de flux

- Effectuer une analyse de capacité lors de la création d'un nouveau projet.
- Identifier les goulots d'étranglement, optimiser l'emploi des ressources.
- Piloter l'outil de production, améliorer la planification et l'ordonnancement.
- La réduction des lead-times et la maîtrise de l'encours.
- La tenue de l'OTD (On-Time delivery) et du taux de service.
- La maîtrise du takt-time.

c. Les domaines d'application de la simulation dans un système de production ²⁵

● Systèmes de flux de production

- Équilibrage de lignes d'assemblage.
- Conception de systèmes de transfert entre des postes.
- Dimensionnement des stocks d'un atelier.
- Comparaison de pilotage.
- Évaluation de la charge prévisionnelle.
- Étude de la synchronisation entre les réceptions des pièces et l'assemblage.

²⁵ Professeur Laris : « *SIMULATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION* ». P36, thèse de doctorat.

- **Flux logistiques et systèmes de transport**
 - Conception et dimensionnement d'entrepôts.
 - Dimensionnement d'une flotte de camions.
 - Étude de procédures de contrôle des flux de véhicules en circulation.

- **Production des services**
 - Étude de transactions bancaires.
 - Gestion de restaurants.

2. La simulation à événement Discrets

a. Définition ²⁶

- Il s'agit d'une technique d'étude de la dynamique des systèmes. Elle consiste en une modélisation informatique dans lequel le changement d'état d'un système au cours du temps est représenté par une série d'événements discrets.

b. Les Objectifs de la simulation :

- Décrire le comportement d'un système complexe comme une série d'événements bien définis et ordonnés.
- Permettre d'analyser rapidement le comportement d'un processus ou d'un système au fil du temps.
- Poser des questions « pourquoi » ou « et si » pour ensuite, concevoir ou modifier les processus ou les systèmes sans aucune implication financière.

3. Les logiciels de simulation de flux

Vu l'importance de la simulation, plusieurs outils de simulation de flux ont vu le jour.

²⁶ GERAD(D) , Iacomme(PH) et Tanguy(A), : « *collection algorithmes dirigée par Gérard Dreyfus, simulation à événement discret* », groupes Eyrolles 2007, http://www.eyrolles.comChapitres9782212119244Chap1_Fleury.pdf .

⇒ **ARENA**²⁷

- ✓ Est le logiciel de simulation des flux à évènements discrets, Edité par Rockwell Automation, destiné aux entreprises de toutes tailles dans les secteurs de la fabrication, de la chaîne d'approvisionnement, des soins de santé, de l'exploitation minière et d'autres secteurs,
- ✓ Cet outil de simulation permet d'effectuer des modélisations basées sur des agents, de créer des rapports, etc.
- ✓ ARENA a accompagné de grands projets industriels pour Peugeot, Alstom, Nestlé, Aéroport de Paris, Saint-Gobain ...etc.
- ✓ Il est le premier outil de simulation permettant d'analyser les volumes importants, la logique de commande complexe et l'équipement spécialisé des systèmes de production.

- Avantages

- C'est un outil très utilisé dans le domaine industriel.
- Son environnement de travail est très facile à manipuler.
- Les fonctions qu'il contient sont faciles à utiliser.
- Une très grande capacité graphique.
- Offrir une grande polyvalence.
- Il intègre un outil d'analyse des données : Input Analyser.
- Il est doté d'un système d'optimisation très puissant.
- Il est compatible avec tous les produits Microsoft Office.

- Inconvénients

- Les modèles développés sous ARENA sont difficiles à traiter en utilisant d'autre outil de simulation
- Les éditions pour étudiants sont très limitées : obligation d'avoir des licences au moins éducatives
- La documentation n'est pas disponible facilement Problème de prise en charge des

²⁷ El Fallahi (Abdellah), « *Cours de Simulation des Systèmes Industriels avec ARENA* » p40.

anciennes versions

⇒ *FlexSim*²⁸

- ✓ FlexSim est un puissant outil d'analyse qui aide les ingénieurs et les planificateurs à prendre des décisions intelligentes dans la conception et l'exploitation d'un système.
 - ✓ C'est la construction d'un modèle informatique tridimensionnel d'un système réel,
 - ✓ Il permet d'étudier ce système dans un laps de temps plus court et à moindre coût qu'avec le système réel.
 - ✓ Fournit des Résultats quantitatifs sur un certain nombre de solutions proposées et cibler rapidement la solution optimale.
 - ✓ En termes techniques, FlexSim est classé comme un logiciel de simulation d'événements discrets. Cela signifie qu'il est utilisé pour modéliser des systèmes qui changent d'état à des moments discrets à la suite d'événements spécifiques.
- Avantages
 - Modéliser un système avant qu'il ne soit construit.
 - Tester les politiques d'exploitation avant qu'elles ne soient réellement mises en œuvre. Évitez de nombreux pièges qui sont souvent rencontrés lors du démarrage d'un nouveau système.
 - Les améliorations qui vous demandaient auparavant des mois ou des années d'expérimentation par essais et erreurs peuvent désormais être obtenues en quelques jours et quelques heures avec FlexSim.
 - Inconvénients
 - L'utilisation du logiciel devient très difficile pour une recherche approfondie.
 - Le manque des tutoriels et du contenu créé par des utilisateurs sur YouTube et réseaux

²⁸ « *FlexSim 3D simulation software, MANUEL DE L'UTILISATEUR* », Version FlexSim 7.0, P14

sociaux

- Limitation des objets pour création d'un modèle (30 objets lors d'une utilisation normale et 100 pour une licence étudiante pendant 4 mois)

⇒ Simul8 : ²⁹

- ✓ Un logiciel utilisé pour simuler des systèmes impliquant le traitement d'entités discrètes à des instants discrets.
- ✓ Un logiciel de simulation peu coûteux qui excelle dans la modélisation conceptuelle des systèmes.
- ✓ Un outil de planification, de conception, d'optimisation et de réingénierie des systèmes de production, de fabrication et de logistique.
- ✓ Permet à son utilisateur de créer un modèle informatique, qui prend en compte les contraintes de la vie réelle.

- Avantages

- Permet de tester des scénarios réels dans un environnement virtuel.
- L'interface intuitive par glisser-déposer de SIMUL8 vous permet de créer rapidement des simulations,
- Le langage de code Visual Logic permet une personnalisation avancée.
- Simulez n'importe quel processus et testez les changements dans un environnement sans risque et des coûts supplémentaires.

- Inconvénients

- Une animation faible par rapport à d'autres logiciels de simulation.
- Le manque des tutoriels et des manuels explicatifs des fonctions du logiciel.

²⁹ <https://stringfixer.com/fr/Simul8>.

Donc, nous pouvons résumer cette section en disant que : La simulation est l'une des techniques les plus utilisées à travers le monde, elle représente un outil très utile, pour bien comprendre le principe de fonctionnement d'un système. Elle aide à observer et à comprendre le fonctionnement en temps réel et à analyser plusieurs scénarios de fonctionnement, à l'aide de plusieurs logiciels de simulation.

Conclusion

Le système de production est un système à événement discret et pour le simuler nous Utilisons un logiciel adapté à ce type de système.

Tous les logiciels sont très performants, le but était de choisir le logiciel le mieux adapté à notre cas, selon nos études, nos données et notre problématique.

Après une étude des alternatives nous avons choisi le « *logiciel FLEXSIM de l'éditeur FlexSim Software Products Inc.* », comme un outil de simulation durant ce travail, car :

Il y a trois problèmes de base qui peuvent tous être résolus avec FlexSim :

- ⇒ Problèmes de service - la nécessité de traiter les clients et leurs demandes au plus haut niveau de satisfaction pour le coût le plus bas possible.
- ⇒ Problèmes de fabrication - la nécessité de fabriquer le bon produit au bon moment pour le prix le plus bas possible.
- ⇒ Problèmes logistiques - la nécessité d'acheminer le bon produit au bon endroit au bon moment pour le prix le plus bas coût éventuel.

Et puisque, nous sommes intéressés à tout ce qui concerne la production et les lignes de production (**chapitre 1**), donc notre problématique sera définie dans ce même concept et nous la résoudrons avec l'outil FlexSim.

Nous allons voir par la suite un petit aperçu sur le simulateur FlexSim, et les étapes appliquées pour une meilleure simulation (**chapitre 4**), mais d'abord nous passons au chapitre suivant (**Chapitre 3**) dans lequel nous allons présenter l'entreprise d'accueil.

Chapitre 03 :
Exemple d'étude
« SARL KAOUA
FOOD »

Introduction

Dans ce chapitre nous allons parler de l'environnement de travail, nous allons présenter l'entreprise et ses différents départements, avec une explication détaillée du processus de fabrication de ces produits.

Au cours de ce travail, nous sommes intéressés au département de production. Cette période de Travail pratique nous a permis d'améliorer nos compétences acquises durant notre formation et les exploiter dans notre mémoire de fin d'étude et notre carrière du travail.

Section 1 : Présentation de la société « SARL KAOUA FOOD »

1. La description de l'entreprise

« SARL KAOUA FOOD » est une entreprise de fabrication et commercialisation des produits agroalimentaire. Créée en 2010, elle active dans le domaine de la fabrication et la commercialisation de produits agroalimentaire de chocolat, de pâte à tartiner et de confiserie, connue par ces produits phares tels que : La pâte à tartiner Optilla, La chocolat tablette Optilla.

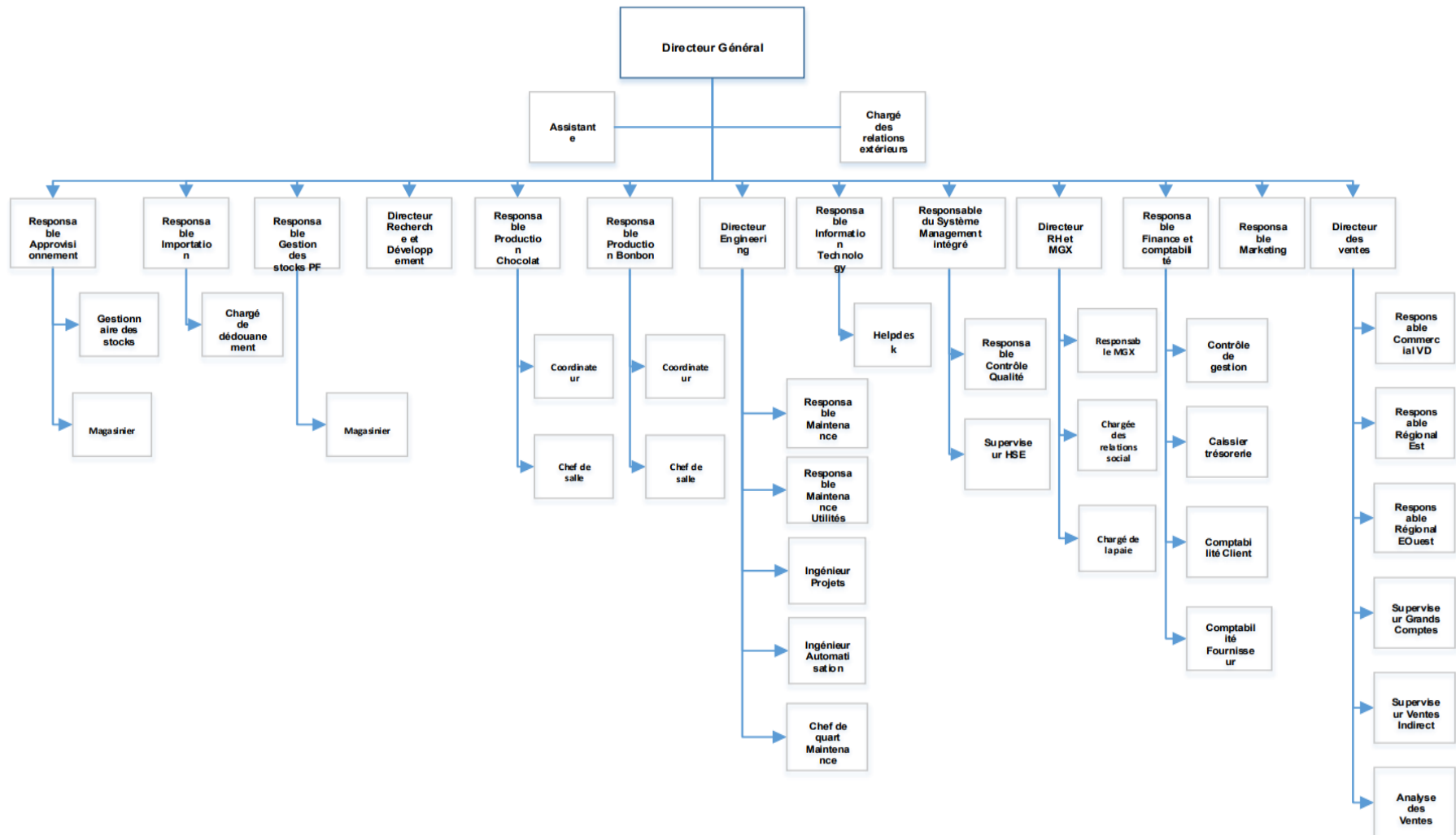
Elle a consenti d'importants investissements en installations, équipements et laboratoire de contrôle qualité. Son effectif moyen est de 540 employés dont 21 cadres. La capacité de production de l'usine est de 100 tonnes / jour.

