



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



Université Colonel El-Hadj Lakhdar. Batna  
Faculté de Technologie  
*Département Génie Industriel*

## MEMOIRE

*Présenté au*

Laboratoire d'Automatique et Productique

*en vue de l'obtention du diplôme de*

***Magister*** en Génie Industriel

*Option: Génie Industriel et Productique*

*Par*

**Lynda BOUHIDEL**

Ingénieur d'état en Informatique,  
Université de Batna

---

---

# La méthode Monte Carlo pour l'analyse d'un système de production (Aspect dysfonctionnel)

---

---

*Soutenu le: 11/06/ 2012, devant le Jury composé de:*

Dr. M. D. MOUSS	MC	<i>Président</i>	Université de Batna
Dr. N. K. MOUSS	MC	<i>Rapporteur</i>	Université de Batna
Dr. S. KECHIDA	MC	<i>Examineur</i>	Université de Guelma
Dr. Ch. HAMOUDA	MC	<i>Examineur</i>	Université de Batna
Dr. S. ABDELHAMID	MC	<i>Examineur</i>	Université de Batna
Mr. T. MARREF	MA	<i>Co-encadreur</i>	Université de Batna

**Juin 2012**

**Résumé**— Un cadre de simulation du fonctionnement dynamique d'un système de production industriel est présenté. L'accent est mis sur la représentation du comportement opérationnel des composants (installations, processus...) de la production. Un mécanisme de simulation de Monte Carlo nous permet l'estimation stochastique du risque possible d'avoir un dysfonctionnement dans le déroulement des tâches de production par l'interprétation continue des résultats de simulation obtenus sur des indicateurs de performances qui reflètent le degré d'homogénéité de la stratégie suivie et l'exécution des tâches productives de la prise de décision.

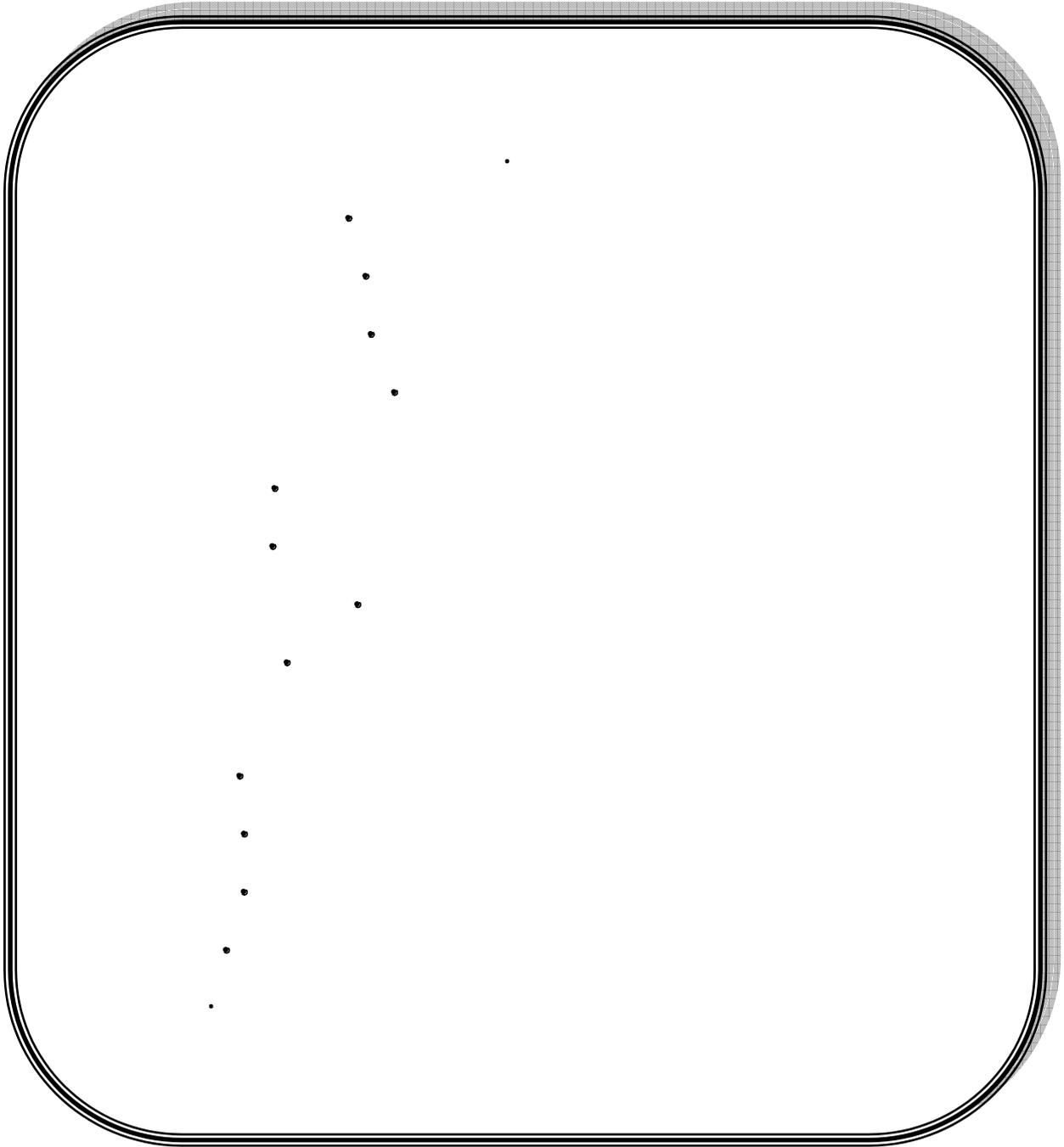
Nous présentons dans cet article une approche d'analyse d'un système de production industriel sur un aspect dysfonctionnel par la simulation Monte Carlo.

*Mots clefs*— système de production, simulation Monte Carlo, tableaux de bord, gestion des risques, sûreté de fonctionnement

**Abstract**— A framework for simulating the dynamic operation of an industrial production system is presented. The focus is on the representation of the operational behavior of components (machines, process, ...) of production. A Monte Carlo simulation based mechanism allows a stochastic estimate of the risk that may cause operating faults during the course of production tasks by the continuous interpretation of simulation results on performance indicators that reflect the homogeneity degree of the strategy and execution of productive tasks of decision making.

We present here an industrial production system analysis approach on a dysfunctional aspect of the Monte Carlo simulation.

*Keywords*— production system, Monte Carlo simulation, “tableau de board”, risk management, operational safety



# REMERCIEMENTS

Il m'a été très difficile d'écrire cette page par souci de n'oublier les nombreuses personnes qu'il me faut citer pour leur aide, leur accueil, leur soutien... ! Qu'elles soient toutes assurées de ma plus profonde reconnaissance même si leur nom n'y figure pas !

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au **LAP** (*Laboratoire d'Automatique et Productique*) du département de Génie Industriel de l'université de Batna.

Je tiens, tout d'abord, à remercier **Dr. N. K. MOUSS** et **Mr. T. MARREF** pour la qualité de leur encadrement et leur disponibilité. **Dr. N. K. MOUSS**, merci, pour avoir accepté la direction de cette thèse, pour vos encouragements (sans faille depuis ma 1<sup>ère</sup> année), minutieuses relectures ainsi que votre suivi. **Mr. T. MARREF**, merci, pour m'avoir fait confiance, guidé, encouragé, conseillé et fait beaucoup voyager pendant cette période d'étude.

Je suis très reconnaissante à **Dr. M. D. Mouss**, chef de département de Génie industriel, qui a accepté de présider le jury de soutenance ainsi que pour ses suggestions pour la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer aussi toute ma gratitude aux : **Dr. S. KECHIDA** (Université de GUELMA), **Dr. Ch. HAMOUDA** (Université de BATNA), **Dr. S. ABDELHAMID** (Université de BATNA) pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour mon travail. Je vous suis très reconnaissante d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ce travail.

Mes vifs remerciements vont également au **Dr. L. H. Mouss** Directrice du LAP, aussi à **Mme S. BESSOUF** et à l'ensemble des membres de l'équipe du BAG.

Tout ceci ne serait rien sans ma famille ainsi que ma belle famille et mes amis. Un énorme merci à mes parents pour m'avoir toujours laissé libre de faire ce qui me plaisait et pour m'avoir encouragé dans mes choix. Merci **FADHILA** pour m'avoir appris à me dépasser et à faire toutes choses à fond. **LOUBNA** je ne t'ignore pas: merci beaucoup.

Mes derniers remerciements sont pour **RAFIK**, pour avoir su mener une part essentielle à l'aboutissement de ce travail: me remonter le moral, me supporter et m'encourager. Je tenais à ce que les derniers mots de cette page soient pour lui.

## Sommaire.

<b>Introduction Générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I: Etat de l'art.</b>	
<b>I.1. Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>I.2. Les systèmes de productions.....</b>	<b>4</b>
I.2.1. Notions de base pour les systèmes de production .....	5
I.2.1.1. Définition d'un système de production industriel .....	5
I.2.1.2. Typologies des systèmes de production .....	6
I.2.1.3. Facteurs de succès de la gestion de la production .....	8
I.2.1.3.1. Une logistique permanente .....	8
I.2.1.3.2. Une collaboration production / maintenance .....	9
I.2.1.3.3. L'innovation continue.....	10
I.2.1.3.4. Un contrôle de qualité adapté .....	10
I.2.1.3.5. La flexibilité du système de production .....	10
I.2.1.3.6. La performance continue dans le process de fabrication.....	12
I.2.2. Les critères d'analyse d'un système de production .....	12
I.2.2.1. Les quantités de biens ou services devant être produites.....	12
I.2.2.2. La nature du processus de production.....	13
I.2.2.3. La nature du type de gestion de la production .....	13
I.2.2.4. La nature de l'implantation de l'outillage .....	13
<b>I.3. Approches proposées pour analyser un système de production.....</b>	<b>13</b>
I.3.1. Analyser un système de production selon sa performance globale.....	13
I.3.1.1. L'efficacité, l'efficience et la pertinence d'un système de production.....	13
I.3.1.2. La parfaite cohérence d'un système de production .....	14
I.3.1.3. Evaluation d'un système de production par des modèles de référence .....	15
I.3.2. Analyser un système de production selon sa décomposition .....	16
I.3.3. Analyser un système de production selon des sous systèmes intégrés .....	17
I.3.3.1. Un sous système de management de la sécurité .....	17
I.3.3.2. Un sous système de management des risques .....	19
I.3.3.3. Un sous système de prévention des dysfonctionnements de chaines de production ....	19
I.3.3.3.a. Un sous système de prédiction des éventuelles dégradations.....	21
I.3.3.3.b. Un sous système de surveillance du processus de la production.....	21
I.3.3.4. Analyse d'un système selon les attributs de la sûreté de fonctionnement (SdF) .....	21
I.3.3.4.1. Analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle d'un système de production .....	21
I.3.3.4.2. Analyse des critères (du SdF) évalués par une simulation de Monte Carlo .....	23
I.3.3.5. Analyse d'un système de production selon une classification de leurs dysfonctionnements .....	24
I.3.3.6. Analyse d'un système non industriel .....	26
a. L'identification des risques.....	26
b. L'analyse des risques .....	27
c. Le traitement des risques .....	27
<b>I.4. Conclusion .....</b>	<b>27</b>

## **Chapitre II: La simulation Monte Carlo.**

<b>II.1. Introduction</b> .....	<b>30</b>
<b>II.2. Pourquoi simuler un système ?</b> .....	<b>30</b>
II.2.1. Objectifs d'une simulation .....	31
II.2.2. La simulation d'un système de production .....	31
II.2.3. Le processus de simulation d'un système.....	31
II.2.3.a. Démarche de simulation .....	31
II.2.3.b. Les étapes d'une simulation automatisée .....	31
II.2.3.b.1. La modélisation d'un système .....	32
II.2.3.b.2. Cycle du déroulement de simulation .....	33
II.2.3.c. Les critères d'une bonne de simulation.....	34
II.2.4. Les modèles de simulation .....	34
II.2.4.1. Evolution des variables.....	36
a- Simulation Continue.....	36
b- Simulation à événement discrets.....	36
c- Simulation hybride .....	36
II.2.4.2. Nature des variables.....	36
a- Les modèles de simulation déterministes .....	36
b- Les modèles de simulation stochastiques .....	36
<b>II.3. La simulation Monte Carlo</b> .....	<b>36</b>
II.3.1. Définitions .....	36
II.3.2. Historique .....	37
II.3.3. Domaines d'application.....	37
II.3.4. Les atouts de la méthode Monte Carlo.....	38
II.3.5. Les étapes de la simulation Monte-Carlo.....	39
II.3.6. Application de la simulation Monte Carlo dans un système de production.....	41
II.3.7. Les types de la simulation Monte Carlo .....	43
II.3.7.1. Simulation Monte Carlo séquentielle ou chronologique .....	43
II.3.7.2. Simulation Monte Carlo non séquentielle (ou aléatoire) .....	43
II.3.8. Les limites de la simulation Monte Carlo .....	44
<b>II.4. Conclusion</b> .....	<b>44</b>

## **Chapitre III: Présentation & analyse du système BAG par la simulation Monte Carlo.**

<b>III.1. Introduction</b> .....	<b>46</b>
<b>III.2. CADRE DE NOTRE INTERVENTION : Analyse par simulation Monte Carlo du système de production des bouteilles à gaz « BAG »</b> .....	<b>46</b>
<b>III.2.1. Contexte industriel : Description de l'unité de production des bouteilles à gaz « BAG »</b> .....	<b>46</b>
III.2.1.A. La structure divisionnelle de l'EN.EMB (L'entreprise mère de la BAG) .....	46
III.2.1.B. La structure fonctionnelle de l'unité BAG.....	47
III.2.1.C. Collaboration de la production avec les autres départements au niveau de la BAG ...	49

III.2.1.D. Les niveaux de communication au sein du département de la production de BAG .....	50
III.2.1.E. Description du système de production du BAG .....	52
1) Les étapes du processus de fabrication .....	52
2) La structure interne du département de la production .....	53
3) La préparation d'une production .....	55
4) La hiérarchie d'exécution d'une production .....	57
<b>III.2.2. Diagnostic de la situation actuelle du système BAG .....</b>	<b>59</b>
III.2.2.1. Etape 1: La Collecte des données de fonctionnement dans des Flashes.....	60
III.2.2.2. Etape 2 : Elaboration d'un rapport mensuel (Commentaires) de marche de l'usine ....	61
III.2.2.3. Etape 3 : Analyse et traitement des Flashes et Commentaires .....	68
III.2.2.4. Etape 4 : Déduction des temps d'état des installations de la production .....	70
A. Définition & répartition des temps d'états de la production .....	71
B. Le calcul des ratios TRS et TRG.....	72
C. Evaluation des temps d'état de la BAG .....	73
III.2.2.5. Etape 5 : Calcul du TRS & TRG .....	77
A. Evaluation des composantes de base du TRS .....	77
B. Calcul du TRS de chaque mois.....	79
C. Calcul du TRG .....	82
<b>III.2.3. Analyse par simulation Monte Carlo du système BAG .....</b>	<b>86</b>
III.2.3.1. La démarche d'analyse proposée .....	86
III.2.3.2. La solution informatique proposée.....	88
A. Simulation selon le choix d'indicateurs proposés .....	89
B. Simulation selon un objectif choisi .....	90
C. Simulation selon un scénarios prédéfinis .....	93
III.2.3.3. L'application de simulation Monte Carlo sur la BAG .....	95
III.2.3.3.1. Scénario (1) .....	95
III.2.3.3.2. Scénario (2) .....	98
<b>III.3. Conclusion .....</b>	<b>100</b>
 <b>Conclusion Générale .....</b>	 <b>103</b>

## Annexe

### Liste des Figures et Tableaux

### Bibliographie

# Introduction Générale.

# INTRODUCTION GENERALE

Un système de production peut se définir comme une combinaison cohérente, dans l'espace et dans le temps, de certaines quantités de force de travail (*salariés, entraide, etc.*) et de divers moyens de production (*ateliers, bâtiments, machines, instruments, etc.*) en vue d'obtenir différentes productions qui permettent de satisfaire les objectifs auxquels le système est destiné. Ainsi donc, l'étude des systèmes de production devra se faire aussi bien dans l'espace que dans le temps. Dans l'espace, il s'agira de voir à un moment donné l'organisation de la production en liaison avec son environnement, alors que dans le temps on s'attachera à l'étude des changements intervenus au niveau de cette organisation de la production et en déduire les facteurs qui sont à la base de ces changements (*dynamique*).

La gestion de la production dans un système industriel, comme celui de l'entreprise *Bouteilles A Gaz (BAG)*, devient alors une fonction stratégique. Le dimensionnement et la portée des buts visés nécessitent une vision précise des objectifs stratégiques de l'entreprise. Gérer les dysfonctionnements, qui gênent le bon déroulement du processus de fabrication d'un système de production, consiste alors à identifier et à contrôler tous les événements présents dans le système afin d'analyser leurs effets (portés) sur la totalité du processus de production dont le but d'éviter/réduire toute influence non souhaitée, compte tenu de contingences (éventualités) matérielles et financières. Dans une économie concurrentielle, la difficulté inhérente à une telle démarche d'analyse d'un système de production réside dans la définition d'objectifs cibles sur lesquels on doit réagir sur une situation dégradée.

## - **Objectif du mémoire.**

Notre travail est réalisé au sein du Laboratoire d'Automatique et Productique, LAP, il s'inscrit dans le cadre des travaux de l'équipe GIL (*Gestion Industrielle et Logistique*). L'objectif consiste à trouver une démarche d'analyse adéquate au fonctionnement du système de production BAG. Démarche que nous avons suivie pour faire ressortir les entraves qui sont enregistrées, et qui ont diminué (d'une manière directe ou indirecte) le rendement du processus de fabrication de l'entreprise cible. Notre étude porte sur l'usage d'une méthode d'analyse du système de production BAG par des indicateurs de performances; basée sur la simulation Monte Carlo (aspect dysfonctionnel). Le cadre méthodologique de cette étude nous a conduit à étudier:

- ∅ L'architecture globale du système de production BAG et l'enchaînement systématique de l'ensemble des différentes tâches indispensables à la production des bouteilles à gaz finies, ainsi que leurs dégradations détectées.

- ∅ Les principales difficultés apparues se répètent périodiquement. On désire les classer selon leurs natures afin de les quantifier pour voir leurs poids sur l'ensemble des composantes du système de production BAG.

Ainsi, le mémoire est structuré en trois chapitres.

Le premier chapitre, **Etat de l'art**, dédié aux concepts et notions théoriques des systèmes de production de même contexte que la problématique générale traitée dans cette étude.

Le second chapitre, **La simulation Monte Carlo**, définit le cadre méthodologique de l'approche de simulation Monte Carlo. Les concepts de base liés à la simulation Monte Carlo ainsi que les étapes indispensables dans ce genre de simulation sont présentés.

Enfin, le troisième chapitre, **Présentation et analyse du système BAG par la simulation Monte Carlo**, est constitué de deux parties. La première présente la structure interne du processus de fabrication implémenté au niveau du système BAG, les différents niveaux de communication interne au système de fabrication des bouteilles à gaz ainsi que toutes les caractéristiques spécifiques au processus de fabrication du système BAG. La deuxième partie est une exploitation de connaissances obtenues à travers les deux premiers chapitres pour faire une analyse *statistique*, puis *par simulation Monte Carlo*, sur tous les événements apparus tout au long de la période de notre stage à l'unité BAG, une interprétation sur des résultats (numériques et graphiques) de l'application de notre démarche sur le système de production BAG conclut ce travail.

# Chapitre I : Etat de l'Art.

### I.1. Introduction.

Les entreprises les plus compétitives consacrent des investissements importants en temps et argent pour faire évoluer les compétences de leur personnel, pour transformer leurs systèmes de management et leurs modes d'organisation à fin de s'adapter à l'évolution de son contexte industriel.

Dans l'industrie, on parle de plus en plus de sûreté de fonctionnement. Cette discipline est une indispensable à tous les secteurs de l'industrie et même d'autres activités. La sûreté de fonctionnement est une riche palette de méthodes et de concepts au service de la maîtrise des systèmes de production au sein d'une d'entreprise.

Le terme risque dans le langage courant recouvre des significations différentes. Dans le cadre de cette étude, des définitions sont proposées :

- ☞ *Une incertitude qui, si elle arrivait, pourrait avoir un effet sur un ou plusieurs objectifs.*
- ☞ *Une situation non souhaitée ayant des conséquences négatives résultant de la survenue d'un ou plusieurs évènements dont l'occurrence est incertaine.*
- ☞ *Tout évènement redouté qui réduit l'espérance de gain et /ou d'efficacité dans un système.*

Dans cette partie, de notre étude, nous faisons une synthèse bibliographique des différents travaux de recherche sur l'aspect gestion des risques.

### I.2. Les systèmes de productions.

Lorsque l'on parle de fonction de production, il est important de noter que cette fonction se décompose en un certain nombre de services (postes) qui ont un rôle soit opérationnel, soit fonctionnel.

- ✓ **Rôle opérationnel** : Un service a un rôle opérationnel lorsque sa mission consiste soit à la fabrication, soit à l'expédition (*préparer les commandes et les livrer au service de transport, gérer les stocks de produits finis de l'entreprise*) du bien produit par l'entreprise. On peut citer les services suivants :
  - Le service fabrication.
  - Le service expédition.
  - Le service manutention.
  - Le service outillage.
  - Le service entretien.
- ✓ **Rôle fonctionnel** : un service a un rôle fonctionnel s'il se charge de définir, d'organiser ou de contrôler l'activité de production de l'entreprise. On peut trouver :
  - Le bureau des études.
  - Le bureau des méthodes.
  - Le bureau d'ordonnancement.

- Le service de contrôle de la production.

### I.2.1. Notions de base pour les systèmes de production.

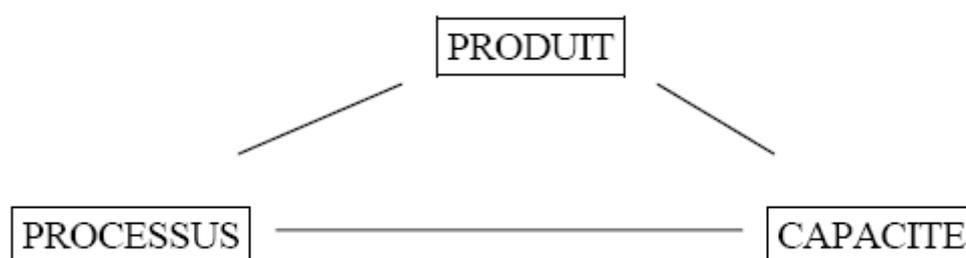
La notion de système de production doit être prise au sens large de système industriel manufacturier ou de processus à caractère discret, continu ou hybride et doit intégrer les points de vue sociaux, économiques, technologiques et environnementaux.

Ainsi, on considère un système de production comme étant une catégorie particulière de système **[GAS 05]**:

- ☞ Constitué par un ensemble de ressources humaines, techniques et financières,
- ☞ Placé dans un environnement naturel, économique, social et politique,
- ☞ Fonctionnant pour sa propre pérennité, le bien de ses membres, de ses utilisateurs, de la société en général,
- ☞ Réalisant des produits matériels (biens) ou immatériels (services),
- ☞ Mettant en œuvre différents processus (de conception, de production, de gestion, de commercialisation,...),
- ☞ Et dont la composition (équipements, effectifs, ...), l'organisation, et les activités (innovations, externalisations,...) évoluent.

En outre, la notion de système étant multidimensionnelle, peuvent être qualifiés de systèmes de production un atelier de fabrication, une usine, une agence bancaire, un service hospitalier, un groupe industriel...

Les grandes options fondamentales **[GAS 05]**, c'est-à-dire celles qui déterminent et qui limitent les opportunités ouvertes à l'entreprise dans le long terme, portent principalement sur la composition du portefeuille de produits, sur le processus de production adopté et sur la capacité de production.



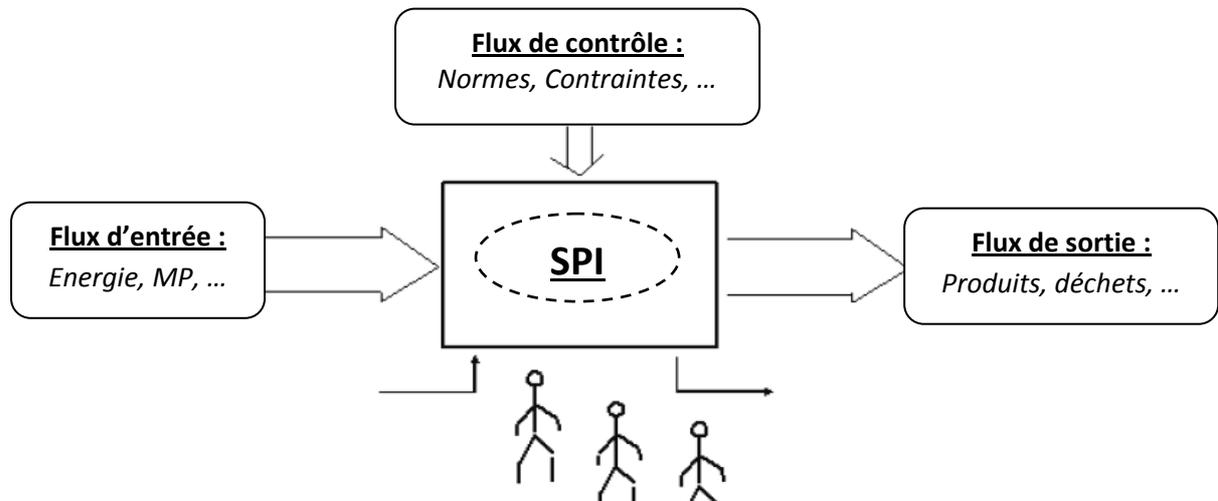
**Figure I.1 :** les composantes de base d'un système de production.

#### I.2.1.1. Définition d'un système de production industriel.

- *Qu'est ce qu'un système de production industriel ?*

Un **Système de Production Industriel "SPI"** est un ensemble d'équipements qui permet, à partir d'énergie et des produits bruts (matériaux, pièces initiales, ...) d'élaborer des objets de valeur supérieure qui peuvent être soit directement commercialisés ou des produits intermédiaires servant à la réalisation par la suite des produits finis. La **figure I.2** donne le

schéma synoptique d'un système de production industriel recevant le flux de matière d'œuvre et générant le flux de produits élaborés [TAH 10].



**Figure I.2** Schéma synoptique d'un système de production industrielle [TAH 10].

Le SPI est alimenté en énergies (électrique, pneumatique, ...) et approvisionné en consommables auxiliaires : lubrifiants, eau de refroidissement, etc. Il génère aussi un flux de déchets : eaux sales, fumées polluantes, chutes de coupes, ... On peut ajouter, par conséquence, qu'un système est un découpage ciblé d'une réalité complexe qui permet d'isoler, à des fins d'analyse, des éléments en interaction fonctionnelle. Pour les systémistes, la vraie question n'est pas tant « *qu'y a-t-il dans le système ?* » *Quels en sont les éléments et quelles sont leurs interactions ?* que « **Que produit le système ?** » (**Comment transforme-t-il des intrants en extrants ?**). [FLO 03].

- *Qu'y a-t-il dans le système ?*

L'exploitation et le fonctionnement du Système de Production Industriel nécessitent l'intervention de trois catégories du personnel [TAH 10]:

☞ Des agents d'exploitation ayant pour tâche :

- 🔔 La surveillance des machines automatisées ;
- 🔔 Le chargement, contrôle et déchargement de ces machines ;
- 🔔 La participation au procédé de production, dans le cas des postes de travail.

☞ Des agents de réglage ayant pour mission :

- 🔔 Le démarrage d'une nouvelle campagne de production ou l'intervention pour obtenir la qualité recherchée pour un produit donné.

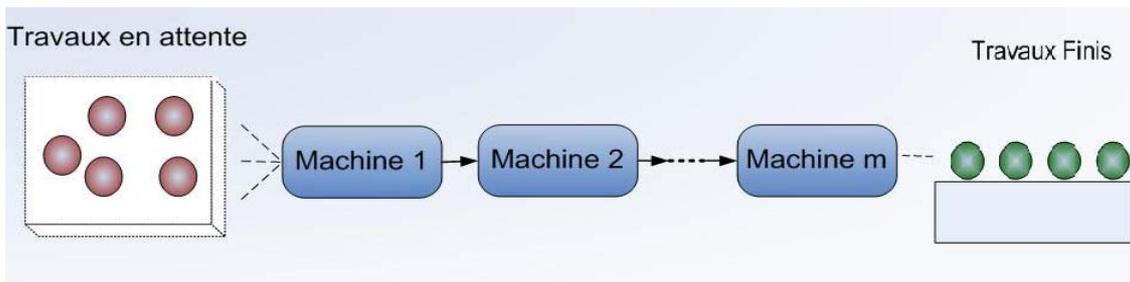
☞ Des spécialistes de la maintenance qui interviennent soit :

- 🔔 D'une façon régulière (afin de procéder aux opérations de maintenance préventive) ou lorsque le "SPI" se trouve en défaillance.

### I.2.1.2. Typologies des systèmes de production [GAS 05].

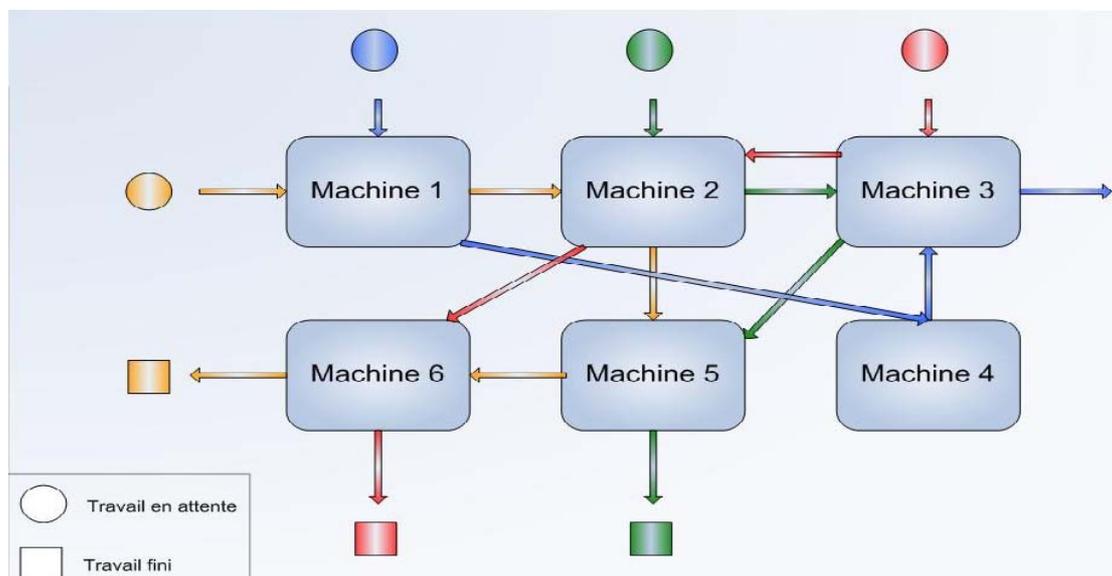
Trois stratégies au niveau du procédé de fabrication sont à prendre en considération :

- **Flow Shop (Figure I.3)**: qui organise les équipements de production en fonction des produits (product layout); chaque équipement ne fabrique qu'un produit (ou une famille de produits) et est intégré à une ligne de production dédiée à ce produit (ou cette famille de produits) (ex: soudage circulaire), ce genre de typologie représente le cas du système de production de notre étude. La conception d'un flow shop implique le regroupement d'opérations au sein de stations de travail installées en ligne et l'équilibrage<sup>1</sup> de la ligne;



**Figure I.3:** Représentation d'un atelier Flow Shop.

- **Job Shop (Figure I.4)**: Où les équipements de production sont groupés fonctionnellement en départements (fraisage, soudage, assemblage, ..); le job shop est capable de fabriquer une gamme étendue de produits qui, en lots, suivent un chemin spécifique dans l'atelier (ex: chaudières industrielles);



**Figure I.4:** Représentation d'un atelier job Shop.

<sup>1</sup> L'équilibrage d'une ligne consiste à égaliser, par un groupement adéquat des opérations de production respectant les contraintes de précedence éventuelles, le temps opératoire de chaque station. Ce temps opératoire commun, appelé temps de cycle, est le temps nécessaire à la production d'un produit.

- Fixed Site : qui correspond au cas où le volumineux produit fabriqué est fixe tandis que les équipements de production viennent à lui (ex: construction navale).

### I.2.1.3. Facteurs de succès de la gestion de la production.

Les responsables d'un système de production cherchent, toujours, à développer et améliorer leur processus de production pour que leurs produits restent compétitifs. Aussi, ils doivent suivre toute activité participative au rendement de la totalité du système tel que :

- ⌚ La conception,
- ⌚ La planification des ressources (matérielles, financières, ou humaines),
- ⌚ L'ordonnancement,
- ⌚ L'enregistrement des activités de production,
- ⌚ Le contrôle des activités de production de l'entreprise.

Toutes ces activités doivent être réalisées dans le respect des procédures établies (implicitement ou explicitement) par l'entreprise et en tenant compte à la fois de la qualité de ses produits ou services, et aussi de la sécurité de ses salariés ou de son environnement. Par conséquent, le suivi de ces activités doit être fait d'une manière stricte, surtout à travers les points suivants :

#### I.2.1.3.1. Une logistique permanente.

La logistique est l'activité qui a pour objet de gérer les flux physiques d'une systeme de production, dans le but de mettre à disposition les ressources correspondant aux besoins, et ce , aux conditions économiques et pour une qualité de service déterminées, dans des conditions de sécurité et de sûreté satisfaisantes. Par conséquent, les finalités de la Logistique, selon [BEC 96], peuvent s'énoncer comme suit :

A. A court terme : Il s'agit d'optimiser les flux physiques, de l'amont à l'aval, ce qui implique :

- ☞ L'exploitation des prévisions commerciales à très court terme et des carnets de commande,
- ☞ La définition des programmes d'approvisionnement et de production, la programmation des livraisons,
- ☞ La régulation de l'après vente et la distribution des pièces de rechange,
- ☞ La continuité de l'exploitation par la mise en place d'un plan de maintenance.

B. A moyen Terme : A l'horizon des plans d'action et des budgets, la logistique vise à :

- ☞ Définir les actions qui permettent de contrôler les coûts logistiques des services que l'entreprise a choisi de développer. (Exemple : Si l'Entreprise décide de mettre en

place un processus de production fonctionnant selon le principe de la différenciation retardée, la logistique est censée appréhender et optimiser tous les paramètres de production et de stockage intervenant dans ce type d'organisation),

- ☞ Conseiller les dirigeants pour leur permettre de choisir les opérations que l'entreprise doit assurer en propre et celles qu'elle a intérêt à sous-traiter,
- ☞ Contribuer fortement à l'optimisation du coût de l'investissement ou du fond de roulement de l'Entreprise.

C. **A Long terme** : A long terme, la finalité de la Logistique est :

- ☞ D'aider l'organisation à maîtriser la complexité, l'incertitude et les délais résultant de la multiplication des couples produits-marchés,
- ☞ D'actualiser en permanence la connaissance de l'impact que les aspects logistiques ont sur les coûts d'exploitation des clients et de l'organisation,
- ☞ De proposer, le cas échéant, à l'organisation un avantage concurrentiel en offrant à ses clients un service logistique optimal au coût le plus adapté et acceptable.

#### I.2.1.3.2. Une collaboration production / maintenance.

Pour bien mener un système de production industriel, il est nécessaire de faire une nomenclature du matériel disponible dans l'entreprise, afin de regrouper les équipements (critique, ordinaire, banal, ...) des ateliers de production selon des critères (le degré d'importance de l'équipement, le coût de panne de l'équipement, ... ) définis par les responsables du service, et cela pour élaborer une stratégie rigoureuse qui nous aide à gérer les éléments qui composent notre SPI dont l'objectif est de :

- ⌚ Rendre la maintenance alignée avec le degré d'importance de l'équipement,
- ⌚ Prévoir et Souligner toute source de dysfonctionnement afin de préparer le mode de réaction de tous le SPI.

Un exemple proposé illustre l'attribution pour chaque classe d'équipement un type de maintenance (**Tableau I.1**):

Classe	Type d'équipement	Type de Maintenance
<b>A</b>	<i>Critiques</i>	Maintenance conditionnelle
<b>B</b>	<i>Ordinaires</i>	Maintenance Préventive
<b>C</b>	<i>Banals</i>	Maintenance Curative - Gestion de la panne

**Tableau I.1** : Exemple d'attribution de la maintenance selon le type d'équipement.

### **I.2.1.3.3. L'innovation continue [VIL 05].**

L'innovation est l'un des principaux moyens pour acquérir un avantage compétitif en répondant aux besoins du marché. Innover, c'est créer de nouveaux produits, développer des produits existants, mais aussi, optimiser son système de production, adopter les dernières technologies ...etc. L'origine de l'innovation vient souvent d'une avancée technologique, d'un nouveau besoin et/ou d'une situation de portefeuille produits "vieillissant".

### **I.2.1.3.4. Un contrôle de qualité adapté.**

Informellement [CRA 03], on appelle *qualité* d'un produit la mesure dans laquelle ce produit est conforme aux attentes et exigences de l'utilisateur. Plus formellement, l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) définit la qualité comme « l'ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites », où le terme entité peut désigner un produit, une activité, un processus, un système, etc. Il ne faut donc pas confondre qualité et luxe: **une bouteille à gaz** peut être de bonne ou de mauvaise qualité. La qualité s'inscrit dans la culture d'entreprise et elle s'articule autour de 4 axes principaux [GIA 03]:

*1.2.1.3.4.1. La conformité :* La conformité consiste à rechercher de manière permanente l'adaptation aux besoins réels du client. Toutes les actions individuelles ou collectives doivent être orientées dans ce sens, et ceci aussi bien à l'intérieur de l'entreprise qu'à l'extérieur: Que l'on soit ouvrier, ingénieur, chargé d'affaires ou secrétaire, les tâches ne doivent être exécutées qu'en fonction de la satisfaction attendue de la clientèle.

*1.2.1.3.4.2. La recherche d'indicateurs positifs :* Il s'agit ici de se fixer des objectifs de progrès en fonction du suivi d'indicateurs. Ces indicateurs peuvent, par exemple, concerner la quantité journalière du produit fabriquée, le taux de panne, etc..

*1.2.1.3.4.3. L'autonomie dans le travail :* Chaque salarié doit être responsabilisé des tâches qu'il doit accomplir. Être autonome, cela signifie s'approprier son travail sans attendre des directives imposées. Initiative et responsabilisation sont donc les deux mots clés de la qualité au niveau du travail quotidien de chacun.