« SARL KAOUA FOOD », est une société à responsabilité limitée (Sarl) au capital social de 305.000.000 DA. Le chiffre d'affaires annuel moyen développé est de l'ordre de 3 Milliards de DA. Ses principaux clients sont : Les Distributeurs, les Super Grossistes et les Grossistes.

Ci-dessous la structure organisationnelle de l'entreprise :

2. La structure organisationnelle de l'entreprise

Figure 16: La structure Organisationnelle de "KAOUA FOOD ».



Section 2 : Les Directions de « KAOUA FOOD » et leur tâche

Comme toute entreprise, SARL « KAOUA FOOD » a plusieurs directions avec une répartition des tâches bien précises, l'objectif de cette partie est de connaître les directions et leurs tâches et aussi de présenter la cartographie des processus de l'entreprise :

1. Les directions et leurs tâches

a. La direction générale

Composée par un directeur général, assisté par un assistant et un chargé de relation extérieure, la direction générale est le cerveau de l'entreprise ces actions reflètent la vision et la stratégie globale de cette dernière. Cinq postes sont directement liés à cette direction :

- Responsable des Achats locaux : Assurer la mise en œuvre de la politique relative aux achats des matières premières locales.
- Superviseur de Production : superviser les activités de la production en corrélation avec les objectifs définis par la Direction Générale.
- Responsable des Achats internationaux : Assurer l'achat des matières premières et veiller à leurs conformités par rapport aux critères définis.
- Directeur Développement : Prise en charge de la gestion des projets de développement et d'optimisation des processus dans le respect des référentiels qualité, et ce conformément à la politique stratégique de la société.
- Directeur Engineering & Maintenance : Assurer la continuité et l'optimisation de la production, l'étude et la réalisation des projets, l'atteinte des objectifs de la maintenance et la bonne gestion du stock.

b. La direction des Finances et de la Comptabilité

Anime les fonctions de finances & comptabilité, prospecte et négocie les financements les plus appropriés et avantageux pour la société, gère les activités de trésorerie et de fiscalité.

c. La Direction des Ressources Humaines

Participe à l'élaboration de la politique des ressources humaines de l'entreprise et superviser sa mise en œuvre.

d. La direction de la Production

- C'est une des missions principales de l'entreprise divisé entre deux métiers :
- Responsable Gestion des stocks : Assure la disponibilité des marchandises ainsi que la fiabilité des stocks.
 - Responsable Production : organise, planifie.

e. La direction du système management intégré

Anime les fonctions SMQ, le système de management intégré Qualité, Environnement, Sécurité et Santé au Travail, et maîtrise de l'énergie, gère les activités de son service.

f. La direction Commerciale

Proposer, mettre en œuvre et suivre la stratégie commerciale de l'entreprise

2. La cartographie des processus

a. Définition

Une cartographie permet de représenter notre organisme et d'en comprendre le fonctionnement ou tout au moins un élément de son fonctionnement³⁰.

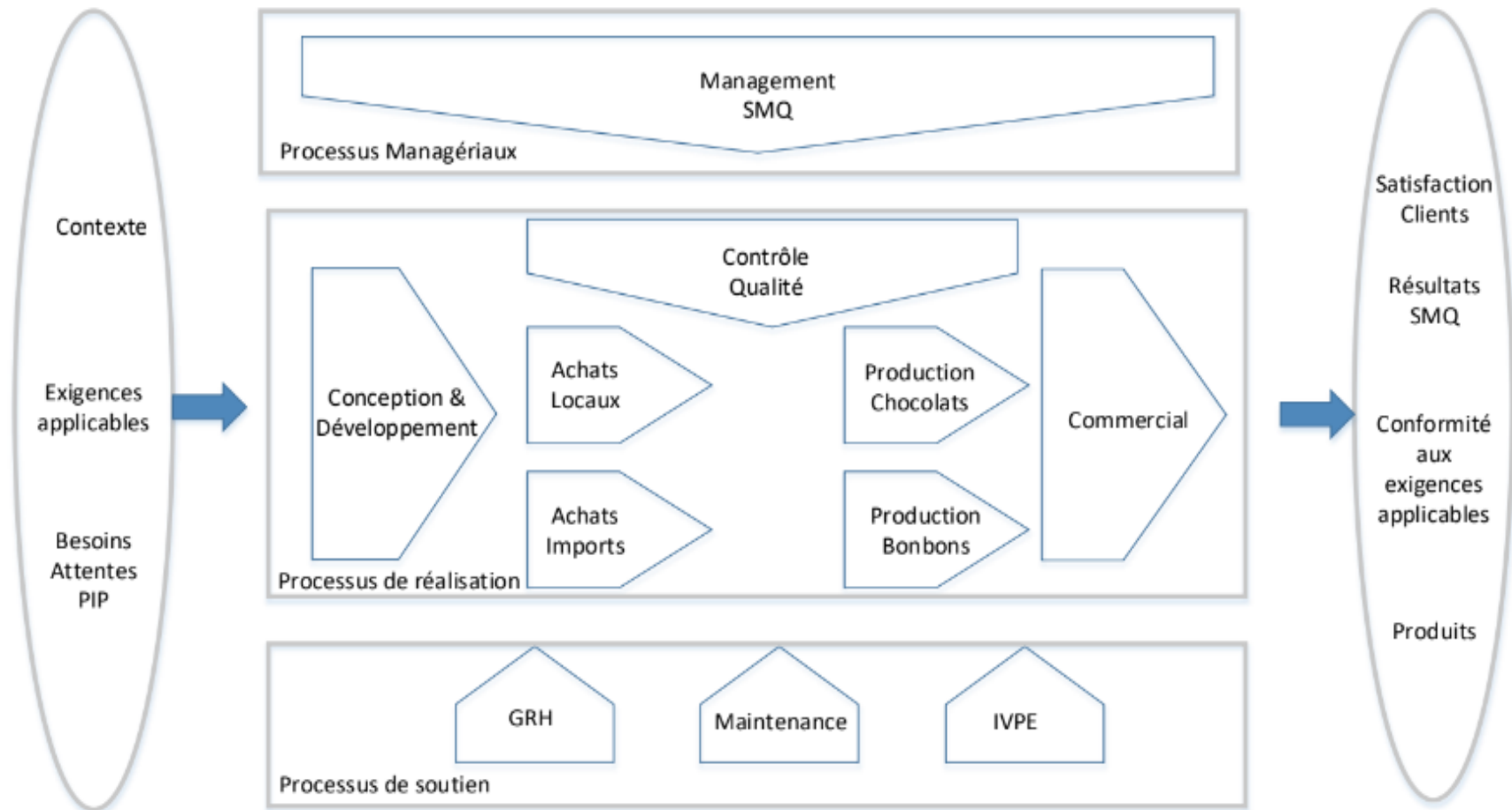
Une cartographie des processus définit des territoires qui fonctionnent les uns avec les autres. Chaque territoire (chaque processus), qu'il soit grand ou petit, qu'il représente une fonction ou un poste de travail est occupé par un propriétaire qui a pour charge de le faire fonctionner efficacement. Qui a pour mission de faire en sorte d'assurer sa finalité (la production des données de sortie) en mettant en œuvre efficacement les ressources dont il dispose.³¹

b. La cartographie des processus de l'entreprise KAOUA FOOD (schéma)

³⁰ MOUGIN (Yvon) : « *La cartographie des processus Maîtriser les interfaces* », Edition d'organisation , 2 édition , p08.

³¹ Ibid , p41.

Figure 17: La cartographie des processus de l'entreprise « KAOUA FOOD ».



Chapitre 03 : Exemple d'étude : SARL KAOUA FOOD | 65

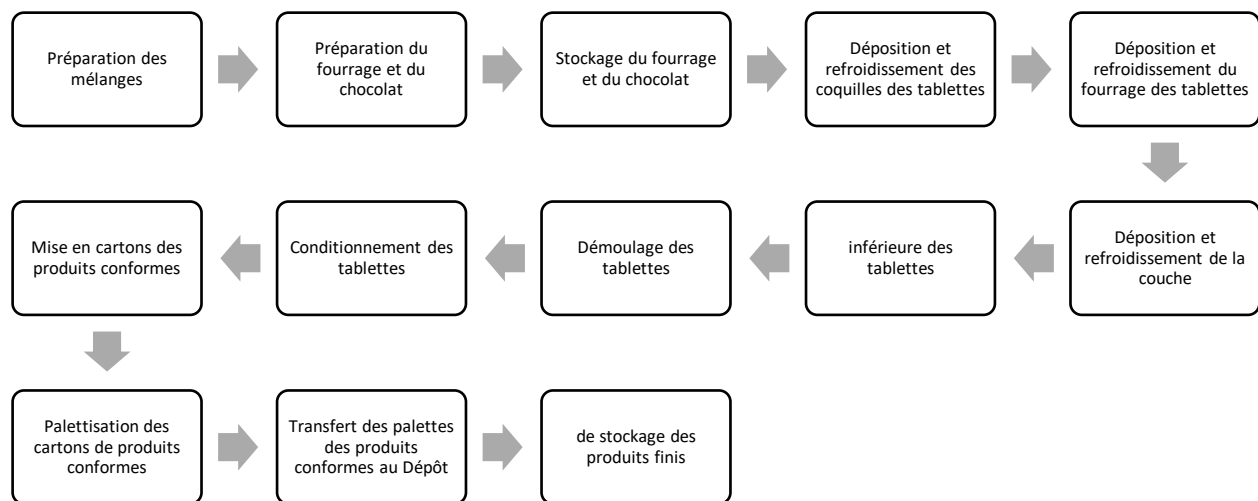
Après la présentation des différentes directions et processus de l'entreprise, et en analysant la cartographie, il est bien clair que le processus de la production du chocolat (tablette fourrées et Glaçage) est au cœur du métier de l'entreprise, et c'est autour de ce dernier qu'on a fait notre stage.

Section 3 : Description de la ligne de production.

Dans le but de mieux comprendre le processus de la production chocolat, on s'est intéressé dans le détail de la ligne de production des tablettes fourrées et les tablettes glaçages pour en connaître les caractéristiques, la situation, etc. C'est l'objectif de cette section.

1. Schéma descriptif de la ligne de production

Figure 18: Schéma descriptif de la ligne de production.



2. Commentaire sur les étapes de la production

La fabrication des tablettes fourrées se fait en trois phases :

- La préparation et le stockage du chocolat et des fourrages des tablettes.
- La fabrication des tablettes fourrées & glaçages.
- L'emballages des produits finis et la mise en stock.

a. La préparation et le stockage du chocolat et des fourrages des tablettes

La préparation du chocolat : c'est la première étape, les différentes matières premières sont versées dans un mélangeur sous un suivi et contrôle de la qualité du mélange puis vers un cuiseur, ce dernier et après être transféré par des pompes vers des tanks alimentés par une technologie qui permet de garder ce mélange dans une certaine température et texture pour

avoir les caractéristiques du produit final voulu , le chocolat est prêt , stocké dans un tank est liée par une pompe vers la ligne de fabrication des tablettes .(le mélange change selon le produit voulu).

La préparation des fourrages : par le même process de la préparation du chocolat, une crème blanche est préparée en suivant ces étapes : cuisson et mélange des matières premières qui est après dirigé par des pompes vers des plusieurs stockages secondaires près de la ligne de fabrication des tablettes. Cette crème blanche est la base des différentes saveurs de fourrage, puis l'ajout des additifs nécessaires dans les stockages secondaires nous donne des stocks de fourrages à la saveur fraise, orange, banane...etc.

A ce niveau, les composant nécessaires pour la fabrication des tablettes fourrées& glaçages sont prêts.

b. La fabrication des tablettes fourrées & glaçages

- Les tablettes fourrées
 - L'opération commence par le dépôt des coquilles des tablettes, le chocolat est versé dans des moules caractérisé par une forme et un volume (le moule est remplie a 40% de son volume), puis sur un convoyeur les moules passent dans un frigo pour le refroidissement.
 - Par la suite on passe automatiquement aux dépôt et refroidissement du fourrage des tablettes (de la même manière, on rajoute aux moules déjà préparés 20% de la matière de fourrage qui diffèrent celons selon la saveur voulue)
 - Après l'étape suivante de la fabrication de la tablette fourrage est de mettre la dernière couche du chocolat dans les moules et encore une fois on passe au refroidissement final
 - Enfin l'étape finale est le Démoulage des tablettes pour obtenir notre tablette fourrée (80% chocolat + 20% fourrage).

- Les tablettes glaçages
 - L'opération est presque identique à la fabrication de la tablette fourrées sauf que les moules ne sont plus les mêmes et on n'utilise pas de fourrage, la tablette est constituée à 100% de chocolat.

- Le chocolat préparé pour le glaçage est différent de celui fait pour la tablette fourrée.
- L'étape de la fabrication se termine par un contrôle des poids des tablettes.

c. L'emballages des produits finis et la mise en stock

- Conditionnement des tablettes : après le contrôle de poids de chaque tablette, ces dernières sont emballées automatiquement par une machine qui met l'emballage primaire, c'est comme ça que les consommateurs finals vont recevoir le produit ça nécessite alors un bon contrôle de conditionnement fait par des ouvriers spécialisés.
- D'autres agents s'occupent de la mise en carton des produits conformes et de la palettisation de ces cartons.
- Après le contrôle des palettes on passe au Transfert des palettes des produits conformes au Dépôt de stockage des produits finis.
- A cette étape, les produits sont en stock final prêts à être distribués.

CONCLUSION

Pendant cette période de stage, nous nous sommes concentrés sur le département de la production, plus précisément sur la ligne de production des tablettes fourrées et de glaçages. Ce process se fait majoritairement d'une façon automatique et ne dépend pas des opérateurs sauf pour les tâches de préparation de mélange, contrôle et d'emballage.

En faisant l'analyse de notre cas, et après plusieurs réunions avec les responsables, et dont le but de l'optimisation de la ligne de production de l'entreprise, nous avons remarqué, lors de nos multiples visites au site de production, que les machines de cette ligne sont éteintes, à cause de la variation de demande des deux produits liés à cette ligne. D'où justement notre problématique : « comment peut-on optimiser cette ligne de production ? ».

Chapitre 04 :
La modélisation, la
simulation
« FLEXSIM » et
l'application
« DELPHI »

Introduction

La simulation des systèmes de production est utilisée généralement pour évaluer et comparer des scénarios possibles, L'objectif de chapitre est de passer à la phase de la mise œuvre pratique de la démarche au sein de l'entreprise.

Pour atteindre cet objectif, le chapitre est divisé en trois sections, correspondant aux quatre étapes de modélisation : analyser, programmer, expérimenter, interpréter.

La première section donne une vue générale de la fonction de l'entreprise, c'est une description du procédé de fabrication, pour ensuite analyser le système de production de l'entreprise et pouvoir le simuler.

Dans la deuxième section, nous allons mettre en avant l'idée principale de notre travail, qui consiste à utiliser le simulateur « **FLEXSIM** » pour les quatre produits existants.

Nous avons divisé la dernière section en deux parties, d'abord interpréter les résultats et comparer entre les quatre produits, puis trouver les scénarios possibles de fabrication pour chaque produit à l'aide d'un environnement de développement intégré (EDI) « **DELPHI** ».

Section 1 : Analyser et identifier le problème.

C'est la première étape de la modélisation d'un système de production. Nous allons consacrer cette section à analyser le système, puis identifier le problème à traiter. Cette étape est cruciale car la fiabilité des résultats dépend essentiellement de cette analyse.

1. La problématique

Pour davantage efficace, nous devons définir la problématique et les hypothèses que nous avons retenues. Pour ce faire, nous devons répondre à cette liste de question :

- Quels sont les résultats attendus ?
- Quels sont les facteurs qui influencent les résultats ?
- Quelles sont les limites de cette recherche expérimentation ?
- Comment le problème pourrait-il être résolu sans simulation ?
- Pourquoi la simulation est-elle la meilleure solution ?
- Comment d'autres ont-ils déjà résolu ce type de problème ?

" **KAOUA FOOD** " est une entreprise alimentaire dont la fonction principale est la production de chocolat et de bonbons, comme indiqué dans le chapitre précédent.

Nous nous intéressons au processus de fabrication du chocolat et nous avons noté les caractéristiques suivantes de ce processus :

- L'entreprise fabrique deux produits de chocolat.
- Les deux produits sont fabriqués sur la même ligne de production.
- Pendant la saison d'été, il n'y a pas de production des deux produits en raison d'une baisse de la demande dû généralement au manque des moyens de stockage de ce produit sur tout le long de la chaîne logistique.
- Même pendant d'autres périodes de l'année avec la saisonnalité des produits, nous nous retrouvons avec les machines de notre ligne de production éteintes.
- L'entreprise vise la création de deux nouveaux produits pour combler le temps vide sur les machines de cette ligne et augmenter la productivité de cette ligne, les produits sont **CHOCO BARRE** et **VRAI CHOCOLAT**.

Les résultats attendus de recherche sont des données qui permettent de comprendre une partie du futur de cette ligne de production et aussi de prendre des décisions, ces résultats peuvent être influencés par plusieurs facteurs, les plus importants sont :

- La précision des données collectées.
- La bonne insertion des données au niveau du logiciel.
- La bonne interprétation des données qui seront obtenues par ce logiciel.

Les limites de la recherche sont les limites du logiciel déjà indiqué dans le deuxième chapitre. Cet outil informatique de simulation reste toutefois la meilleure solution car il nous permet de modéliser la réalité, et de mieux comprendre notre problème grâce à la visualisation de la ligne de production.

La simulation nous permet aussi d'effectuer des changements sur le cas existant et de voir leur résultat pour un coût peu significatif, dans le but de l'amélioration du cas réel, et même de présenter une simulation des nouveaux produits et avoir des statistiques de production qui n'existent pas pour le moment chez l'entreprise (les deux nouveaux produits sont un projet pas encore réalisé).

En effet, pour résoudre ce problème, sans simulation, on a besoin de faire un test réel grandeur nature sur la ligne de production, ça nous cause des coûts importants, l'arrêt de la production pour une durée, les risques des pannes ...etc.

Après l'analyse de ces réponses nous pouvons dire que :

« Est ce que l'entreprise est capable de produire les quatre produits tout en répondant à la demande annuelle ? Et quel est produit le plus intéressant à produire selon les résultats de la simulation ? ».

2. Les hypothèses

Notre problématique accepte 3 hypothèses qui sont :

- ✓ La capacité de rajouter les deux nouveaux produits.
- ✓ La capacité de rajouter un seul nouveau produit (lequel choisir).
- ✓ L'entreprise n'est pas capable de rajouter un nouveau produit tout en répondant aux demandes de ces différents produits.

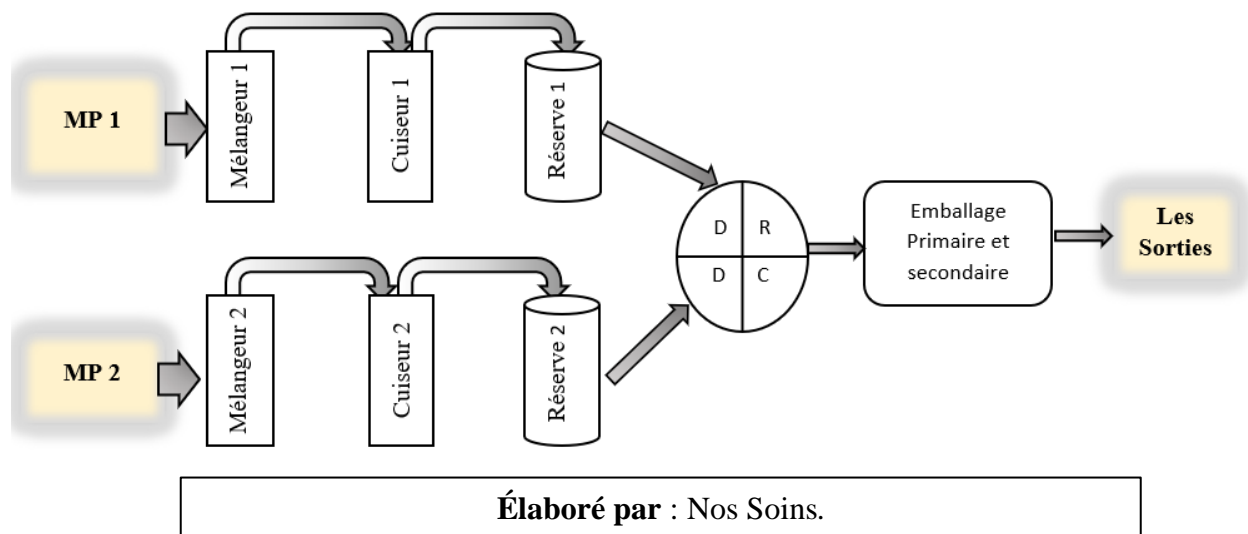
Plan de travail

1. Modélisation de la ligne de production (FLEXSIM).
2. Simulation des deux produits existant selon les données existant (FLEXSIM).
3. Simulation des deux nouveaux produits et extraction des résultats (FLEXSIM).
4. Réaliser un tableau de comparaison entre les quatre produits.
5. Faisabilité de prise de commande (Delphi).

Ci-après un schéma de la ligne de production de l'entreprise avec le nom de chaque machine et son emplacement dans l'usine.

3. Schématisation de la ligne de production

Figure 19 : Schéma de la ligne de production.



Maintenant, nous sommes capables d'établir la deuxième étape de modélisation et créer un modèle sur « FLEXSIM » qui reflète notre ligne de production à partir des données que nous avons collectées tout en configurant les objets dans le logiciel.

Section 2 : Programmer et expérimenter

Dans cette section, nous avons modélisé le système de production sous « **FLEXSIM** » depuis l'arrivée de la matière première jusqu'à la sortie du produit fini, plusieurs bibliothèques ont été utilisées pour modéliser cette ligne de production.

Ensuite, nous allons simuler le processus de production des quatre produits et présenter les résultats tout en essayant de les comparer entre eux.

1. Justifier Le choix FlexSim

Notre choix de l'outil est : Le logiciel « **FlexSim** » pour des différentes raisons :

La simulation de production avec FlexSim permet de répondre à notre problématique car : chaque équipement de production est représenté par un objet, ce dernier a des caractéristiques (boîte de dialogue d'un objet) et pour chaque objet nous allons entrer des paramètres différents qui reflète la réalité (de notre machine).

Dans une ligne de production, quel que soit le type de produit à fabriquer, nous avons des paramètres à identifier sont :

- La capacité de machine (poids / la production).
- Temps de réglage de machine.
- Temps de production.
- Nombre des employés pour chaque tâche.
- La quantité de (input/ output).

Ce sont les informations nécessaires dont on aurait besoin pour démarrer notre simulation avec « **FlexSim** », et plus l'information est précise, plus que notre simulation est proche de la réalité. Les modèles de simulation sont capables de décrire le système avec le degré de détail et de précision nécessaire qui convient à la résolution du problème posé.

Dans ce cas, nous avons deux méthodes pour collecter ces données :

La première méthode : des informations qui existent déjà et qui sont accessibles au moment où l'entreprise décide de faire partager ces données avec nous pour l'élaboration de notre travail et sont :

- Des documents qui représentent le processus de fabrication pour chaque produit.
- Les caractéristiques des machines de la ligne de production (capacité, temps de fabrication, temps de réglage).
- Pourcentage des composants de produit.
- Nombre d'unités par caisse.
- Les prévisions annuelles pour chaque produit

La deuxième méthode : nous avons observé la ligne de production pendant des semaines pour ensuite déterminer :

- Le temps de réglage pour chaque machine.
- Nombre d'opérateurs pour chaque machine et tâches.
- Le temps d'arrêt dans la ligne de production.

2. Collecte des données

Nous avons recueilli les informations nécessaires pour chaque produit de la ligne Chocolat et nous les avons organisés dans un tableau :

Tableau 3: Un tableau présentant les différents types de données de chocolat.

| | Tablette | Glaçage | Vrais chocolat | Choco Barre |
|------------------------------|----------|---------|----------------|-------------|
| Poids | 100g | 300g | 90g | 19g |
| NB pièces /caisse | 36 | 18 | 10 | 24 |
| La Production par minute | 162 | 162 | Inconnu | Inconnu |
| Prévision annuelle (caisses) | 226 000 | 90 000 | 5 000 | 15 000 |

Élaboré par : Nos Soins.

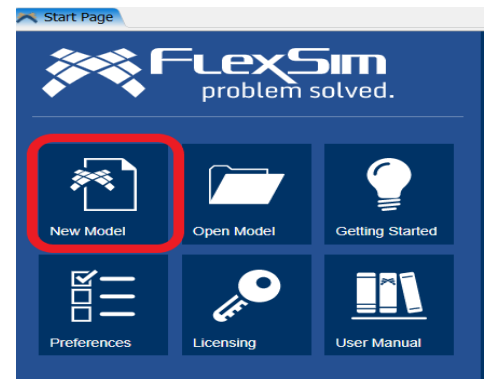
3. Les étapes d'appliquer FlexSim

– Étape 1 : Démarrer FlexSim

Nous allons créer un seul modèle pour les quatre types de produits (la même ligne de production), et une fois le modèle (visuellement) correct, nous changeons les paramètres de chaque objet qui correspond à chaque type de produit.

On commence donc par la création de ce modèle nommé : « ligne x ». Puis on passe à la deuxième étape.

Figure 20 : Démarrer avec FlexSim.