*1.2.1.3.4.4. L'excellence :* C'est la recherche des fameux 7 zéros (zéro délai, zéro stock, zéro papier, zéro défaut, zéro panne, zéro mépris, zéro accident), ce qui nécessite que chacun doit avoir une vision d'ensemble de fonctionnement du processus de production et ne pas se retrancher dans des attitudes du type « cela ne me regarde pas » ou « cela n'est pas mon travail ! ».

### **I.2.1.3.5. La flexibilité du système de production.**

L'évolution croissante des besoins d'une entreprise fait que la conception du système de production est de plus en plus orientée vers des familles de produits et non vers un seul type de produit. Les systèmes correspondants à une telle exigence doivent se révéler flexibles. Pour cela, trois principes de la flexibilité, sont définis :

- ✓ **Principe (1):** La flexibilité est ainsi définie comme étant : « Une capacité d'adaptation sous la double contrainte de l'incertitude et de l'urgence » [CHR 97].
- ✓ **Principe (2):** On peut définir aussi La flexibilité, [GER 93], comme : « l'aptitude à répondre à une variation de la demande ». Elle peut être vue sous l'angle :

- 🔔 Des employés, qui peut être le résultat de la formation continue du personnel mobilisé au niveau du système de production.
- 🔔 Des produits, qui peut être assurée par une organisation de la production avec le plus de moyens ou pièces communs aux différents modèles et n'ajouter que très tardivement les pièces spécifiques qui donneront leur particularité aux modèles : « Flexibilité de mélange » [DRA 01]. Or pour cela il faut maîtriser la conception aussi bien que la production, ce qui n'est pas toujours le cas.
- 🔔 De l'élaboration des produits, qui s'obtient par l'adoption de machines universelles et de robots. Cette décision implique une évolution des ouvriers par l'augmentation de leur compétence.

**Principe (3):** « La flexibilité d'un système de production se caractérise par sa capacité d'adaptation à la production des nouveaux produits pour lesquels le système n'a pas été étudié. Cela suppose une adaptation totale du système de production au produit courant (de la distribution des flux discrets de composants aux opérations qu'effectuent les moyens de production sur le produit) » [DRA 01], on parle d'une:

- ✓ Flexibilité de produits : offre la possibilité d'une reconfiguration du système pour la prise en compte d'un nouveau produit ou famille de produits permettant ainsi un gain de productivité ;
- ✓ Flexibilité de routage : offre au système les moyens d'un aiguillage plus souple, de façon à servir les différents segments de procédés libres ou sous - engagés ;
- ✓ Flexibilité d'ordre des opérations : permet de changer l'ordre des opérations en cours de production (ce qui suppose l'existence d'une gamme principale et des gammes secondaires) ou de choisir la destination suivante après chaque opération ;
- ✓ Flexibilité d'expansion : autorise une extension et une modification de l'architecture du système et elle exige une modélisation ;
- ✓ Flexibilité des ressources : c'est la capacité des ressources à effectuer plusieurs tâches élémentaires et de permettre la reprogrammation.

### 1.2.1.3.6. La performance continue dans le process de fabrication.

Comment devenir encore meilleur là où l'on est déjà bon ? Une réorganisation industrielle n'est pas toujours un gage de réussite. De ce fait, la performance nous permet de **[FRI 09]**:

- ☞ Réduire l'incertitude,
- ☞ Contribuer à une meilleure maîtrise du risque,
- ☞ Dynamiser la réflexion des responsables du système de production,
- ☞ Une organisation ne peut améliorer effectivement que ce qu'elle peut mesurer et comparer.

La question se pose plutôt de savoir si l'efficacité peut être augmentée pour les productions existantes, et comment la compétitivité peut être améliorée ! La réponse à cette question nous dirige vers une amélioration homogénéisée:

- ⌚ Du personnel mobilisé dans le système de production,
- ⌚ Des techniques utilisées dans le processus de production,
- ⌚ De l'efficacité des installations disponibles dans l'unité de fabrication,
- ⌚ L'organisation de la production.
- ⌚ La gestion du temps.

### 1.2.2. Les critères d'analyse d'un système de production.

Un système de production est analysé si on est en mesure d'identifier tous les événements pouvant perturber le fonctionnement normal. Selon une classification Palisade<sup>2</sup>, on peut dire qu'une analyse d'un système de production peut se faire à travers :

- ✓ Analyse de qualité,
- ✓ Analyse de nouveau produit,
- ✓ Implantation de production,
- ✓ Fermeture d'usine,
- ✓ Analyse de cycle de vie d'un produit.

Aussi l'analyse d'un système de production repose sur l'analyse d'un certain nombre de critères **[MBU 08]**.

*1.2.2.1. Les quantités de biens ou services devant être produites :* Le mode de production variera selon que la production de l'entreprise est unitaire (une seule unité produite à chaque fois), ou en séries plus ou moins importantes (petites, moyennes ou grandes séries). Plus le volume de la production est important, plus le mode de production sera standardisé et reposera sur une structure de production formelle est rigide.

---

<sup>2</sup> **Palisade Corporation** est un groupe de chercheurs qui s'est engagé à développer des logiciels performants, innovants et des solutions pour l'analyse des risques et aide à la décision.

1.2.2.2. La nature du processus de production : Celui-ci peut être de nature continu (la production ne s'arrête jamais et est concentrée en un seul lieu) ou discontinue (production à la demande ou fractionnée dans le temps ou dans l'espace).

1.2.2.3. La nature du type de gestion de la production : La fonction de production peut être pilotée soit par la demande (pilotage par l'aval) c'est-à-dire que c'est la commande passée par le client qui déclenche le processus de fabrication, soit pilotée par l'amont, c'est-à-dire que le processus de production répond à un cahier des charges prédéfini ce qui peut se traduire par la constitution de stocks de produits finis.

1.2.2.4. La nature de l'implantation de l'outillage : Le processus de production peut reposer soit sur des ateliers spécialisés qui regroupent l'ensemble des postes de travail de même nature, soit sur des ateliers autonomes qui assurent l'ensemble des tâches nécessaires à la réalisation d'une production, soit par ligne (chaîne de fabrication) ou se succèdent les différentes tâches nécessaires à la production d'un bien qui circulent d'un bout à l'autre de la chaîne de production.

### 1.3. Approches proposées pour analyser un système de production.

Des travaux de recherches sont faits dans le contexte de gestion des risques (dysfonctionnements) dans un système de production, l'objectif de cette partie d'étude, nous permet de donner des idées sur lesquelles on peut agir pour élaborer la notre.

#### 1.3.1. Analyser un système de production selon sa performance globale :

Nous présentons dans ce qui suit trois approches différentes identifiant la notion de performance globale.

##### 1.3.1.1. L'efficacité, l'efficience et la pertinence d'un système de production.

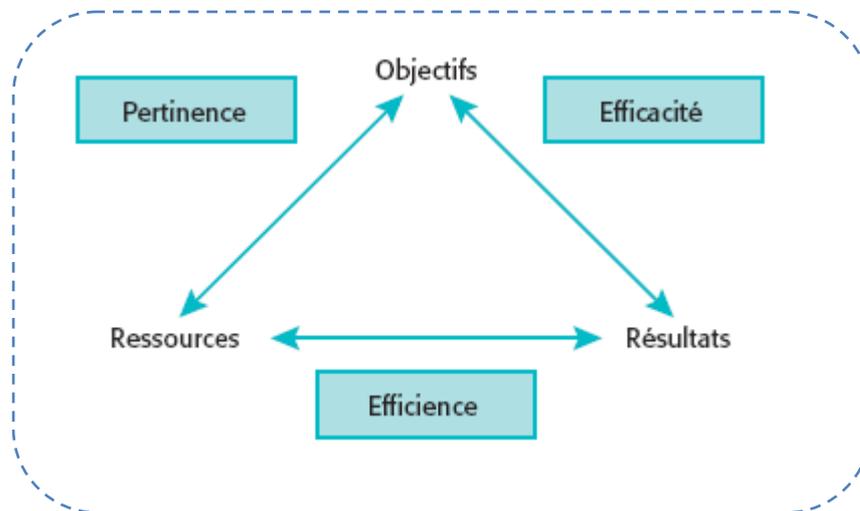
On mesure souvent la performance par des chiffres, des bénéfices ou une rentabilité à atteindre, mais en réalité c'est une notion plus globale. Selon [ALG 08], on doit répondre à deux questions de base :

- ☞ Pourquoi doit-on toujours évaluer la performance ?
- ☞ Comment peut-on définir des critères de performance pertinents et actualisés ?

La performance résulte davantage d'un ensemble d'améliorations et de progrès dans une entreprise que de l'évolution de résultats chiffrés. Selon [ALG 08], la performance consiste à pouvoir suivre et appliquer une stratégie en laquelle une majorité d'individus croit. Une partie de cette stratégie a bien sûr pour objectif d'obtenir des résultats financiers positifs, mais elle implique aussi d'atteindre d'autres objectifs comme de préserver la notoriété d'une marque, d'améliorer l'image de l'entreprise, de développer l'innovation des produits, d'améliorer les processus, le service après-vente, etc.

La performance consiste, à obtenir un certain résultat à partir d'objectifs donnés, avec des moyens forcément limités et dans un environnement soumis à des changements imprévisibles [ALG 08].

Au fond, la performance est un résultat optimal obtenu par l'utilisation la plus efficace possible des ressources mises en œuvre. Il est important que tout le monde sache où le système va, ce que l'on fait, où on veut aller, afin d'aller tous dans la même direction et que chacun puisse contribuer efficacement à la finalité de l'entreprise. Selon cette étude, [ALG 08], l'analyse d'un système de production se fait à travers trois critères :



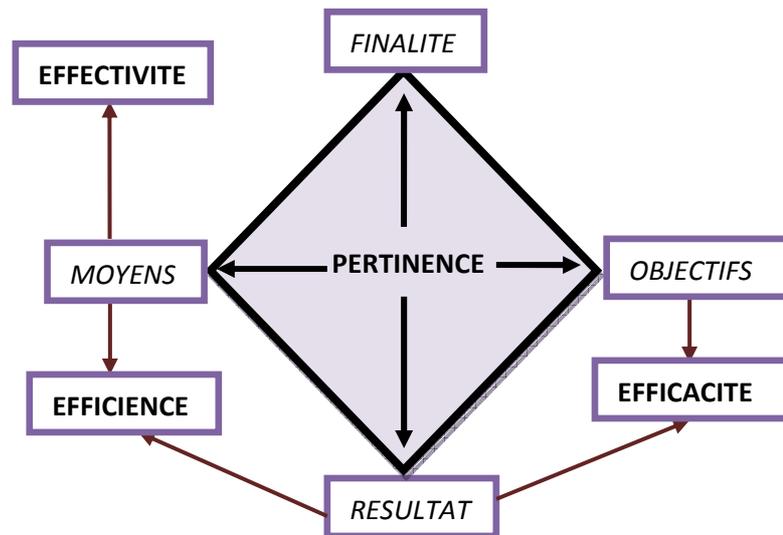
**Figure I.5:** Analyse d'un système de production par sa performance [ALG 08].

Où :

- L'**efficacité** met en relation les résultats obtenus et les objectifs fixés;
- L'**efficience** met en relation les résultats obtenus et les moyens utilisés (ou les coûts engendrés) ;
- La **pertinence** met en relation les ressources mobilisées et les objectifs fixés ;

### 1.3.1.2. La parfaite cohérence d'un système de production.

Pour [SEN 04], l'assurance de la performance globale d'un système de production permet de réduire les possibilités de tout risque (dysfonctionnement) dans les systèmes de production. A cet effet, il est impératif d'intégrer (dans la mesure du possible) les quatre leviers de base d'un système automatisé (la **précision**, la **rapidité**, la **stabilité** et la **robustesse**) dans le fonctionnement des systèmes de production. Par conséquent, on peut dire que [SEN 04] : Un système de production n'est véritablement performant que si : sa **finalité**, les **objectifs** qui lui sont attribués, les **résultats** qu'il fournit et les **moyens** qu'il met en œuvre sont en **parfaite cohérence** (Figure I.6).



**Figure I.6:** La performance globale d'un système de production [SEN 04].

### I.3.1.3. Evaluation d'un système de production par des modèles de référence.

Un modèle d'entreprise de référence a la propriété d'identifier, de rassembler et de représenter l'ensemble des éléments propres à un système entreprise. Il est obligatoirement basé sur un modèle conceptuel (ou architecture de référence) qui identifie les éléments de base à rechercher dans le système [DUC 07].

L'objectif de cette étude, dans le domaine de l'analyse des systèmes de production, s'occupe sur le suivi continu de la stratégie de gestion de performance des entreprises [DUC 07], dont le but est :-

- La modélisation des entreprises (modèle GRAI),
- Evaluation de performance des entreprises (les indicateurs de performance, qualité...).

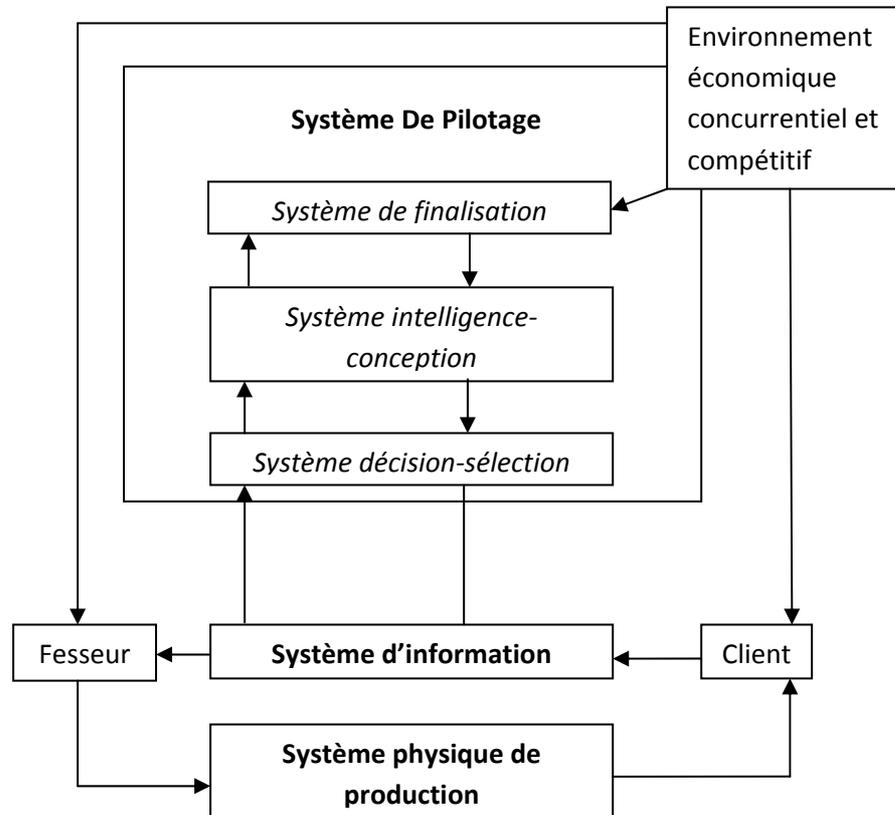
Pour cela, le chercheur a utilisé les méthodes de gestion de performance d'entreprise (GRAI, ECOGRAI...), pour modéliser tous le système de l'entreprise.

Le but des recherches, selon [DUC 07], s'est focalisé sur :

- Le domaine de la conception de système, notamment par l'utilisation de la modélisation d'entreprise pour l'élaboration de modèles de référence.
- Le domaine d'exploitation des systèmes de production d'entreprise, notamment par l'utilisation des modèles d'entreprise pour l'évaluation de la performance multicritères (qualité, sécurité, environnement,...).
- Le domaine de la gestion de l'évolution des systèmes de production par l'utilisation des modèles d'entreprise pour la caractérisation de l'interopérabilité (avec les objectifs auxquels le système est destiné) et la démarche d'évolution vers l'interopérabilité (compatibilité des objectifs de l'entreprise avec son évolution).

### I.3.2. Analyser un système de production selon sa décomposition.

Pour que les entreprises restent compétitives, elles doivent faire évoluer la structure de leurs systèmes de production [MES 07]. Aussi un modèle de système de production a été proposé (Figure I.7) :



**Figure I.7:** La décomposition d'un système de production automatisé [MES 07].

Avec les caractéristiques suivantes :

- **Système de finalisation :** caractérisé par un des concepts de : « changement continu » et de « progrès permanent ».
- **Système d'intelligence :** formulé les problèmes de production qui ont apparu sous un langage compréhensible par l'outil de traitement.
- **Système de conception :** élabore les plans d'actions dont lesquels il projette de résoudre les problèmes de production formulés.
- **Système de décision-sélection :** doit comparer l'évaluation des plans d'actions élaborés lors du plan de conception afin de choisir les solutions adaptées par rapport aux objectifs d'amélioration continue de la performance industrielle.
- **Système d'information :** identifie les problèmes de production et pilote le système physique (coût, qualité, délai).

Tout risque de perturbation (dysfonctionnement) du système de production peut s'apparaitre dans l'une de ces composantes (**Figure I.7**), pour cela, l'analyse d'un système de production automatisé doit prendre en considération tout événement qui peut apparaitre et perturber la hiérarchie du système de production.

### **I.3.3. Analyser un système de production selon des sous systèmes intégrés.**

#### **I.3.1. Un sous système de management de la sécurité.**

L'évaluation des risques est un pôle intéressant pour le système de management de la sécurité des systèmes de production. En effet, une analyse bien faite d'un système permet d'établir des objectifs pertinents. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer d'outils performants, adaptés à chaque entreprise. Le responsable sécurité, dans une entreprise, doit donc connaître et choisir les critères et méthodes existants les plus adaptés aux activités de son organisme.

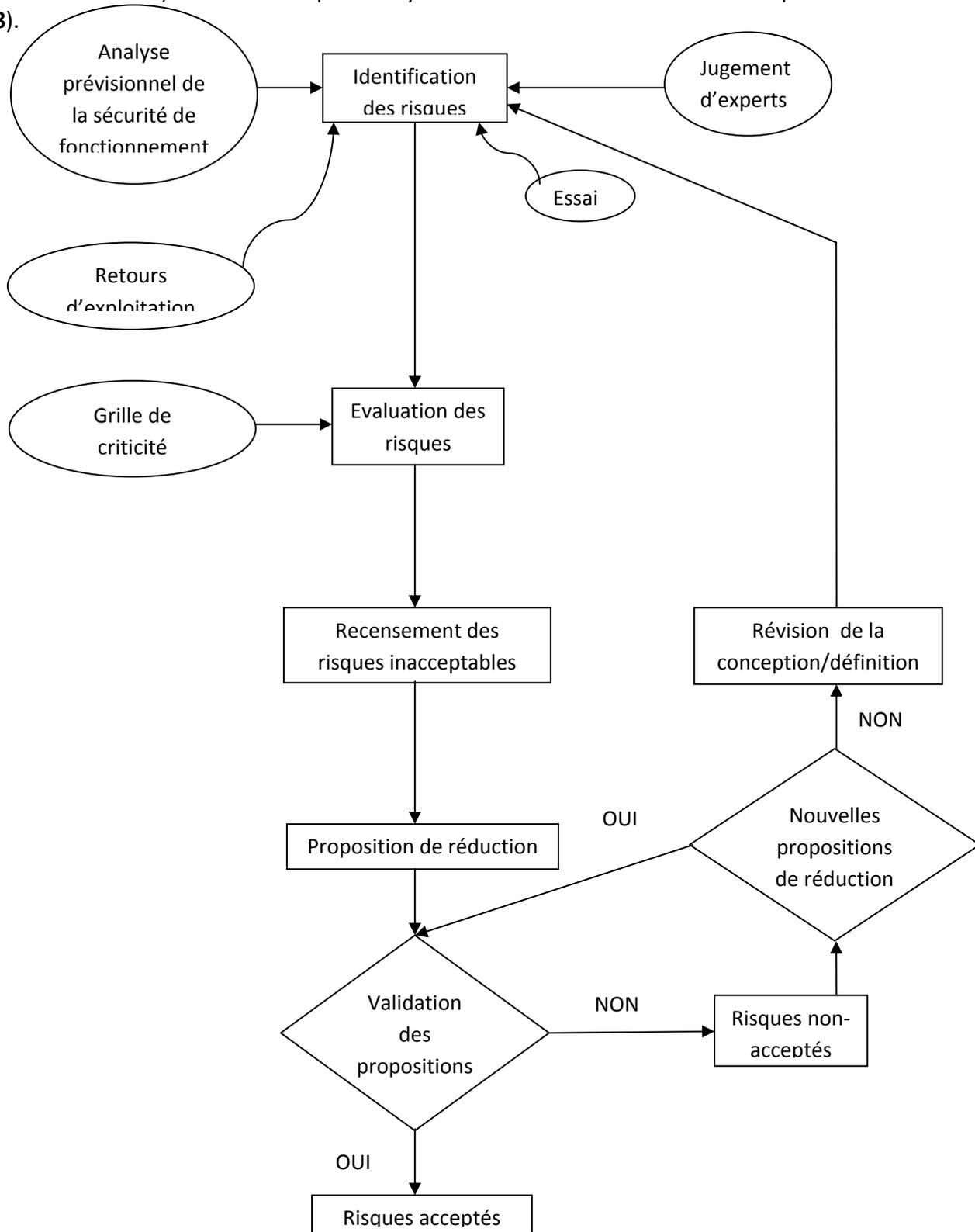
Selon une étude, [**MOR 91**], détaillée sur le domaine des systèmes de management de la sécurité des systèmes de production, une démarche d'assurance de la sécurité des systèmes industriels a été proposée pour agir sur toute « possibilité » d'avoir un risque de dysfonctionnement qui peut influencer sur le fonctionnement normal d'un système de production. Pour cela, 4 types d'erreurs peuvent influencer directement le système de production :

- **Erreurs de définition** : Pour cela, on peut citer les erreurs au niveau :
  - Du choix non adéquat du lieu d'implantation du système,
  - Du degré d'automatisation,
  - Des critères d'acceptabilité des risques du système,
  - .....etc.
- **Erreurs de conception** : la plus répandue :
  - Des données techniques incohérentes nécessaires à la fabrication ou au montage.
- **Erreurs de réalisation** : Ce genre d'erreurs concerne l'exécution du projet de la production lui-même, elles peuvent résulter d'une non-conformité à des spécifications techniques.
- **Erreurs d'exploitation** : Cette catégorie d'erreurs peut avoir lieu à cause :
  - Du personnel mal formé pour l'utilisation d'une technique adoptée, d'une discipline exigée, .....
  - Du personnel non sensibilisé,
  - Du non respect du mode opératoire,
  - .....etc.

L'apparition des erreurs non souhaitées dans le déroulement des activités d'un système de production peuvent engendrer deux types de risques de d'avoir un problème de dysfonctionnement :

- 🔔 Risque acceptable.
- 🔔 Risque inacceptable.

Un processus de maitrise des risques [MOR 91], est défini, il permet de ramener (par réduction ou élimination) l'effet du risque de dysfonctionnement à un niveau acceptable (Figure I.8).



**Figure I.8:** Traitement des risques de production [MOR 91].

### I.3.2. Un sous système de management des risques.

Ces dernières années, de nombreux concepts de management des risques (leadership, management des risques d'entreprises (ERM), .....etc.) ont été développés et ont évolué. Mettre en œuvre un système intégré, le maintenir et l'améliorer en continu, requiert des compétences et une vision beaucoup plus transversales qu'auparavant.

L'objectif d'analyser est gérer les risques pour prévenir tout dysfonctionnement ou tout accident qui peut créer un effet néfaste ou dégradant, sur un système. Une étude **[SIE 09]**, a été faite dont l'objectif est de : synchroniser le cycle de management des processus et celui du management des risques en positionnant les activités de gestion des risques dans le cycle de management des processus en vue d'améliorer la maturité de l'entreprise. Cette démarche nécessite l'intégration du management des risques et qui considère les risques comme étant une composante à part entière de l'ingénierie d'entreprise est qui doit être prise en considération dans la gestion globale de l'entreprise. Les bases de cette expérience peuvent se résumer comme suit:

- ⌚ La formulation du problème d'intégration des connaissances, tirées après avoir faire une synthèse de connaissance aux univers des risques (d'une manière générale), qui nécessite une bonne compréhension du système dans une entreprise ;
- ⌚ La description d'un cadre méthodologique pour le management intégré des risques : Il repose sur trois axes:
  - La coordination des cycles de vie de la gestion des risques et de la gestion des processus métier ;
  - La définition d'un cadre conceptuel unifié permettant d'identifier et de maîtriser les informations échangées entre les différents cycles de vie de gestion : risque/processus ;
  - L'utilisation d'un langage de modélisation adapté pour modéliser le système, on trouve pour cela un ensemble d'outils tel que: **ARIS Business Architect**. (**ARIS Business Architect** : Est un logiciel utilisable à l'échelle de l'entreprise dans sa globalité. Il offre une grande souplesse en matière de modélisation, d'analyse et d'optimisation des processus de l'entreprise).

### I.3.3. Un sous système de prévention des dysfonctionnements de chaines de production.

La démarche de prévention des risques permet de réduire de façon importante les risques probables. Elle améliore l'efficacité de l'entreprise et la fiabilité de ses produits et de ses services. Ces dernières années, la prévention des dysfonctionnements (défaillances) des chaines de production, est demandée, pour deux simples raisons :

- ☞ Leur rentabilité économique, car le coût de la prévention des dysfonctionnements est généralement bien moins élevé que leur traitement quand elles se produisent ;

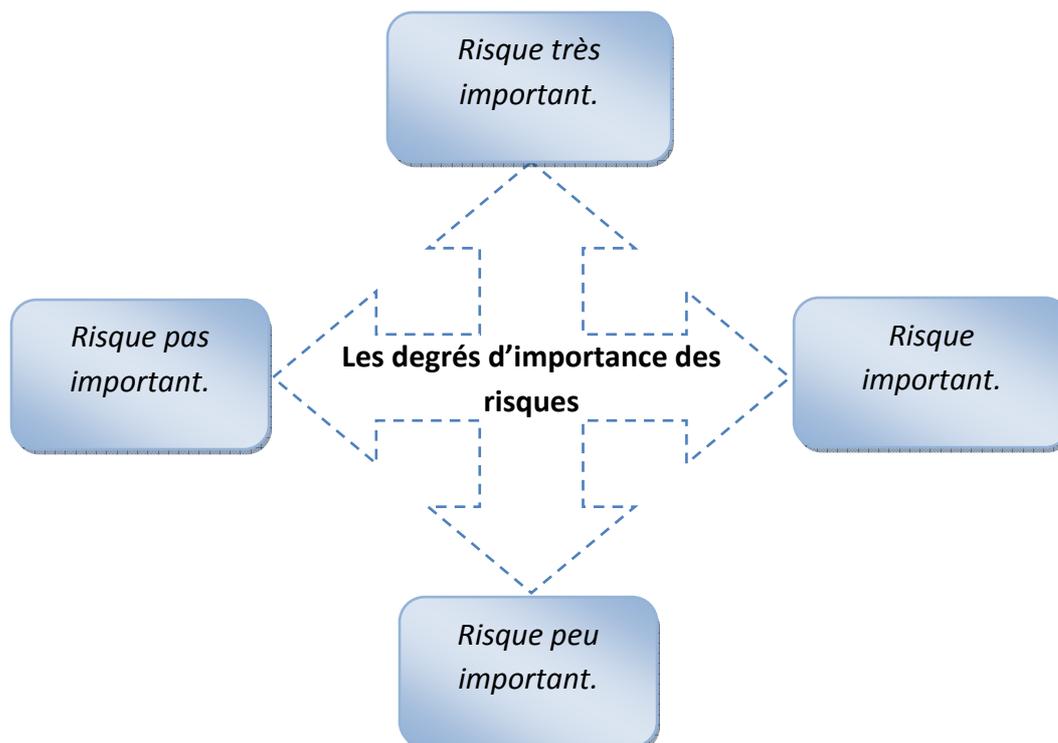
- ☞ L'utilisation, de cette technique, a objectif de base, pour les systèmes de production, de mieux fiabiliser leurs processus de production et leurs projets, ainsi que pour limiter le coût des défaillances.

La question intrinsèque qui se pose est : **Comment prévenir les risques d'avoir un dysfonctionnement dans un système de production?**

La réponse à cette question fait référence à une étude publiée par une association *NetPME*<sup>3</sup>. Cette étude définit une démarche de prévention des risques qui comprend trois étapes:

1. Lister d'abord l'ensemble des risques qui pourraient pénaliser de façon sérieuse l'activité ou mettre en péril l'exploitation ;
2. Une fois cette liste établie, hiérarchiser les risques par ordre d'importance.

Dans une approche simplifiée de l'évaluation des risques, on classera les risques en 4 catégories (**Figure I.9**):



**Figure I.9:** Classification des risques.

- **Remarque :** Cette classification tient compte de la gravité estimée du risque et de sa probabilité d'apparition.

<sup>3</sup> Article publié par Carine CEPI, *Le Journal des Entreprises*, France, 2008.

3. On définit ensuite des actions préventives en vue de réduire les risques jugés les plus importants jusqu'à ce que le risque résiduaire soit considéré comme acceptable.

Un système de management des risques peut avoir l'ajout d'un sous système pour prévoir les risques :

#### ***1.3.3.3.a. Un sous système de prédiction des éventuelles dégradations.***

Une démarche proposée par [MED 08], consiste à montrer l'utilisation des réseaux bayésiens (**Un réseau bayésien est un modèle probabiliste graphique permettant d'acquérir, de capitaliser et d'exploiter des connaissances**) statiques et dynamiques dans le domaine de la localisation des défaillances (diagnostic) et de l'anticipation ou de la prédiction des éventuelles dégradations pouvant affecter un système dynamique. Dans le premier cas, les réseaux bayésiens statiques sont utilisés pour calculer les probabilités a posteriori de ou des causes les plus probables d'une anomalie observée (observation ou évidence). Dans le second cas, les réseaux bayésiens dynamiques sont utilisés pour tenir compte de la dynamique du système et permettre de prédire son comportement futur en fonction de son état actuel et d'autres variables ou contraintes exogènes.

#### ***1.3.3.3.b. Un sous système de surveillance du processus de la production.***

Une nouvelle approche de surveillance des systèmes à événements discrets a été développée [RAY 04]. Elle est basée sur la surveillance du temps de service en utilisant l'automate temporisé comme outil de modélisation. Partant d'un système commandé, le premier objectif est la surveillance des différentes activités de ce système afin d'améliorer sa disponibilité. Ceci se traduit par la minimisation du nombre d'arrêts qui pénalisent la production, en suivant en temps réel, l'état de fonctionnement des différents capteurs du système. Ainsi pour chaque tâche, la surveillance du temps écoulé entre deux événements (l'instant où la commande a donné l'ordre de démarrer une tâche et l'instant où le capteur indique la fin d'exécution de la tâche) permet de détecter au plutôt d'éventuelles défaillances. La deuxième phase correspond au diagnostic qui consiste en la détermination des causes du problème observé.

La plus part des approches de surveillance utilisent un modèle de référence basé sur la connaissance à priori de toutes les situations interdites du système. Le modèle de surveillance proposé présente un réel avantage. En effet, la détection d'éventuelles défaillances ne nécessite pas une liste exhaustive de toutes les défaillances possibles du système. En fonction de la catégorie du système de production et de la nature des tâches à surveiller nous introduisons une tolérance sur la durée de la tâche à surveiller. Ainsi, la notion de fonctionnement en 'mode dégradé' est introduite. Au-delà de cette tolérance, le système sera effectivement dans un état de 'défaillance'. Différents cas d'application de la démarche proposée ont été illustrés pour permettre de montrer la puissance d'une cette approche.

### I.3.4. Analyse d'un système selon les attributs de la sûreté de fonctionnement (SdF).

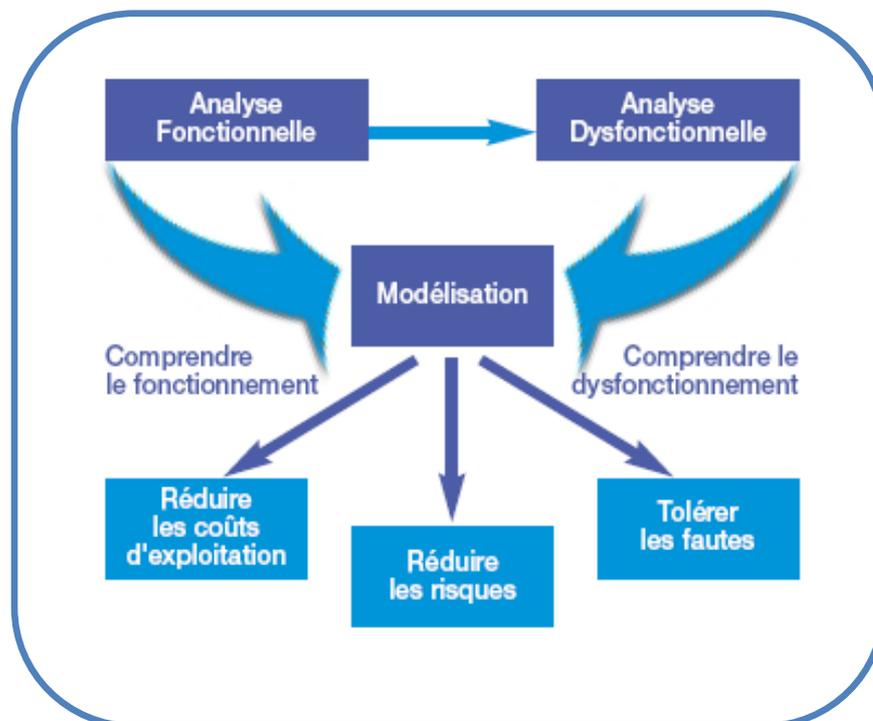
#### I.3.4.1. Analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle d'un système de production.

Les préoccupations dites de **sécurité** sont très présentes dans le monde des procédés qui se déroulent dans les systèmes manufacturiers. Dans les applications de type manufacturier, les préoccupations sont plutôt liées à la **disponibilité**. Dès lors que la sécurité ou la disponibilité d'un système est mise en défaut, on incrimine sa **fiabilité**. Enfin, en cas de dysfonctionnement, il convient de remettre le système en conditions de fonctionnement initial : c'est là qu'intervient la **maintenabilité**. Ces quatre caractéristiques constituent la sûreté de fonctionnement des constituants d'un système de production, dont le but est de mesurer la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée, à fin d'intercepter tout évènement redouté qui peut engendrer des entraves sur le rendement du système de production.

#### - La pratique de la SdF :

L'étude de sûreté de fonctionnement comporte deux volets complémentaires (**Figure I.10**) [CHE 04]:

- ☞ Une analyse fonctionnelle : Qui va détailler la manière dont le système va opérer dans toutes ses phases de vie ainsi que les autres systèmes avec lesquels il va pouvoir interagir ;
- ☞ Une analyse dysfonctionnelle : Qui vise à imaginer l'ensemble des défaillances pouvant survenir dans le système, seules ou combinées entre elles, et à analyser l'impact de ces pannes.

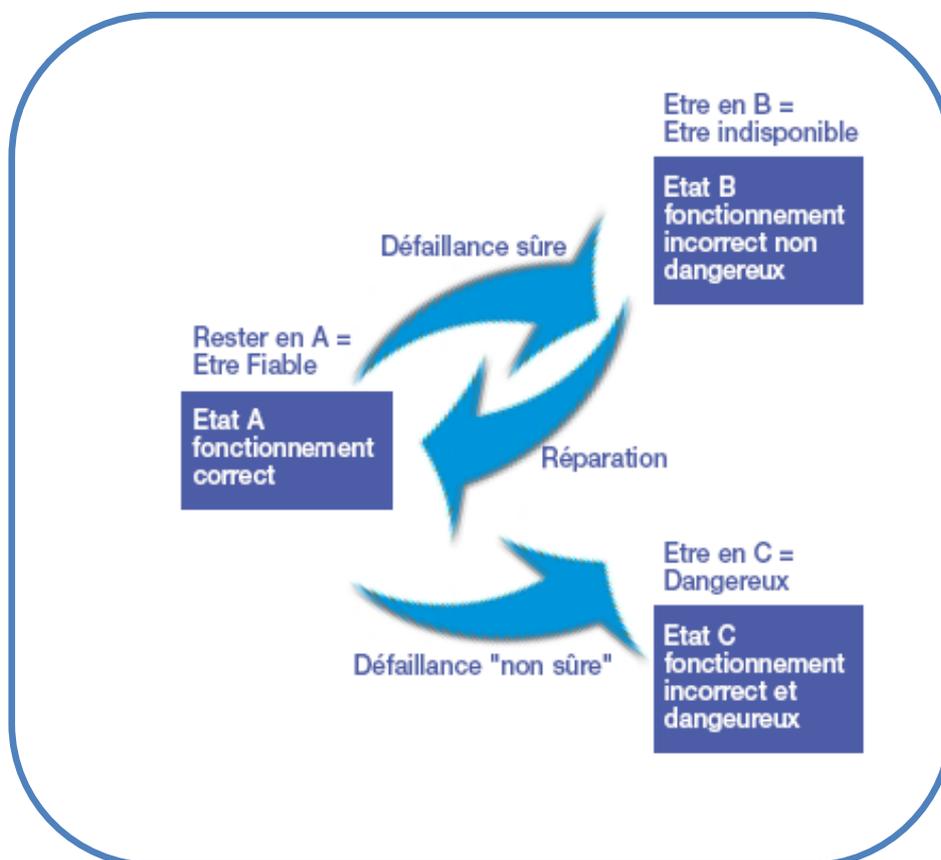


**Figure I.10:** Analyse de sûreté de fonctionnement [CHE 04].

L'objectif d'une telle analyse permet une bonne compréhension du système, auquel cette dernière est destinée, et ceci pour :

- ⌚ Réduire au maximum les risques ;
- ⌚ Réduire au maximum les coûts d'exploitation ;
- ⌚ Tolérer, dans la mesure du possible, certaines fautes en autorisant un fonctionnement en mode dégradé sous certaines conditions.

Les résultats de ces deux études (fonctionnelle et dysfonctionnelle) **[CHE 04]**, sont mis en commun dans une modélisation du système qui va représenter virtuellement celui-ci avant sa réalisation, tant dans son fonctionnement attendu que dans les pannes susceptibles de lui arriver.



**Figure I.11:** Le cycle d'un système de production **[CHE 04]**.

### I.3.4.2 Analyse des critères (du SdF) évalués par une simulation de Monte Carlo **[OCN 08]**.

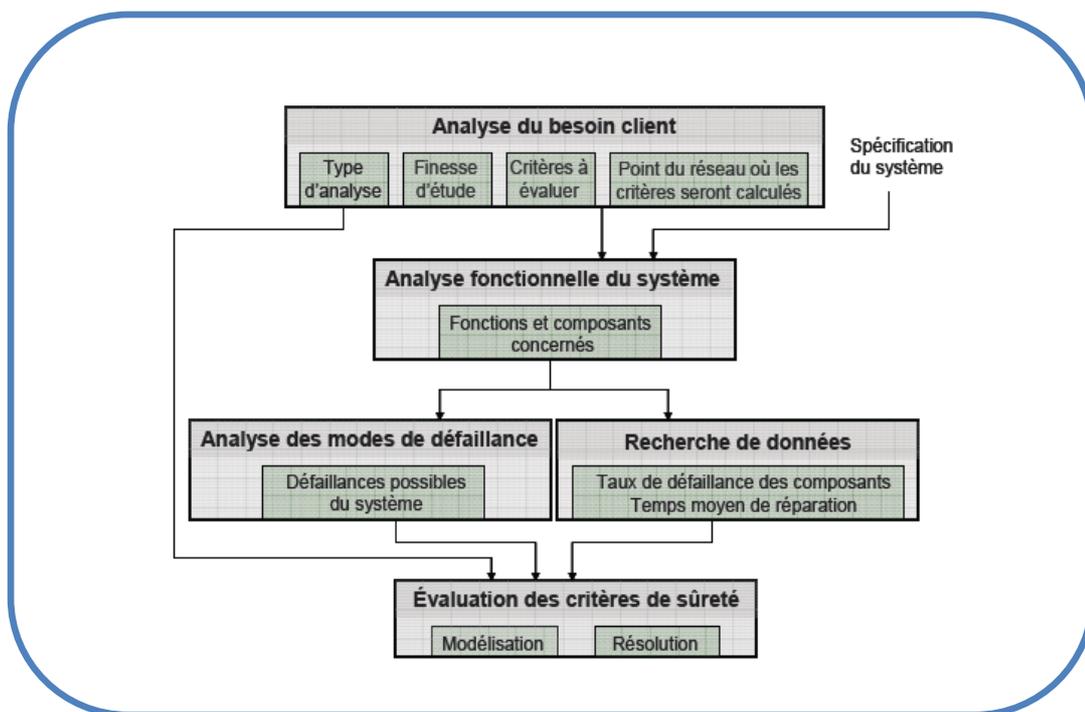
Au sens large, la sûreté de fonctionnement est définie comme étant la science des défaillances incluant leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maîtrise **[OCN 08]**. Au sens strict, la sûreté de fonctionnement est vue comme la notion qui mesure la qualité du service délivrée par un système.

- **Le choix des critères du SdF à évaluer [OCN 08]:**

Le choix des critères du SdF dépende de la nature de l'analyse à réaliser, et en même temps du type du système de production sur lequel on va aborder l'analyse. D'une manière générale, on peut constater que : La fiabilité, la disponibilité, la maintenance et la sécurité sont les principales composantes qui définissent la notion de sûreté. Elles sont des grandeurs chiffrables qui dépendent les unes des autres et doivent être prises en compte pour toute étude de sûreté. En même temps, certaines de ces composantes peuvent être contradictoires. Par exemple, pour l'amélioration de la disponibilité d'un composant, on néglige parfois la maintenance préventive et la sécurité diminue en conséquence. Pour cela, on fait appel à d'autres types de critères qui sont considérés comme des grandeurs temporelles moyennes : **MTTF** ou **MTFF** (*Mean Time To First Failure*), **MTTR** (*Mean Time To Repair*), **MTBF** (*Mean Time Between Failure*) , **MUT** (*Mean Up Time*), **MDT** (*Mean Down Time*).

- **Le principe de l'étude [OCN 08]:**

La chronologie suivie dans cette étude, peut être résumé dans le diagramme donné par la **figure I.12** :

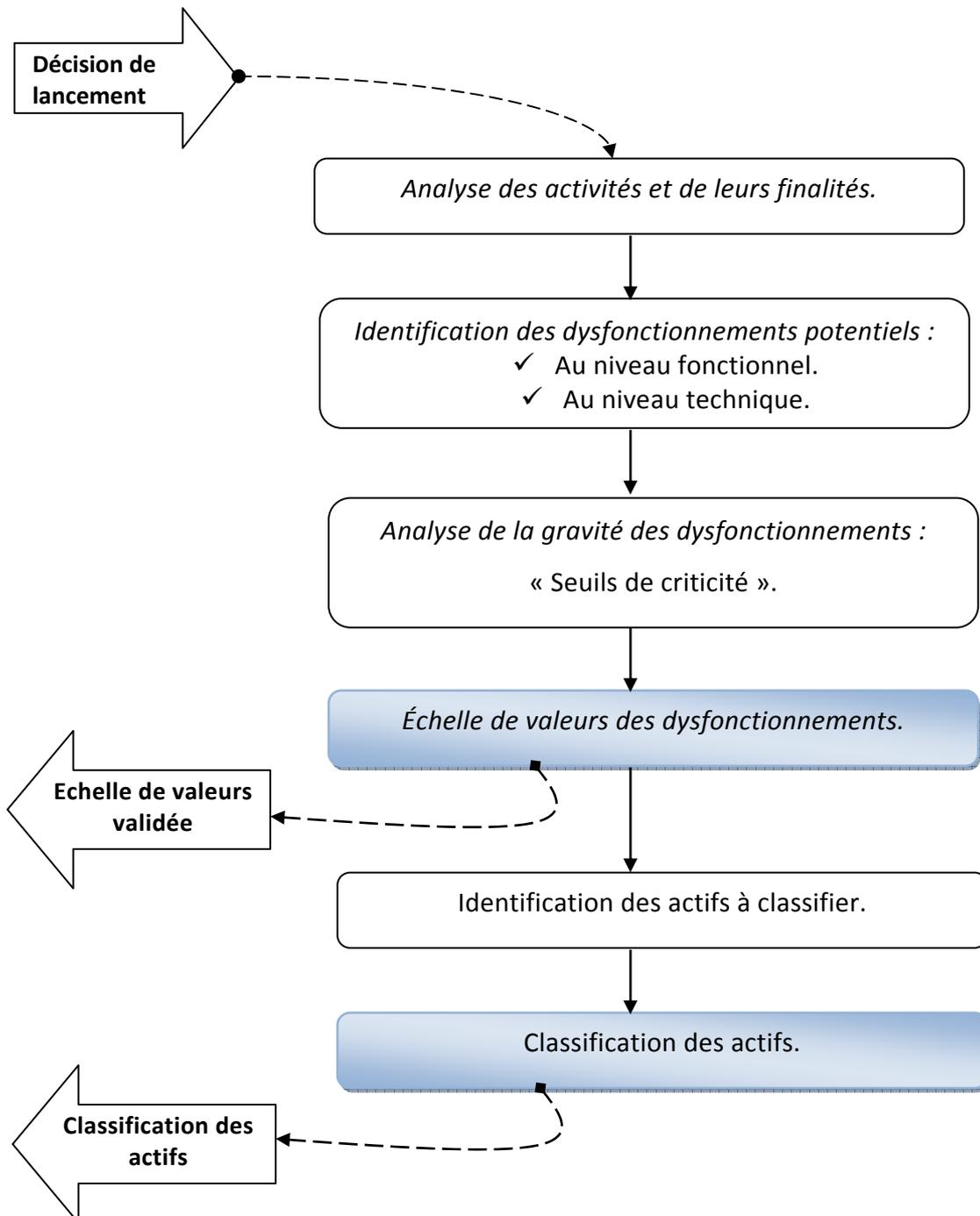


**Figure I.12:** Diagramme de la chronologie de l'étude [OCN 08].

L'objectif de cette recherche consiste à étudier la faisabilité d'une méthode d'optimisation basée sur des critères de sûreté, en minimisant le coût total (coût de la maintenance préventive, maintenance corrective et coût d'interruption des clients).

### I.3.5. Analyse d'un système de production selon une classification de leurs dysfonctionnements [LIO 10].

La démarche MEHARI consiste à procéder à une analyse des activités, dans n'importe quel type de système, et donc des processus de l'entreprise ou de l'organisme, d'en déduire les dysfonctionnements qui peuvent être redoutés, puis d'évaluer en quoi ces dysfonctionnements peuvent être plus ou moins graves, avant d'effectuer, éventuellement, la classification proprement dite des actifs du système d'information, selon le schéma ci-dessous de la **figure I.13** :



**Figure I.13:** Classification des dysfonctionnements [LIO 10].

L'analyse des systèmes, selon cette démarche, se concrétise par deux résultats principaux :

### **I.3.5.1. L'échelle de valeurs des dysfonctionnements :**

Cette analyse se déroulera en quatre étapes :

- 🔔 **Etape 1:** L'identification des activités majeures et de leurs finalités,
- 🔔 **Etape 2:** L'identification des dysfonctionnements redoutés de chaque activité, ceci pouvant se faire,
  - Au niveau de l'activité (technique) : Ce genre de dysfonctionnements est significatif dans la mise en œuvre des moyens requis pour les activités de l'entreprise ou de l'organisme. Les moyens mis en œuvre peuvent être : les moyens matériels (locaux, équipements, ...etc.), les moyens immatériels (fichiers, bases de données, ...etc.), Les moyens en personnel.
  - Au niveau fonctionnel : ce genre de dysfonctionnements peut être engendré par des défauts de: ponctualité<sup>4</sup>, conformité<sup>5</sup>, exhaustivité<sup>6</sup>, justesse<sup>7</sup>, discrétion<sup>8</sup>, contrôle<sup>9</sup>.
- 🔔 **Etape 3:** L'évaluation du niveau de gravité de ces dysfonctionnements, activité par activité,
- 🔔 **Etape 4:** La détermination et la validation d'une échelle de valeurs globale, au niveau de l'entité.

### **I.3.5.2. La classification des actifs<sup>10</sup>:**

Le but de la classification des actifs, dans des tableaux de classification, est de définir des "étiquettes" que l'on peut attacher à chacun de ces actifs, afin de faire savoir à tous ceux qui sont amenés à travailler avec ces actifs, en quoi et dans quelle mesure ils ont de l'importance pour la sécurité.

### **I.3.6. Analyse d'un système non industriel:**

Le terme de maîtrise des risques a été retenu pour désigner la démarche visant à réduire les risques. Le but, de présenter cette démarche, consiste à essayer de prendre les facteurs communs entre ce genre de système et notre système à fin de prendre en considération comment traiter les problèmes, qui peuvent avoir lieu malheureusement son désire, et peut

<sup>4</sup> Les tâches prévues ou les activités ne sont pas effectuées dans les délais prévus.

<sup>5</sup> Les tâches prévues ou les activités ne sont pas effectuées conformément à ce qui est spécifié.

<sup>6</sup> Les tâches prévues ou les activités ne sont effectuées que partiellement (mais ce qui est effectué est conforme à ce qui est spécifié).

<sup>7</sup> Des tâches ou des activités non prévues ni spécifiées sont effectuées en supplément.

<sup>8</sup> Des informations sont divulguées à l'occasion de l'accomplissement des tâches ou activités.

<sup>9</sup> Les tâches prévues ou les activités se déroulent conformément à ce qui est spécifié mais sans contrôle ou sans visibilité.

<sup>10</sup> Tout objet (informations, éléments du système d'information, équipements, etc.), qui peut jouer un rôle dans le système auquel l'analyse est destinée.

être va nous aider de donner des solutions méthodologiques qu'on peut l'intégrer dans notre planification d'analyse. Cette approche d'analyse comporte [CHE 03] :

**a. L'identification des risques :**

Dans cette étape, les risques peuvent être identifiés grâce à la connaissance d'événements indésirables (Dysfonctionnement, Accident,...), et comme notre thème s'intéresse à l'aspect dysfonctionnel, et à partir de cette étude ; on peut dire que dans cette étape : les dysfonctionnements dans un système de production, représentent un problème au regard d'un fonctionnement normal (pas de : Non-conformité, Anomalie, Défaut).

**b. L'analyse des risques :**

Permet d'approfondir la connaissance des risques identifiés :

- Détermination de la fréquence et de la gravité d'apparition du risque,
- Identification des causes racines.

**c. Le traitement des risques :**

Cette étape repose sur une combinaison de trois mécanismes :

1) La prévention et récupération :

Pour réduire la fréquence du risque. **La prévention** sert à éviter que ne se produisent les défaillances, elle peut être obtenue soit par la suppression du risque ; soit par la suppression de l'activité ; soit par la modification du procédé en éliminant les étapes porteuses du risque. La récupération permet de traiter la défaillance entre le moment où elle se produit et l'apparition de l'événement redouté auquel elle aurait pu conduire.

2) Protection (Ou atténuation) :

Cette phase, permet de réduire les conséquences d'un risque qui s'est réalisé.

Chacun de ces mécanismes (*prévention, récupération et Protection*), met en jeu des concepts et des stratégies, ils doivent être utilisés de façon coordonnée. Pour cela :

**NIVEAU DE SECURITE obtenu =**

**Mesures de prévention + Mesures de récupération + Mesures de Protection.**

#### **I.4. Conclusion.**

Dans ce chapitre, on a constitué notre étude de deux axes principaux. Dans le premier, nous nous avons souligné des notions de base que n'importe quel procédé de fabrication d'un système de production industriel doit les supporter pour que sa production peut répondre, dans le temps, aux exigences de leurs clients. Nous nous sommes affranchis de certains concepts indispensables qui assurent un bon déroulement du process de fabrication d'un

système de production industriel, que la spécification de la typologie des chaînes de production, des facteurs intrinsèques qui peuvent guider les responsables du système d'atteindre leurs objectifs de production, l'organisation des tâches, le contrôle et la collaboration entre les différents postes (interne/externe) du système de production,

Dans Le deuxième axe, on a présenté des approches à travers des études qui ont été faites dans le même objectif que le notre, elles apportent des concepts intéressants qui nous sert à faciliter la compréhension des axes qu'on doit les prendre en considération pour dessiner notre cadre méthodologique pour faire notre analyse du système de production, dont le but est de réaliser un outil qui puisse aider les managers du système de production à le diriger vers l'atteinte des objectifs auxquels il est destiné à l'aide de ressources matérielles et humaines. Pour cela, notre regard est tend vers:

- 🔔 Une harmonisation des ensembles informationnels, décisionnels et physiques.
- 🔔 Une volonté commune (partagée par l'ensemble du personnel de l'entreprise) d'atteindre les objectifs fixés.
- 🔔 Il faut un degré raisonnable d'automatisation des systèmes de production.
- 🔔 Une programmation continue du diagnostic du système de production.
- 🔔 La fixation préalable des objectifs à atteindre et la définition des tâches permettant de les atteindre : c'est le pilotage du système de production.
- 🔔 Un ordonnancement et une répartition claire des tâches entre les membres de l'entreprise.
- 🔔 La vérification continue des indicateurs de la sûreté de fonctionnement (disponibilité ; maintenabilité,...).
- 🔔 Intégrer l'aspect de la flexibilité dans le processus de production.
- 🔔 Etude détaillé du système de production dans son environnement (clients, fournisseurs,...).

# Chapitre II : La Simulation Monte Carlo.

## II.1. Introduction.

La performance globale d'un système de production est le résultat d'une interaction complexe de nombreux facteurs aussi variés que : la vitesse d'un engin de manutention, le temps de changement d'outil sur une machine, les principes d'ordonnancement utilisés ou encore le savoir-faire d'un opérateur. Cette superposition des facteurs nécessite de modéliser le système industriel et de le représenter par un modèle où toutes ses composantes interagissent, qu'elles soient des flux physiques ou des flux d'informations. On utilise un modèle quand on veut comprendre un système réel que l'on ne peut pas observer ou expérimenter directement, parce qu'il n'existe pas encore ou parce qu'il est trop difficile à manipuler. Par simulation, il est possible de mesurer l'impact relatif de chacune de ses composantes sur la performance globale du système de production. Ainsi, la modélisation et la simulation de la partie opérative du système permet de fournir les informations nécessaires au système de pilotage.

## II.2. Pourquoi simuler un système ?

La modélisation est le processus de conception d'un modèle d'un système, tandis que la simulation est le processus d'implantation du modèle. Les simulations sont faites sur ce modèle dans le but de comprendre le comportement du système et/ou d'évaluer différentes stratégies pour différentes opérations du système.

La simulation est l'un des plus puissants outils d'analyse des systèmes complexes. Aujourd'hui, elle est devenue indispensable pour résoudre les problèmes d'optimisation des flux physiques ou des flux d'informations dans les systèmes de production manufacturiers.

La simulation permet de répondre à la question : « Qu'obtiendra-t-on si l'on fait ceci ? » mais ne permet pas de répondre à la question : « Que faut-il faire pour obtenir cela ? ». Pour aboutir à une solution intéressante, il faut tester un nombre suffisant de scénarios afin de les comparer et de retenir le plus intéressant. La simulation est une démarche par induction (étude de cas particuliers afin d'aboutir à une conclusion, la plus générale possible) et non par déduction (solution obtenue par un raisonnement, un algorithme).

Une simulation qui est soumise à un certain degré aléatoire est connue sous le nom de simulation stochastique. Chaque fois que la simulation (ou expérience) se réalise, il existe un certain nombre de résultats possibles. Après avoir réalisé plusieurs fois la simulation, nous pouvons constater que certains résultats se produisent plus souvent que d'autres et qu'il est possible de leur assigner des probabilités d'occurrence. L'espace d'échantillonnage d'un processus stochastique contient tous les résultats possibles. Les résultats sont des conséquences des événements auxquels est soumis le système étudié **[FLE 07]**.

### II.2.1. Objectifs d'une simulation.

La simulation permet d'évaluer les performances d'un système de configuration donnée :

- Au niveau de la structure physique (conception de nouveaux systèmes) ;
- Au niveau du système de décision (exploitation, réorganisation).

### II.2.2. La simulation d'un système de production.

En production, la simulation permet d'évaluer certains effets tels que [DRA 01]:

- ☞ Suppression/adjonction de machines/de main d'œuvre ;
- ☞ Modification du processus de fabrication : gammes, temps de fabrication et de préparation ;
- ☞ Présence d'aléas de fabrication : pannes/réparation des machines, rupture des stocks, commandes urgentes ;
- ☞ Capacité des stocks ;
- ☞ Ordonnancement : politiques de lancement, règles de gestion des files d'attente, affectation des ressources, ...
- ☞ Insertion de nouveaux produits/suppression des produits existants.

### II.2.3. Le processus de simulation d'un système.

#### II.2.3.a Démarche de simulation.

La réalisation d'un modèle de simulation (ceci est nécessaire si l'observation du système est impossible ou bien nécessite trop de temps ou entraîne des coûts prohibitifs) implique de répondre, avant toute chose, aux questions suivantes [FLE 07]:

- 🔔 Quel est le but de l'étude ?
- 🔔 Quelles sont les hypothèses simplificatrices qu'il est raisonnable de faire ?
- 🔔 Combien de temps faut-il observer le modèle afin de tirer des conclusions valables pour le système ?
- 🔔 Que doit-on évaluer avec le modèle, et sous quelle forme doit-on rendre les résultats ?
- 🔔 Comment peut-on s'assurer que le modèle obtenu est correct, c'est-à-dire qu'il fournit des estimations correctes pour les critères retenus ?

#### II.2.3.b Les étapes d'une simulation automatisée.

Une étude de simulation requiert le plus de temps et de savoir-faire dans un projet d'analyse (étude) d'un système donné. On peut découper un projet de simulation avec l'enchaînement de trois grandes parties complémentaires [DRA 01] :

- a. **Première partie** : Analyse du système existant ;
- b. **Deuxième partie** : Elaboration du modèle du système à étudier ;
- c. **Troisième partie** : Exécution de la simulation ;

Où chacune d'elles est réalisée par une suite de phases:

- a. Analyse du système existant : L'objectif de base de cette partie est de comprendre le système réel. Elle regroupe les phases suivantes :

- ☞ Identification du problème ;
- ☞ Définition des objectifs (cahier des charges) ;
- ☞ Collecte des données/analyse des données ;
- ☞ Rédaction d'un dossier d'analyse fonctionnelle ;
- ☞ Validation.

**b. Elaboration du modèle du système à étudier** : A travers cette partie, on peut avoir un système modélisé à travers les pas suivants :

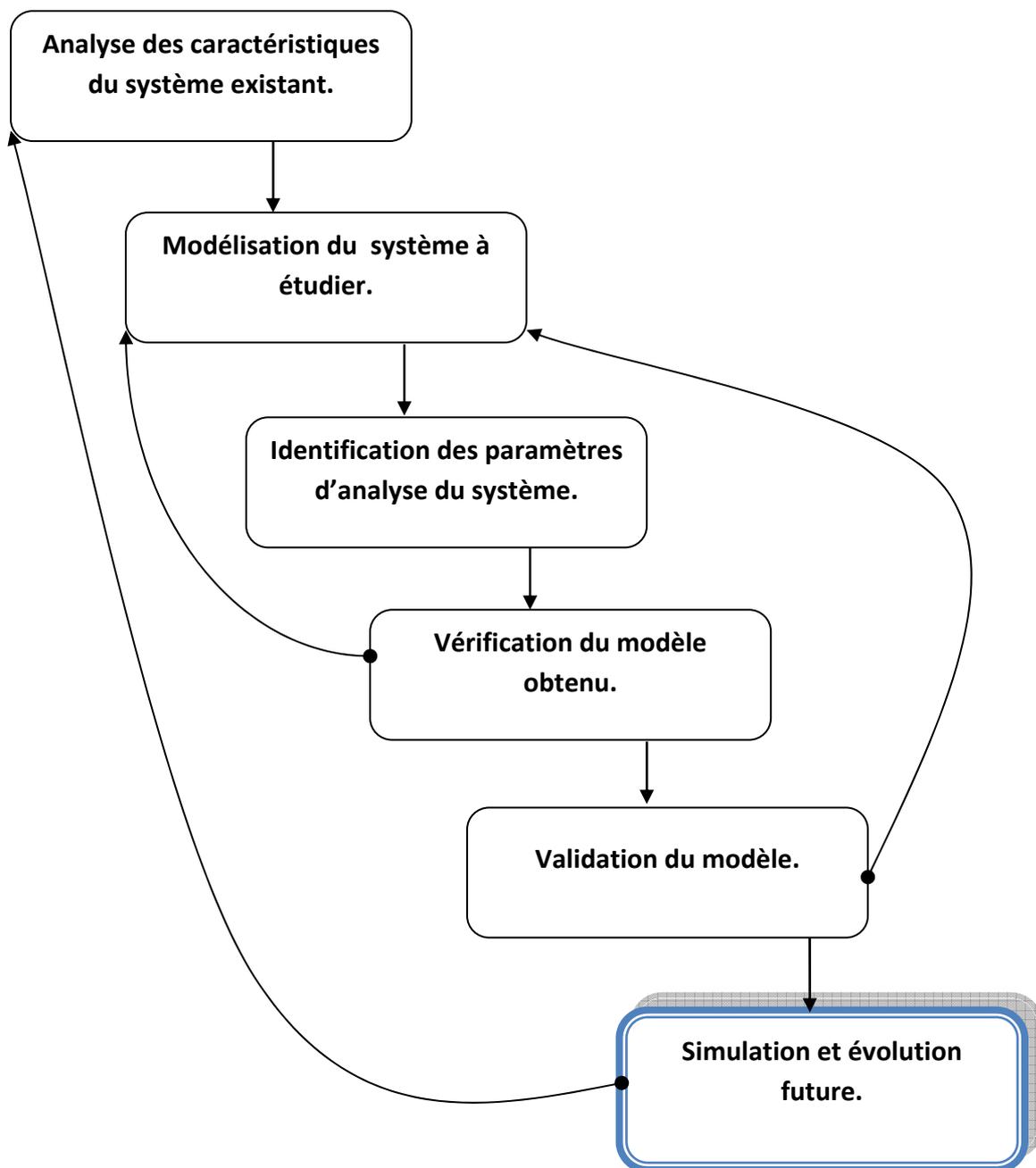
- ☞ Modélisation logico-mathématique : Qui s'articule sur :
  - Choix des entités, des attributs ;
  - Modélisation de l'évolution du comportement du système ;
- ☞ Identification des paramètres ;
- ☞ Modélisation initiale ;
- ☞ Validation et tests du modèle.

**c. Exécution de la simulation** : C'est l'exploitation du modèle, elle regroupe les phases suivantes :

- ☞ Expérimentation (jeux de simulation) ;
- ☞ Analyse des résultats ;
- ☞ Interprétation des résultats.

#### **II.2.3.b.1 La modélisation d'un système.**

D'après les étapes de modélisation d'un système (citées dans la section **II.2.3.b.b**), on peut résumer l'interaction entre les principales phases d'une étude de simulation à travers l'organigramme suivant :



**Figure II.1 :** Organigramme d'une modélisation d'un système à simuler [CLA 97].

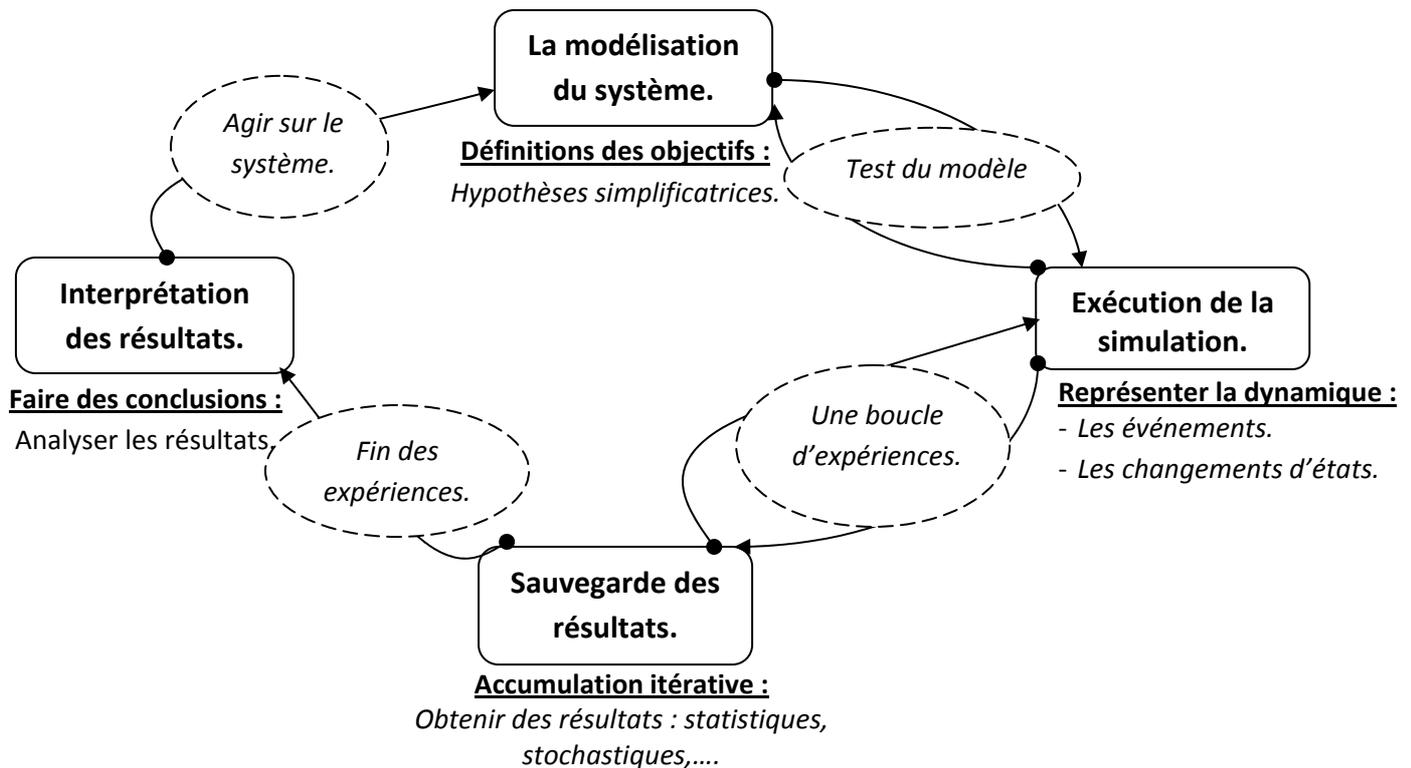
### II.2.3.b.2. Cycle du déroulement de simulation [BOI 07].

Dans un premier temps, il faut définir :

- ☞ Les objectifs de l'étude;
- ☞ Les simplifications de la réalité qu'il est raisonnable de faire.

Ceci conduit à la réalisation d'un modèle qui est une représentation simplifiée de la réalité. Le modèle reproduit la dynamique du système c'est-à-dire les changements d'état

provoqués par des événements tels que, par exemple, l'arrivée d'un client dans une file d'attente ou bien d'une pièce sur un tapis roulant, ...etc.



**Figure II.2 :** Déroulement d'une simulation d'un système modélisé.

Réalisé, en fonction des objectifs de l'étude, le modèle de simulation permet d'obtenir des résultats (Numériques, Statistiques, Stochastiques) qui sont ensuite analysés pour permettre la prise de décisions concernant le système réel (**Figure II.2**). Celles-ci peuvent être nombreuses : Acheter une nouvelle machine plus performante car celles qui existent ne permettent plus de répondre à la demande, faire entrer les pièces dans un ordre différent pour écouler plus vite la charge de travail...

### II.2.3.c. Les critères d'une bonne de simulation.

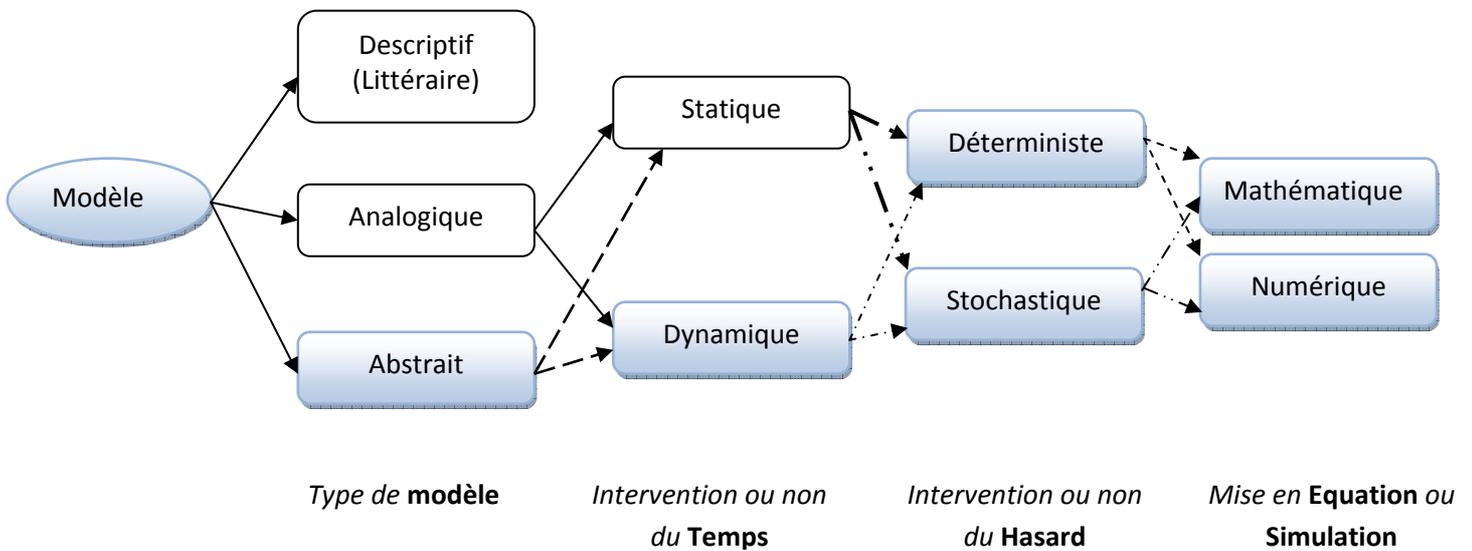
Avant de commencer la simulation d'un système nous devons fixer des critères pour pouvoir obtenir de bons résultats. Quelques critères d'un bon modèle de simulation [**DRA 01**] sont :

- ✓ Connaissance du but de la simulation ;
- ✓ Compréhension parfaite du système ;
- ✓ Modèle évolutif (démarrer simple ==> complexe) ;
- ✓ Modèle complet, il décrit les phénomènes principaux avec exactitude ;
- ✓ Modèle flexible, facile à modifier et à mettre à jour ;
- ✓ Modèle solide, qui reste valide face à un grand nombre de situations ;
- ✓ Modèle facile à mettre au point ;
- ✓ Modèle qui donne des résultats de façon claire.

### II.2.4. Les modèles de simulation.

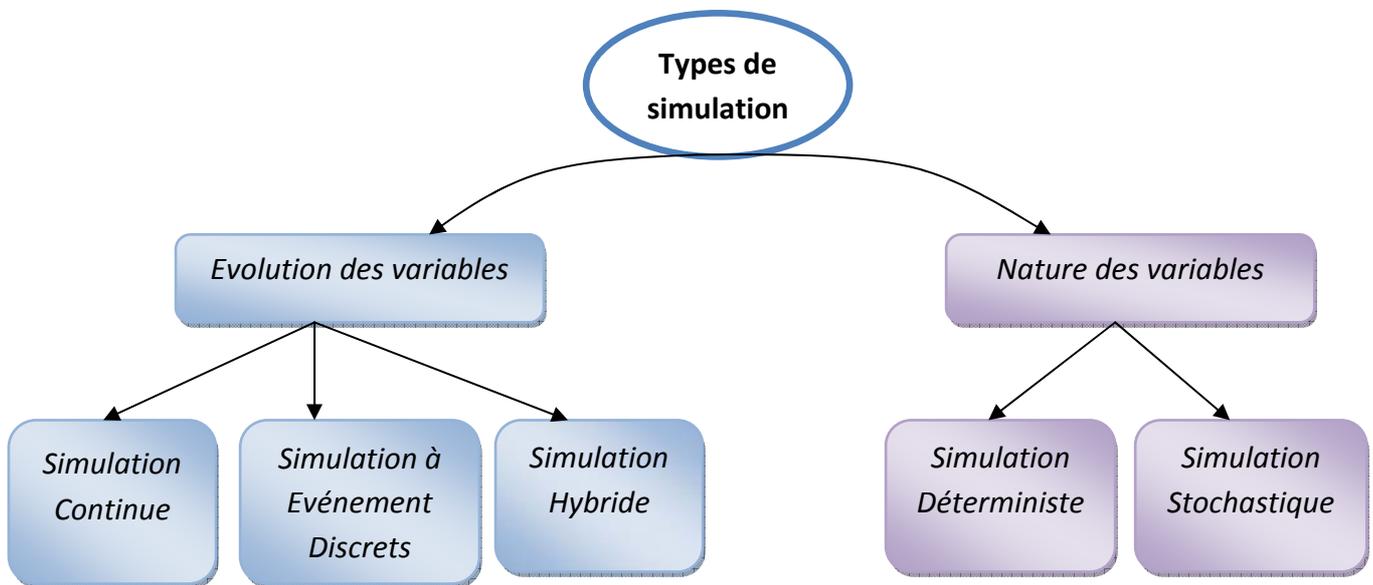
Pour un système donné, il est possible de construire plusieurs types de modèles de simulation, selon les objectifs poursuivis ou les contraintes à satisfaire. On peut considérer

qu'il existe trois catégories de modèles, dont deux sont les plus utilisés : les modèles « **Analogiques** »<sup>1</sup>, encore appelés modèles physiques et les modèles « **Abstrait** »<sup>2</sup> [FLE 07]. Une représentation possible des différents types de modèles est indiquée sur la **figure II.3** :



**Figure II.3:** Classification des différents types de modèles [FLE 07].

Le plus intéressant dans une étude de simulation est : *Comment choisir un modèle de simulation pendant aux objectifs attendus, et avec les données existantes du système à étudier?* La réponse à cette question fondamentale se fait au travers d'une classification des modèles de simulation (Abstrait ou analogique/ Statique ou Dynamique). Plusieurs types de classification existent. La **figure II.4**, on représente une répartition selon deux critères: Evolution des variables et nature des variables.



**Figure II.4 :** Classification des types de simulation [NAO 02].

<sup>1</sup> Est une maquette de la réalité.

<sup>2</sup> Une vue très subjective de la réalité.

A travers cet organigramme on peut classifier les différents types d'une approche simulatrice selon deux caractéristiques de variables (utilisées dans l'étude de simulation):

1- **Evolution des variables** : Se compose de trois types:

- a. **Simulation Continue** : Dans ce genre de simulation, est impossible d'isoler une partie du système et la simuler séparément [CHE 02].
- b. **Simulation à événement discrets** : les flux essentiels que l'on examine, dans ce cas, sont composés d'éléments isolables que l'on peut dénombrer et identifier individuellement [CHE 02].
- c. **Simulation hybride** : Une simulation hybride, concerne des systèmes dont lesquels interviennent explicitement et simultanément des processus de type continu et d'autre à événement discrets [CHE 02].

2- **Nature des variables** : Se compose de deux types :

a. **Les modèles de simulation déterministes**:

On désigne par modèle de simulation déterministe un modèle ne faisant pas intervenir le hasard [FLE 07]. C'est un type de simulation qui s'applique dans un système où tous les événements sont connus : soit directement, soit par des principes de causalités [DRA 01].

b. **Les modèles de simulation stochastiques** :

La simulation stochastique s'applique au processus dites : 'Stochastique' ou processus 'Aléatoire', qui représentent une évolution, généralement dans le temps, d'une (des) variable(s) aléatoire(s) [DRA 01].

Au contraire, un modèle de simulation stochastique nécessitera la connaissance de lois de probabilité pour représenter le système et une simulation du hasard pour décrire son fonctionnement. La plupart des systèmes sont stochastiques et l'on approche souvent leur comportement en faisant intervenir des lois de probabilité [FLE 07], [KOR 10].

### **Remarque :**

D'après les besoins de notre étude et d'après la classification (citée dans : **Figure II.3**, **Figure II.4**), on va utiliser une approche de simulation basée sur un modèle Abstrait, Dynamique Stochastique ou Déterministe, Mathématique et Numérique.