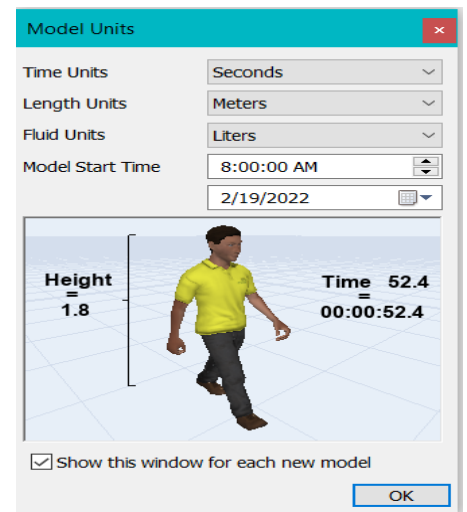


– Étape 2 : Sélectionnez les unités

Pour déterminer les unités les plus adaptées au système modélisé comme indiqué dans la figure, dans notre cas, nous avons choisi :

- Date de création de model : 19/02/2022.
- Unité de temps : seconds.
- Unité fluide : Litres.
- Le système de production marche de 8 :00 à 16 :00 (un groupe = 8h / jour), il prend une pause d'une heure de 12 :00 à 13 :00 dans cette période les machines ne marchent pas même s'il y a des produits dans le système.

Figure 21 : Boîte de dialogue "Model Units".



– Etapes 3 : Disposer du modèle et connexion

Dans cette étape, nous allons Identifier des classes d'objets et de leurs services, dans le tableau suivant :

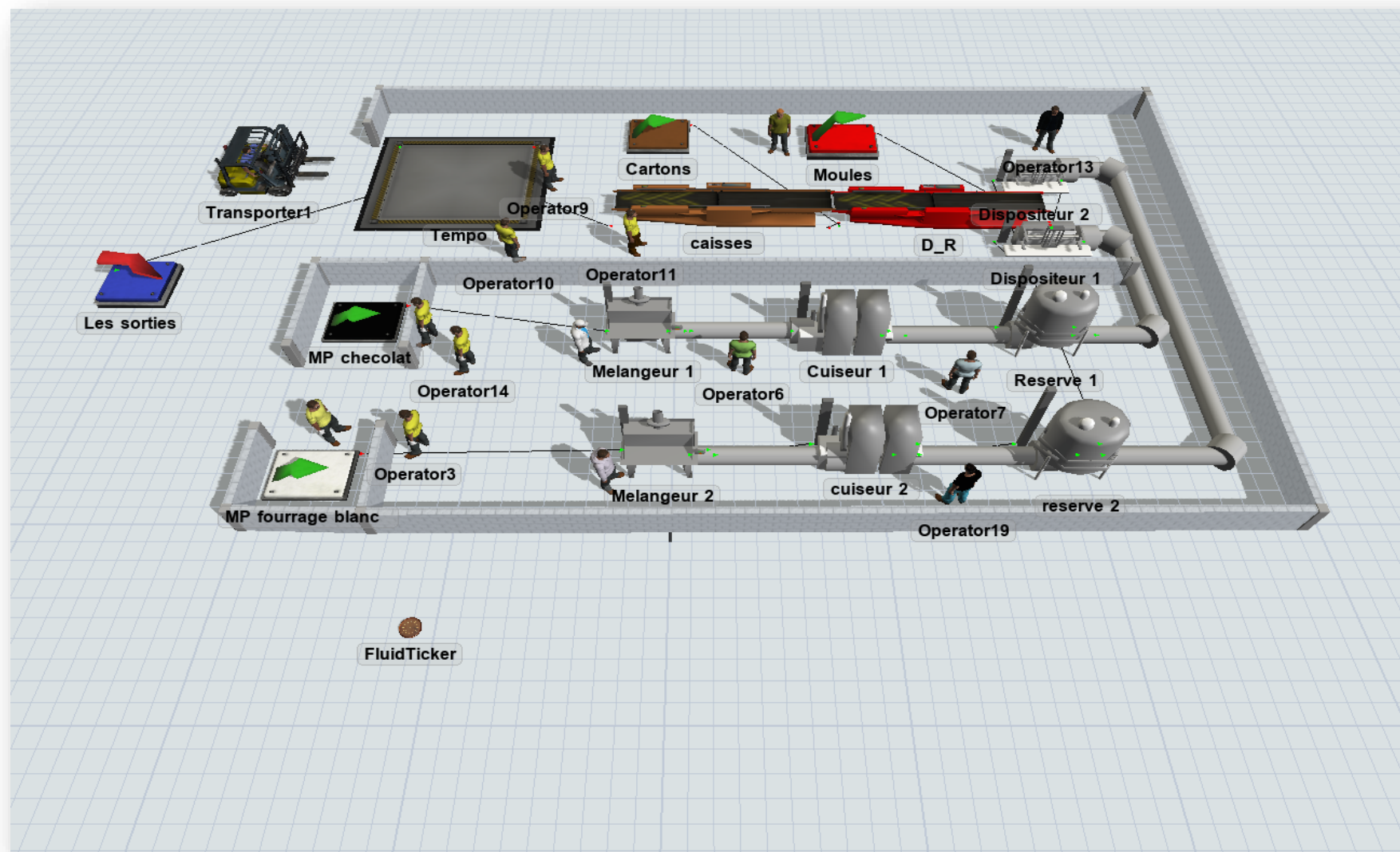
Tableau 4: Tableau comporte les objets utilisés lors de la conception de notre modèle.

| Chemin | Objet | Nom d’objet |
|---------------------------|------------------|---------------------------------|
| Library → Fixed ressource | → Source 1 | MP chocolat |
| | → Source 2 | MP fourrage |
| | → Source 3 | Les moules |
| | → Source 4 | Les cartons |
| | →Queue | Stock tempo |
| | →Combiner 1 | D-R |
| | →Combiner 2 | Emballage |
| | →Sink | Les sorties |
| Library→ Fluid | →ItemToFluid1 | Mélangeur 1 |
| | →ItemToFluid2 | Mélangeur 2 |
| | →FluidPipe1 | Pompe 1 |
| | →FluidPipe 2 | Pompe 2 |
| | →FluidProcessor1 | Cuiseur1 |
| | →FluidProcessor2 | Cuiseur2 |
| | →FluidTank1 | Reserve 1 |
| | →FluidTank2 | Reserve 2 |
| | →FluidToItem1 | Déposition et refroidissement 1 |
| | →FluidToItem1 | Déposition et refroidissement 2 |
| Library → Visual | →Walls | Walls |
| Library → task executers | →Operator | (De 1 à 14) |
| | →Transporter | Transporter 1 |

Élaboré par : Nos soins

-Nous avons procédé ensuite à la disposition des objets tout en les connectant par ordre comme indiqué ci-dessus :

Figure 22 : Model global de la ligne de production en 3D « tablette au fourrage blanc -100g ».



Élaboré par : Nos Soins.

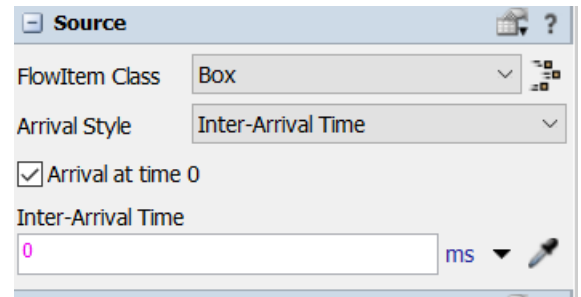
Cette figure représente l'interface du modèle que nous avons créé sous **FlexSim**. Le mur divise la ligne de production en deux et donne, en 3D, une vision réelle du lieu de production. La première partie est en étage 0 (rez-de chaussée) et la deuxième partie en premier étage.

- Étape 4 : Configurer les objets

La Source : Pour les deux sources 1,2 qui correspondent (MP chocolat) et (MP fourrage blanc), on va garder les mêmes paramètres. La boîte de dialogue est montrée sur la figure et selon les conditions suivantes :

- Les matières premières toujours disponibles en stock.
- Deux opérateurs pour la transformation de (MP chocolat → mélangeur 1), et deux autres pour la transformation de (MP fourrage → mélangeur 2).
- Ici, nous spécifions que les temps intermédiaires des pièces sont distribués de manière automatique.
- Pour les calculs de modèle on suppose que chaque carton = 1 kg de MP.
- 1500 kg représente la quantité dans le mélangeur (maximum).

Figure 23: Boîte de dialogue pour l'objet "source1,2".



■ **Produit 1 : « tablettes au fourrage blanc-100g ».**

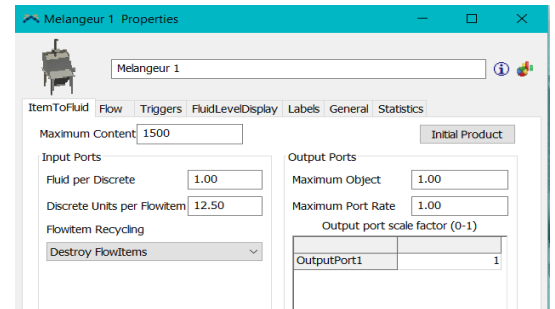
Le Mélangeur 1 : sert à mélanger plusieurs ingrédients, qui permettant d'obtenir un mélange en liquide de chocolat dans 25 min, une boîte de dialogue est montrée sur la figure 4 :

- Maximum content : 1500 kg
- Input Ports : c'est notre source de MP, dans ce cas c'est source 1 = MP chocolat.
- Discrete Units per Flowitem : Cela indique à Le mélangeur 1 de créer 12.5 gallons de fluide pour chaque flowitem qui entre.

Explication :

Une tablette de chocolat de 100 g est composée de 80 g de chocolat et 20 g de fourrage blanc, donc pour chaque 1 kg de MP chocolat (un carton de source 1) qui rentre en mélangeur1, il va créer $\frac{1000g}{80g} = 12,5$.

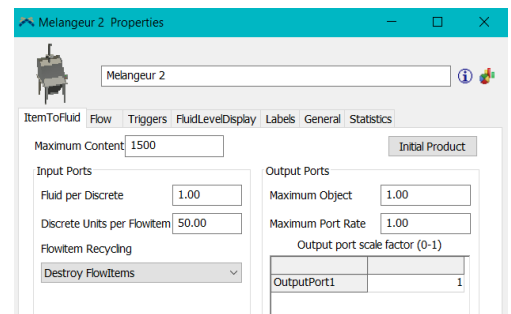
Figure 24 : Boîte de dialogue pour l'objet "Mélangeur 1".



Le Mélangeur 2 : sert à mélanger plusieurs ingrédients, pour obtenir un mélange en liquide de fourrage blanc, dans 25min :

- Maximum content : c'est le contenu maximal = 1500 kg
- Input Ports : c'est notre source 2 dans ce cas c'est source 2 = MP fourrage.
- Output ports : la destination suivante : de mélangeur 2 vers cuiseur 2.
- Discrete Units per Flowitem : Cela indique à Le mélangeur 2 de créer 50 gallons de fluide pour chaque flowitem qui entre

Figure 25: Boîte de dialogue pour l'objet "Mélangeur 2".



Explication :

Une tablette de chocolat de 100 g est composée de 80 g de chocolat et 20 g de fourrage blanc, donc pour chaque 1 kg de MP chocolat (un carton de source 2) qui rentre en mélangeur1, il va créer $\frac{1000g}{20g} = 50$.

Les pompes : sont caractérisées par :

- Max content : 1500 L
- Sur l'onglet 'layout' : on a ajusté le FluidPipe, en modifiant et en ajoutant des sections de tuyau, de sorte qu'il semble commencer à :
 - De mélangeur 1 et se terminer près du cuiseur 1.
 - De cuiseur 1 et se termine près de réserve 1
 - De Réserve 1 et se termine près de D-R.

(Mêmes Étapes pour la préparation de fourrage).

Le cuiseur 1 : Le cuiseur 1 et 2 ont généralement les mêmes paramètres : capacité de 1500 kg, sauf que pour le cuiseur 1, Temps de Cuisson est entre 50 et 55 min. Puis la pompe réalise un transfert de ce liquide vers la réserve 1.

Le cuiseur 2 : Contrairement au cuiseur 2, le temps de cuisson est entre 90 et 95 min. Puis la pompe réalise un transfert de liquide vers réserve 2.

Figure 26: Boîte de dialogue pour l'objet "Pompe".

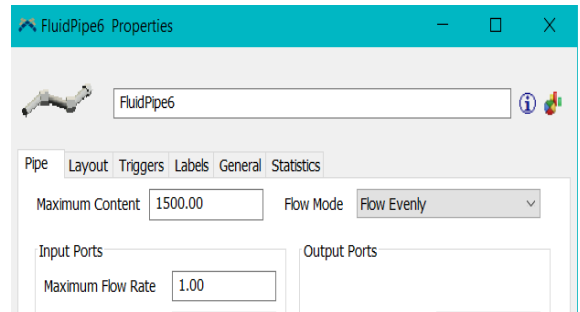


Figure 27: Boîte de dialogue pour l'objet "Cuiseur1".