## **II.3. La simulation Monte Carlo.**

### **II.3.1. Définitions :**

Il existe plusieurs définitions, nous allons citer trois :

- Définition (1) :

La méthode de simulation de Monte Carlo est une technique numérique pour solutionner des problèmes mathématiques en simulant des variables aléatoires. Il n'y a pas un consensus absolu sur une définition précise de ce qu'est une technique de type Monte Carlo, mais la description la plus habituelle consiste à dire que les méthodes de ce type se caractérisent par l'utilisation du hasard pour résoudre des problèmes centrés sur un calcul. Elles sont en général applicables à des problèmes de type numérique, ou bien à des problèmes de nature elle-même probabiliste [OCN 08].

- Définition (2) :

Les méthodes de Monte-Carlo sont très souvent les seules approches utilisables pour l'étude des systèmes non linéaires de grande dimension pour lesquels aucune approche analytique n'est applicable. Elles sont utilisées dans un contexte industriel, pour caractériser la réponse à une excitation aléatoire ou pour mener une étude de propagation d'incertitudes. Elles sont en général applicables à des problèmes de type numérique, ou bien à des problèmes de nature elle-même probabiliste [BEN 08].

- Définition (3) :

L'utilisation de la méthode de simulation de Monte Carlo nous permet de tenir compte de la diversité des situations possibles sans recourir aux estimations ponctuelles [BEN 08]. Parmi les applications les plus répandues de la méthode de Monte Carlo nous retrouvons les simulations [KLE 74].

### II.3.2. Historique.

Le nom "Monte Carlo" a été popularisé en 1944, par les chercheurs en physique « Stanislaw Ulam », « Enrico Fermi », « John von Neumann », et « Nicholas Metropolis » en référence à un célèbre casino de Monaco. En effet l'utilisation de l'aléatoire et le caractère répétitif du processus sont analogues à ceux menés dans un casino [SAN 02].

Le véritable développement des méthodes de Monte-Carlo s'est produit lors de la seconde guerre mondiale, lors des recherches sur la fabrication de la bombe atomique ainsi ces méthodes probabilistes ont été utilisées pour résoudre des équations aux dérivées partielles [SAN 02].

De même la construction des ordinateurs électriques à partir de 1945 était un facteur qui a contribué de même au développement de ces méthodes, un développement qui a permis leur expansion et leur utilisation dans plusieurs domaines.

### II.3.3. Domaines d'application.

La question qu'on peut se poser, pour identifier les domaines d'application de la simulation Monte Carlo est : Quand est ce qu'on doit utiliser une simulation de Monte Carlo ? La réponse est bien simple, on a recours à ce type de simulation lorsque le problème :

- ☞ Est trop complexe pour qu'une résolution par voie purement mathématique soit envisageable,

- ☞ Est trop volumineux (en particulier, contient un trop grand nombre de variables) pour que les techniques d'approximation numérique puissent conduire à un résultat précis dans un temps acceptable.
- ☞ Dans le cas où la variable (les paramètres d'étude d'un système) ne peut pas être estimée, ou l'information n'est pas disponible.

Ainsi, ces méthodes sont aujourd'hui indispensables dans des domaines aussi variés et différents que :

- La finance ;
- La gestion de projet ;
- La gestion de la production ;
- La recherche et le développement ;
- Les assurances ;
- Le transport et l'environnement ;
- ...etc.

La simulation Monte Carlo présente plusieurs avantages:

- Résultats probabilistes : Les résultats indiquent non seulement ce qui pourrait arriver, mais dans quelle mesure.
- Résultats graphiques : Les données produites par la simulation Monte Carlo facilitent la représentation graphique des différentes issues et de leur chance de se produire. La présentation des conclusions de l'analyse en est d'autant plus simple.
- Analyse de sensibilité : Dans la simulation Monte Carlo, les entrées qui produisent le plus d'effet sur les résultats se distinguent clairement.
- Analyse de scénario : Avec la simulation Monte Carlo, l'analyste voit clairement les combinaisons de valeurs en entrée associées aux issues et dispose ainsi d'une information extrêmement utile à la poursuite de l'analyse.
- Corrélation des entrées : Dans la simulation Monte Carlo, il est possible de modéliser des rapports interdépendants entre les variables en entrée. Il est en effet important de représenter, pour la précision du modèle, la manière dont la hausse de certains facteurs s'accompagne dans la réalité de celle d'autres facteurs ou, au contraire, de leur baisse.

#### II.3.4. Les atouts de la méthode Monte Carlo.

La simulation de Monte-Carlo constitue une méthode très intéressante car elle donne accès à de nombreux paramètres inaccessibles par les autres méthodes et conduit à des analyses extrêmement détaillées des systèmes étudiés :

- ☞ Elle n'est pas limitée par le nombre d'états du système étudié car, même s'il y en a des centaines de milliers, seuls les états prépondérants se manifestent au cours de la simulation ;

- ☞ Elle permet la prise en compte de n'importe quelle loi de probabilité ;
- ☞ Elle permet l'association dans le même modèle de phénomènes déterministes et de phénomènes aléatoires ;
- ☞ Elle peut insérer et simuler toutes les caractéristiques et processus du système qui peuvent être reconnus ;
- ☞ Elle peut fournir une large gamme de paramètres de sortie ;
- ☞ Son implémentation informatique est aisée.

Trois conditions sont nécessaires à son utilisation :

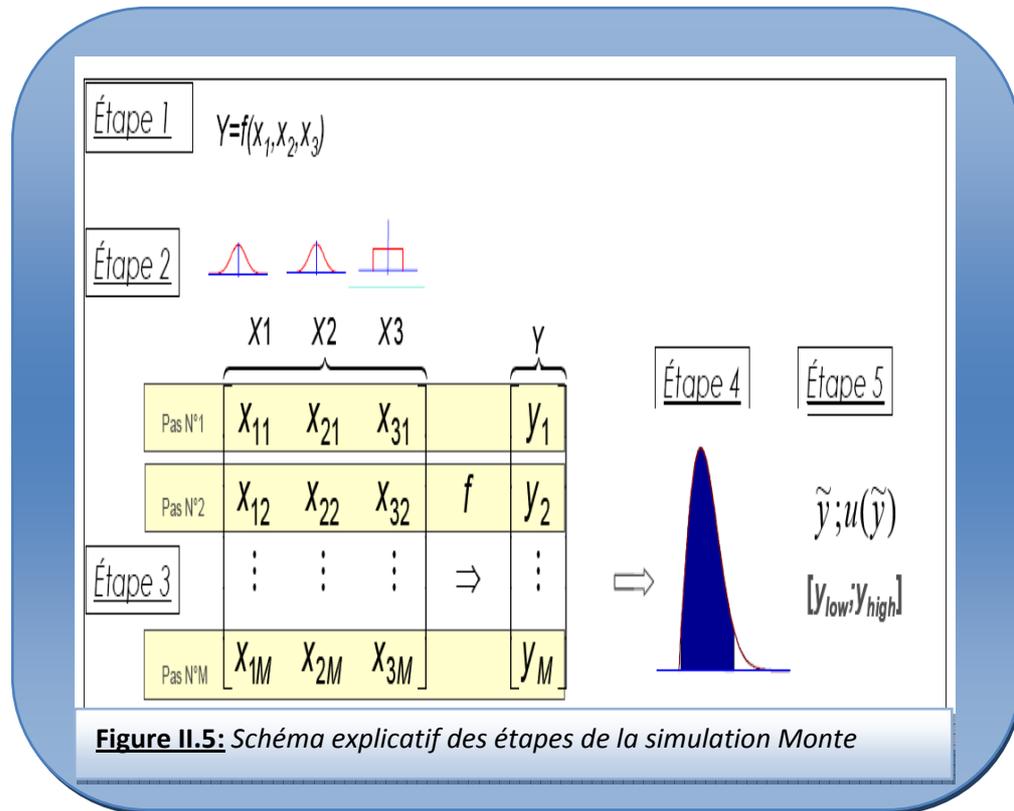
- Un modèle de comportement du système étudié capable de reproduire de manière correcte son fonctionnement et son évolution au cours du temps lorsqu'il est soumis à différents aléas (défaillance, réparations, événements extérieurs...). On peut trouver à ce stade, pour bien faire la modélisation du système : Le *processus de Markov* (consiste à représenter le comportement d'un système par un ensemble de composants pouvant se trouver dans un nombre fini d'états de fonctionnement) ou les *réseaux de Petri* (Un parcours séquentiellement les différents états du système modélisé) peuvent constituer des supports intéressants ;
- Une description des données sous forme probabiliste.
- Un logiciel de simulation de Monte-Carlo pour effectuer des tirages aléatoires des variables d'entrée (état du système), pour réaliser des histoires du système à partir de son modèle de comportement et pour analyser statistiquement les variables de sortie.

### II.3.5. Les étapes de la simulation Monte Carlo.

La Simulation de Monte Carlo est une méthode habituellement utilisée pour l'évaluation d'un modèle déterministe utilisant un ensemble de nombres aléatoires comme intrants. Cette méthode est souvent utilisée lorsque le modèle est complexe, non linéaire, ou implique quelques paramètres incertains. Elle peut généralement faire intervenir plus de 10000 évaluations du modèle, tâche qui dans le passé : était possible qu'en utilisant un super ordinateur.

Les étapes de cette approche sont explicitées sur la **figure II.5** :

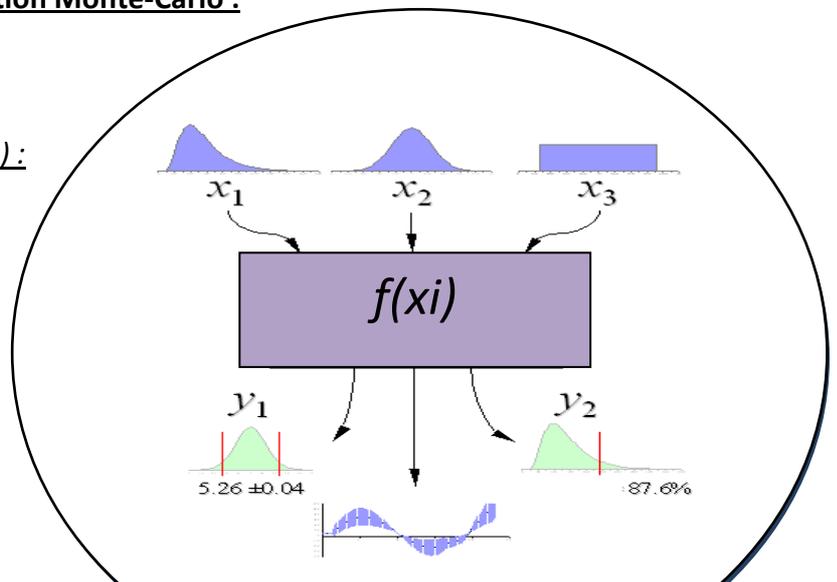
- **Étape 1 :** Ecriture d'un modèle paramétrique;
- **Étape 2 :** Génération des données aléatoires,
- **Étape 3 :** Evaluation du modèle à un nombre d'itérations,
- **Étape 4 :** Calcul des valeurs statiques et à travers des graphes,
- **Étape 5 :** Analyse des résultats obtenus.



➤ **Explication des étapes de la simulation Monte-Carlo :**

1. Créer et écrire un modèle paramétrique  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_q)$  :

Le but de cette première étape consiste à définir un modèle algébrique qui permet de montrer les relations entre les paramètres d'entrée du système ( $X_1, X_2 \dots X_n$ ) et les résultats obtenus ( $Y_1, Y_2 \dots Y_m$ ) à travers la fonction mathématique  $F$ .



**Figure II.6: Modélisation du système à étudier par la simulation Monte Carlo.**

2. Générer un ensemble de données aléatoires  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq}$  :

La clé de la simulation de Monte Carlo est qu'elle génère l'ensemble des données aléatoires. Donc il faut associer à chaque entrée des nombres aléatoires selon des distributions adéquates (Uniforme, Normale, ....etc.). Il faut disposer, dans ce cas, d'un générateur de nombres aléatoires pour réaliser cette étape.

3. - Évaluer le modèle  $y$  :

Faire une exécution pour les données stochastiques définis dans l'étape précédente, pour calculer le résultat ( $Y_i$ ).

- Répéter l'expérience  $n$  fois :

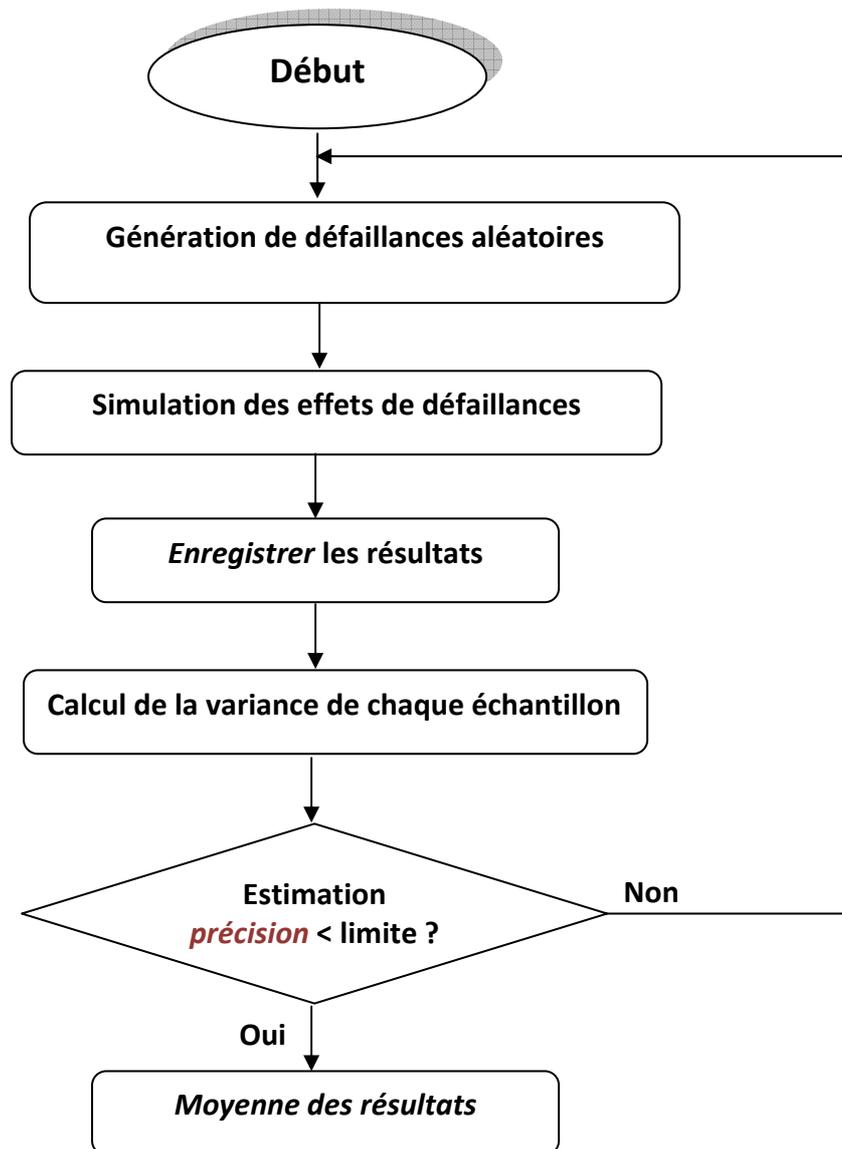
Répéter l'évaluation du modèle (refaire l'étape 3) avec des nouvelles valeurs aléatoires des variables ( $X_i$ ) du modèle jusqu'à atteindre d'un seuil défini au début (un nombre d'itération, une précision, ....etc.).

4. Calculer et analyser les résultats à l'aide des représentations graphiques :

Représenter les résultats obtenus, par l'application des étapes précédentes, sous forme d'histogramme (une représentation graphique) pour bien visualiser les résultats ( $Y_i$ ) et les commenter. Afin de fournir un résumé des commentaires, il est nécessaire de calculer des variables statistiques tel que : la moyenne, l'écart-type, la médian, standard, ....etc, pour décrire la distribution qui en résulte.

### II.3.6. Application de la simulation Monte Carlo dans un système de production.

L'organigramme (**Figure II.7**) résume le principe de la méthode Monte Carlo dans le cas d'un système de production [OCN 08].



**Figure II.7:** Algorithme général d'une simulation Monte Carlo [RIO 99].

La simulation Monte Carlo est élaborée en 6 étapes:

**Première étape :** Est une étape de modélisation pour la génération de défaillances aléatoires. Différentes techniques de modélisation sont disponibles. Elles dépendent de l'architecture du système étudié, des événements indésirables concernés, des critères à évaluer et des hypothèses prises en compte dans les modèles. Parmi toutes ces techniques, nous mentionnons : les équivalents analytiques, les arbres de défaillance, les graphes de Markov, les réseaux de Petri, ...etc. A la fin de cette étape on est en mesure de définir :

- ✓ Les fonctions de densité de probabilité (Loi de distribution, les variables aléatoires);
- ✓ Un générateur de nombres aléatoires ;

Cette étape nous permet également de:

- Faire une liste des pannes ;
- Définir l'événement prêt à simuler ;

- D'avoir un nouveau vecteur d'état des composantes pour connaître la nouvelle architecture temporaire du système à étudier.
- a. **Deuxième étape :** Dans cette étape, on doit déterminer une règle d'échantillonnage pour décrire la manière dont les échantillons doivent être prélevés afin de simuler le premier événement (ou l'événement suivant selon que l'on est dans la première itération ou dans les suivantes). A chaque événement, le système peut avoir une nouvelle topologie, de nouveaux paramètres de fonctionnement, etc. Ce nouvel état est analysé (selon des paramètres choisis), les problèmes sont identifiés, et après, si possible, des actions correctives sont accomplies (modification des consignes de productions, délestage de charge,... etc.).
- b. **Troisième étape :** A ce stade de la méthode, il est possible d'enregistrer, ou faire l'addition selon le but de l'étude pour accumuler, les résultats de la simulation pour chaque itération ;
- c. **Quatrième étape :** Elle consiste à estimer l'erreur calculée à chaque itération pour décider des suites à prendre, c.à.d: continuer ou d'arrêter la simulation.
- d. **Cinquième étape :** la réduction de la variance (facultative) – une méthode pour réduire la variance du résultat estime pour arriver à réduire le temps de calcul nécessaire pour une précision donnée.

### II.3.7. Les types de la simulation Monte Carlo.

Il existe deux types de simulation Monte Carlo : Monte Carlo non séquentielle et Monte Carlo séquentielle (chronologique).

#### II.3.7.1. Simulation Monte Carlo séquentielle ou chronologique [OCN 08].

L'approche séquentielle simule les états du système dans l'ordre chronologique, c.à.d au fur et à mesure des changements d'états de ses composants. La modélisation chronologique est liée à l'évaluation de séries (ou séquences) d'états du système dans le processus stochastique du déroulement de son fonctionnement (simulation de la «vie » du système) sur une période de service donnée (par exemple un mois).

#### II.3.7.2. Simulation Monte Carlo non séquentielle (ou aléatoire) [OCN 08].

La différence entre la simulation Monte Carlo non séquentielle et la simulation Monte Carlo séquentielle se trouve dans la façon dont les états du système sont choisis pour être simulés (c'est le choix de la règle d'échantillonnage définie plus haut). L'approche aléatoire simule les états du système sur la durée de sa vie en les choisissant au hasard et la notion de temps n'apparaît pas. Les états du système dépendent de la combinaison des états de ses composants. Chaque état du composant est déterminé en fonction de la probabilité que le composant apparaisse dans cet état.

### II.3.8. Les limites de la simulation Monte Carlo.

Chaque méthode, d'analyse des systèmes, à ses propres avantages et inconvénients et aucune approche ne peut être considérée supérieure à l'autre. Le choix doit être basé sur le et ses caractéristiques, mais aussi sur la profondeur et le but fixé lors de l'analyse. Au travers de cela, on peut citer certains inconvénients de la simulation Monte Carlo tel que :

- La simulation implique des expérimentations. Néanmoins, à la place d'expérimenter avec les objets du monde réel, nous expérimentons à travers un modèle de ces objets, dont l'implémentation de ce modèle doit être révisé plusieurs fois, ce qui demande à l'analyste d'avoir tous le savoir-faire du concepteur du système à étudier selon l'objectif de l'analyse ;
- Le temps de résolution pour les techniques de ce genre de simulation est généralement considérable à cause d'une série d'expériences itératives ;
- L'analyste du système avec cette approche doit avoir un package mathématique important.

### II.4. Conclusion.

Dans le but de réaliser un outil d'aide à la décision qui peut répondre à plusieurs objectifs (comme par exemple l'optimisation de l'architecture du système, l'optimisation de la stratégie de maintenance,...., sur des critères clés d'un système de production), nous nous sommes concentré dans ce chapitre, dédié aux concepts et notions théoriques importants dans le processus de simulation, nous avons recensé (à travers une variété d'études qui ont été faites sur le domaine de simulation) des considérations essentielles pour la compréhension du fonctionnement des approches simulatrices pour étudier n'importe quel type de système.

La méthode de simulation de Monte Carlo est une méthode très puissante en termes de modélisation et de résolution des systèmes complexes. Sa grande difficulté réside dans la définition des scénarios de fonctionnement du système à étudier, ainsi l'extraction des variables incertaines qui seront la base du déroulement de l'étude, l'interprétation des résultats obtenus et les décisions qui seront prises pour prévoir le risque de l'arrivée des événements non souhaités qui peuvent influencer sur le fonctionnement normale de notre système de production.

# Chapitre III : Présentation & Analyse par Simulation Monte Carlo du Système de Production BAG.

### **III.1. Introduction.**

Il existe une foule d'indicateurs permettant d'analyser et évaluer un système de production industriel : coûts de non qualité, nombre de pièces réellement fabriquées durant la période de fonctionnement programmée, taux de rejet, ...etc. L'inconvénient majeur de ce genre d'analyse est que chacun de ces indicateurs pris individuellement ne montre qu'une partie du fonctionnement des équipements manufacturiers de l'ensemble du système. Pour obtenir une vue globale qui reflète le fonctionnement réel d'un système de production (ou une partie du système), on doit faire référence aux indicateurs de mesure qui sont capables de présenter le maximum d'informations qui peuvent nous aider à analyser correctement notre système de production but de cette étude.

### **III.2. CADRE DE NOTRE INTERVENTION : Analyse par simulation Monte Carlo du système de production des bouteilles à gaz « BAG ».**

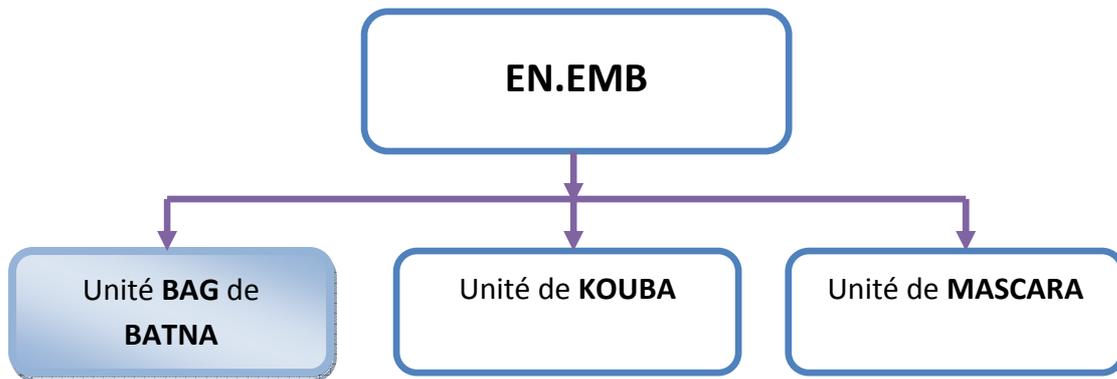
Nous avons effectué la partie pratique de notre travail de recherche au groupe BAG durant les 5 premiers mois de l'année 2011. Notre travail s'inscrit dans le domaine des systèmes de production industriels et plus précisément sur la notion d'analyse par une approche de simulation du fonctionnement d'un système de production industriel. A partir d'une présentation théorique, nous allons dans ce qui suit présenté le contexte industriel où nous avons intervenu à savoir la branche de l'unité de fabrication des Bouteilles A Gaz de BATNA : « BAG ».

#### **III.2.1. Contexte industriel : Description de l'unité de production des bouteilles à gaz « BAG ».**

Après une présentation des certaines de ses spécificités et ses enjeux en termes de maîtrise du process de fabrication, nous ferons quelques zooms sur des situations que nous avons rencontrées et qui nous éclairerons sur la question "des dysfonctionnements" qui constitue notre objectif de recherche.

##### **III.2.1.A. La structure divisionnelle de l'EN.EMB (L'entreprise mère de la BAG).**

L'Entreprise Nationale des Emballages Métalliques (EN.EMB) sise à Alger, est la seule entreprise qui détient ce genre d'industrie à l'échelle nationale. Cette entreprise a démarrée son activité depuis les années 70. L'EN.EMB regroupe trois filiales distribuées à : Kouba (Alger), Mascara et celle du Batna (**figure III.1**) :

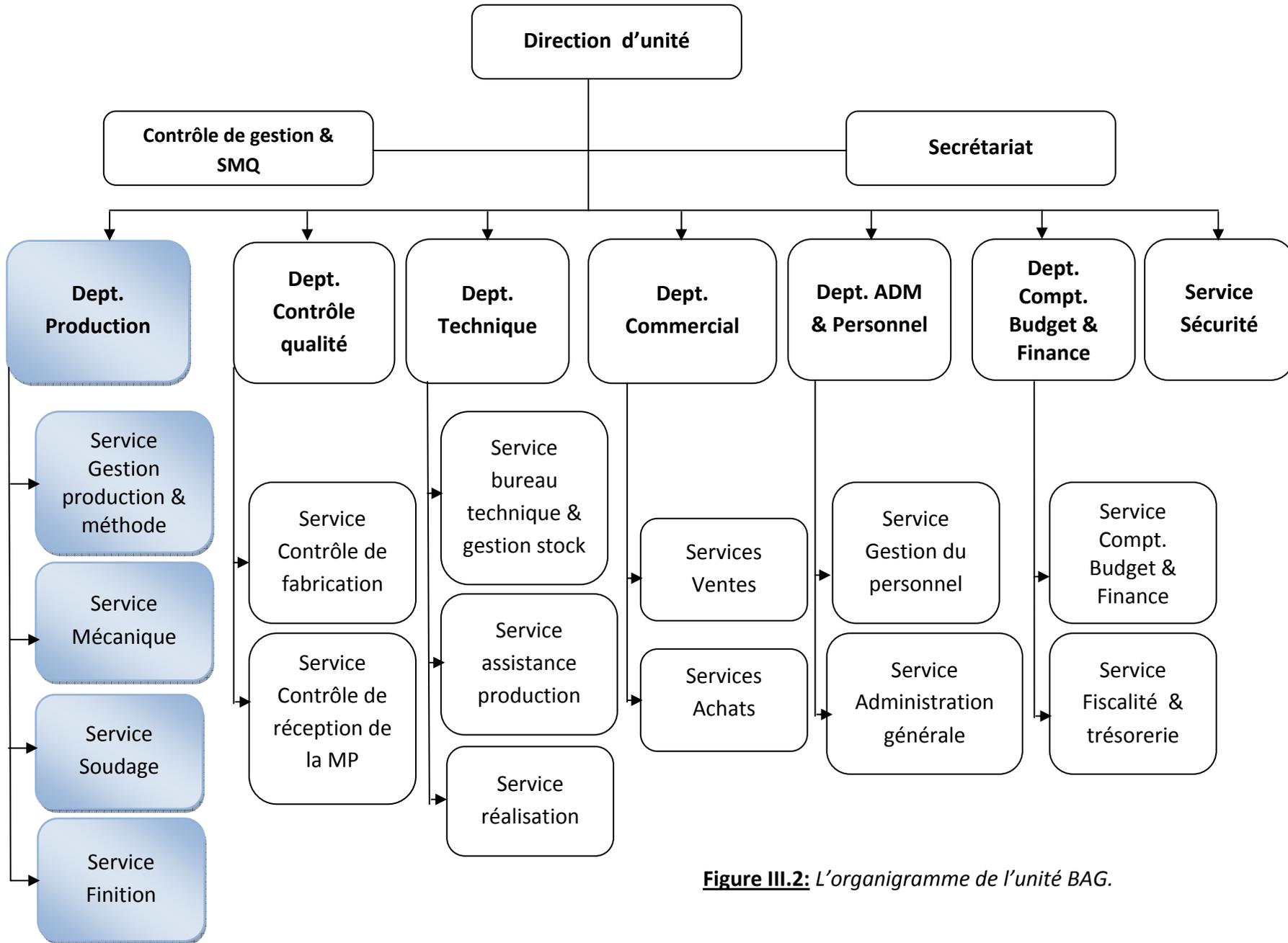


**Figure III.1:** L'organigramme de l'EN.EMB.

Chacune de ces unités fabrique une gamme de produit spécifique qui entre dans la production du produit principale qui est l'emballage métallique de l'entreprise « EN.EMB ».

#### **III.2.1.B. La structure fonctionnelle de l'unité BAG.**

L'unité BAG, a été créée en 1974 au nord de la zone industrielle de la ville de BATNA avec une superficie de 7 hectares. La répartition des services en départements qui composent la hiérarchie de l'unité BAG est donnée par la **figure III.2**.



**Figure III.2:** L'organigramme de l'unité BAG.

La gamme de production spécifique de l'unité BAG de BATNA se résume dans :

- ☞ Bouteille à Gaz 11/13 Kg,
- ☞ Bouteille à Gaz 12,5 Kg,
- ☞ Bouteille à Gaz propane 35 Kg,
- ☞ Bouteille à Gaz 06 Kg,
- ☞ Réservoir GPL (40 L, 60 L, 80 L Et 100 L),
- ☞ Casier De Manutention Bag 11/13 Kg,
- ☞ Extincteur CO<sub>2</sub> de : 2, 6 & 10 Kg, de diverses contenances.

### III.2.1.C. Collaboration de la production avec les autres départements au niveau de la BAG.

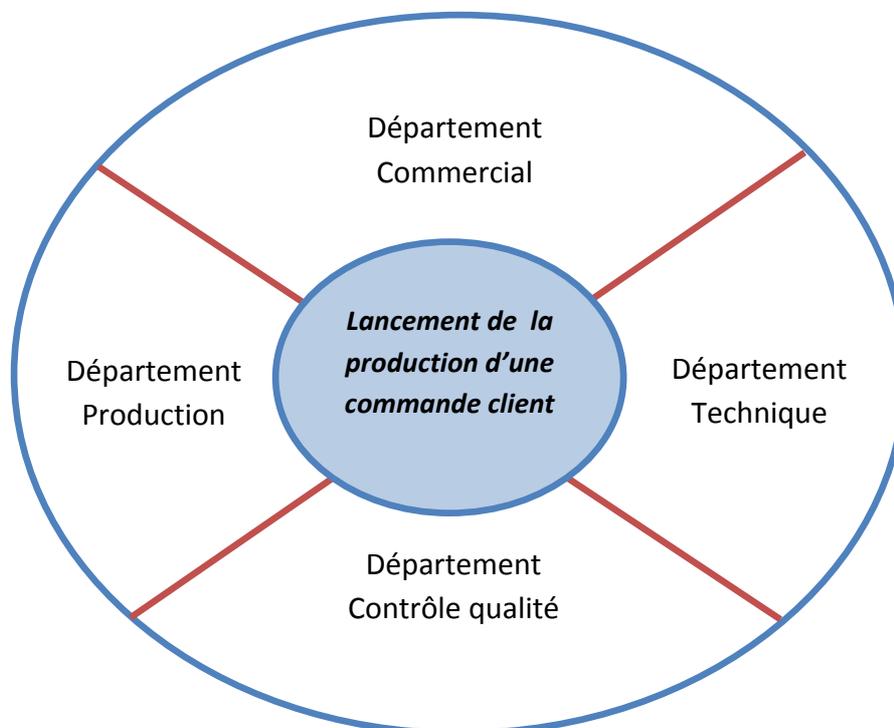
La production chez BAG nécessite l'intervention de trois départements :

- ☞ Département technique,
- ☞ Département contrôle qualité,
- ☞ Département commercial.

Aussi deux types de collaboration peuvent être citées :

#### 🔔 La collaboration nécessaire pour lancer une production:

Le lancement de la production d'une famille de produit, dans le process de fabrication de la BAG, se prépare directement après l'arrivée du bon de commande client. Une étude préalable se fait au sein des quatre départements : Commercial, Production, Technique et Contrôle qualité, pour donner leurs accords d'acceptation de la commande (**figure III.3**).



**Figure III.3 :** La collaboration inter-départements.

 La collaboration dans une production au cours de réalisation :

Cette collaboration est résumée par le **tableau III.1**:

	<b>Attentes du système de production BAG</b>
○ <b>Département <i>Contrôle qualité</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôler la conformité de la matière première (Tôle BS2, Feuillard, ...) utilisée dans la fabrication des bouteilles,</li> <li>- Tester les bouteilles dans les différentes étapes du processus de fabrication.</li> </ul>
○ <b>Département <i>Technique</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assurer un degré acceptable de la disponibilité des machines de production du système à travers une stratégie adéquate aux nécessités du process de fabrication.</li> </ul>
○ <b>Département <i>Commercial</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Approvisionnement permanent des stocks de matières premières,</li> <li>- Informer le responsable de la production des changements de commandes clients,</li> <li>- stocker les quantités de bouteilles fabriquées et les livrer aux clients propriétaires.</li> </ul>

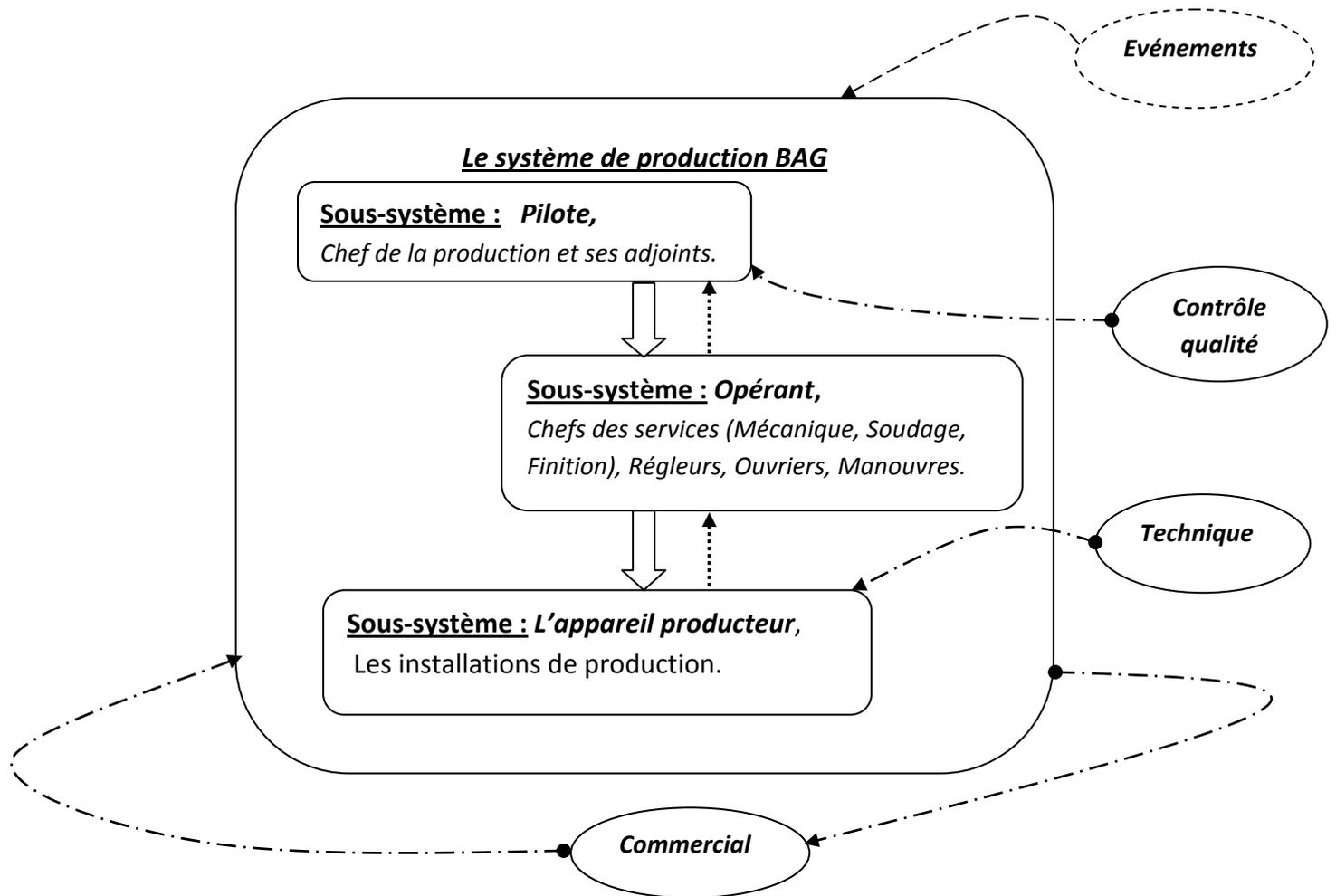
**Tableau III.1 :** *La collaboration entre les départements d'exploitation dans une production BAG.*

**III.2.1.D. Les niveaux de communication au sein du département de la production de BAG.**

Le système de production BAG peut être caractérisé d'un point de vue systémique comme schématisé dans la **figure III.4**.

Trois sous-systèmes le composent : le pilote, le système opérant et l'appareil producteur (ou les installations physiques de production). Comme tout système de production, le système BAG est géré par des événements. Ces événements peuvent provenir d'une manière synchronisée ou aléatoire. Les événements qui déclenchent le système de production BAG peuvent provenir de l'environnement (Fournisseurs,...) ou d'autres systèmes à l'intérieur de l'unité BAG.

On peut résumer la communication interne du système BAG, d'un point de vue systématique à travers les trois sous-systèmes, comme nous le montre la **figure III.4**:



**Figure III.4:** Les niveaux de communication au niveau de BAG.

Où :

- .....➔ Signifie le contact à l'intérieur du département de la production,
- - - ➔ Signifie le contact avec les autres départements de la BAG,
- ➔ Signifie le contact avec le monde extérieur de la BAG.

⌚ **Le sous-système : Pilote.**

Le pilote, ici le chef de département de la production, est responsable de la réalisation des objectifs de production. A cet effet, il possède une stratégie de conduite qui contraint la détermination des actions exécutées par le système opérant et oriente ainsi indirectement le comportement de l'appareil producteur. La stratégie de conduite spécifie la façon flexible d'organiser les activités, les adaptations qu'elle doit subir lorsque certains événements se produisent, et les principes à respecter par le système opérant pour établir précisément les actions à exécuter afin d'atteindre les objectifs prévisionnels de la production. Les processus attachés au pilote portent sur :

- ☞ La surveillance de l'occurrence d'événements (qui peuvent gêner le fonctionnement normal du système de production), et l'inspection continue de l'appareil producteur;

- ☞ La révision de la stratégie de conduite du système BAG ;
- ☞ La mise à jour des programmes de production (des heures prolongées) en fonction de l'avancée du temps et des changements survenus ;

⌚ **Le sous-système : Opérant.**

Le système opérant est en charge de la transformation des prévisions décidées par le pilote du système BAG en programmes de production complètement déterminés par des activités exécutables. Bien qu'étant subordonné au pilote, le système opérant est autorisé à prendre des décisions opératoires qui doivent être en conformité avec les principes contenus dans la stratégie et transmis par le pilote. Le système opérant comporte quatre sous classes de travailleurs : les chefs des services, les régleurs, les ouvriers et les manœuvres. Ce sous-système utilise ses propres procédures de prise de décision pour exécuter le programme de production établis. Les processus dont il est doté portent sur :

- ⌚ L'allocation de ressources (ouvriers, outils) en accord avec la disponibilité des ressources et les contraintes mutuelles entre elles ;
- ⌚ La génération à partir d'un programme de production initial de plusieurs programmes candidats lorsqu'une incompatibilité est détectée dans une tentative d'allocation ;
- ⌚ L'élaboration des rapports journaliers sur la production et les transmettre au pilote du système ;
- ⌚ L'exécution du programme de production choisi jusqu'au prochain changement suivant la disponibilité des ressources.

⌚ **Le sous-système : Physique (l'appareil producteur).**

L'appareil producteur du système BAG est composé des installations de production (Découpe flans, dégraisseuse, four de recuit,.....) qui ont leurs propres caractéristiques (cadence de production, types de produit à produire, ...). Parmi les événements qui déclenchent ce sous-système se trouvent ceux résultant des opérations exécutées par le sous-système opérant. Les entrées sont des intrants tels que la matière première introduit par le système opérant et l'énergie apportée par l'environnement ou le sous-système opérant. Le fonctionnement de ce sous-système est lié aux événements déclenchés par des changements notables de l'état du système de production.

### **III.2.1.E. Description du système de production du BAG.**

L'étude du système de production, de l'unité BAG, nous amène à faire un apprentissage intensif sur son fonctionnement afin de faire une synthèse générale de tous les éléments (événements) pouvant influencer, positivement ou négativement, sur le déroulement de son process de fabrication, ce qui vas nous permettre de mentionner toutes les sources redoutées qui peuvent diminuer sa productivité.

L'architecture du système BAG peut être décrite à travers les points suivants :

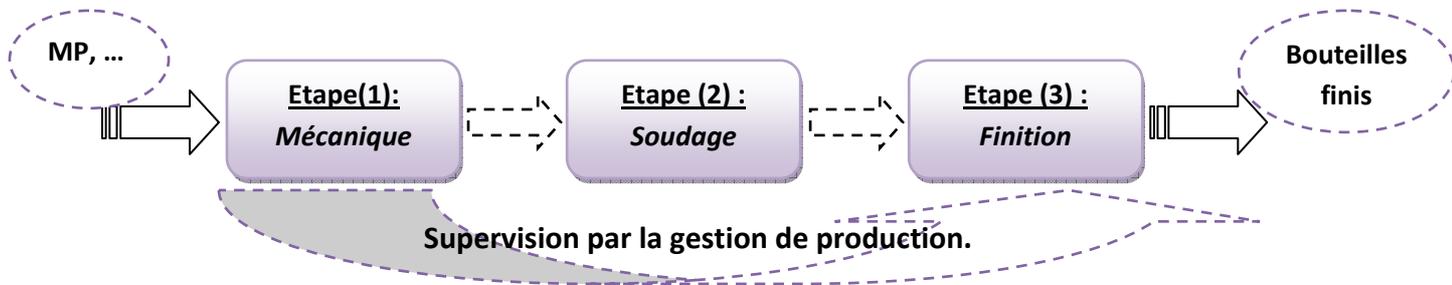
#### **1) Les étapes du processus de fabrication :**

Trois étapes essentielles composent le processus de fabrication du système BAG:

- ☞ Service **Mécanique**,

- ☞ Service **Soudage**,
- ☞ Service **Finition**.

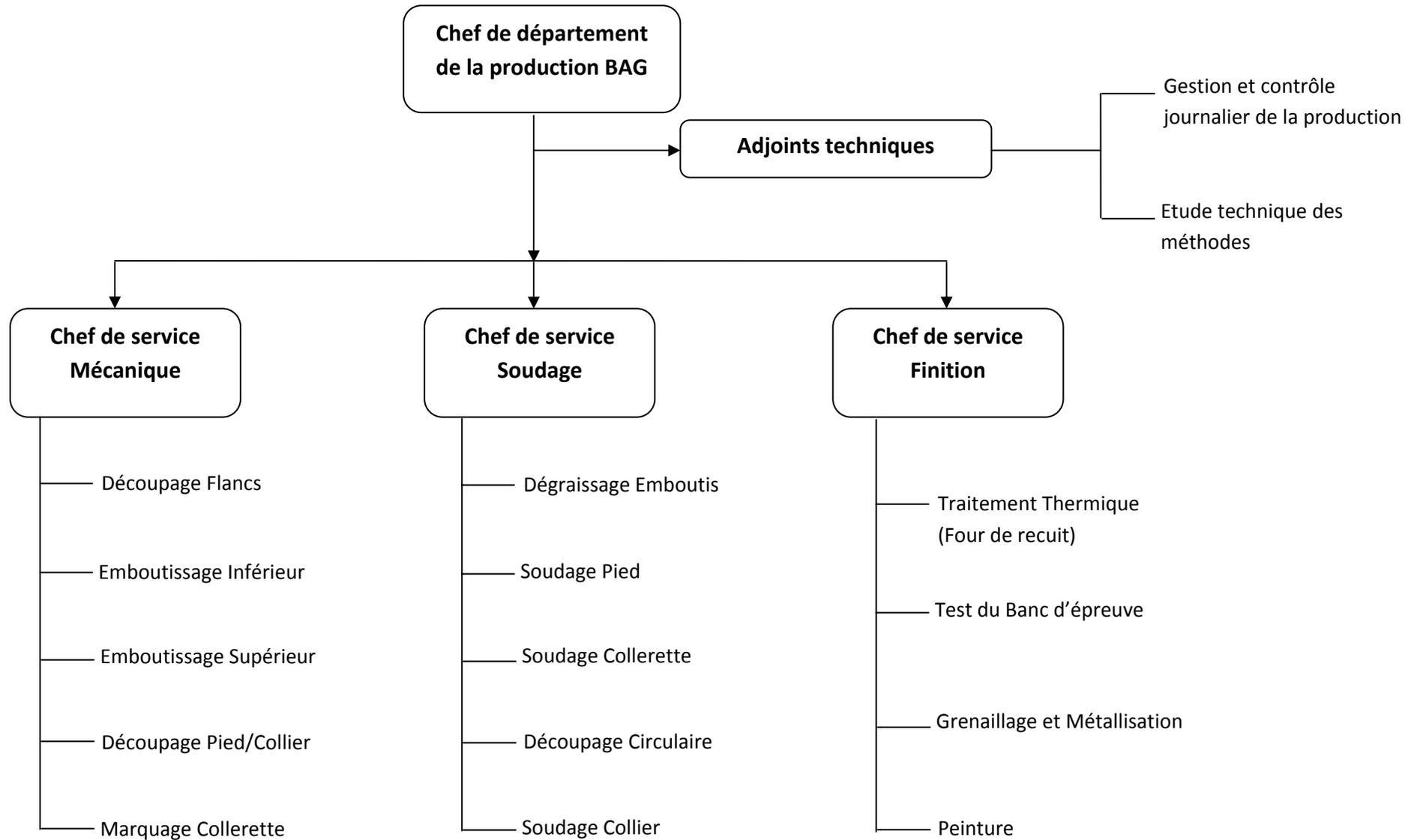
Ces trois services sont supervisés par un service de : **Contrôle de la gestion de la production** comme nous montre la **figure III.5**:



**Figure III.5:** les étapes de la production de BAG.

## 2) La structure interne du département de la production :

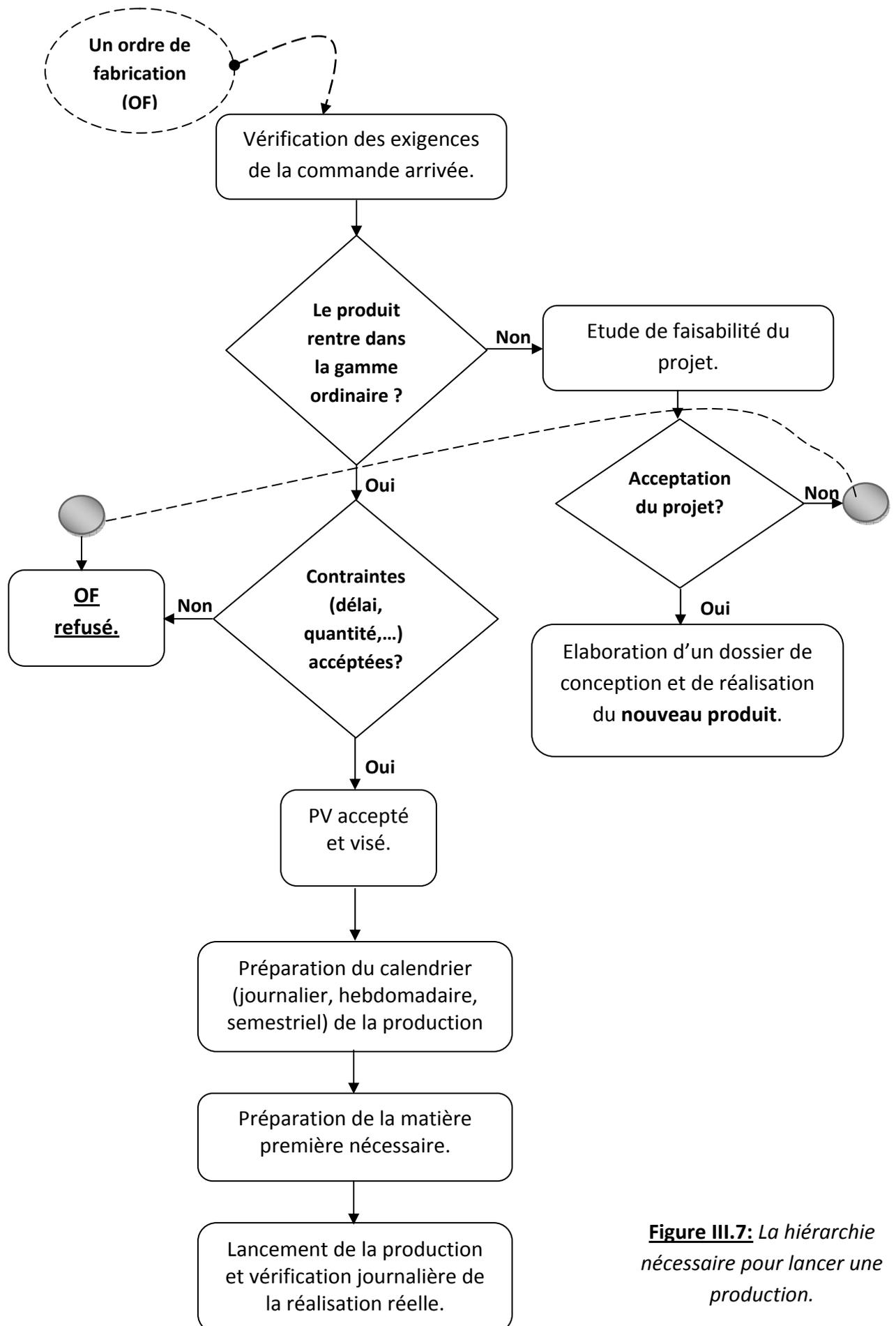
La structure est donnée par la **figure III.6** :



**Figure III.6:** Organigramme interne du département de la production de BAG.

**3) La préparation d'une production :**

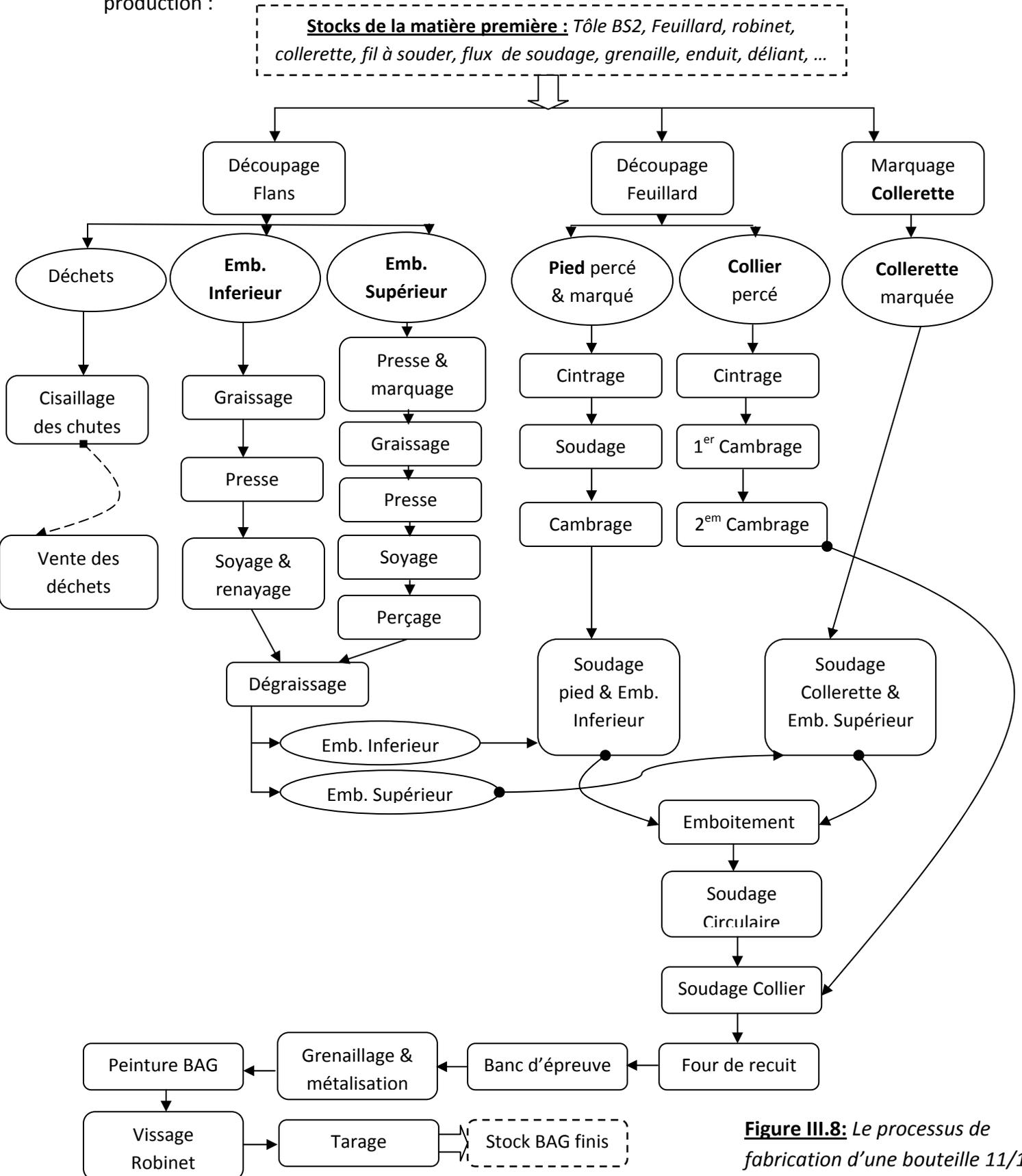
A l'arrivée d'une commande client au niveau du système production BAG, pour l'un des produits (B11/13, P35, GPL, ...), un enchaînement de vérifications est nécessaire pour accepter ou refuser une commande. Aussi, le lancement d'un projet de fabrication doit parcourir le cheminement donné par la **figure III.7**:



**Figure III.7:** La hiérarchie nécessaire pour lancer une production.

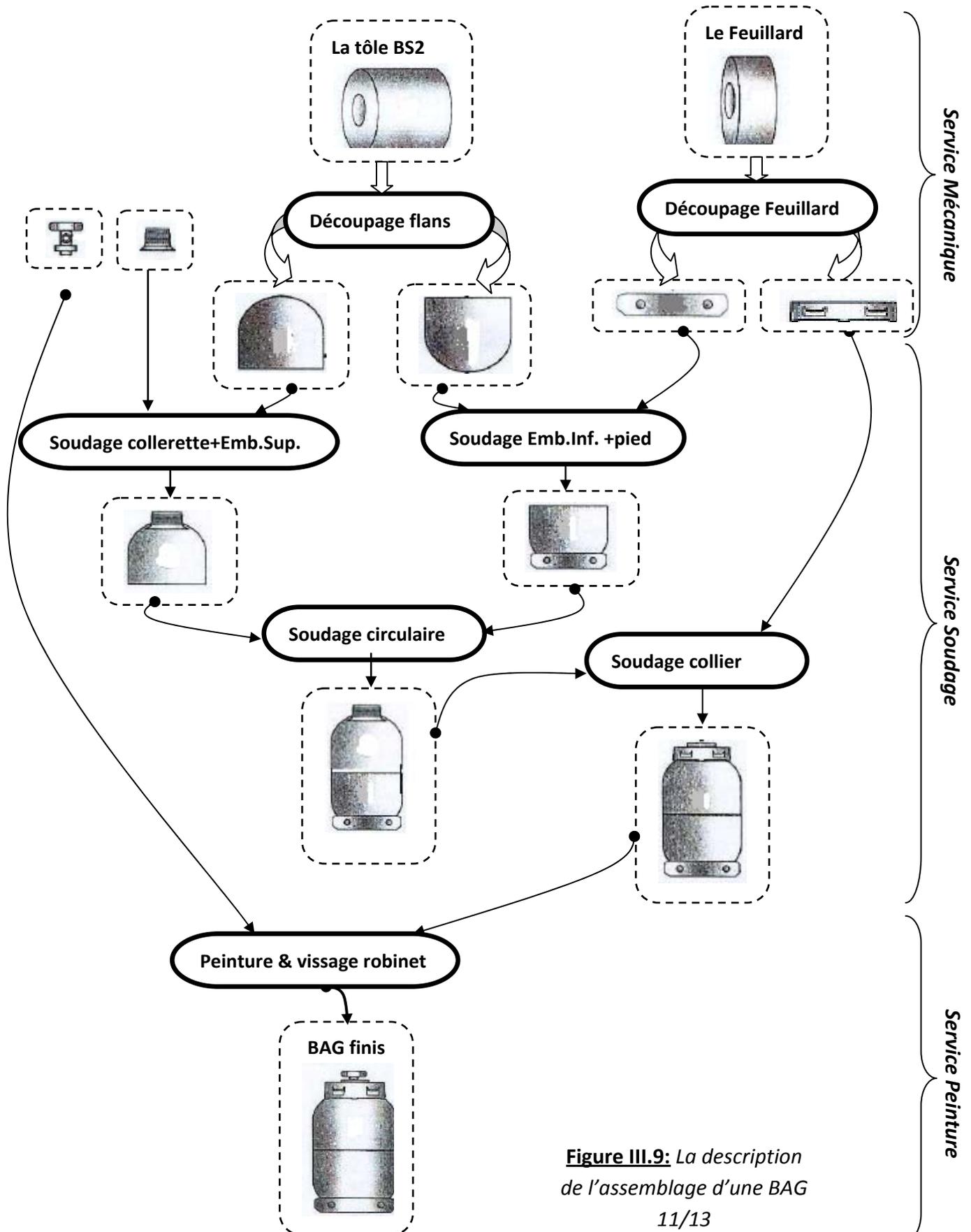
**4) La hiérarchie d'exécution d'une production:**

Un ensemble de sous-processus (concernant la B11/13) se déclenchent soit en parallèle, soit en succession comme nous le décrivons par la **figure III.8** lors de l'exécution d'une production :



**Figure III.8:** Le processus de fabrication d'une bouteille 11/13.

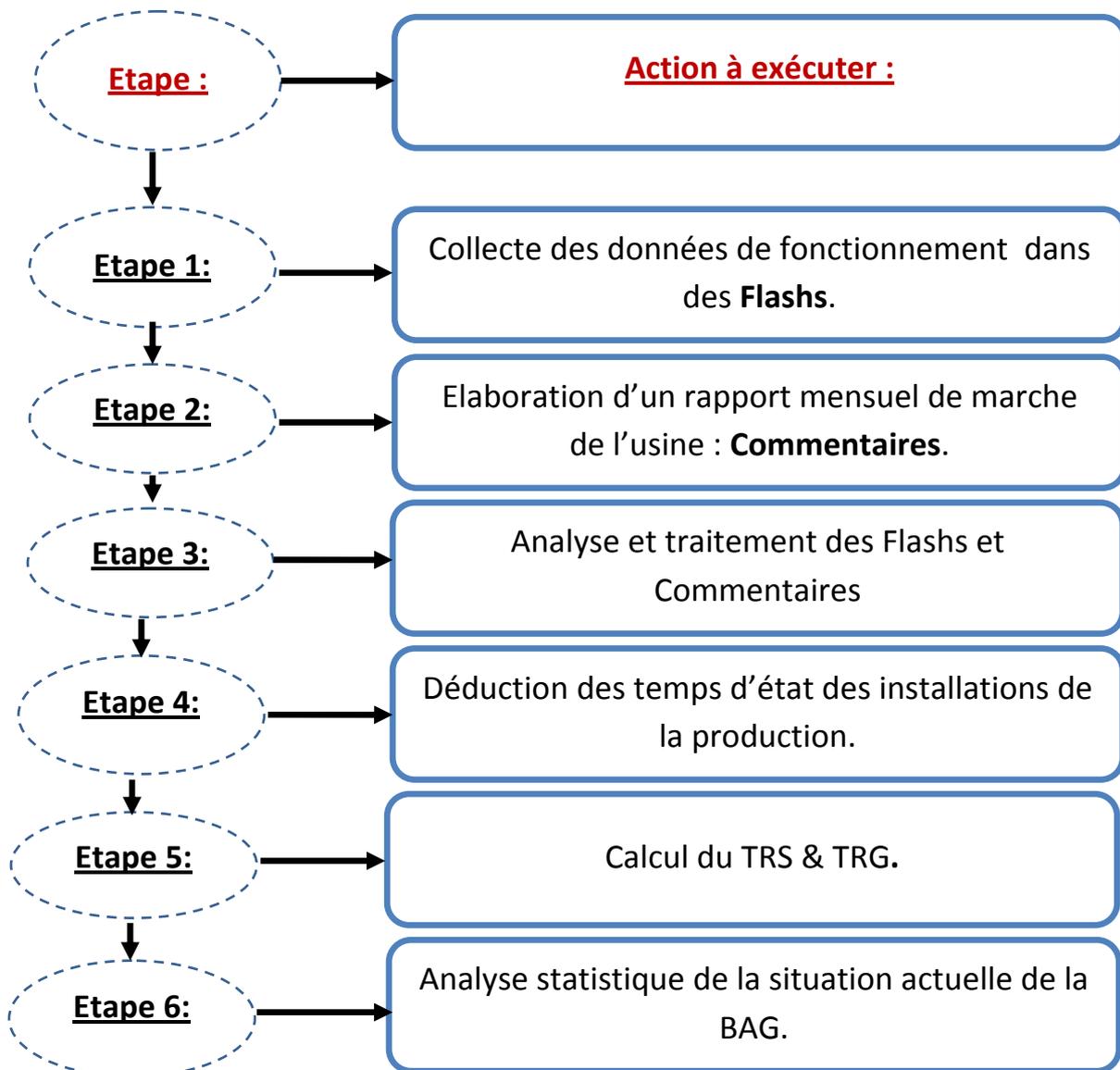
La **figure III.9** résume les étapes (décrites par la **figure III.8**) du processus de fabrication des bouteilles à gaz au niveau de chaque service du système de production BAG.



**Figure III.9:** La description de l'assemblage d'une BAG  
11/13

### III.2.2. Diagnostic de la situation actuelle du système BAG.

La littérature concernant l'analyse d'un système de production en entreprise est importante et indispensable. Cependant, elle se concentre généralement sur un l'aspect organisationnel du système de production ou de sa stratégie de gestion des activités élémentaires de son processus de fabrication. De ce fait, cette phase d'étude nous permet de présenter un résumé sur la situation du système BAG concernant le rendement du processus de production de la BAG pendant les 5 premiers mois (Janvier, Février, Mars, Avril et Mai) de l'année 2011. D'où un premier temps on se base sur deux indicateurs reflétant la réalité d'exploitation du temps total de fonctionnement de la production BAG pour analyser la situation actuelle de la BAG : **TRS** (**T**aux de **R**endement **S**ynthétique), **TRG** (**T**aux de **R**endement **G**lobal). On a choisi ces deux indicateurs parce qu'ils regroupent tous les paramètres nécessaires pour analyser la réalité du temps de fonctionnement de la BAG. La **figure III.10** regroupe les étapes de base à que nous avons suivi lors de cette analyse préliminaire durant notre période de stage (du **01/01/2011** au **31/05/2011**).



**Figure III.10:** Etapes d'analyse préliminaire par historique de la BAG [KOM 06].

Dans cette période de stage, on a trouvé que la production dans l'unité de BAG marche sous les contraintes suivantes :

- ☞ Ordre de fabrication pour produire 500 000 bouteilles à gaz au profit du NAFTAL,
- ☞ Période de livraison est limitée à 18 mois,
- ☞ Une quantité théorique est définie pour tous les jours ouvrables (jo)<sup>1</sup> des 18 mois période du contrat signé entre l'unité BAG et NAFTAL. Pour les 5 mois premiers de cette année, période de notre stage, on a **107** jours ouvrables comme nous le montre le **tableau III.2**:

Mois	Nombre des jours ouvrables définis
<b>Janvier</b>	22
<b>Février</b>	20
<b>Mars</b>	23
<b>Avril</b>	20
<b>Mai</b>	22

**Tableau III.2 :** Le calendrier des jours ouvrables du système BAG pour : Janvier, Février, Mars Avril et Mai de l'année 2011.

#### III.2.2.1. Etape 1: La Collecte des données de fonctionnement dans des Flashs.

Le suivi du processus de la production BAG nous amène à enregistrer toutes les informations élémentaires (Quantité théorique, quantité réalisée, les pannes signalées, .....etc.), dans des fichiers Excel appelés **Flash** de chaque jour ouvrable. Chaque flash doit être classé dans un registre pour l'utiliser à la fin du mois ou pour consultation en cas de besoin. Un exemple de flash élaboré au niveau du département de la production BAG pour la date de 01/03/2011 est donné par le **tableau III.3**:

---

<sup>1</sup> Sont les jours comptés de chaque mois en éliminant les jours chômés (les week-ends et les jours fériés).

		Journée : 01/03/2011		Cumul du 01/03 au 01/03/2011			Observations	
		Prévu (Budget)	Réel	Prévu (Budget)	Réel	Taux%		
BAG 11/13 KG NEUVE	MECANIQUE	Flans	4193	<b>4400</b>	4193	<b>4400</b>	<b>104,94</b>	R.A.S
		Emb. Supp.	1310	<b>1800</b>	1310	<b>1800</b>	<b>137,40</b>	R.A.S
		Emb. Inf.	1311	<b>1500</b>	1311	<b>1500</b>	<b>114,42</b>	changement de la mollette et c. molette
		Pieds	1318	<b>1065</b>	1318	<b>1065</b>	<b>80,80</b>	R.A.S
		Colliers	1297	<b>1908</b>	1297	<b>1908</b>	<b>147,11</b>	R.A.S
	SOUDAG	Soud Pied	1305	<b>1409</b>	1305	<b>1409</b>	<b>107,97</b>	R.A.S
		Soud Collerette	1303	<b>1406</b>	1303	<b>1406</b>	<b>107,90</b>	R.A.S
		Soud Circulaire	1297	<b>1405</b>	1297	<b>1405</b>	<b>108,33</b>	R.A.S
		Soud Collier	1284	<b>1405</b>	1284	<b>1405</b>	<b>109,42</b>	R.A.S
	FINITION	Four	1280	<b>800</b>	1280	<b>800</b>	<b>62,50</b>	Panne mécanique
		Bonc d'épreuve	1280	<b>612</b>	1280	<b>612</b>	<b>47,81</b>	Manque alimentation
		G, Métalisation	1274	<b>612</b>	1274	<b>612</b>	<b>48,04</b>	Manque alimentation
		BAG 11/13 KG FINIE NAFTAL	1274	<b>1200</b>	1274	<b>1200</b>	<b>94,19</b>	Manque alimentation
		BAG 11/13 KG FINIE PRIVEE	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	<b>0,00</b>	Manque de commande
	<b>TOTAL BAG 11/13 KG NEUVE</b>		<b>1274</b>	<b>1200</b>	<b>1274</b>	<b>1200</b>	<b>94,19</b>	

**Tableau III.3 :** Regroupement des données de travail d'une journée dans un flash.

**COMMENTAIRES:**

- 🔔 Réalisation de **3150** flans au profit de l'unité de KOUBA;
- 🔔 Trois heures d'arrêt de l'installation du four pour panne mécanique (les extracteurs)
- 🔔 Une heure et demi d'arrêt de l'installations emboutissage inferieure pour changement de la molette et contre molette de MC 049.

**III.2.2.2. Etape 2 : Elaboration d'un rapport mensuel (Commentaires) de marche de l'usine.**

A la fin du mois, le groupe de travail fait un regroupement des différents problèmes rencontrés durant le mois de production des bouteilles en comptant la durée d'arrêt de chaque type de problème (panne, arrêt, ... ). A partir des différents flashes enregistrés durant chaque mois, il nous a été possible de mettre en évidence 8 catégories de problèmes (*Panne mécanique, Panne électrique, Panne hydraulique, Panne pneumatique, Changement d'outils, Rectification, Rupture des produits, Manque d'alimentation*) pour les 3 services :

**III.2.2.2.1. Le mois de Janvier :**

Pour la période définit entre le **01/01/2011** et le **31/01/2011** la production était en état d'arrêt à cause de rupture de la matière première : **Flux de soudage**, ce qui nous a causé une perte de temps de 22 jours ouvrables de travail soit 165 heures.

Type de perte de temps signalé	Durée d'apparition (h)	Taux d'apparition (%)
Rupture (Flux de soudage.)	165	100%

**Tableau III.4:** Les pertes de temps enregistrés au niveau BAG pour le mois de Janvier.

Le personnel de l'usine est obligatoirement libéré soit pour un congé annuel ou de récupération soit pour rupture de contrat, à l'exception d'un effectif de 24 agents pour les trois services pour continuer quelques travaux en retard du mois passé (Décembre 2010).

### III.2.2.2.2. Le mois de Février :

Pour la période allant du 01/02/2011 au 15/02/2011, la perturbation due à la rupture du flux de soudage a conduit une perte de 11 jours ouvrables, ainsi 82,5 h d'arrêt a été enregistrée.

Pour la période du 16/02/2011 au 28/02/2011 le nombre d'arrêt (en heures) de production obtenu grâce aux fichiers flashes est donné par le **tableau III.5** :

Objet \ Problème	Panne Mécanique/H	Panne Pneumatique/H	Panne Electrique/H	Panne Hydraulique/H	Changement d'outil/H	Rectification/H	Rupture/H	Manque d'alimentation (coupure)/H
<u>Service Mécanique</u>								
Dégraisseur	5,5	/	/	/	/	/	/	/
Emboutis Inferieur		/	/	2	/	/	/	/
Emboutis Supérieur	3	/	/	/	/	/	/	/
Graisseurs Flans	/	/	2	/	/	/	/	/
<u>Service Soudage</u>								
Secteur Soudage (Energie électrique)	/	/	/	/	/	/	/	7,5
Secteur soudage (Flux de soudage)							82,5	/
<u>Service Finition</u>								
Banc d'épreuve	9	/	/	9	/	/	/	/
Grenailleuse	4,25	/	4,25	/	/	/	/	/
Four	15	/	/	/	/	/	/	/
Peinture	/	1,5	1,5	/	/	/	/	/

**Tableau III.5:** Les pertes de temps enregistrés au niveau BAG pour le mois de Février.

Par conséquent, la lecture des valeurs des temps d'arrêts peut être résumée en deux points :

☞ Groupement des problèmes par type d'arrêt:

La durée totale et le taux d'apparition, de chaque classe de problèmes rencontrés pendant le mois de Février 2011, sont résumés dans le **tableau III.6** :

N°	Type d'arrêt	Durée d'apparition (h)	Taux d'apparition (%)
1	Panne mécanique	36,75	25%
2	Panne pneumatique	1,5	1%
3	Panne électrique	7,75	5%
4	Panne hydraulique	11	8%
5	Changement d'outil	0	0%
6	Rectification	0	0%
7	Rupture (matière 1 <sup>ère</sup> , ....)	82,5	56%
8	Manque d'alimentation (Coupure d'énergie)	7,5	5%
<b>Total</b>		<b>147</b>	<b>100%</b>

**Tableau III.6:** La durée de chaque type d'arrêt de temps pour le mois de Février.

☞ Groupement des problèmes par services de production :

N°	Service de production	Nombre d'heures d'arrêts (H)	Taux d'arrêts (%)
1	Mécanique	12,5	9%
2	Soudage	90	61%
3	Finition	44,5	30%
<b>TOTAL</b>		<b>147</b>	<b>100%</b>

**Tableau III.7:** La répartition des pertes de temps selon les services pour le mois de Février.

### III.2.2.2.3. Le mois de Mars :

Le regroupement des problèmes rencontrés durant la période du : **01/03/2011** au **31/03/2011** est résumé dans le **tableau III.8** :

Objet \ Problème	Panne Mécanique/H	Panne Pneumatique/H	Panne Electrique/H	Panne Hydraulique/H	Changement d'outil/H	Rectification/H	Rupture/H	Manque d'alimentation (coupure)/H
	<u>Service Mécanique</u>							
Découpe Flans	6,33	/	6,33	6,33	/	/	/	/
Emboutis Supérieur	2,83	/	2,83	2,83	/	/	/	/
Emboutis Inferieur	4	/	4	4	/	/	/	/
Découpe Pieds & Colliers	2	/	2	/	/	/	/	/
Emboutis Inferieur	/	/	/	/	3,5	/	/	/
Cintreuse Pieds	3	/	/	/	/	/	/	/
Assiette MC 0999 (Découpe Pieds & Colliers)	/	/	/	/	/	3	/	/
Découpe Pieds &	/	/	/	/	8	/	/	/

Colliers								
Tout le secteur mécanique	/	/	/	/	/	/	/	5,5
<u>Service Soudage</u>								
Soudage Pieds	/	/	1	/	/	/	/	/
Soudage Colerette (BAG 11/13 KG)	/	/	0,5	/	/	/	/	/
Soudage Colerette (Réservoirs D315 mm)	/	/	6	/	/	/	/	/
Tout le secteur soudage	/	/	/	/	/	/	/	5,5
<u>Service Finition</u>								
Four	2	2	/	/	/	/	/	/
Grenailleuse	9	/	9	/	/	/	/	/
Peinture	2,75	2,75	/	/	/	/	/	/
Tout le secteur finition	/	/	/	/	/	/	/	5,5

**Tableau III.8:** Les pertes de temps enregistrés au BAG pour le moi de Mars.

☞ Groupement des problèmes par type d'arrêt:

Le tableau suivant définit les heures d'arrêt de chaque type de problèmes durant le mois de Mars 2011:

N°	Type d'arrêt	Durée d'apparition (h)	Taux d'apparition (%)
1	Panne mécanique	31,91	31%
2	Panne pneumatique	4,75	5%
3	Panne électrique	31,66	31%
4	Panne hydraulique	13,16	13%
5	Changement d'outil	11,5	11%
6	Rectification	3	3%
7	Rupture (matière 1 <sup>ère</sup> ,...)	0	0%
8	Manque d'alimentation (Coupure d'énergie)	5,5	5%
<b>Total</b>		<b>101,48</b>	<b>100%</b>

**Tableau III.9:** La durée de chaque type d'arrêt de temps pour le mois de Mars.

☞ Groupement des problèmes par services de production :

N°	Service de production	Nombre d'heures d'arrêts (H)	Taux d'arrêts (%)
1	Mécanique	66,49	59%
2	Soudage	13	12%
3	Finition	33	29%

<b>TOTAL</b>	<b>112,49</b>	<b>100%</b>
--------------	---------------	-------------

**Tableau III.10:** La répartition des pertes de temps selon les services pour le mois de Mars.

**Remarque (1):**

Les deux totaux d'arrêts (101,48 et 112,49) des tableaux précédents ne sont pas égaux, à cause de la coupure d'énergie électrique qui est comptée une seule fois dans le premier cas (groupement des problèmes par type d'arrêt) et pour chaque service indépendamment pour le deuxième cas (groupement des problèmes par service de production).