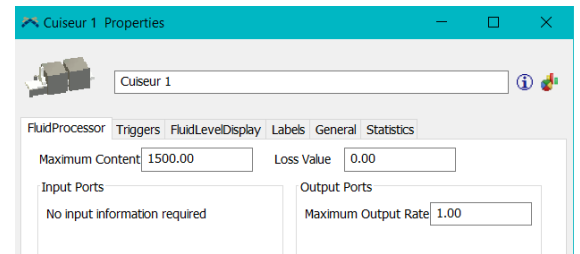
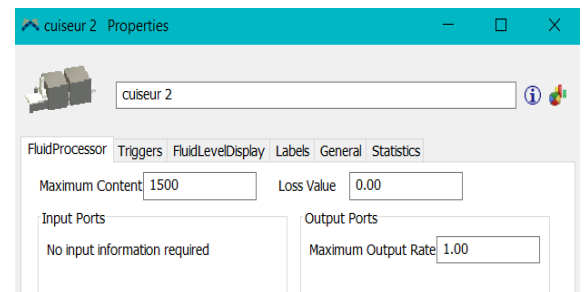


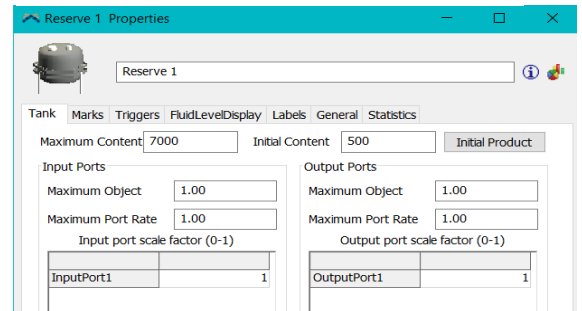
Figure 28: Boîte de dialogue pour l'objet "Cuiseur2".



Le Réserve 1 et 2 : La réserve est presque 5 fois plus grande que la quantité qui peut sortir du cuiseur, et presque 5 fois plus grande que la quantité nécessaire pour donner l'ordre de production, cela est fait exprès pour éviter tout type de retard de matière première et faire face aux piques de commandes possibles et tout imprévue.

- Le contenu maximal = 7000 kg.
- Le contenu minimum = 500 kg.

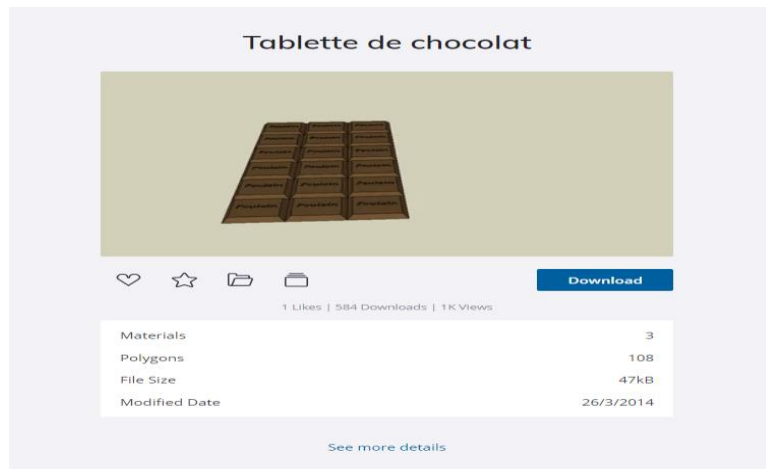
Figure 29 : Boîte de dialogue pour l'objet " Reserve 1, 2 ".



Déposition et refroidissement

- Télécharger une image sous forme d'une tablette de chocolat sur « SKETCHUP »

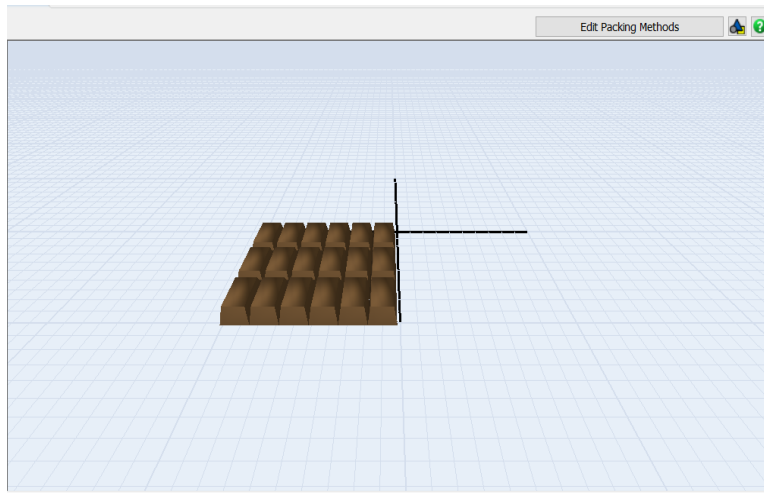
Figure 30 : télécharger une image « tablette chocolat ».



Source : <https://3dwarehouse.sketchup.com/search/?q=chocolat&searchTab=model>.

- Créer un flow item et le nommé « chocolat ».

Figure 31 : création d'un flow item 'Chocolat'.



- Créer un flow item et le nommé « fourrage blanc »

Figure 32: création d'un flow item 'Fourrage Blanc'.

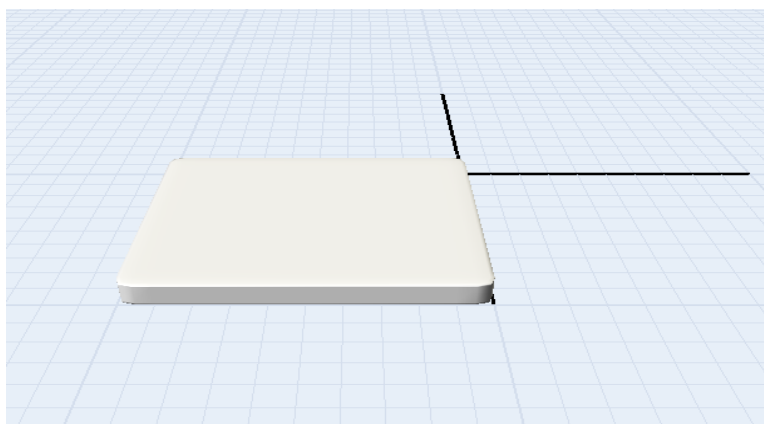
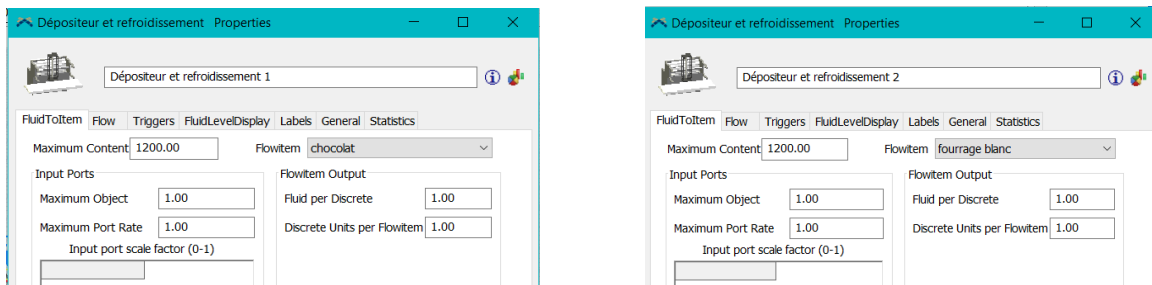


Figure 33 : Boîte de dialogue pour l'objet " Dépositeur 1 et 2 ".



Explication : (1200 = 200 moules * 6 unités chaque moule).

La conception de la tablette fourrée est comme suivant :

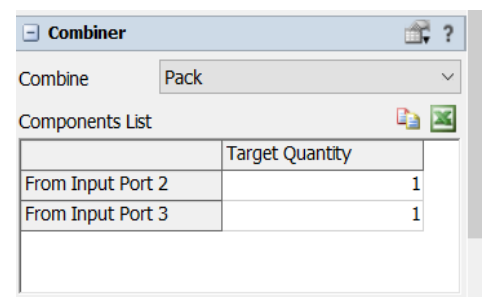
1. Disposition et refroidissement d'une couche de chocolat (40% du volume du moule).
2. Disposition et refroidissement d'une couche de fourrage au crème blanche (20% de plus du volume, on atteint 60% du volume du moule).
3. Disposition et refroidissement de la dernière couche de chocolat (40% du volume pour atteindre 100% du moule).

La tablette fourrée est conçue de cette manière (80% de chocolat + 20% de fourrage).

D-R : Combiner Pack, c'est Un tableau utilisé pour définir le nombre de chaque type d'élément de flux que le combineur collectera avant d'envoyer la collecte terminée en aval. Chaque ligne du tableau représente les arrivées des ports d'entrée qui sont :

- From input 1 (invisible) : c'est un moule de la source 3.
- From input 2 : c'est la quantité nécessaire de chocolat pour fabriquer une tablette (80g).
- From input 3 : c'est la quantité nécessaire de fourrage pour fabriquer une tablette (20g).

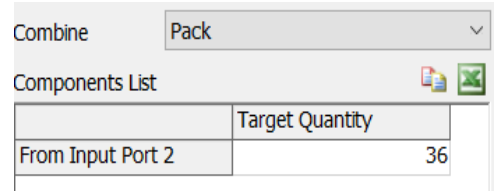
Figure 34: Boîte de dialogue pour l'objet " D-R".



Emballage

- From input 1 (invisible) :. C'est la source 4 (des cartons d'emballage (Box)) ;.
- From input 2 : la tablette de chocolat qu'on a fabriqué (100 g), chaque carton contient 36 tablettes.

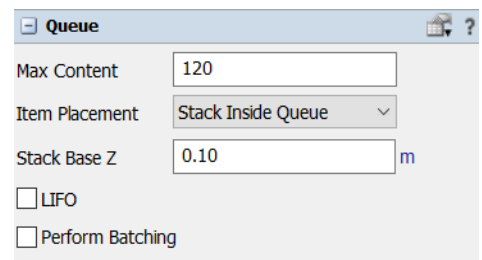
Figure 35 : Boîte de dialogue pour l'objet " Emballage".



Stock Tempo

La surface de stockage est limitée, chaque fois qu'on atteint une quantité, un transporteur déplace les caisses vers une zone de stockage pour qu'elle soit par la suite mise en stock des produits finis.

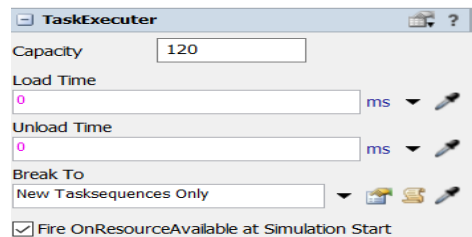
Figure 36 : Boîte de dialogue pour l'objet " Stock tempo".



Transporter

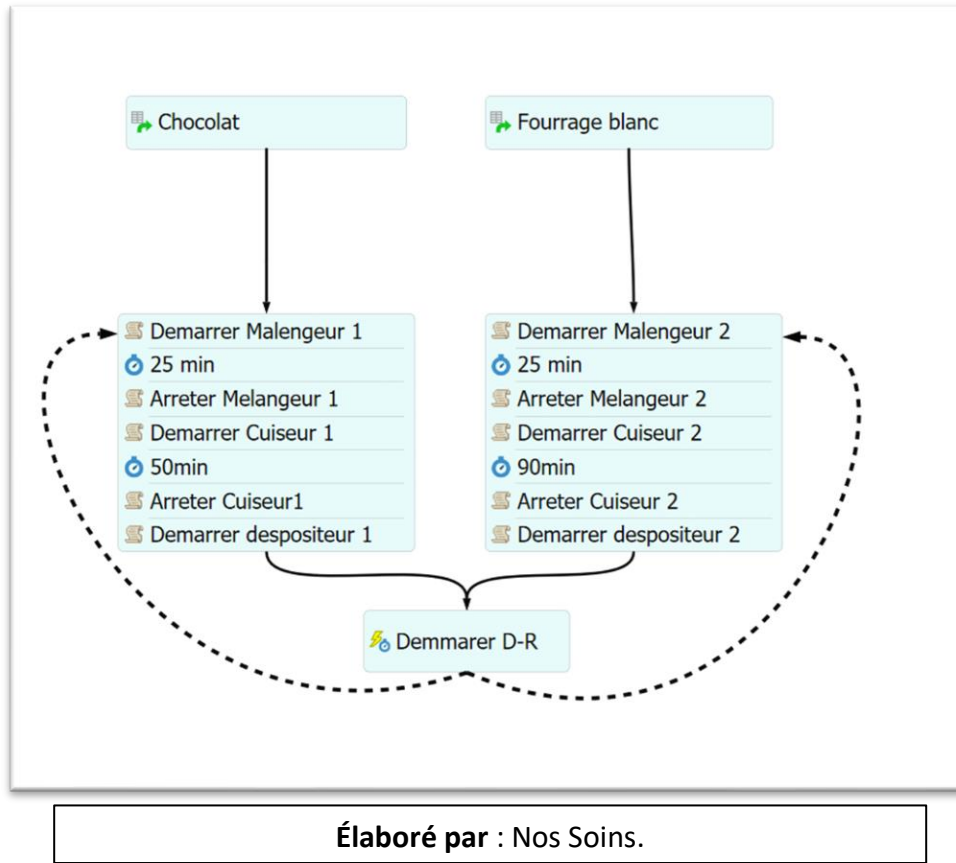
Dès que les produits sont emballés, un chariot les déplace vers la première zone de stockage.

Figure 37 : Boîte de dialogue pour l'objet " transport".



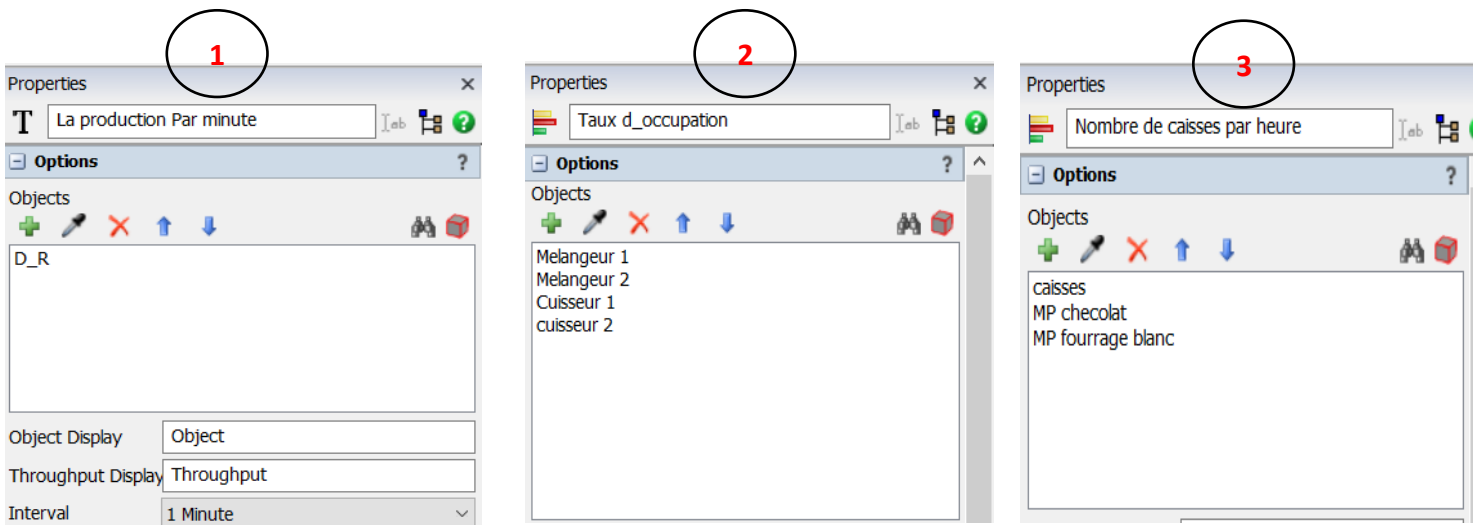
- Etape 5 : Diagramme logique de process flow.

Figure 38 : Process Flow du model.



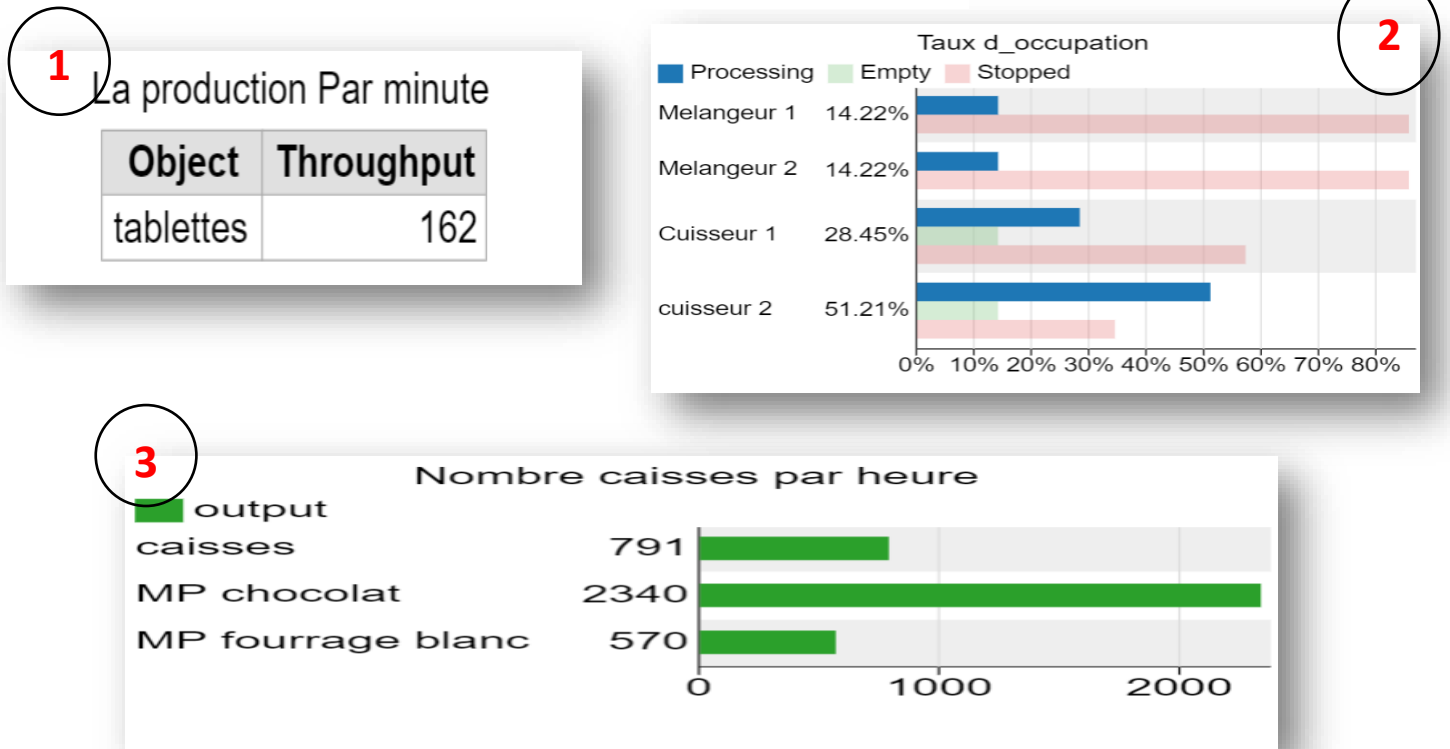
- Etape 6 : Dashboard

Figure 39 : Dashboards "tablette au fourrage blanc-100g".



- Etape 7 : Lancer la simulation et Visualiser les résultats.

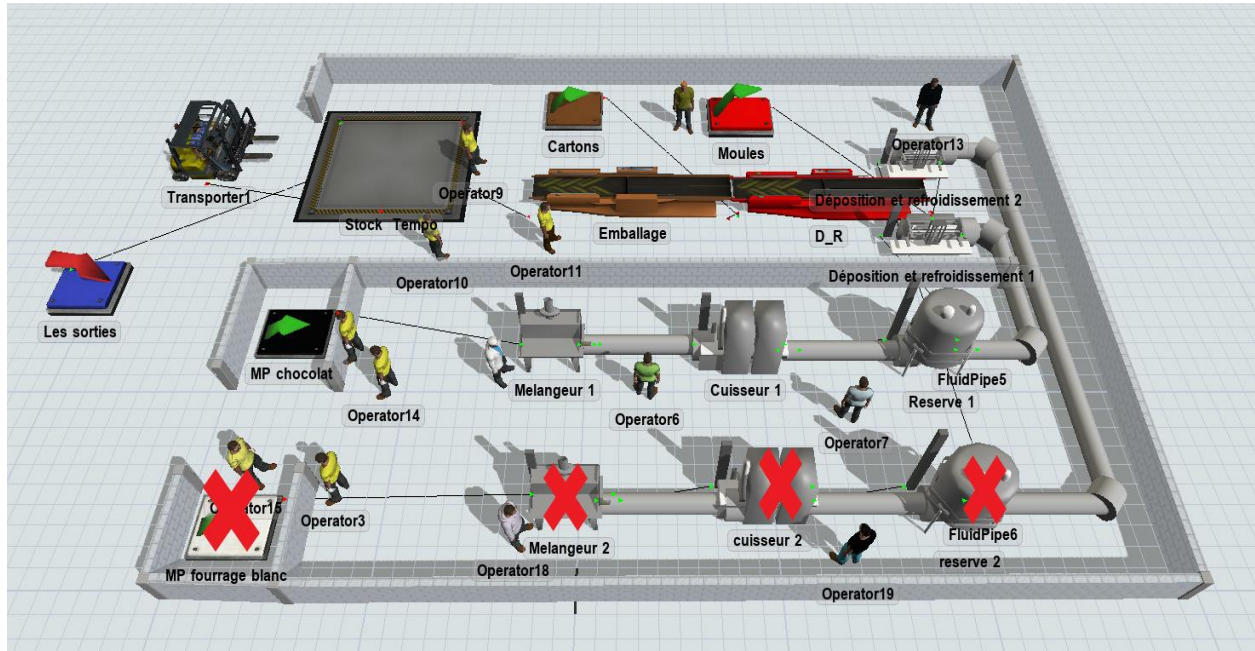
Figure 40 : Résultat de la simulation -Produit 1-



■ **Produit 2 : « Glaçage-300g ».**

Nous gardons le même modèle de FlexSim « **ligne x** », et nous modifions les paramètres de ces Objets : (le mélangeur / Emballage), chaque fois que nous changeons le produit.

Figure 41 : Model global de la ligne de production -Produit 2-



Élaboré par : Nos Soins.

Figure 43 : Boîte de dialogue pour l'objet " Mélangeur - -produit 2-".

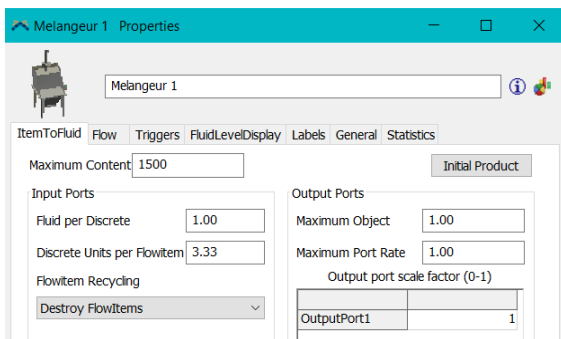
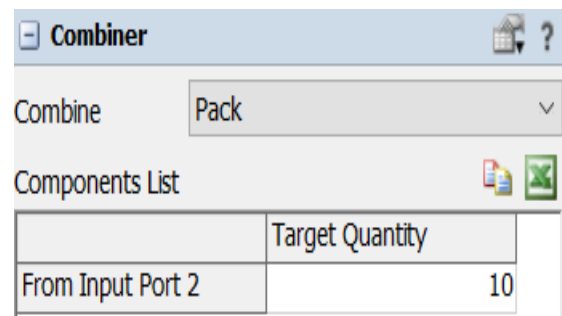


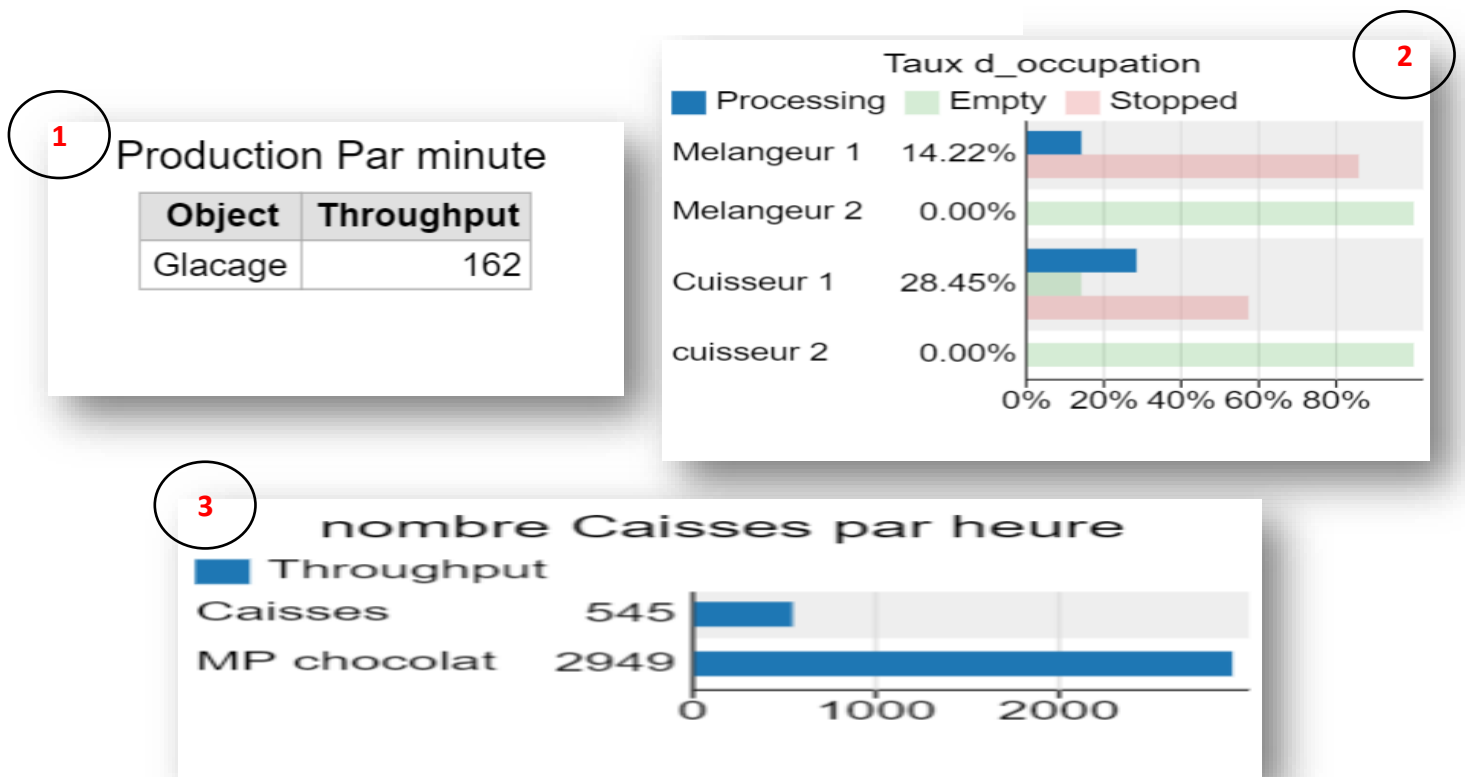
Figure 42 : Boîte de dialogue pour l'objet "Emballage- Produit 2-".