**III.2.2.2.4. Le mois d'Avril :**

Le tableau suivant nous résume les arrêts enregistrés durant la période du **01/04/2011** et **30/04/2011** :

Objet \ Problème	Panne Mécanique/H	Panne Pneumatique/H	Panne Electrique/H	Panne Hydraulique/H	Changement d'outil/H	Rectification/H	Rupture/H	Manque d'alimentation (coupure)/H
<u>Service Mécanique</u>								
Découpe Flans	9	/	9	9	/	/	/	/
Emboutis Supérieur	2,5	/	2,5	/	/	/	/	/
Emboutis Inferieur	12	/	/	12	/	/	/	/
Découpe Pieds & Colliers	/	/	/	/	4	/	/	/
Découpe Pieds & Colliers	2	/	2	/	/	/	/	/
Découpe Pieds & Colliers	3,5	/	3,5	/	/	/	/	/
<u>Service Soudage</u>								
Dégraisseuse	/	/	4,5	/	/	/	/	/
Soudeuse Collerette	4,75	/	4,75	/	/	/	/	/
<u>Service Finition</u>								
Banc d'épreuve	4	4	/	4	/	/	/	/
Grenailleuse	10	/	10	/	/	/	/	/
Peinture	4	4	/	/	/	/	/	/
Cabines de peinture (Peinture blanche)	/	/	/	/	/	/	2 jours	/
Visseuse robinet (robinet)	/	/	/	/	/	/	2 jours	/

**Tableau III.11:** Les pertes de temps enregistrés au niveau de la BAG pour le mois d'Avril.

☞ Groupement des problèmes par type d'arrêt:

Les temps d'arrêt (totaux ou partiels) enregistrés au niveau du système de production BAG, nous permet de quantifier les causes d'arrêts enregistrées pour le mois d'Avril comme nous le montre le **tableau III.12** :

N°	Type d'arrêt	Durée d'apparition (h)	Taux d'apparition (%)
1	Panne mécanique	51,75	33%
2	Panne pneumatique	8	5%
3	Panne électrique	36,25	23%
4	Panne hydraulique	25	16%
5	Changement d'outil	4	3%
6	Rectification	0	0%
7	Rupture (matière 1 <sup>ère</sup> , ....)	30	19%
8	Manque d'alimentation (Coupure d'énergie)	0	0%
<b>Total</b>		<b>155</b>	<b>100%</b>

**Tableau III.12:** La durée de chaque type d'arrêt pour le mois d' Avril.

☞ Groupement des problèmes par services de production :

N°	Service de production	Nombre d'heures d'arrêts (H)	Taux d'arrêts (%)
1	Mécanique	71	46%
2	Soudage	14	9%
3	Finition	70	45%
<b>TOTAL</b>		<b>155</b>	<b>100%</b>

**Tableau III.13:** La répartition des pertes de temps selon les services pour le mois d'Avril.

### III.2.2.2.5. Le mois de Mai :

De la période de travail du système BAG entre le 01/05/2011 et 31/05/2011 a résulté le **tableau III.14:**

Objet \ Problème	Panne Mécanique/H	Panne Pneumatique/H	Panne Electrique/H	Panne Hydraulique/H	Changement d'outil/H	Rectification/H	Rupture/H	Manque d'alimentation (coupure)/H
	<u>Service Mécanique</u>							
Découpe Flans	9	/	9	9	/	/	/	/
Emboutis Supérieur	11	/	/	11	/	/	/	/
Emboutis Inferieur	3,5	/	/	3,5	/	/	/	/
Découpe Pieds & Colliers	2,5	/	/	2,5	/	/	/	/
Découpe Pieds & Colliers	/	/	/	/	4	/	/	/
Arrêt du secteur	/	/	/	/	/	/	/	5

mécanique								
<u>Service Soudage</u>								
Secteur soudage (Compresseur d'air)	/	1,5	/	/	/	/	/	/
Soudeuse Collerette	8,5	/	8,5	/	/	/	/	/
Soudeuse circulaire	/	/	2					
Secteur soudage (manque d'emboutis Inferieur)	/	/	/	/	/	/	3	/
Arrêt du secteur soudage	/	/	/	/	/	/	/	5
<u>Service Finition</u>								
Four	/	/	7	/	/	/	/	/
Banc d'épreuve	6	/	/	/	/	/	/	/
Grenailleuse	7,5	/	7,5	/	/	/	/	/
Peinture	5,5	5,5	/	/	/	/	/	/
Cabines de peinture (Nettoyage)	/	/	/	/	/	7,5	/	/
Arrêt du secteur finition	/	/	/	/	/	/	/	5

**Tableau III.14:** Les pertes de temps enregistrés à la BAG pour le mois de Mai.

☞ Groupement des problèmes par type d'arrêt:

Le résumé, des périodes d'arrêt du système BAG, est représenté par le **tableau III.15** :

N°	Type d'arrêt	Durée d'apparition (h)	Taux d'apparition (%)
1	Panne mécanique	53,5	38%
2	Panne pneumatique	7	5%
3	Panne électrique	34	24%
4	Panne hydraulique	26	19%
5	Changement d'outil	4	3%
6	Rectification	7,5	5%
7	Rupture (matière 1 <sup>ère</sup> , ...)	3	2%
8	Manque d'alimentation (Coupure d'énergie)	5	4%
<b>Total</b>		<b>140</b>	<b>100%</b>

**Tableau III.15:** La durée de chaque type d'arrêt pour le mois de Mai.

☞ Groupement des problèmes par services de production :

N°	Service de production	Nombre d'heures d'arrêts (H)	Taux d'arrêts (%)
1	Mécanique	70	47%
2	Soudage	28,5	19%

<b>3</b>	Finition	70	<b>34%</b>
<b>TOTAL</b>		<b>150</b>	<b>100%</b>

**Tableau III.16:** La répartition des pertes de temps selon les services pour le moi de Mai.

**Remarque (2):**

Les deux totaux d'arrêts (140 et 150) des tableaux III.15 & III.16 ne sont pas égaux, à cause de la coupure d'énergie électrique.

**III.2.2.3. Etape 3 : Analyse et traitement des Flashs et Commentaires.**

D'après les tableaux mentionnés dans l'étape 2 (Elaboration d'un rapport mensuel (Commentaires) de marche de l'usine.), on peut dire que le système de production BAG souffre d'un nombre important de problèmes, qui causent une perte de temps, qui se répète d'une manière presque continue. On peut représenter le taux de chaque classe de problèmes, pendant les cinq premiers mois de l'année 2011, à travers ce qui suit (Tableau III.17):

N°	Type d'arrêt	Durée d'apparition (h)	Taux d'apparition (%)
<b>1</b>	Panne mécanique	173,91	<b>25%</b>
<b>2</b>	Panne pneumatique	21,25	<b>3%</b>
<b>3</b>	Panne électrique	109,66	<b>15%</b>
<b>4</b>	Panne hydraulique	75,16	<b>11%</b>
<b>5</b>	Changement d'outil	19,5	<b>3%</b>
<b>6</b>	Rectification	10,5	<b>1%</b>
<b>7</b>	Rupture (matière 1 <sup>ère</sup> ,...)	280,5	<b>40%</b>
<b>8</b>	Manque d'alimentation (Coupure d'énergie)	18	<b>2%</b>
<b>Total</b>		<b>708,48</b>	<b>100%</b>

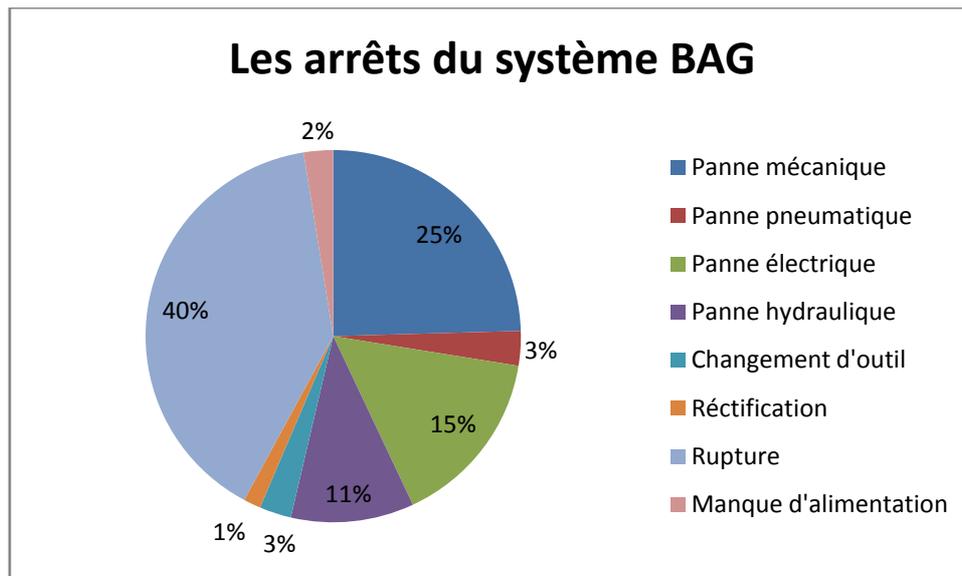
**Tableau III.17:** L' classification des pertes de temps pour les 5 premiers mois de l'année 2011.

L'identification des pertes de temps par service sont données par le tableau III.18 :

N°	Service de production	Nombre d'heures d'arrêts (H)	Taux d'arrêts (%)
<b>1</b>	Mécanique	219,99	<b>30%</b>
<b>2</b>	Soudage	310,5	<b>43%</b>
<b>3</b>	Finition	199	<b>27%</b>
<b>TOTAL</b>		<b>729,49</b>	<b>100%</b>

**Tableau III.18:** Les pertes de temps enregistrées dans BAG pour les 5 premiers mois de l'année 2011.

La représentation graphique suivante nous aide à analyser l'état du système de production BAG pendant les 5 premiers mois de l'année 2011 :



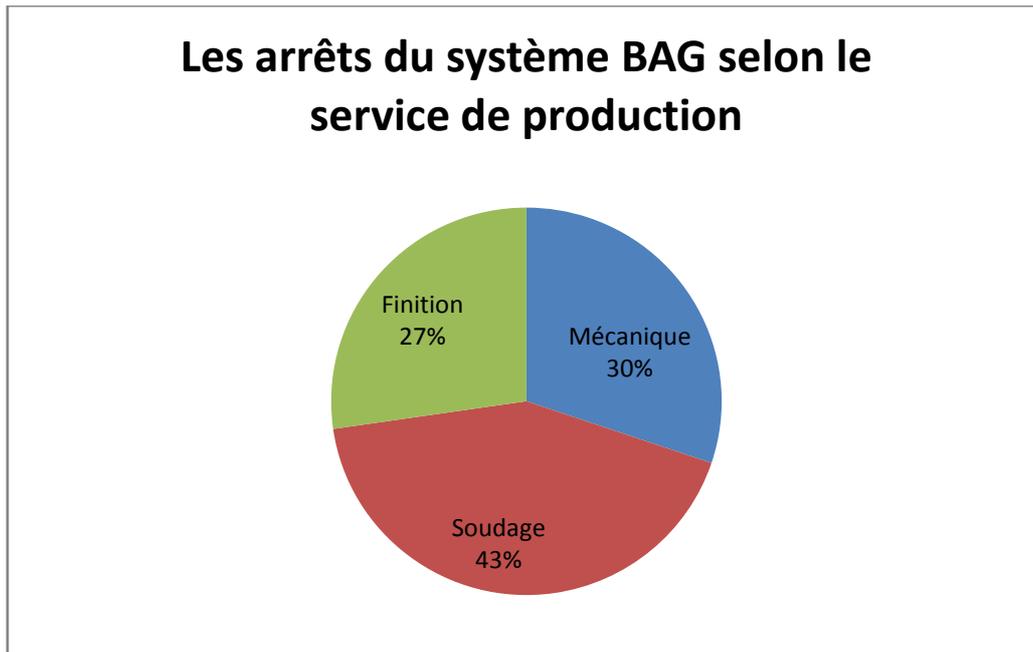
**Figure III.11:** Bilan des arrêts au niveau du système BAG pour les 5 premiers mois de l'année 2011.

**Commentaire (1) :**

A partir de cette étude (bilan des arrêts), il apparaît que :

- ☞ La rupture de la matière première est à l'origine du maximum d'heures d'arrêt de travail (**689,48** heures),
- ☞ Les pannes mécaniques viennent en second position avec **158,91** heures d'arrêts partiels,
- ☞ Les problèmes électrique et hydraulique sont également non négligeables, ils représentent un taux de **16%** et **11%** respectivement,
- ☞ Les **9%** du taux global d'arrêts résultant des pannes pneumatiques ne présentent pas (comparativement aux autres) un obstacle direct dans le processus de production de la BAG.

On peut aussi analyser la situation du système BAG à travers le taux d'arrêts par service de production, **figure III.12:**



**Figure III.12:** Classement des arrêts du système BAG durant les 5 premiers mois de l'année 2011.

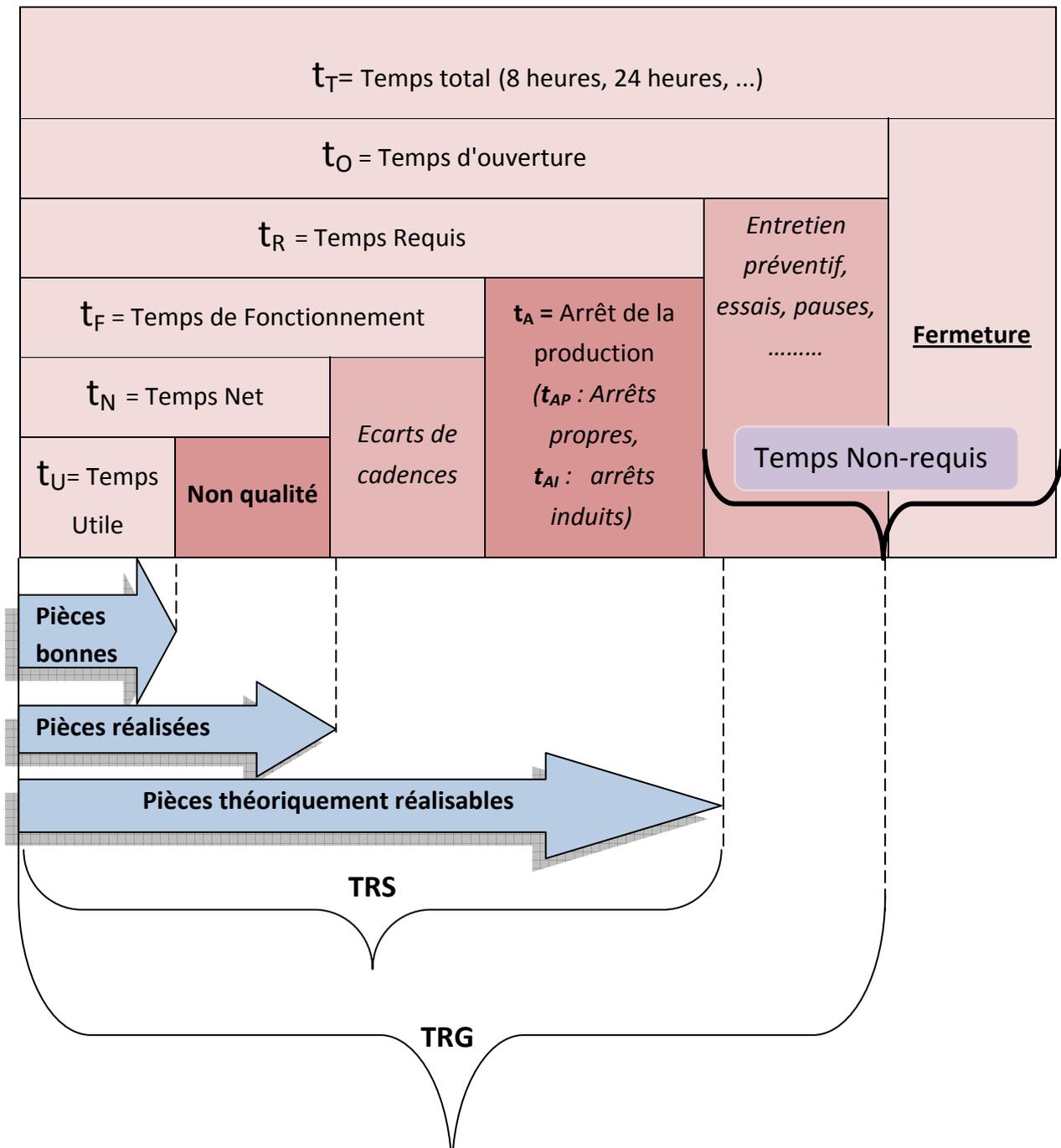
#### **Commentaire (2):**

La répartition des temps d'arrêt par secteur fait ressortir que le service le plus touchés par les arrêts est le service *soudage* avec 43% du temps global suivie de près du service *mécanique* avec 30% et 27% pour le service  *finition*.

#### **III.2.2.4. Etape 4 : Déduction des temps d'état des installations de la production.**

##### **A. Définition & répartition des temps d'états de la production [KOM 06], [DRO 11]:**

La décomposition des temps d'état d'une production, selon La norme **afnor 60-182** détaillés dans la **figure III.13** suivant:



**Figure III.13:** Les temps d'état des moyens de production selon la norme NFE 60-182.

Sachant que le TRS et TRG sont des ratios :

⌚ Pour le **TRS** constitué de trois taux intermédiaires:

- ☞ Taux de fonctionnement ( $T_f$ ),
- ☞ Taux de performance ( $T_p$ ),
- ☞ Taux de qualité ( $T_q$ ).

⌚ Pour le **TRG** constitué de :

- ☞ Taux de rendement synthétique (TRS),
- ☞ Taux de charge (T<sub>c</sub>).

**B. Le calcul des ratios TRS et TRG:**

Le TRS est un indicateur de productivité qui rend compte de l'utilisation effective d'une installation de production. Mathématiquement [HOH 10], il se définit par le produit du Taux de qualité (T<sub>q</sub>) par le Taux de performance (T<sub>p</sub>) et par la Disponibilité opérationnelle (Do) comme nous le montre la formule (1) :

$$TRS = Tq * Tp * Do \dots \dots \dots (1)$$

En fonction des temps d'état d'un moyen de production définis selon la norme NFE 60-182, les composantes du TRS se définissent de la manière suivante :

- **Taux de qualité (T<sub>q</sub>):** peut encore être exprimé comme le rapport du temps Utile (t<sub>U</sub>) sur le temps Net (t<sub>N</sub>) :

$$Tq = \frac{t_U}{t_N} \dots \dots \dots (2)$$

- **Taux de performance (T<sub>p</sub>) :** C'est le rapport du temps Net (t<sub>N</sub>) sur le temps de Fonctionnement (t<sub>F</sub>) :

$$Tp = \frac{t_N}{t_F} \dots \dots \dots (3)$$

- **La Disponibilité opérationnelle (Do) :** Se définit comme étant le rapport du temps de fonctionnement (t<sub>F</sub>) sur le temps requis (t<sub>R</sub>) (formule (4)) :

$$Do = \frac{t_F}{t_R} \dots \dots \dots (4)$$

L'application mathématique des formules 1, 2, 3 & 4 nous donne :

$$TRS = \frac{t_U}{t_R} \dots \dots \dots (5)$$

Le TRG est également un indicateur de productivité de l'organisation industrielle. Mathématiquement, il est défini par le produit de la valeur du TRS et celle du Taux de charge (T<sub>c</sub>) (formule (6)):

$$TRG = TRS * Tc \dots \dots (6)$$

- **Le Taux de charge (T<sub>c</sub>) :** C'est le rapport du temps Requis (t<sub>R</sub>) sur le temps d'ouverture (t<sub>o</sub>) (formule (7)):

$$Tc = \frac{t_R}{t_o} \dots \dots \dots (7)$$

Ou encore, on calcul le TRG par:

$$TRG = \frac{t_U}{t_0} \dots \dots \dots (8)$$

**C. Evaluation des temps d'état de la BAG :**

L'enchaînement des étapes de l'approche des temps d'état dans un système de production nous dirige, dans cette étape, de quantifier les variables du système BAG. Pour cela, on a choisi le secteur mécanique (c'est un service très important dans le processus de fabrication et qui a un nombre très important de pannes hors la rupture de des matières premières par rapport aux autres services) pour les mois : Janvier, Février, Mars et Avril pour appliquer la hiérarchie de temps définit dans le schéma représentée dans la **figure III.12**.

Le service mécanique est composé de quatre installations principales et critiques :

- Ø La découpe flans,
- Ø La découpe pieds et colliers,
- Ø L'emboutis supérieur,
- Ø L'emboutis inférieur,

Pour atteindre l'objectif de cette analyse, on a besoin d'un ensemble d'informations supplémentaires tel que : la production mensuelle réelle de chaque installation du service mécanique, les rebus enregistrés, la cadence de production de chaque machine, .....etc.

**C.1 La production mensuelle enregistrée de chaque installation:**

	Flans	Emboutis supérieur	Emboutis inférieur	Pieds	Colliers
Janvier	0	0	0	0	0
Février	42512	13918	15364	15207	18618
Mars	105270	40524	39506	39881	43542
Avril	103038	41985	39932	39458	34819

**Tableau III.19:** La production mensuelle enregistrée dans BAG.

**C.2 Les rébus (Non qualité) mensuels de chaque installation :**

	Flans	Emboutis supérieur	Emboutis inférieur	Pieds	Colliers
Janvier	0	0	0	0	0
Février	28	38	23	42	13
Mars	87	93	91	107	45
Avril	89	110	64	98	41

**Tableau III.20:** Les rebus classés dans BAG par installation mécanique.

C.3 La cadence de production des installations du service mécanique :

	Flans	Emboutis supérieur	Emboutis inférieur	Pieds	Colliers
<b>Cadence de production (Nbr/h)</b>	943/H	238/H	238/H	235/H	235/H
<b>Temps de fabrication unitaire (s)</b>	3.81	15.12	15.12	15.32	15.32

**Tableau III.21:** La cadence et le temps unitaire théorique par installation mécanique.

C.4 La production théorique<sup>2</sup> et réelle<sup>3</sup> (Ecart de cadence) de chaque installation par mois :

Sachant que :

- ☞ **La production théorique = cadence \* 7,5 \* nombre des jours ouvrable de mois.**
- ☞ **Temps perdu = écart de production / cadence de production**

	Janvier	Février	Mars	Avril
<i>Théorique Découpe flans</i>	155595	141450	162667	155595
<i>Réel Découpe flans</i>	0	42512	105183	102949
<b>Ecart de production</b>	<b>-155595</b>	<b>-98938</b>	<b>-57484</b>	<b>-38501</b>
<b>Temps perdu/h</b>	<b>-164,67</b>	<b>-104,71</b>	<b>-60,84</b>	<b>-40,75</b>
<i>Théorique Emboutis Sup.</i>	39270	35700	41055	35700
<i>Réel Emboutis Sup.</i>	0	13880	40431	41875
<b>Ecart de production</b>	<b>-39270</b>	<b>-21820</b>	<b>-624</b>	<b>+6175</b>
<b>Temps perdu/h</b>	<b>-164,93</b>	<b>-91,64</b>	<b>-2,62</b>	<b>+25,94</b>
<i>Théorique Emboutis Inf.</i>	39270	35700	41055	35700
<i>Réel Emboutis Inf.</i>	0	15340	39415	39868
<b>Ecart de production</b>	<b>-39270</b>	<b>-20360</b>	<b>-1640</b>	<b>+4168</b>
<b>Temps perdu/h</b>	<b>-164,93</b>	<b>-85,51</b>	<b>-6,89</b>	<b>+17,51</b>
<i>Théorique Découpe Pieds</i>	38775	35250	40537	35250
<i>Réel Découpe Pieds</i>	0	15165	39774	39360
<b>Ecart de production</b>	<b>-19387,5</b>	<b>-2460</b>	<b>+19505,5</b>	<b>+21735</b>

<sup>2</sup> La capacité d'une installation de produire selon sa cadence de production.

<sup>3</sup> La quantité produite réellement par une installation de production.

<b>Temps perdu/h</b>	<b>-82,50</b>	<b>-10,47</b>	<b>+83,01</b>	<b>+92,49</b>
<i>Théorique Découpe Colliers</i>	38775	35250	40537	35250
<i>Réel Découpe Colliers</i>	0	18605	43497	34778
<b>Ecart de production</b>	<b>-19387,5</b>	<b>+980</b>	<b>+23228,5</b>	<b>+17153</b>
<b>Temps perdu/h</b>	<b>-82,50</b>	<b>+4,17</b>	<b>+98,85</b>	<b>+73,00</b>

**Tableau III.22:** L'écart de production par installation mécanique.

**Remarque (3) :**

On a écarté le mois de Mai à cause de manque d'informations concernant la production total du mois ainsi que les rébus enregistrés.

C.5 Les arrêts de production (propres & induits) enregistrés pour chaque mois :

On peut résumer Les caractéristiques des d'arrêt de production dans le **tableau III.23:**

Type d'arrêt	Causes	
<b>Arrêts Induits</b>	Manque de pièces	
	Saturation de pièces	
	Manque de personnel	
	Défaut d'énergie	
	Manque de ressources extérieures	
<b>Arrêts Propres</b>	Pannes <sup>4</sup>	
	Arrêts d'exploitation <sup>5</sup>	
	<b>Arrêts Fonctionnels</b>	Changement de fabrication
		Contrôle
		Changement d'outils programmé
		Réglage fréquentiel
Entretien fréquentiel		

**Tableau III.23:** La classification des causes des arrêts propres et induits.

La lecture des tableaux de perte de temps du service mécanique des quatre premiers mois de l'année 2011 (Janvier, Février, Mars et Avril) définis précédemment nous aident à faire une première conclusion comme suit :

 Les arrêts lors de la fabrication de la découpe flans :

<sup>4</sup> Partie du temps d'arrêt propre due à un dysfonctionnement.

<sup>5</sup> Partie du temps d'arrêt propre provoquée par l'utilisateur par exemple pour les arrêts de service dus à l'impossibilité du personnel de remplir sa fonction, à des problèmes de qualité,...

	$t_{AP}^6$ (heure)	$t_{AI}^7$ (heure)
<b>Janvier</b>	0	165
<b>Février</b>	2	82.5
<b>Mars</b>	19	5.5
<b>Avril</b>	27	0

**Tableau III.24:** Les arrêts de production de la découpe flans.

 Les arrêts lors de la fabrication de l'emboutis supérieur :

	$t_{AP}$ (heure)	$t_{AI}$ (heure)
<b>Janvier</b>	0	165
<b>Février</b>	3	82.5
<b>Mars</b>	12	5.5
<b>Avril</b>	5	0

**Tableau III.25:** Les arrêts de production de l'emboutis supérieur.

 Les arrêts lors de la fabrication de l'emboutis inférieur :

	$t_{AP}$ (heure)	$t_{AI}$ (heure)
<b>Janvier</b>	0	165
<b>Février</b>	2	82.5
<b>Mars</b>	3.5	5.5
<b>Avril</b>	24	0

**Tableau III.26:** Les arrêts de production de l'emboutis inférieur.

 Les arrêts lors de la fabrication de la découpe pieds & colliers:

	$t_{AP}$ (heure)	$t_{AI}$ (heure)
<b>Janvier</b>	0	165
<b>Février</b>	0	82.5
<b>Mars</b>	15	8.5
<b>Avril</b>	15	0

**Tableau III.27:** Les arrêts de production de la découpe pieds et colliers.

<sup>6</sup> Temps d'arrêts propres, dans le cas du système BAG : se sont les **pannes** (mécanique, pneumatique, électrique et hydraulique), les **rectifications** et les **changements d'outils**.

<sup>7</sup> Temps d'arrêts induits, dans le cas du BAG : se sont les **ruptures** (des stocks) et les **coupures d'énergie**.

**III.2.2.5. Etape 5 : Calcul du TRS & TRG.**

**A. Evaluation des composantes de base du TRS :**

D'après les informations collectées et calculées dans les étapes (1, 2, 3 et 4) de cette approche, on peut déduire les attributs (temps utile, temps du non qualité (rebus), temps d'arrêts de production, temps de pauses, temps d'écart de cadence et temps nécessaire pour la fermeture de l'installation à la fin du travail) nécessaires à chaque installation de production du service mécanique:

Sachant que pour chaque mois on fait les calculs du :

$$\text{Temps de Rebus} = t_R = \text{Quantité de rebus} \times \text{Temps de fabrication unitaire}$$

$$\text{Temps d'Arrêt} = t_A = \sum t_{AP} + t_{AI}$$

$$\text{Temps de pauses} = t_P = 0.5h \times \text{Nombre des jours ouvrables du mois.}$$

$$\text{Temps d'écart de cadence} = t_E = \left( \frac{\text{Ecart de production}}{\text{cadence de production}} \right) - \sum (t_A + t_R)$$

$$\text{Temps utiles} = t_U = 8 \times \text{nbr jo} - \sum (t_A + t_R + t_P + t_F)$$

Temps de fermeture =  $t_F = 0$  : Les installations s'arrêtent de produire après les 8h de travail de chaque jour ouvrable.

∅ La découpe flans :

	Temps Utile (h)	Temps de Rebus (h)	Temps d'Arrêts (h)	Temps de Pauses (h)	Temps d'Ecart de cadence (h)	Temps de Fermeture (h)
<b>Janvier</b>	<b>0</b>	0	165	0	0	0
<b>Février</b>	<b>50,79</b>	0,16	84.5	4.5	20,05	0
<b>Mars</b>	<b>111,66</b>	0,09	24.5	11.5	36,25	0
<b>Avril</b>	<b>109,25</b>	0,09	32	10	8,65	0

**Tableau III.28:** Les temps d'état du fonctionnement de la découpe flans.

∅ L'emboutis supérieur :

	Temps Utile (h)	Temps de Rebus (h)	Temps d'Arrêts (h)	Temps de Pauses (h)	Temps d'Ecart de cadence (h)	Temps de Fermeture (h)
<b>Janvier</b>	<b>0</b>	0	165	0	0	0
<b>Février</b>	<b>63,86</b>	0,16	85,5	4.5	5,98	0
<b>Mars</b>	<b>154,60</b>	0,39	17,5	11.5	0	0
<b>Avril</b>	<b>144,54</b>	0,46	5	10	0	0

**Tableau III.29:** Les temps d'état du fonctionnement de l'emboutis supérieur.

∅ L'emboutis inférieur :

	Temps	Temps de	Temps	Temps de	Temps d'Ecart	Temps de
--	-------	----------	-------	----------	---------------	----------

	Utile (h)	Rebus (h)	d'Arrêts (h)	Pauses (h)	de cadence (h)	Fermeture (h)
<b>Janvier</b>	<b>0</b>	0,00	165	0	0	0
<b>Février</b>	<b>69,99</b>	0,10	84,5	4.5	0,92	0
<b>Mars</b>	<b>163,12</b>	0,38	9	11.5	0	0
<b>Avril</b>	<b>125,73</b>	0,27	24	10	0	0

**Tableau III.30:** Les temps d'état du fonctionnement de l'emboutis inferieur.

∅ La découpe pieds :

	Temps Utile (h)	Temps de Rebus (h)	Temps d'Arrêts (h)	Temps de Pauses (h)	Temps d'Ecart de cadence (h)	Temps de Fermeture (h)
<b>Janvier</b>	<b>0</b>	0	82,5	5,5	0	0
<b>Février</b>	<b>36,32</b>	0,18	41,25	2,25	0	0
<b>Mars</b>	<b>74,04</b>	0,46	11,75	5,75	0	0
<b>Avril</b>	<b>67,08</b>	0,42	7,5	5	0	0

**Tableau III.31:** Les temps d'état du fonctionnement de la découpe pieds.

∅ La découpe colliers :

	Temps Utile (h)	Temps de Rebus (h)	Temps d'Arrêts (h)	Temps de Pauses (h)	Temps d'Ecart de cadence (h)	Temps de Fermeture (h)
<b>Janvier</b>	<b>0</b>	0	82,5	5,5	0	0
<b>Février</b>	<b>36,44</b>	0,06	41,25	2,25	0	0
<b>Mars</b>	<b>74,31</b>	0,19	11,75	5,75	0	0
<b>Avril</b>	<b>67,33</b>	0,17	7,5	5	0	0

**Tableau III.32:** Les temps d'état du fonctionnement de la découpe colliers.

**Remarque (4) :**

On a divisé en deux les temps d'arrêts du **tableau III.27** pour calculer les valeurs des deux **tableaux III.31 & III.32**, parce que c'est la même installation qui fait les deux types de pièces avec changement d'outil pour chaque changement de produit.

**B. Calcul du TRS de chaque mois:**

Découpe Flans	Temps Net (h)	Temps de Fonctionnement (h)	Temps Requis (h)	Temps d'Ouverture (h)	Temps Total (h)	Taux de Qualité (%)	Taux de Performance (%)	Disponibilité Opérationnelle (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)
<b>Janvier</b>	0,00	0,00	165,00	176,00	176,00	∞	∞	∞	∞
<b>Février</b>	50,95	71,00	155,50	160,00	160,00	99%	71%	46%	<b>33%</b>
<b>Mars</b>	111,75	148,00	172,50	184,00	184,00	99%	75%	86%	<b>65%</b>
<b>Avril</b>	109,35	118,00	150,00	160,00	160,00	99%	92%	79%	<b>73%</b>

**Tableau III.33:** Le calcul du TRS pour la découpe flans.

Emboutis Supérieur	Temps Net (h)	Temps de Fonctionnement (h)	Temps Requis (h)	Temps d'Ouverture (h)	Temps Total (h)	Taux de Qualité (%)	Taux de Performance (%)	Disponibilité Opérationnelle (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)
<b>Janvier</b>	0,00	0,00	165,00	176,00	176,00	∞	∞	∞	∞
<b>Février</b>	64,02	70,00	155,50	160,00	160,00	99%	91%	45%	<b>41%</b>
<b>Mars</b>	155,00	155,00	172,50	184,00	184,00	99%	100%	90%	<b>89%</b>
<b>Avril</b>	145,00	145,00	150,00	160,00	160,00	99%	100%	97%	<b>96%</b>

**Tableau III.34:** Le calcul du TRS pour l'emboutis supérieur.

Emboutis Inferieur	Temps Net (h)	Temps de Fonctionnement (h)	Temps Requis (h)	Temps d'Ouverture (h)	Temps Total (h)	Taux de Qualité (%)	Taux de Performance (%)	Disponibilité Opérationnelle (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)
<b>Janvier</b>	0,00	0,00	165,00	176,00	176,00	∞	∞	∞	∞
<b>Février</b>	70,08	71,00	155,50	160,00	160,00	99%	98%	46%	<b>45%</b>
<b>Mars</b>	163,50	163,50	172,50	184,00	184,00	99%	100%	95%	<b>94%</b>
<b>Avril</b>	126,00	126,00	150,00	160,00	160,00	99%	100%	84%	<b>83%</b>

**Tableau III.35:** Le calcul du TRS pour l'emboutis inferieur.

Découpe Pieds	Temps Net (h)	Temps de Fonctionnement (h)	Temps Requis (h)	Temps d'Ouverture (h)	Temps Total (h)	Taux de Qualité (%)	Taux de Performance (%)	Disponibilité Opérationnelle (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)
<b>Janvier</b>	0,00	0,00	82,50	88,00	88,00	∞	∞	∞	∞
<b>Février</b>	36,50	36,50	77,75	80,00	80,00	99%	100%	47%	<b>47%</b>
<b>Mars</b>	74,50	74,50	86,25	92,00	92,00	99%	100%	86%	<b>86%</b>
<b>Avril</b>	67,50	67,50	75,00	80,00	80,00	99%	100%	90%	<b>89%</b>

**Tableau III.36:** Le calcul du TRS pour la découpe pieds.

Découpe Colliers	Temps Net (h)	Temps de Fonctionnement (h)	Temps Requis (h)	Temps d'Ouverture (h)	Temps Total (h)	Taux de Qualité (%)	Taux de Performance (%)	Disponibilité Opérationnelle (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)
<i>Janvier</i>	0,00	0,00	82,50	88,00	88,00	∞	∞	∞	∞
<i>Février</i>	36,50	36,50	77,75	80,00	80,00	99%	100%	47%	<b>47%</b>
<i>Mars</i>	74,50	74,50	86,25	92,00	92,00	99%	100%	86%	<b>86%</b>
<i>Avril</i>	67,50	67,50	75,00	80,00	80,00	99%	100%	90%	<b>90%</b>

**Tableau III.37:** Le calcul du TRS pour la découpe colliers.

∅ Discussion (1)

La lecture des tableaux III.30 à III.34 nous permet de constater une convergence dans les valeurs du temps d'ouverture et le temps requis, ceci se justifie par un temps non requis très petit (Maximum 6h pendant les 4 mois de travail considéré). De la même façon, il y a une égalité entre le temps total et le temps d'ouverture ce qui se traduit par un temps de fermeture nul parce que les installations de production du système BAG travail jusqu'au 16h chaque jour ouvrable et leurs arrêts des travaux sont comptabilisés après la consommation des 8h de travail. Même remarque concernant le temps de fonctionnement et le temps net, ce qui s'exprime par un temps d'écart de cadence nul dans la majorité du temps de ces quatre mois.

C. Calcul du TRG :

Découpe Flans	Taux de Charge (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)	Taux de Rendement Globale (%)
<i>Janvier</i>	∞	∞	∞
<i>Février</i>	97%	33%	<b>32%</b>
<i>Mars</i>	94%	65%	<b>61%</b>
<i>Avril</i>	94%	73%	<b>68%</b>

**Tableau III.38:** Evaluation du TRG de la découpe flans.

Emboutis Supérieur	Taux de Charge (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)	Taux de Rendement Globale (%)
<i>Janvier</i>	∞	∞	∞
<i>Février</i>	97%	41%	<b>40%</b>
<i>Mars</i>	94%	89%	<b>84%</b>
<i>Avril</i>	94%	96%	<b>90%</b>

**Tableau III.39:** Evaluation du TRG de l'emboutis supérieur.

Emboutis Inferieur	Taux de Charge (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)	Taux de Rendement Globale (%)
<i>Janvier</i>	∞	∞	∞
<i>Février</i>	97%	45%	44%
<i>Mars</i>	94%	94%	89%
<i>Avril</i>	94%	84	79%

**Tableau III.40:** Evaluation du TRG de l'emboutis inférieur.

Découpe Pieds	Taux de Charge (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)	Taux de Rendement Globale (%)
<i>Janvier</i>	∞	∞	∞
<i>Février</i>	97%	47%	45%
<i>Mars</i>	94%	86%	80%
<i>Avril</i>	94%	89%	84%

**Tableau III.41:** Evaluation du TRG de la découpe pieds.

Découpe Colliers	Taux de Charge (%)	Taux de Rendement Synthétique (%)	Taux de Rendement Globale (%)
<i>Janvier</i>	∞	∞	∞
<i>Février</i>	97%	47%	46%
<i>Mars</i>	94%	86%	81%
<i>Avril</i>	94%	89%	84%

**Tableau III.42:** Evaluation du TRG de la découpe colliers.

Ø Discussion (2) :

Notre objectif de cette étude est de calculer le TRS & TRG de l'unité de fabrication des bouteille à gaz (BAG) de BATNA, afin de déterminer les principaux installations de production du service mécanique, les principales causes de la baisse de productivité, pour enfin proposer des mesures servant à améliorer les facteurs diminuant la performance du système, traquer les causes de dysfonctionnement et faire la chasse au gaspillage, afin d'améliorer la productivité.