Explication :

- Glaçage est composé de 300 g de chocolat, donc pour chaque 1 kg de MP chocolat (un carton de source 1) qui rentre en mélangeur 1, il va créer $\frac{1000g}{300g} = 3.33$.
 - Une caisse = 10 unités de glaçage.
- Lancer la simulation et Visualiser les résultats

Figure 44: Résultat de la simulation -Produit 2-.



■ **Produit 3 : « Vrais chocolat-90g »**

- Configurer les objets

Figure 45:Boîte de dialogue pour l'objet " Mélangeur - -produit 3-".

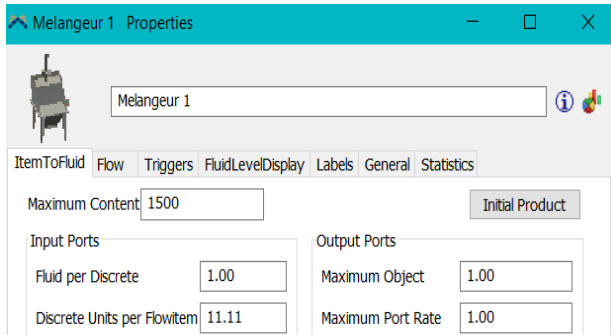
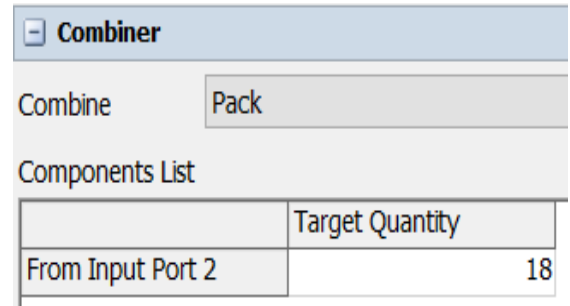


Figure 46: Boîte de dialogue pour l'objet " Emballage - Produit 3-".

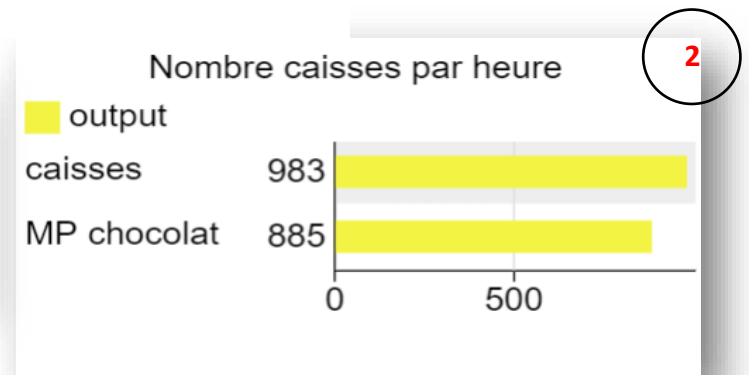
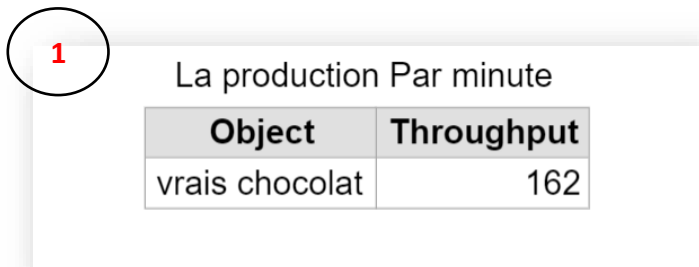


Explication :

- Glaçage est composé de 90 g de chocolat, donc pour chaque 1 kg de MP chocolat (un carton de source 1) qui rentre en mélangeur 1, il va créer $\frac{1000g}{300g} = 11.11$.
- Une caisse = 18 unités de glaçage.

- Lancer la simulation et Visualiser les résultats

Figure 47:Résultat de la simulation -Produit 3-.



■ **Produit 4 : « Choco Barre ».**

- Configurer les objets

Figure 48 : Boîte de dialogue pour l'objet " Mélangeur - Produit 4-".

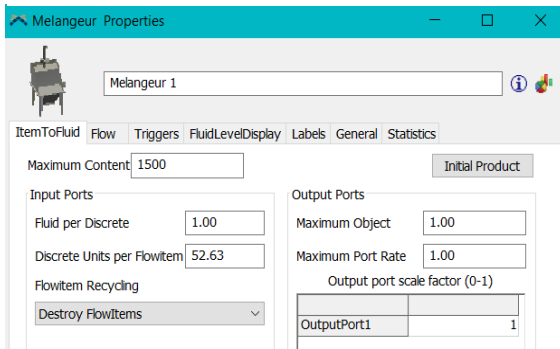
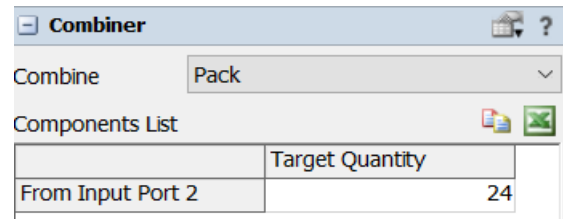


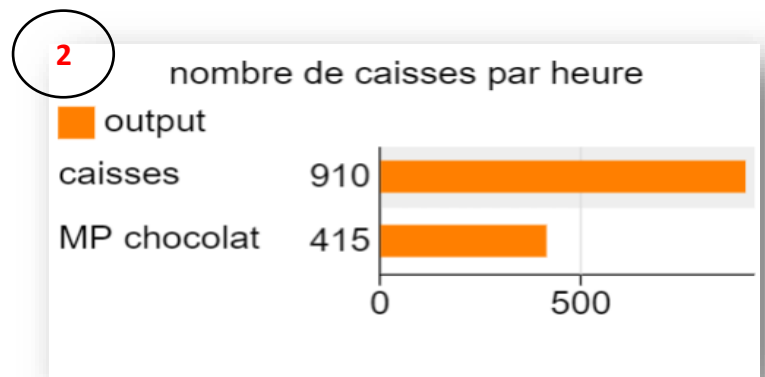
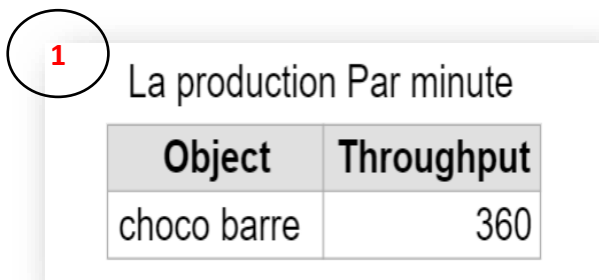
Figure 49:Boîte de dialogue pour l'objet " Emballage - Produit 4-".



Explication :

- Choco Barre est compose de 19 g de chocolat, donc pour chaque 1 kg de MP chocolat (un carton de source 1) qui rentre en mélangeur 1, il va créer $\frac{1000g}{19g} = 52.63$.
- Une caisse = 24 unités.
- Lancer la simulation et Visualiser les résultats
-

Figure 50:Résultat de la simulation -Produit 4-.



4. Comparer les quatre produits

Tableau 2 : Tableau comparatif entre les quatre produits.

| Résultats | Produits | Tablette au fourrage blanc | Glaçage | Vrais chocolat | Choco Barre |
|---|-----------------|---|----------------|---------------------------|--------------------|
| | Poids | 100g | 300g | 90g | 19g |
| Production par minute (unité) | | 162 | 162 | 162 | 360 |
| MP chocolat (kg) | | 2340 | 2949 | 885 | 415 |
| MP fourrage (kg) | | 570 | 0 | 0 | 0 |
| Nombre de caisses par heure (les caisses n'ont pas les mêmes tailles). | | 791 | 545 | 983 | 910 |

Élaboré par : Nos Soins.

La troisième étape de simulation se termine à ce niveau, à partir de ce tableau nous pouvons ensuite comparer entre ces résultats obtenus afin de répondre à notre problématique : c'est l'objectif de l'étape suivante.

Comme nous l'avons déjà vu, appliquer cet outil n'est pas très compliqué, c'est gratuit et rapide mais nécessite des données de haute précision et fiabilité.

Section 3 : Interpréter et Visualiser les résultats

Cette section consiste à présenter, analyser et interpréter les résultats de notre simulation, les résultats obtenus vont nous permettre de diagnostiquer la situation actuelle de l'entreprise et proposer par la suite une solution optimale pour notre problématique.

1. Partie 1 : Interpréter les résultats

Après la simulation de cette ligne de production avec tous ces produits nous avons récupéré des résultats présentés dans la section précédente, dans cette partie nous allons mettre les interprétations les plus importantes :

La production par minute_: nous avons comme information la production par minutes des produits existant, et grâce à FLEXSIM on a ce paramètre pour les deux nouveaux produits. La production est égale entre les 3 produits tablette fourrés, tablette glaçage et le futur produit vrai chocolat (162 unité/minute), mais le nombre d'unité produite de choco barre par minute sera plus que le double des autres produits (360 unité/minute).

Les quantités des matières premières utilisés_: une statistique assez logique, pas de matières premières de fourrage dans la conception des produits sauf pour la tablette fourrée, et des différences entre les quantités de la matière première de chocolat qui revient à la taille unitaire des produit (la matière première de chocolat peut être modifié car les produit n'ont pas les mêmes textures et les mêmes caractéristiques du chocolat préparé)

le taux d'occupation des machine_: c'est un indice très important qui représente le temps que passe un produit sur une machine, le temps ou la machine est occupé à ajouter de la valeur à notre produit, si le taux est très élevé sur une machine ça représente un risque, la machine est très importante et très utilisé ce qui implique plus de risque de panne d'où l'importance d'investir en une deuxième machine, aussi si le taux est très important ça indique que on est sur le goulot d'étranglement sur la ligne de production.

Un exemple: pour le produit tablette fourrée, le taux d'occupation du cuiseur 2 est le plus élevé (51.21%), et ça représente réellement le goulot d'étranglement lors de la production de ce produit.

Le cuiseur 2 est conçu pour la préparation du fourrage, la tablette était fourrée par une crème noisette et caramel, la préparation des deux crèmes prenait plus de temps sur le cuiseur 2 ce qui implique un taux d'occupation plus élevé, et ça causait plusieurs pannes sur cette machine,

l'entreprise minimise la fabrication des tablettes fourrée au noisette et caramel à cause de ça (notre étude prend en compte que la tablette fourrée à la crème blanche).

La simulation a permis de se rendre compte qu'il y a des risques potentiels de pannes sur le cuiseur 2 lors du lancement de la tablette fourrée de saveur noisette et caramel ».

2. Partie 2 : Visualiser les résultats

Avant tout, l'objectif de notre spécialité « **Management de la chaîne logistique** » reste de livrer un maximum de *commandes* en un *minimum de temps* et au *moindre coût*.

Mais nous avons remarqué que l'interprétation de ces résultats prend de temps, donc

La seule solution idéale est de créer un logiciel *de gestion*.

À partir de (**tableau 2**), nous avons extrait ses données, ce qui nous permet de programmer un simple logiciel de gestion de commande, l'objectif est de répondre d'une façon rapide aux commandes des clients.