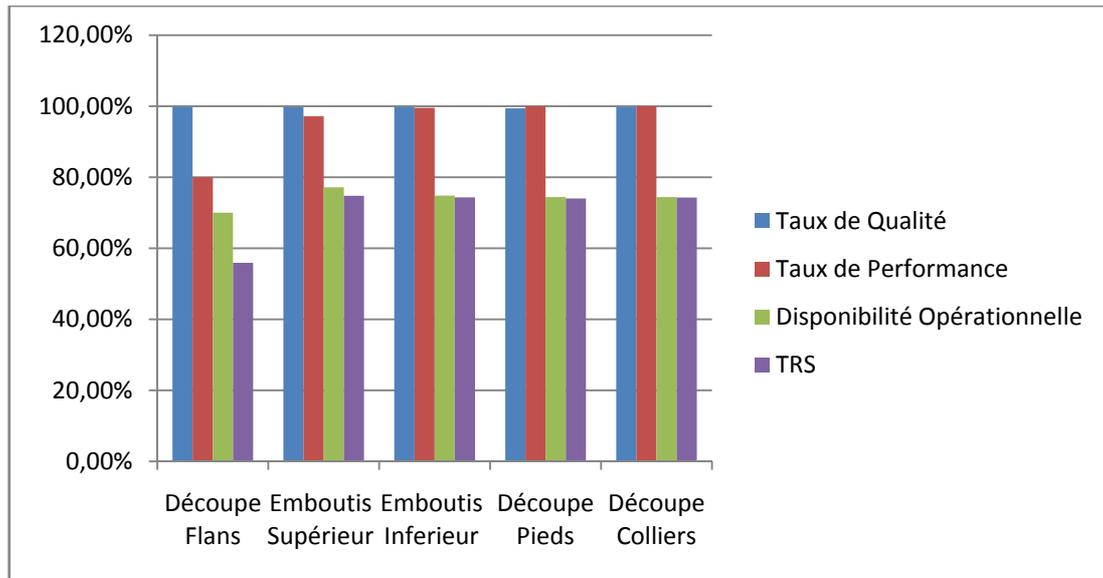
L'étude faite sur quatre mois de production: Janvier, Février, Mars et Avril de l'année 2011, (Le mois de Janvier sera éliminé de cette étude à cause des valeurs indéfinis des : taux de qualité, taux de performance, disponibilité opérationnelle et taux de charge), a montré une variation mensuelle des principales composantes du TRS et TRG. Le tableau suivant nous présente les valeurs moyennes des facteurs de calcul du TRS et TRG durant les premiers 3 mois (on a éliminé le mois de janvier à cause de l'arrêt total de tout le mois de la production à cause la rupture de la matière première : Flux de soudage ) de l'année 2011 :

	Taux de Qualité	Taux de Performance	Disponibilité Opérationnelle	Taux de Charge	TRS	TRG
<b>Découpe Flans</b>	99,84%	79,98%	70,04%	94,90%	56%	53%
<b>Emboutis Supérieur</b>	99,73%	97,15%	77,18%	94,90%	75%	71%
<b>Emboutis Inferieur</b>	99,81%	99,57%	74,81%	94,90%	74%	71%
<b>Découpe Pieds</b>	99,43%	100%	74,44%	94,90%	74%	70%
<b>Découpe Colliers</b>	99,78%	100%	74,44%	94,90%	74%	70%

**Tableau III.43:** Le TRS et TRG de chaque installation pendant 3 mois de production.

Ø Discussion (3) :

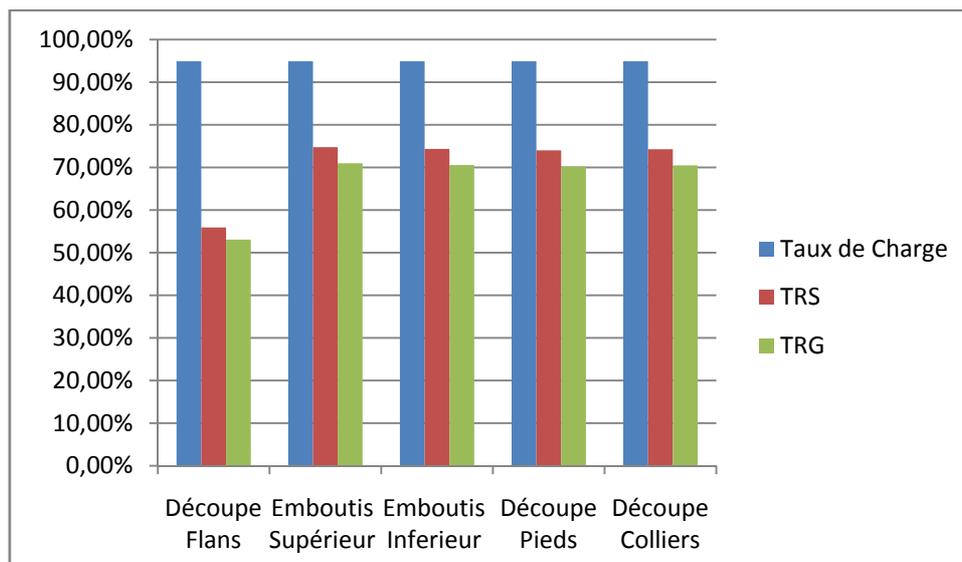
Sur 63 jours de collecte des données de fonctionnement, on a calculé les valeurs du TRS et TRG but de cette étude pour faire notre analyse sur le système de production BAG. La **Figure III.14** représente l'évolution du TRS et de ses composantes sur les trois mois d'étude du système BAG. On remarque une variation mensuelle des principales composantes du TRS. La **Figure III.14** montre une bonne tenue des principales composantes de l'indicateur TRS (Tq, Tp et Do), surtout dans les installations : L'emboutis inferieur et la découpe pieds et colliers. On remarque une égalité entre les valeurs du taux de qualité dans les différents installations du service mécanique ce qui nous permet de dire que dans le système BAG il ya une bonne maitrise de la qualité de leurs pièces (Flans, Emboutis supérieur et inferieur, Pieds et colliers). Même remarque concernant le Tp et Do surtout pour les 3 familles de pièces : Emboutis inferieur, Pieds et Colliers, ce qui est se traduit par une stabilité des temps de : Fonctionnement et Net pour le Tp, temps de : Fonctionnement et requis pour la Do. On ce qui concerne le TRS durant les trois mois (Février, Mars et Avril), à première vue, ce résultat nous semble assez suffisant (56% - 75%), car cette valeur est inferieur à la norme internationale qui est de 85%. Ce résultat ne garantie tout de même pas la capacité productive du système BAG. Cette inquiétude est d'ailleurs ressentie avec la redondance d'apparition des arrêts (pannes, rupture,...etc.) de travail.



**Figure III.14:** Développement du TRS selon les valeurs du  $T_q$ ,  $T_p$  et  $D_o$  pour chaque installation de production pour les 3 mois de travail.

Ø Discussion (4)

Une première constatation de la **figure III.15**, un taux de charge stable (95%) traduit par une stabilité de la différence des temps de : Ouverture et Requis, parce qu'une demi heure de pause est seule et constante dans tous les jours ouvrables dans le système BAG. Pour le TRG, les valeurs calculées durant les trois mois d'étude sont insuffisantes (53%-71%). Des efforts supplémentaires doivent être ajoutés pour y remédier aux problèmes qui se répètent d'une manière continue (comme : la rupture des matières premières, les arrêts des installations de production fréquemment) pour augmenter le TRG qui reflète la réalité du rendement d'un système de production.



**Figure III.15:** Variation du TRG selon les valeurs du TRS et  $T_c$  pour chaque installation de production pour les 3 mois de travail.

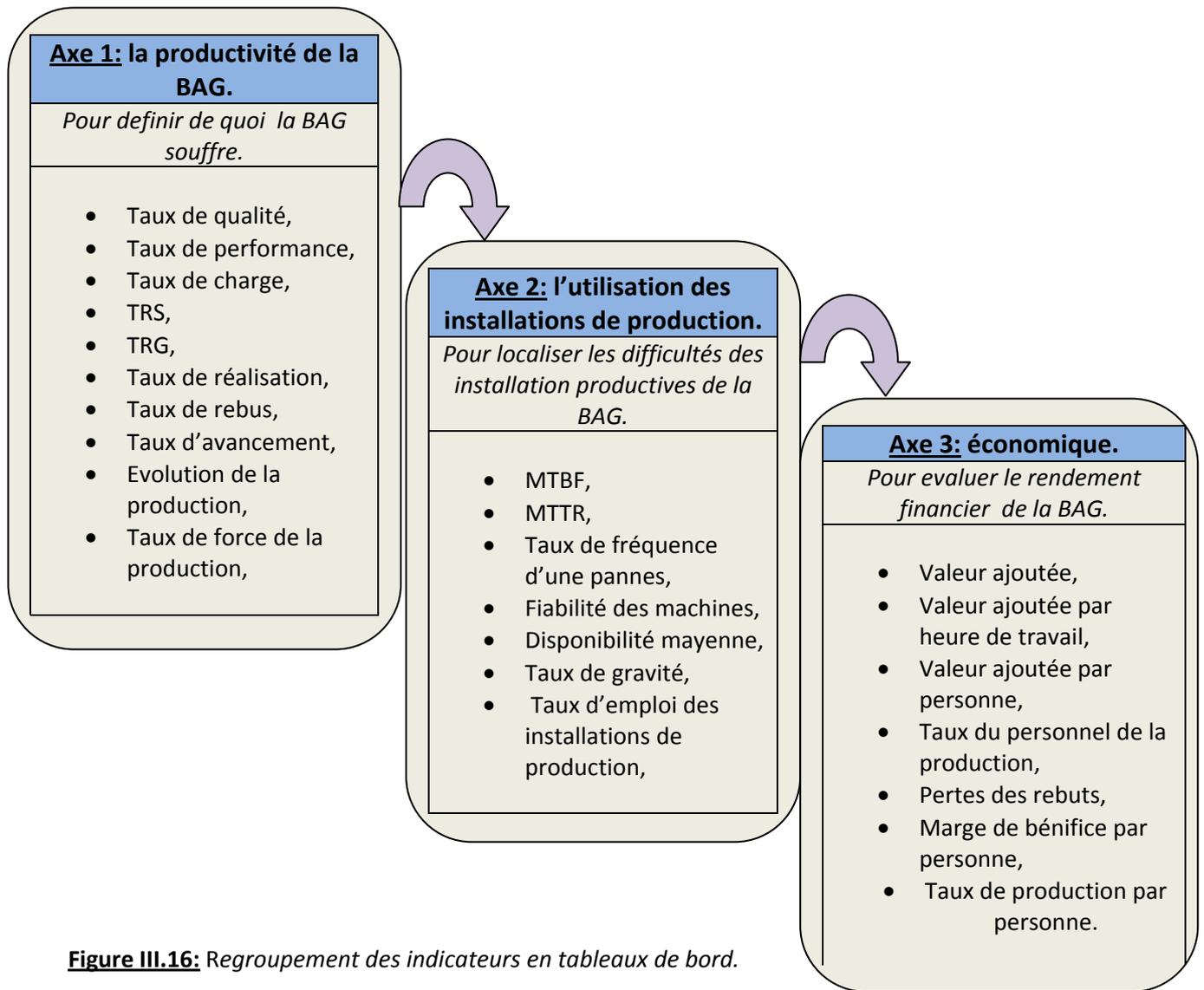
### **III.2.3. Analyse par simulation Monte Carlo du système BAG.**

#### **III.2.3.1. La démarche d'analyse proposée :** « Analyse à travers des indicateurs de performance regroupés dans des tableaux de bord ».

Le but des tableaux de bord qu'on va proposer dans cette partie d'étude, est la mise en cohérence d'un ensemble d'indicateurs avec la stratégie globale d'augmenter la production de la BAG. Ces indicateurs sont variés selon : l'objectif de l'analyse, les variables de décision, ...etc, et ils doivent être considérés comme un outil de communication entre les différents niveaux de la hiérarchie des postes de travail du système de production BAG. Ils ne doivent pas constituer simplement des valeurs numériques de performance du système, mais ils doivent aussi informer et jouer un rôle dans l'apprentissage des paramètres de fonctionnement du processus de fabrication de la BAG.

Des principaux tableaux de bords [FER 08] prospectif de notre étude, va se décliner ses indicateurs suivant trois axes principaux :

- Ø L'axe de la production de la BAG,
- Ø L'axe d'utilisation des installation de production,
- Ø L'axe économique.



**Figure III.16:** Regroupement des indicateurs en tableaux de bord.

Où le format de chaque tableau de bord sera de la forme suivante :

Ratios	Résultats moyens obtenus	Valeur objectif	Valeur min acceptée	Valeur max acceptée	Observation
Ratio 1					
Ratio 2					
•					
•					
•					
•					
Ratio n.					

**Tableau III.44:** Exemple d'un tableau de bord

Où chaque ratio (ou un ensemble ( $i / i=1,m$  de ratios choisis) peut avoir un ensemble ( $n$ ) de valeurs calculées à travers une simulation selon un but souhaité. La représentation d'une execution de simulation sera résumée dans un tableau de la forme suivante :

<b>Ratio i</b>	<b>Observation</b>
Résultat 1	
Résultat 2	
.	
.	
.	
Résultat n.	

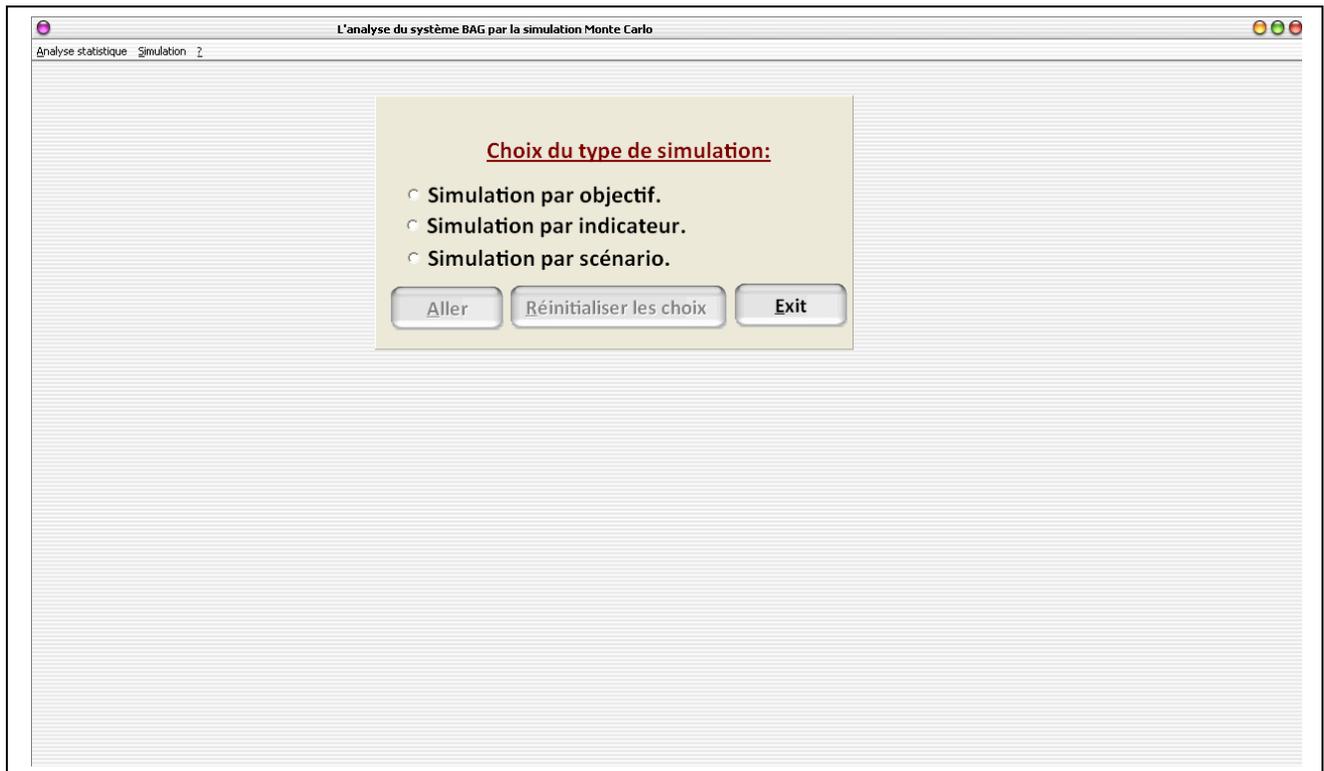
**Tableau III.45:** *format d'affichage des résultats de simulation.*

- **Le choix des indicateurs de performance :**

Notre choix des indicateurs de performance (comme nous montre la **figure III.16**) a été basé sur le poids de la valeur et la signification de l'information qui nous aidera par la suite pour analyser le système de la BAG. Ces trois tableaux de bords nous ne présentent pas le schéma finale de notre analyse, la solution informatique qu'on va programmer nous permet de laisser l'intervalle des indicateurs ouvert à chaque besoin d'un nouvel indicateur.

**III.2.3.2. La solution informatique proposée :**

La **figure III.17** nous représente une première version du menu principale du logiciel qu'on propose comme un outil d'analyse des résultats de notre étude.



L'exécution d'une simulation Monte Carlo à travers cet outil programmé pour le cas de notre étude, se résume en trois cas :

A. Simulation selon le choix d'indicateurs proposés :

La commande « **simulation par indicateur** » + « **Aller** » nous permet d'ouvrir la fenetre de la **figure III.18**, dont le but de cette forme est de donner la main à l'utilisateur pour choisir les indicateurs présentées pour analyser le système BAG selon les résultats qui seront affichés par une simulation Monte Carlo.

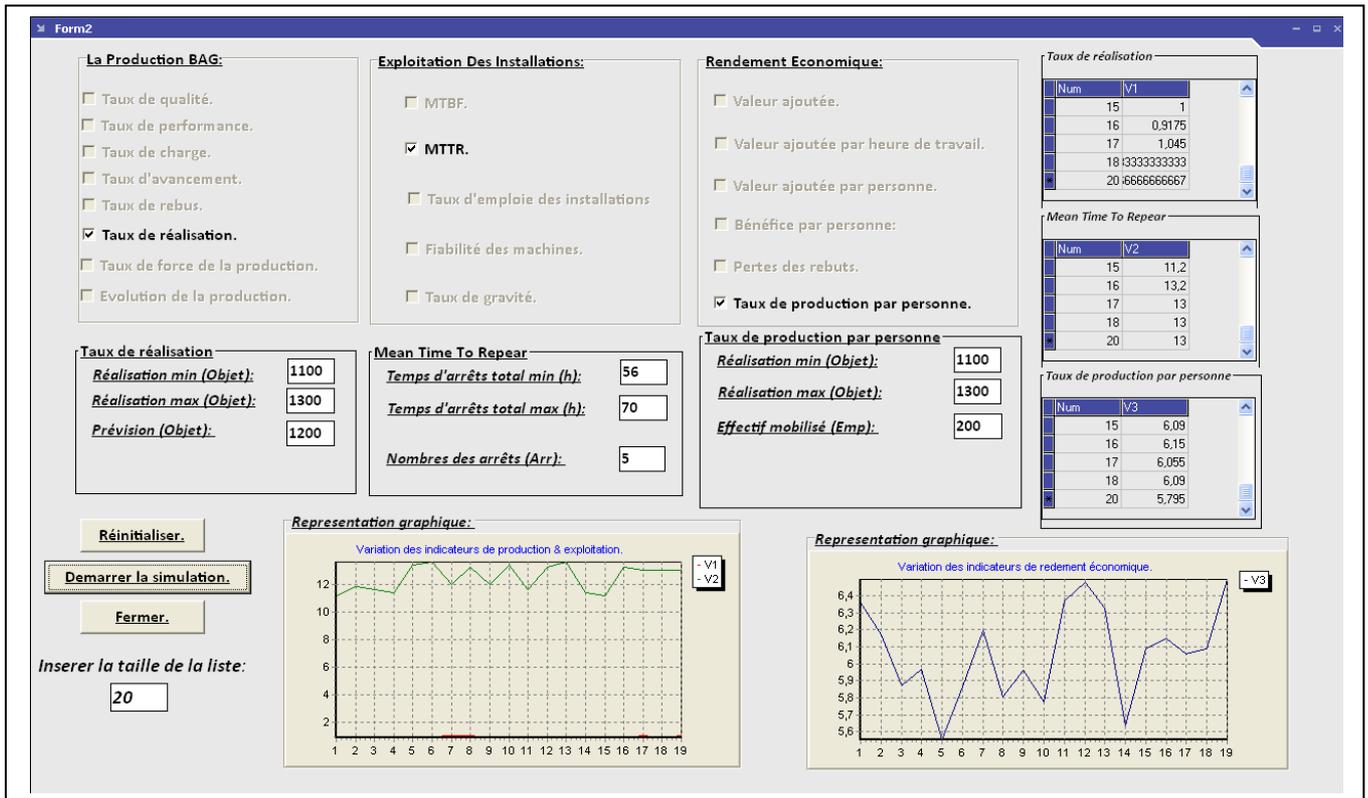
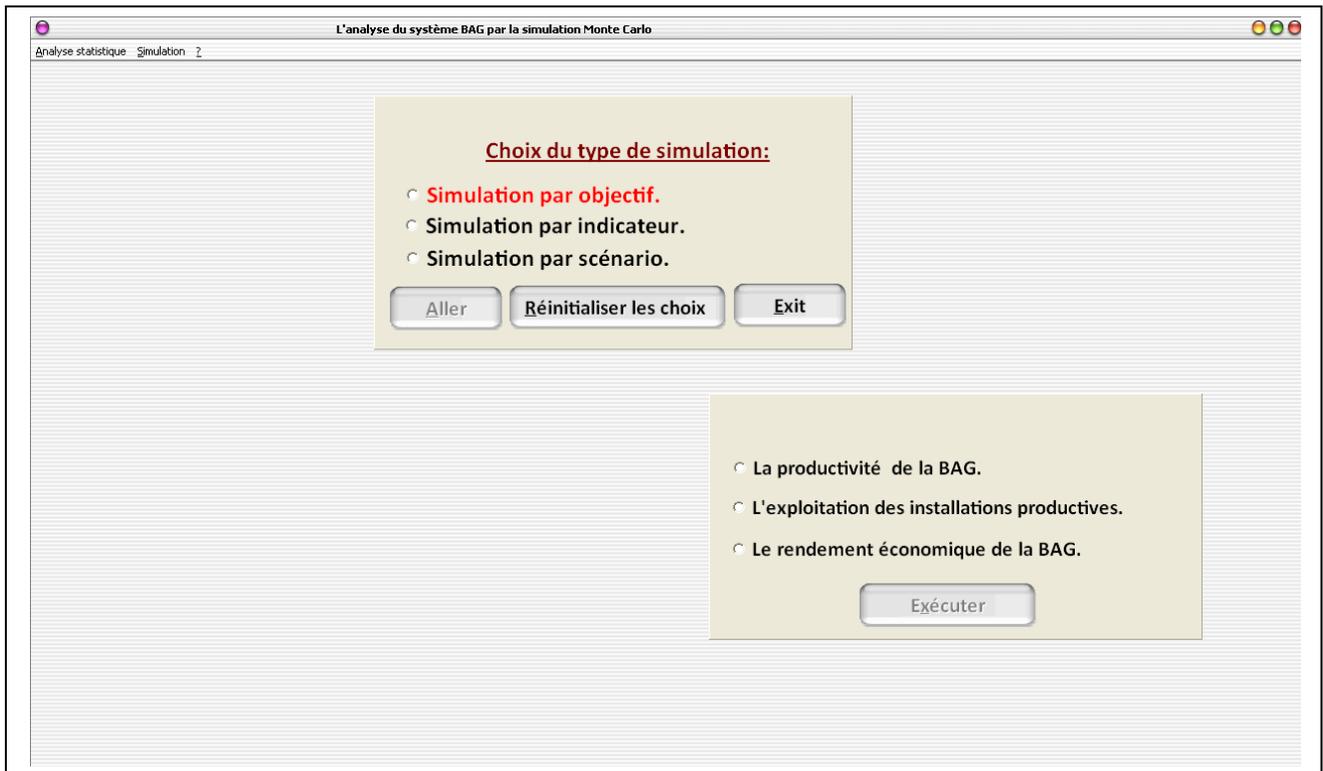


Figure III.18: Fenêtre d'une simulation selon les indicateurs choisis par l'utilisateur.

B. Simulation selon un objectif choisi :

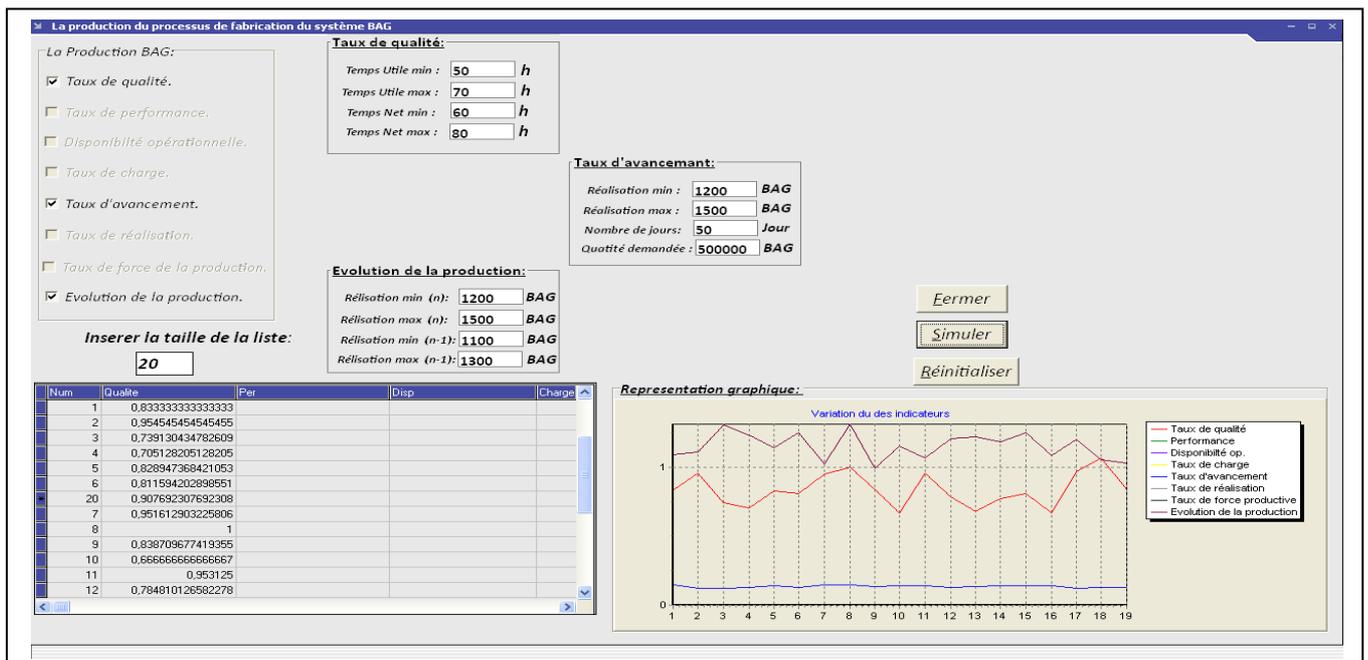
La combinaison des instructions « **simulation par objectif** » + « **Aller** » (de l'interface principale) nous guide vers l'affichage de l'interface représenté par la **figure III.19** :



**Figure III.19:** La préparation d'une simulation selon un objectif déterminé.

L'affichage de la **Figure III.19** nous oriente vers un choix d'un objectif pour simuler le système BAG. Pour cela, on a trois objectifs définis pour lancer une simulation et pour chaque objectif on a une fenetre à exécuter :

☞ **Objectif 1 :** « La productivité de la BAG » + « Executer » : pour calculer des variables aléatoires dont le but est de savoir de quoi la BAG souffre ? (Axe 1)



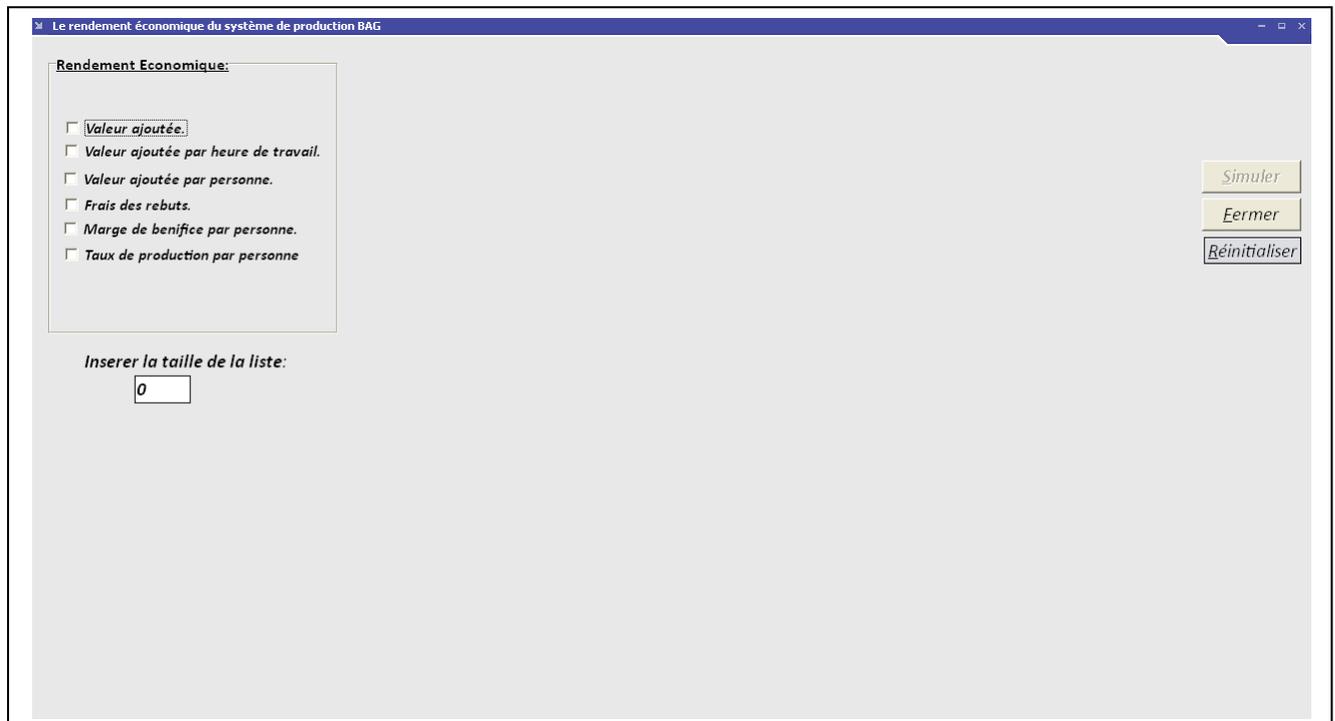
**Figure III.20:** Choix des indicateurs de la productivité de la BAG .

☞ **Objectif 2:** « L'utilisation des installations productives » + « Executer » : pour connaître la situation des installation productives de la BAG (Axe 2).



**Figure III.21:** Les indicateurs de l'exploitation des machines de production de la BAG.

☞ **Objectif 3:** « Le rendement économique de la BAG » + « Executer » : pour évaluer le rentabilité de production de la BAG (Axe 3).



**Figure III.22:** Les indicateurs de la rentabilité de la BAG.

**Remarque (5):**

Les figures de III.18 à III.22 nous présentent un ensemble d'indicateurs partageables selon le but de la simulation Monte Carlo à lancer.

*C. Simulation selon un scénario prédéfinis :*

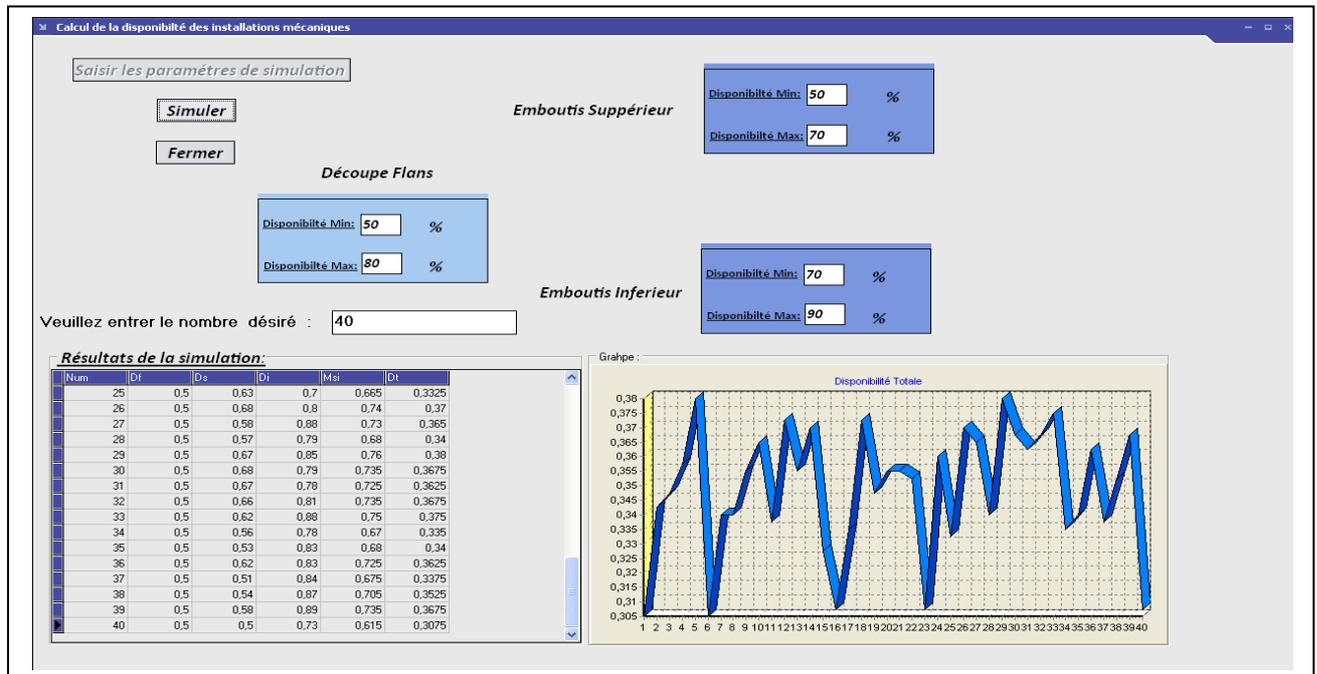
Cette partie de simulation nous permet de lancer une simulation Monte Carlo selon le choix du scénario par l'utilisateur de cet outil. Le but de ce type de simulation est de proposer un enchaînement des événements possible à réaliser dans la réalité du processus de fabrication de la BAG par le principe de simulation Monte Carlo. Dans cette partie de programmation, on a proposé deux scénarios fixes pour analyser le déroulement du processus de fabrication de la BAG.

Le choix « **simulation par scénario** » + « **Aller** » (de l'interface principale) nous guide vers l'affichage de l'interface représenté par la **figure III.23** :



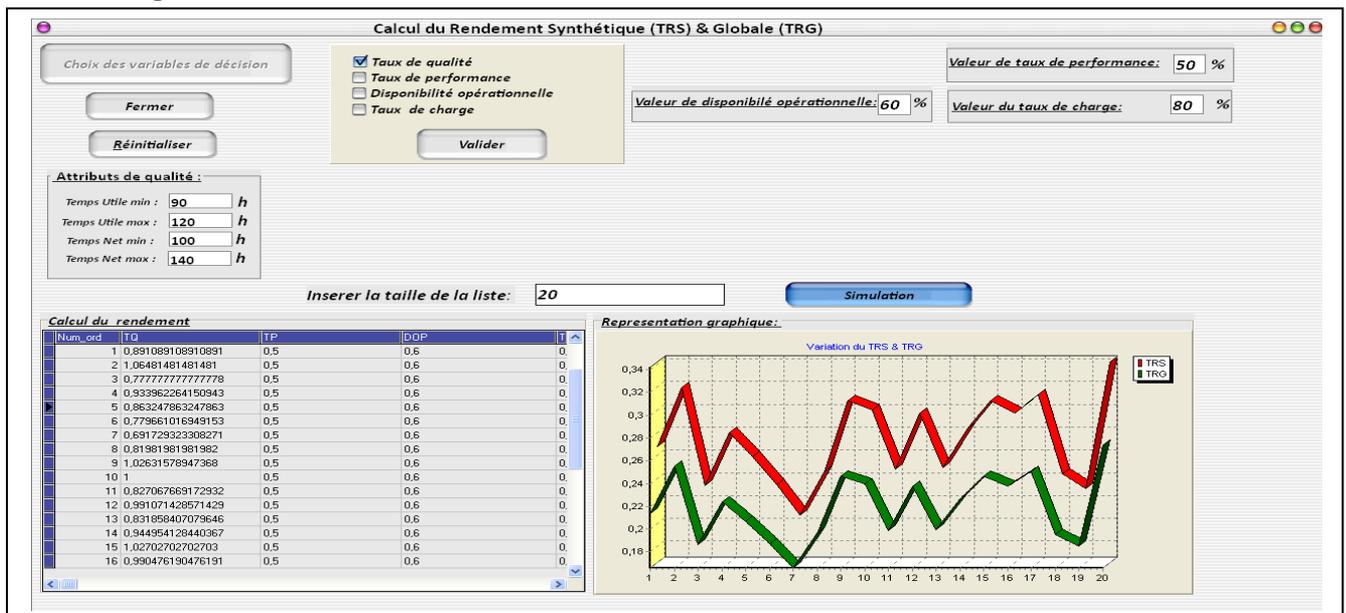
**Figure III.23:** La simulation par scénario.

☞ **Scénario (1) :** La disponibilité des installations de production, le choix du « **La disponibilité des installations** » + « **Exécuter** » nous dirige vers la fenêtre représentée par la **figure III.24** :



**Figure III.24:** La simulation de la disponibilité des installation de production du BAG.

☞ **Scénario (2) :** Le rendement des installations de production, la combinaison du « **Le rendement des installations** » + « **Exécuter** » nous affiche la fenêtre exprimée par la **figure III.25**



**Figure III.25:** La simulation drendement des installation de production du BAG.

### III.2.3.3. L'application de simulation Monte Carlo sur la BAG :

Le but de cette phase d'étude est de proposer des scénarios de nature aléatoires sur lesquels on fait des propositions raisonnables selon les capacités réelles du système BAG pour aider les responsables de la BAG à prendre leurs précautions aux différents risques de dysfonctionnements qui peuvent influencer négativement sur leur système.

On utilise les mêmes étapes de simulation, comme décrit dans le deuxième chapitre (*La simulation Monte Carlo*), pour chaque scénario de notre proposition.

#### III.2.3.3.1. Scénario (1) :

Les responsables du système BAG veulent connaître l'effet de la diminution ou l'augmentation du taux de qualité (**Tq**) dans l'intervalle des valeurs obtenus durant les trois mois (Février, Mars et Avril de l'année 2011) de travail, sur le rendement de l'installation de l'emboutis supérieur sur le processus de fabrication selon la valeur moyenne des autres paramètres de calcul obtenus dans ces trois mois.