Chaque logiciel a trois classes à identifier (les entrées / les contraintes / les sorties) ;

1. Des données d'entrées :

Les résultats obtenus de notre simulation des quatre produits, que nous avons déjà résumé dans le (**tableau 2**).

2. Les contraintes de programmation sont :

- Le Client : chaque commande de client est limitée par deux conditions.
 - Le délai de livraison.
 - La quantité de la commande.

- L'entreprise :

L'entreprise a le choix de faire travailler soit :

- 1 groupe par jour de (8 :00 AM a 4 :00 PM)

Où

- 2 groupes par jour de (8 :00 AM a 4 :00 PM) et (4 :00 PM a 12 :00 PM).

Où

- 3 groupes par jour de (8 :00 AM a 4 :00 PM) et (4 :00 PM a 12 :00 PM) et (12 :00 PM a 8 :00 AM).

3. Les Sorties :

- L'entreprise accepte la commande si (délai de fabrication < délai souhaité par le client).
- L'entreprise refuse la commande (délai de fabrication > délai souhaité par le client).

Pour ce faire, nous avons choisi un environnement de programmation visuel orienté objet
« **DELPHI** ».

Après la création de ce logiciel, le résultat est le suivant :

Figure 51: Interface graphique d'un SGCCX

La ligne de production

systeme de gestion des commandes clients "ligne X"

Cocher un ou plusieurs produits : Tablette Glacage Vrais chocolat Choco Barre

La commande client (caisses)

Livraison dans (jours) :

MP chocolat (kg):

MP Fourrage (kg) :

Delai de fabrication (h)

nombre de groupe / jour

nombre jours pour la farication

Chapitre 04 : Interprétation et visualiser les résultats avec Delphi | 98

Dans une période de 21 jours (, et d'après les données (tableau 1), nous avons testé une commande aléatoirement :

Figure 52: Exemple d applique SGCCX.

La ligne de production

système de gestion des commandes clients "ligne X"

Cocher un ou plusieurs produits : Tablette Glacage Vrais chocolat Choco Barre

La commande client (caisses) : 226000 90000 5000 15000

Livraison dans (jours) : 10 4 5 2

Vider Analyser

| | | | | |
|----------------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| MP chocolat (kg): | 666700kg | 486900kg | 14791.403 | 44374.2098 |
| MP Fourrage (kg) : | 162720kg | 0 | 3603.0341 | 10809.102 |
| Delai de fabrication (h) | 1076.1904 | 166.66666 | 23.809523 | 71.428571 |
| nombre de groupe / jour | impossible | impossible | 1 | impossible |
| nombre jours pour la fabrication | | | 2.9761904 | |

Valider

Nous allons résumer les résultats de ce logiciel dans le tableau suivant ;

Tableau 5 : tableau comparatif entre les délais de fabrication des prévisions annuelles

| | Delai de fabrication | Impossible | 3 groupe / jr | 2 groupe /jr | 1 groupe/jr |
|----------------------------|----------------------|------------|---------------|-----------------|--------------|
| Tablette au fourrage blanc | 1077h | 1 → 44 jrs | 45 → 68 jrs | 68 jrs → 135jrs | 135 → 355jrs |
| Glacage | 167h | 1 → 6 jrs | 7 → 11 jrs | 12 → 20 jrs | 21 → 355 jrs |
| Vrais chocolat | 24 h | -- | 1 jr | 2 jrs | 3 → 355 jrs |
| Choco Barre | 71h | 1 → 2 jrs | 3 → 4 jrs | 5 → 8 jrs | 9 → 355 jrs |

Commentaire sur le tableau :

L'entreprise « **KAOUA FOOD** », va consacrer 1339 heures en production, pour répondre à ses prévisions annuelles des quatre produits : 15 scénarios sont possibles, donc elle va choisir le plus optimal en matière de délais et coûts.

Accepter ou refuser une commande est un choix, c'est par rapport à la quantité de la commande, les délais de fabrication, les coûts, nombre des opérateurs, la quantité des matières premières disponible ;

Dans (**tableau 3**) nous avons visé sur les délais de fabrication, pour chaque produit nous avons prouvé qu'il existe 4 scénarios possibles, choisir entre ses scénarios pour optimiser notre prévision annuelle c'est le deuxième objectif de cette simulation, vu que le premier était de confirmer ou annuler le lancement de ces deux nouveaux projets (Vrais chocolat/Choco barre).

Nous remarquons que :

- ✓ Si le délai représente le facteur le plus important pour les quatre produits : l'entreprise fait travailler 3 groupes/ jour, dans ce cas-là, le coût va augmenter.
- ✓ Si c'est le contraire, le coût qui représente le facteur majeur : donc diminuer les coûts nécessite une diminution du nombre de groupes.

Chapitre 04 : Interprétation et visualiser les résultats avec Delphi | 100

Et puisque cette entreprise est flexible et réactive, elle va essayer pour chaque commande dans une période précise de réagir rapidement et choisir la solution la plus optimale, et surtout l'appliquer correctement en réalité.

Le « **DELPHI** » est juste un outil qui nous a facilité les calculs, la base de ces résultats est la simulation de la ligne, qui nous a aidé à visualiser 15 scénarios quasi gratuitement et rapidement.

Conclusion

La simulation via le logiciel FlexSim nécessite un investissement en termes de temps et de concentration pour réussir à tenir en main l'outil informatique, à introduire les données existantes sur cet outil et à comprendre ces résultats.

Mais dès qu'on réussit à caler le modèle de la ligne de production avec ces paramètres réels pour les produits existants, on arrive à mieux comprendre le concept de la fabrication, la visualisation du processus nous donne une autre vision de haut ce qui permet d'avoir plus de remarques, plus d'idées.

Les résultats obtenus par la simulation sont des indices qui facilitent à l'entreprise la prise de décision. Et pour avoir un résultat plus clair on a introduit un programme de gestion de commande grâce à l'outil de développement DELPHI qui permet à l'aide des résultats obtenus de **FLEXSIM** à voir les scénarios de production possibles.

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons traité un sujet d'une grande importance pour l'amélioration de la ligne de production de la « SARL KAOUA FOOD ». Le thème rentre dans le cadre de notre stage de mise en situation professionnelle. Avec pour titre "l'Apport des outils de simulation dans l'optimisation des processus de production : essai de mise en œuvre du logiciel "FlexSim" "

Cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques sur la gestion de production et de la flexibilité d'un système de production et aussi d'apprendre comment utiliser le logiciel FLEXSIM pour faire une simulation d'une ligne de production.

L'étude a bien montré que la simulation de la ligne de production de l'entreprise et l'analyse des résultats obtenus au travers du logiciel « FLEXSIM » présente bien des solutions intéressantes pour l'entreprise. De même que l'intégration de l'environnement de développement intégré (DELPHI) a permis d'obtenir et de présenter les solutions sous forme d'une application qui permet de changer les paramètres (quantité de la commande, effectif de travailleur) et ce, afin d'apprécier la faisabilité de réaliser telle ou telle commande dans les meilleurs délais.

La simulation a permis en outre à l'entreprise de comprendre et visualiser les caractéristiques de son système de production, et de pouvoir faire un choix entre les produits selon les résultats obtenus (production par minute, taux d'occupation des machines) pour savoir comment mieux concevoir son plan de production. Notre recherche a permis de constater également que plus les données réelles collectées sont bonnes, plus les résultats sont fiables.

L'analyse sous « FLEXSIM » reste générale et ce, malgré tous ces points forts., Une analyse comptable et financière complémentaires sont nécessaires pour apprécier les coûts et les revenus de tous les produits.

Pour finir, la simulation est un outil très important qui permet de réaliser des études et de faire des modifications sur le logiciel et obtenir les résultats en conséquence sans affecter aucun élément de

la ligne de production réel pendant les études. Toutefois, cela nécessite une grande précision lors de la collecte des données et lors de la modélisation du cas réel.

Dans cette étude, nous avons réussi à combiner entre deux outil informatique FLEXSIM et DELPHI, afin de simuler et présenter les résultats d'une manière directement utilisable pour l'entreprise. Ceci représente une valeur ajoutée à l'amélioration de la ligne de production en particulier et à la chaine logistique de l'entreprise en général.

Références bibliographiques

Ouvrages

- GEORGES (Javel), « organisation et gestion de la production », 4 éditions DUNOD, France, 2010.
- VINCENT (Giard), « Gestion de la production et des flux », 3 Edition.
- COURTOIS(Alain), PILLET(Maurice) et MARTIN-BONNEFOUS(Chantal), « Gestion de production », 4 Edition d'organisation.
- GRATACAP (Anne), MEDAN(Pierre) : « Management de la production », 3e édition DUNDO.
- FlexSim 3D simulation software, MANUEL DE L'UTILISATEUR », Version FlexSim 7.0.
- Pritsker (1986) : « Modélisation et simulation des systèmes de production
- GERAD(D) , lacomme(PH) et Tanguy(A), : « collection algorithmes dirigée par Gérard Dreyfus, simulation à évènement discret », groupes Eyrolles 2007,

Travaux universitaires

- GERAD(D), lacomme(PH) et Tanguy(A), : « collection algorithmes dirigée par Gérard Dreyfus, simulation à évènement discret », groupes Eyrolles 2007,
- M'Rabet (Rachid), « Les clés de la gestion »,
- Pellecuer (Luc), et Poteau (Sandrine), « La simulation » COURS DE THEORIE DE LA CIRCULATION CIV 6705
- Tamani (K),, « Développement d'une méthodologie de pilotage intelligent par régulation de flux adaptée aux systèmes de production », Thèse de Doctorat, 2008
- Erschler. (J), De Terssac (G)., « Flexibilité et rôle de l'opérateur humain dans l'automatisation intégrée de production », Rapport laas no 88137, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes, Toulouse, France, 1988.
- BACHIRI (Imene). LARBI BENHADJAR (Abdelkrim), « *Simulation d'un système de production avec ARENA* » .P 12

- Thomas.(C), « Analyse de la flexibilité : le cas d'une unité de production d'aluminium », thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2003. Notes de cours de GOL 302, J. Pronovost, Département GPA, ÉTS, 2006
- Habchi(G) , « Conceptualisation Et Modélisation Pour La Simulation Des Systèmes De Production », Université De Savoie, 2001.
- Xiaojun (Ye), « Modélisation et simulation des systèmes de production : une approche orientée-objets. Modélisation et simulation ». INSA de Lyon ,
- G.bontempi : « Projet de la modélisation et la simulation », assistant M.L.Lerman, Département d'informatique, septembre 17/2015.
- Balci(O), «Verification,Validation And Accreditation Of Simulation». Professeur Laris: « SIMULATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION » .p36, thèse de doctorat
- B. Jullien And F. Grimaud, “Simulation Des Systèmes De Production Avec Arena Version 3.02,” Ecole Des Mines De Saint-Etienne -Centre Simade, 1997

Sites internet

- Management de la production [en ligne] , <http://production-management.over-blog.com/article-35218324.html>(consultée le 13 mai 2022).
- GERAD(D) , lacomme(PH) et Tanguy(A), : « collection algorithmes dirigée par Gérard Dreyfus, simulation à évènement discret », groupes Eyrolles 2007, [en ligne] http://www.eyrolles.com/Chapitres9782212119244/Chap1_Fleury.pdf (consultée le 24 mai 2022).
- Un outil de simulation : Simul8 [en ligne] , <https://stringfixer.com/fr/Simul8.pdf> (consultée le 1 juin 2022).

Table de matière

Les Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction générale

Chapitre 01 : La Production et la Flexibilité dans un système

Section 1 : Principes généraux relatifs à la notion Production.

1. Historique de la production
2. La production comme une fonction
3. La production comme un Système

Section 2 : Typologie des systèmes productifs

1. Le Choix d'un mode de production
2. Production basée sur la relation avec le Client
3. Les objectifs de la Gestion production

Section 3 : La Flexibilité dans un système de production.

1. Définition
2. Dimensions de flexibilité dans un système de production
3. Bénéfices d'un Système de production flexible

Chapitre 02 : La simulation virtuelle d'un système de production réel.

Section 1 : Introduction à la simulation

1. Historique et Définition

2. Domaines d'application de la simulation
3. Avantage et inconvénients de la simulation

Section 2 : Le développement d'un modèle de Simulation

1. Des définitions
2. Types de modèles de simulation
3. Le processus d'élaboration d'un système de simulation

Section 3 : Appliquer la simulation dans un système de production.

1. La simulation des flux
2. La simulation à événement Discrets
3. Les logiciels de simulation de flux

Chapitre 03 : Exemple d'étude : SARL KAOUA FOOD

Section 1 : Les Directions de « KAOUA FOOD » et leur tâche

1. Les directions et leurs taches
2. La cartographie des processus

Section 2 : Description de la ligne de production.

1. Schéma descriptif de la ligne de production
2. Commentaire sur les étapes de la production

Chapitre 04 : Interpréter et visualiser les résultats

Section 1 : Interpréter les résultats

Section 2 : visualiser les résultats

Conclusion générale