☞ **Etape (1) :** *Ecriture du modèle paramétrique,*

Le modèle paramétrique de ce scénario constitue d'un système d'équation de :

$$\left\{ \begin{array}{l} Tq = t_U / t_N, \text{ Avec } t_U \in [63h - 144h] \text{ et } t_N \in [64h - 145h]. \\ TRS = Tq \times Tp \times Do \\ TRG = TRS \times Tc \end{array} \right.$$

☞ **Etape (2) :** *Génération d'un premier nombre aléatoire Tq ,*

On va utiliser une distribution uniforme pour représenter le paramètre incertain Tq. Selon un programme *Matlab* on a obtenu le résultat suivant :

T <sub>U</sub>	T <sub>N</sub>	Tq	Tp	Do	Tc	TRS	TRG
76,72	136,66	56%	97,15%	77,18%	94,90%	<b>42,09%</b>	<b>39,94%</b>

**Tableau III.46:** *Premières valeurs aléatoires du TRS et TRG.*

☞ **Etape (3) :** *Evaluation du modèle à un nombre d'itérations,*

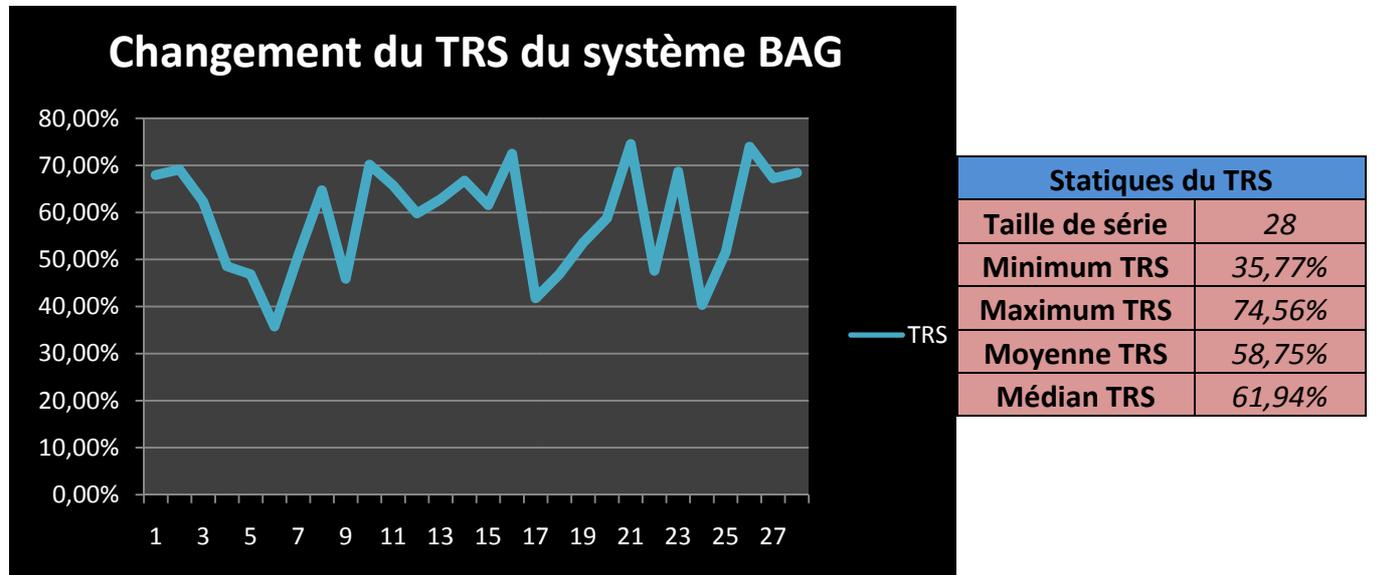
Nous fixons dans un premier temps le nombre d'itérations à 28 aléatoirement. L'exécution de notre outil programmé écrit en *Delphi* (et même en *Matlab*), présenté par la **figure III.16** nous a fournis les combinaisons les résultats de simulation par les valeurs affichées dans le **tableau III.47** :

<b>T<sub>U</sub> (h)</b>	<b>T<sub>N</sub> (h)</b>	<b>T<sub>q</sub> (%)</b>	<b>T<sub>p</sub>(%)</b>	<b>Do(%)</b>	<b>T<sub>c</sub>(%)</b>	<b>TRS(%)</b>	<b>TRG(%)</b>
114,88	126,76	91%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>67,96%</b>	<b>64,49%</b>
123,17	133,60	92%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>69,13%</b>	<b>65,60%</b>
95,58	114,99	83%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>62,32%</b>	<b>59,14%</b>
68,79	106,19	65%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>48,57%</b>	<b>46,09%</b>
74,71	119,51	63%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>46,87%</b>	<b>44,48%</b>
65,97	138,29	48%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>35,77%</b>	<b>33,94%</b>
82,28	121,26	68%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>50,88%</b>	<b>48,28%</b>
97,56	113,03	86%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>64,72%</b>	<b>61,42%</b>
82,49	134,68	61%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>45,93%</b>	<b>43,58%</b>
105,24	112,42	94%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>70,19%</b>	<b>66,61%</b>
118,81	135,50	88%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>65,74%</b>	<b>62,39%</b>
104,20	130,64	80%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>59,80%</b>	<b>56,75%</b>
116,52	139,06	84%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>62,83%</b>	<b>59,62%</b>
96,24	108,04	89%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>66,80%</b>	<b>63,39%</b>
117,60	143,26	82%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>61,55%</b>	<b>58,41%</b>
86,14	89,10	97%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>72,50%</b>	<b>68,80%</b>
64,73	116,23	56%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>41,76%</b>	<b>39,63%</b>
83,82	134,02	63%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>46,89%</b>	<b>44,50%</b>
66,97	93,63	72%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>53,63%</b>	<b>50,89%</b>
100,19	127,81	78%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>58,78%</b>	<b>55,78%</b>
108,48	109,09	99%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>74,56%</b>	<b>70,76%</b>
80,03	125,97	64%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>47,63%</b>	<b>45,20%</b>
63,15	68,94	92%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>68,69%</b>	<b>65,19%</b>
63,89	118,72	54%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>40,35%</b>	<b>38,29%</b>
68,36	99,34	69%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>51,59%</b>	<b>48,96%</b>
112,62	114,16	99%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>73,97%</b>	<b>70,20%</b>
128,46	143,21	90%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>67,26%</b>	<b>63,83%</b>
110,37	120,88	91%	97,15%	77,18%	94,9%	<b>68,46%</b>	<b>64,97%</b>

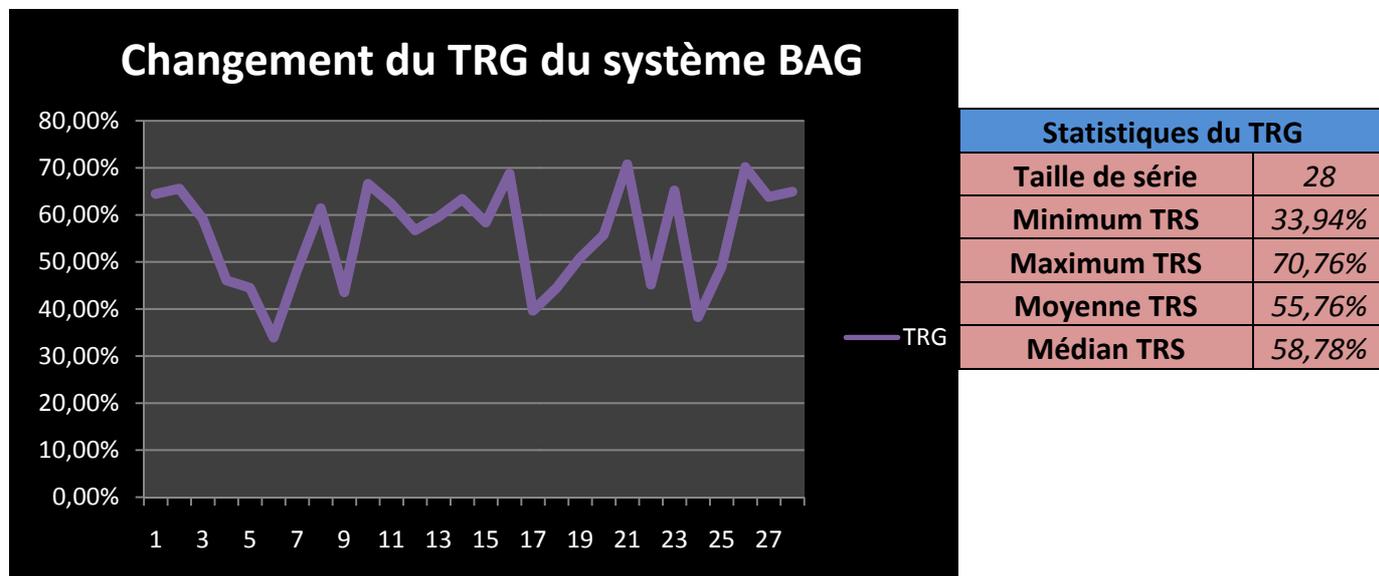
**Tableau III.47:** les valeurs aléatoires du TRS et TRG.

☞ **Etape (4) :** Calcul des valeurs statistiques et à travers des graphes,

D'après la série des échantillons obtenue dans le **tableau III.46**, on calcule les valeurs statistiques pour TRS et TRG afin de les représenter dans un graphe comme nous le montre les figures III.26 et III.27.



**Figure III.26:** Variation des valeurs aléatoires de l'indicateur TRS.



**Figure III.27:** Variation des valeurs aléatoires de l'indicateur TRG.

☞ **Etape (5) :** Analyse des résultats obtenus.

Une première déduction concernant les deux graphes (**Figure III.26** et **Figure III.27**) on peut constater que la valeur du TRG est dépendante de celle du TRS, ce qui nous permet de dire que le rapport du temps Utile sur le temps Net influe directement sur le rendement d'un

système de production. Donc, les responsables du système BAG doivent essayer de rapprocher la valeur de ce rapport, de manière à diminuer le maximum possible les rebus malgré que le taux de qualité était maîtrisé (**99%**), ainsi que tous type de perte de temps (*arrêts, écart de cadence*) de leur processus de fabrication.

On peut aussi déduire, à travers toujours les mêmes graphes, que les valeurs des indicateurs TRS et TRG obtenues (des installations de productions du service mécanique) dans cette simulation semblent non satisfaisantes, toutes les valeurs étant au-dessous de 80% ( $TRG \in [33,94\% - 70,76\%]$  et  $TRS \in [35,77\% - 74,56\%]$ ) par rapport à la valeur acceptée à l'échelle internationale qui est de **80%**, à tous ce qui est mobilisé dans le système de production BAG ainsi que leur longue expérience (plus de 30 ans de travail).

### III.2.3.3.2. Scénario (2) :

D'après l'historique de fonctionnement de la BAG durant la période de travail défini entre : **01/02 /2011** et **30/04/2011**, on peut dire qu'un arrêt du système (total ou partiel) peut avoir un délai jusqu'au un mois, pour cela, on veut savoir le taux de gravité (**Tg**) (on peut même dire une dégradation) d'arrêt de production du processus de fabrication du **secteur mécanique** selon les arrêts enregistrés dans cette période, on supposant que l'arrêt de la production peut avoir un délai de 0 jours ouvrables jusqu'aux 21 (la moyenne des jours ouvrable des mois: *Février, Mars, Avril*) jours ouvrables.

☞ **Etape (1) :** *Ecriture du modèle paramétrique,*

Le modèle paramétrique du deuxième scénario sera comme suit :

$$\{Tg = Jp / Jo$$

Avec :

- ∅ **Jp** : Nombre des jours perdus durant la période fixée (*Février, Mars, Avril*) dans ce scénario,  $Jp \in [0j - 9j]$ ,  $70h/7,5h \approx 9$  jours : la plus grande période d'arrêt enregistrée durant cette période, selon les tableaux *Tableau III.7, III.10 & III.13.*
- ∅ **Jo** : Nombre des jours ouvrables programmés,  $Jo \in [20j - 23j]$ .

☞ **Etape (2) :** *Génération d'un premier nombre aléatoire Tg,*

Même démarche du premier scénario qu'on va suivre dans cette phase d'analyse, on utilisant notre outil de calcul réaliser en langage de programmation Delphi 7, on obtient pour une itération le résultat suivant :

Jours perdus	Jours ouvrables	Taux de gravité
9	22	41%

**Tableau III.48:** *Première estimation du taux de gravité.*

☞ **Etape (3) :** *Evaluation du modèle à une seule itération,*

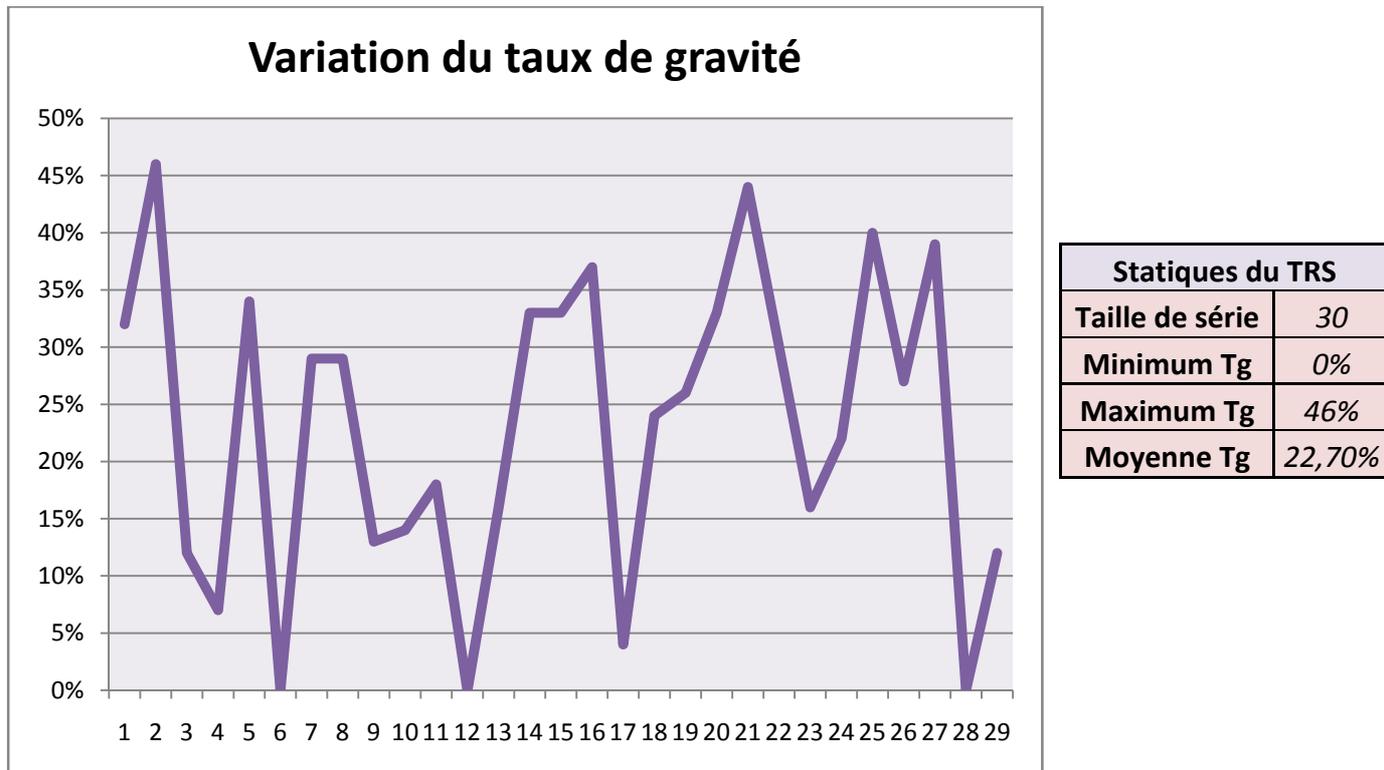
Nous fixons (sans aucun critère) dans un premier temps le nombre d'itérations à 30. L'exécution de notre outil programmé écrit en *Delphi* (et même en *Matlab*) nous a fournis les combinaisons des résultats de simulation par les valeurs affichées dans le **tableau III.49**:

Itération	Jours perdus	Jours ouvrables	Taux de gravité
1	2	21	11%
2	7	23	32%
3	9	20	46%
4	3	22	12%
5	2	22	7%
6	7	22	34%
7	0	22	0%
8	6	21	29%
9	7	22	29%
10	3	22	13%
11	3	21	14%
12	4	23	18%
13	0	23	0%
14	3	22	16%
15	7	22	33%
16	7	22	33%
17	8	21	37%
18	1	21	4%
19	5	21	24%
20	5	21	26%
21	7	22	33%
22	9	21	44%
23	6	20	30%
24	3	22	16%
25	5	20	22%
26	9	22	40%
27	6	22	27%
28	8	21	39%
29	0	23	0%
30	3	21	12%

**Tableau III.49:** Les valeurs aléatoires du taux de gravité (dégradation).

☞ **Etape (4) :** Calcul des valeurs statistiques et à travers des graphes,

La représentation graphique de la série des valeurs aléatoires obtenues dans le **tableau III.49**, du taux de gravité des arrêts enregistrés durant la période des trois mois : *Février*, *Mars* et *Avril*, par la **figure III.28**.



**Figure III.28:** Variation des valeurs aléatoires du taux de gravité des arrêts de la BAG.

☞ **Étape (5) :** Analyse des résultats obtenus.

On remarque à la **figure III.28** que les valeurs du taux de gravité se varient entre **0%** et **46%**, sont des valeurs importantes, ce qui nous signifie que les arrêts enregistrés dans cette période (de *Février* à *Avril*) dans le système de production de la BAG. Pour cela, les responsables de la BAG doivent prendre en considération toute cause d'arrêt et la traiter d'une manière stricte pour éviter toute redondance d'apparition des arrêts, parce que comme nous montre les tableaux **III.5**, **III.8**, **III.11** et **III.14**, des causes d'arrêts (pannes : mécanique, électrique, ... ) qui se répètent presque chaque mois, à cet effet, l'équipe de la production a beaucoup à faire pour le service de mécanique pour réduire ce taux de gravité.

### III.3. Conclusion.

Un système de production, est jugé un tel système industriel comme étant bon ou médiocre à travers sa performance de production, sa stratégie de qualité ainsi que sa disponibilité durant les jours ouvrables de la période de travail programmée qui seront quantifiés par le rendement de l'ensemble du système.

Une rapide analyse des données fait ressortir 3 familles de causes de dysfonctionnements qui gênent le bon fonctionnement du processus de fabrication du service mécanique du système BAG :

- ∅ Les pertes de temps dues aux arrêts (propres et induits) des installations de production du service mécanique qui influent d'une manière directe sur le temps utile, ainsi que sur la totalité des jours ouvrables programmés pour la production de la BAG.
- ∅ Une stratégie de management des installations de production ainsi que ses interventions techniques, du service mécanique, non adéquate aux besoins du processus de fabrication.
- ∅ Problème financier qui influe sur toute l'unité BAG, au niveau du système de production, cela se manifeste par une mauvaise alimentation des stocks en matières premières.

Pour cela, il faut mettre en œuvre une stratégie stricte de gestion des installations (surtout coté maintenance) de production ainsi que leurs fournitures en matières premières.

# Conclusion Générale.

## CONCLUSION GENERALE

Les exigences de la concurrence entre les entreprises productives conduisent les responsables de leurs systèmes de production à prendre leurs précautions afin de garantir le bon fonctionnement des processus de fabrication en maîtrisant tous les paramètres stratégiques (les coûts de production, le délai de livraison des commandes, la qualité souhaitée, la disponibilité de leurs installations productives, ...etc.) de leurs produits. Pour cela, on trouve que la fonction de la production est la valeur la plus importante qui reflète l'efficacité d'un système de production et qui donne l'image de marque d'une telle entreprise. Par conséquent, l'analyse continue (selon différentes approches) du fonctionnement d'un processus de fabrication aide les responsables des systèmes à prévenir tous les dysfonctionnements qui peuvent apparaître et créer des difficultés influentes sur le rendement du système.

Analyser un système de production industrielle selon une approche de simulation nous permet de déduire des intervalles de valeurs où chacune d'elles est incertaine et possible dans le temps et en même temps. La simulation de Monte Carlo que nous avons utilisée, pour le système BAG, est une méthode d'estimation générale, flexible et simple à implanter. Elle permet d'estimer des paramètres inconnus qui, autrement, seraient insaisissables. Elle reste l'une des simulations les plus performantes en analyse, car c'est une méthode capable d'intégrer les diverses dimensions d'un problème complexe. En effet, elle nous permet d'imaginer tous les scénarii possibles des distributions statistiques standards telles que la loi normale, la loi log-normale, la loi uniforme et les distributions triangulaires, des variables de notre système de production.

Dans notre étude portant sur l'analyse (d'une partie opérationnelle) du système de production des bouteilles à gaz (BAG) dans un aspect dysfonctionnel par une simulation Monte Carlo, nous nous sommes intéressés au processus de fabrication de la bouteille à gaz et aux événements (internes et externes) qui ont engendré des obstacles gênants le fonctionnement normal de la production des produits semi-finis (*Flans, emboutis supérieurs, emboutis inférieurs, pieds & colliers*) au niveau du service mécanique. Cette analyse est réalisée à travers le calcul des valeurs aléatoires par l'application de la simulation Monte Carlo sur des indicateurs de performance (*Taux de rendement, Taux de qualité, taux de gravité, ...*) qu'on a choisis selon nos besoins d'analyse, pour commenter les résultats ainsi que les graphes obtenus par l'exécution d'un logiciel (de notre conception). Les résultats obtenus des scénarios exécutés (selon l'historique du système) nous montrent que le système de production de la BAG (surtout le rendement du système) a beaucoup à faire (surtout pour la maintenance) pour remédier aux problèmes rencontrés d'une manière redondante dans le processus de fabrication de la BAG.

La difficulté principale qu'on a trouvée au début de cette période d'étude est bien comment mettre en œuvre l'approche de simulation Monte Carlo sur les paramètres du système BAG car cette approche nécessite des données (des fois introuvables) et une bonne connaissance des lois de distribution de probabilité d'un côté, de l'autre côté comment implémenter le

programme informatique (le logiciel à implémenter ) nécessaire pour l'utilisé dans le reste de ce travail .

Le caractère exploratoire de cette étude, les résultats obtenus de la simulation appliqué au service mécanique du système de production BAG et les observations effectuées sur cette étude ont ouvert de nouvelles perspectives et ont conduit a l'avancement, sur différents ongles, on peut parler dans ce niveau sur :

- ∅ Appliquer la simulation Monte Carlo sur les autres services (Soudage et Finition) et pourquoi pas sur la totalité du système BAG,
- ∅ Utiliser d'autres lois de distribution des variables aléatoires et les comparer entre eux,
- ∅ Faire une analyse par une autre approche de simulation.

# Bibliographie.

**Bibliographie.**

- [ALG 08] C. ALGLAVE, J-M DELAUTRE, M. GERONIMI, P. LAINÉ, « **Management des entreprises** », Hachette livre, 2008.
- [BEC 96] J.C. BECOUR, H. BOUQUIN, « **L'Audit Opérationnel, Efficacité, Efficience et Sécurité** », Edit° Economica, Paris 1996.
- [BEN 08] C. BENAVENT, « **La simulation Monte Carlo : Appliquée pour l'évaluation des options financières** », Cours de méthodes quantitatives, CEROS (Centre d'Etudes et de Recherches sur les Organisations et sur les Stratégies), Université Paris Ouest, France, 2008.
- [BOI 07] J-L BOIMOND, « **Simulation, Systèmes de production, Réseaux de pétri, SIMAN-ARENA** », LISA (Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Automatisés), Université d'Angers, France, 2007.
- [CHE 03] M. P. CHEREAU et all., « **principes méthodologique pour la gestion des risques en établissement de santé** », ANAES (Agence Nationale D'accélération et d'évaluation En Santé), Saint-Denis, France, 2003.
- [CHE 04] M. CHEVALIER, R. GARNIER, B. LUSSON « **La sûreté de fonctionnement (SdF)** », Guide technique, Le magazine SCHNEIDER ELECTRIC de l'enseignement technologique et professionnel, Novembre 2004.
- [CHE 02] N. CHEIKH ROUHOU, « **Simulation des systèmes de production** », Laboratoire de gestion et procédés de production, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2002.
- [CHR 97] E. CHRISTOPHE, « **Management de la flexibilité** », Economica, Paris, 1997.
- [CLA 97] J.-F. CLAVER, J. GELINIER, D. PITT, « **Gestion de flux en entreprise** », Ed. Hermès, Paris 1997.
- [CRA 03] Yves CRAMA, « **Eléments de Gestion De La Production** », Notes de cours, Ecole d'Administration des Affaires, Université de Liège, 2003.
- [DRA 01] G. DRAGHICI, N. BRINZEI, I. FILIPAS, « **La modélisation et la simulation en vue de la conduite des systèmes de production** », UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN TIMISOARA, Roumanie, 2001.
- [DRO 11] Yves & Sylvie Drouin, « **Taux de rendement global TRG Suivre la performance globale des équipements** », Conseillers en Génie industriel & Gestion production, Québec, 2011.

## BIBLIOGRAPHIE

- [DUC 07] Y. DUCQ, « **Evaluation De La Performance D'entreprise Par Les Modèles**», Thèse de doctorat, Université Bordeaux, France, Décembre 2007.
- [FER 08] Alain Fernandez, « **Les nouveaux tableaux de bord des managers** », Eyrolles, 4ème édition, 2008.
- [FLE 07] G. FLEURY, Ph. LACOMME, A. TANGUY, « **Simulation à événements discrets** », Collection Algorithmes, dirigée par Gérard Dreyfus Groupe Eyrolles, 2007.
- [FLO 03] A. FLOQUET, « **Concepts de systèmes de production et de filières** », CEBEDES (Centre Béninois pour l'Environnement et le Développement Economique et Social). 2003.
- [FRI 09] M-C. FRIGON, et all, « **Indicateurs de performance** », RSM Richter Chamberland : Groupe de services conseils en commerce de détail, Québec (Canada), 2009.
- [GAS 05] P. GASPART, « **Gestion des stocks et de la production** », Cours GEST 075, ULB (Université Libre de Bruxelles), Belgique, 2005.
- [GER 93] J. GEORGES, « **l'organisation et la gestion de production** », Masson, Paris, 1993.
- [GIA 03] A. GIANNOLI, « **La gestion des systèmes de production - La qualité - Les choix de production** », cours d'économie d'entreprise, France, 2003.
- [HOH 10] Christian HOHMANN, « **Les trois composants du TRS, et ses leviers d'action** », Directeur associé, Société AGAMUS Consult, France, 2010.
- [KLE 74] J. P. C. KLEIJNEN, « **Statistical Techniques in Simulation** », Marcel Dekker, Partl, New York, 1974.
- [KOM 06] Timothée KOMBE, Eugène Désiré EFAGA, Benoît NDZANA et Eric NIEL, « **Effizienz d'un système bâti sur le TRS global par poursuite du diagramme de fiabilité** », 2006.
- [KOR 10] R. KORN, E. KORN, G. KROISANDT, « **Monte Carlo Methods and Models in Finance and Insurance** », Chapman & Hall/CRC Financial Mathematics Series, 2010.
- [LIO 10] P. LIONTIER et all., « **Guide de l'analyse des enjeux et de la classification** », CLUSIF (CLU **de la Sécurité de l'Information Français**), Paris, France, 2010.
- [MBU 08] E. L. MBUNDA, « **Essai de modélisation de la fonction de production dans une entreprise industrielle** », Thèse de doctorat, Université du CEPROMAD, Kinshasa, 2008.

## BIBLIOGRAPHIE

- [MED 08] K. MEDJAHER, A. MECHRAOUI, N. ZERHOUNI, «**Diagnostic et pronostic de défaillances par : Réseaux Bayésiens** », 4èmes Journées Francophones sur les Réseaux Bayésiens, JFRB'2008., Lyon : France 2008.
- [MES 07] Z. MESSAOUDEN, J. GRAMDIA, «**Proposition d'un cadre conceptuel et systémique des systèmes de production Lean** », Congrès internationale, Canada, 2007.
- [MOR 91] J. MORVAN, «**Management de la sécurité des systèmes industriels de production**», Masson (Paris), 1991.
- [OCN 08] A. B OCNASU, «**Evaluation de la sûreté de fonctionnement des réseaux de distribution par la simulation monte carlo : application à des stratégies de maintenance optimales**», thèse préparée à l'Institut National Polytechnique de Grenoble, Octobre 2008.
- [RAY 04] H. RAYHANE, «**Surveillance des systèmes de production automatisés : détection et aide au diagnostic**», Thèse de doctorat, Laboratoire d'automatique de Grenoble (LAG), Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG – Université Joseph Fourier – Grenoble, France ,2004.
- [RIO 99] M. RIOS, K. BELL, D. KIRSCHEN, R. ALLAN, «**Computation of the Value of Security**», Manchester Centre for Electrical Energy, UMIST, EPSRC/ERCOS reference n° GR/K 80310, Octobre 1999.
- [SAN 02] M. SANAA, R. POUILLOT, B. TOMA, «**Principe de l'appréciation quantitative probabiliste des risques** », AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments), France, 2002.
- [SEN 04] O. SENECHAL, «**Pilotage des systèmes de production vers la performance globale** », Thèse de doctorat, laboratoire d'automatique de mécanique et d'informatique industrielle et humains, université de Valenciennes, France, septembre 2004.
- [SIE 09] A. SIENOU, «**Proposition d'un cadre méthodologique pour le management intégré des risques et des processus d'entreprise** », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France 2009.
- [TAH 10] M. TAHIRI, «**Les systèmes de production automatisés**», Support de Cours sur les Automatismes et l'Automatisation, ENIM (Ecole Nationale de l'Industrie Minérale) - Rabat (Maroc), 2010.
- [VER 00] T. VERDEL, «**Méthodologies d'évaluation globale des risques. Applications potentielles au Génie civil**», Colloque risque et Génie civil, Paris, Novembre 2000.
- [VIL 05] M. VIELLART, E. NEAU, «**L'innovation du produit** », Laboratoire de recherche: CCI de Nantes Saint-Nazaire, Nov. 2005.

*Annexe.*

## Principales définition.

### Les temps d'état d'une production:

Les indicateurs : TRS et TRG indiquent l'état général de votre système. Pour savoir sur quoi agir en priorité, il est important de connaître les causes de pertes de temps qui influent sur le rendement total de l'installation de production. Pour cela, il est indispensable de distinguer entre les différents temps d'état (définis dans la section III.1.1).

- ✓ **temps Total  $t_T$**  : Temps de référence intégrant l'ensemble des états possibles du moyen. Pour une journée, le temps total est de 24 h ; pour une semaine, le temps total est de 168 h ; pour un an, le temps total est de 365 jours ( $\pm$ jour), etc. le temps total est constitué de deux parties de temps : un temps d'ouverture et un temps de fermeture. Le temps total de travail est défini par deux parties de temps de base :

<b><math>t_T</math> : temps total</b>	
<b><math>t_F</math> : temps de Fonctionnement</b>	<b><math>t_F</math> : temps de Fermeture</b>

- **Temps de Fermeture  $t_F$**  : C'est la partie du temps nécessaire à l'arrêt final du système de production qui indique la fin du travail programmé pour la période déclarée dans le temps total.
- **Temps d'Ouverture  $t_O$**  : Une partie du temps total ( $t_T$ ) correspondant à l'amplitude des horaires de travail du moyen de production et incluant les temps d'arrêt de désengagement du moyen de production par exemple (nettoyage, sous charge, modification, essai, formation, réunion, pause, maintenance préventive,...). Cette partie de temps est décomposée en classes de temps : un temps requis et une classe de temps concernant des états de : travaux préventifs de maintenance, des essais, des entretiens des moyens de production, ...etc . ce temps d'état est constitué de deux parties de temps :

<b><math>t_O</math> : temps d'Ouverture</b>	
<b><math>t_R</math> : temps Requis</b>	Des préventifs, des essais, des entretiens, ...

- **Temps Requis  $t_R$**  : Une partie du temps d'ouverture ( $t_O$ ) pendant lequel l'utilisateur engage son moyen de production avec la volonté de produire comprenant les temps d'arrêt subis et programmés (par exemple pannes, changement de série, réglage,...). On peut représenter le temps requis dont les principales composantes sont: le Temps de Fonctionnement (TF), le Temps d'Arrêts Induits (TAI) et le Temps d'Arrêts Propre (TAP), par la répartition suivante :

<b><math>t_R</math> : temps requis</b>
--

$t_F$ : temps de Fonctionnement	$t_{AI}$ : temps d'Arrêts Induits	$t_{AP}$ : temps d'Arrêts Propres
---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

- ❖ **temps de Fonctionnement  $t_F$**  : partie du temps requis ( $t_R$ ) pendant lequel le moyen de production produit des pièces bonnes et mauvaises dans le respect ou non du temps de cycle de référence ( $t_{CR}$ ) et avec toutes ou parties des fonctions en service.
- ❖ **temps d'Arrêt Induit  $t_{AI}$**  : partie du temps requis ( $t_R$ ) correspondant au temps d'arrêt pendant lequel le moyen de production ne peut accomplir sa fonction pour des causes externes.
- ❖ **temps d'Arrêt Propre  $t_{AP}$**  : partie du temps requis ( $t_R$ ) correspondant au temps d'arrêt imputable au moyen de production.

On peut résumer Les caractéristiques de ces temps d'état dans le tableau suivant:

Type d'arrêt	Causes	
Arrêts Induits	Manque de pièces	
	Saturation de pièces	
	Manque de personnel	
	Défaut d'énergie	
	Manque de ressources extérieures	
Arrêts Propres	Pannes <sup>1</sup>	
	Arrêts d'exploitation <sup>2</sup>	
	Arrêts Fonctionnels	Changement de fabrication
		Contrôle
		Changement d'outils programmé
		Réglage fréquentiel
		Entretien fréquentiel

La répartition du temps de fonctionnement ( $T_F$ ) est défini comme suit :

$T_F$ : temps de Fonctionnement
---------------------------------

<sup>1</sup> Partie du temps d'arrêt propre due à un dysfonctionnement.

<sup>2</sup> Partie du temps d'arrêt propre provoquée par l'utilisateur par exemple pour les arrêts de service dus à l'impossibilité du personnel de remplir sa fonction, à des problèmes de qualité,...

**T<sub>N</sub> : temps Net**

Micro arrêt, Ecart de cadence,...

- ☞ **temps Net t<sub>N</sub>** : partie du temps de fonctionnement (tE) pendant lequel le moyen de production aurait produit des pièces bonnes et mauvaises. Le temps d'état des écarts de cadence constitue le temps supplémentaire au temps théorique pour produire une pièce. Le temps net (t<sub>N</sub>) de la production représente le temps réel de la fabrication dans une installation de production que ce soit une production de qualité (temps Utile t<sub>U</sub>) ou mauvaise (Non qualité).

### **Fonctions de calcul des indicateurs.**

<b>Indicateur de performance</b>	<b>Fonction de calcul</b>
Taux de qualité (Tq)	$Tq = \frac{t_U}{t_N}$
Taux de performance (Tp)	$Tp = \frac{t_N}{t_F}$
Disponibilité opérationnelle (Do)	$Do = \frac{t_F}{t_R}$
Taux de charge (Tc)	$Tc = \frac{t_R}{t_O}$
Taux De Rendement Synthétique (TRS)	$Tq * Tp * Do$
Taux De Rendement Global (TRG)	$TRS * Tc$
Taux de réalisation	<i>Réalisation réelle / Prévission</i>
Taux de rebus	<i>Rebus/Rebus + conformes</i>
Taux de fréquence d'une panne	$\Sigma \text{Heures d'arrêt} / \text{Temps total}$
Taux d'avancement	$\frac{\text{Réalisation réelle cumulée}}{\text{Quantité commandée}}$
Taux de gravité	$\Sigma \text{Jours perdus} / \text{Jours ouvrables}$
MTBF	$\text{Temps de marche total} / \text{Nombre des arrêts}$
MTRR	$\text{Temps d'arrêt total} / \text{Nombre des arrêts}$
Taux de panne par installation	$\Sigma \text{Temps d'arrêt} / \text{Temps total de travail}$
Disponibilité moyenne	$TCBF^3 / (TCBF + TCI^4)$
Taux de production par personne	$\text{Production total} / \text{Effectif employé}$
Valeur ajoutée	$\text{Prix de vente} - (\Sigma \text{des frais de : fourniture, service ...})$
Bénéfice par personne	$\text{Bénéfice total} / \text{Effectif employé}$
Coût des rebus	$(\Sigma \text{Rebus}) * \text{coût de réalisation}$
Valeur ajoutée par heure	$\text{Valeur ajoutée} / \Sigma \text{heures de cette valeur ajoutée}$
Taux du personnel par	$\text{Effectif de la production} / \text{Effectif total de l'entreprise}$

<sup>3</sup> Temps Cumulé de Bon Fonctionnement.

<sup>4</sup> Temps Cumulé d'Indisponibilité.

département	
Production par personne	<i>Production brut/Effectif total employé</i>
Valeur ajoutée par personne	<i>Valeur ajoutée totale/Effectif total employé</i>
Valeur ajoutée par heure	<i>Valeur ajoutée totale/ <math>\sum</math> Heures travaillées</i>
Evolution de la production	<i>Production (n)/Production (n – 1)</i>
Taux de force productive	<i>Production/Effectif employé</i>
Fiabilité des machines	<i>Pannes des machines (h)/<math>\sum</math>Heures de fonctionnement</i>
Taux d'emploi des machines	<i>Production réelle(h) / capacité de production(h)</i>
Qualité par personne	<i>Qualité produite / effectif employé</i>

# Liste des Figures & Tableaux.

## Liste des figures

- Figure I.1 les composantes de base d'un système de production.
- Figure I.2 Schéma synoptique d'un système de production industrielle.
- Figure I.3 Représentation d'un atelier Flow Shop.
- Figure I.4 Représentation d'un atelier job Shop.
- Figure I.5 Analyse d'un système de production par sa performance.
- Figure I.6 La performance globale d'un système de production.
- Figure I.7 La décomposition d'un système de production automatisé.
- Figure I.8 Traitement des risques de production.
- Figure I.9 Classification des risques.
- Figure I.10 Analyse de sûreté de fonctionnement.
- Figure I.11 Le cycle d'un système de production.
- Figure I.12 Diagramme de la chronologie de l'étude.
- Figure I.13 Classification des dysfonctionnements.
- Figure II.1 Organigramme d'une modélisation d'un système à simuler.
- Figure II.2 Déroulement d'une simulation d'un système modélisé.
- Figure II.3 Classification des différents types de modèles.
- Figure II.4 Classification des types de simulation.
- Figure II.5 Schéma explicatif des étapes de la simulation Monte Carlo.
- Figure II.6 Modélisation du système à étudier.
- Figure II.7 Algorithme général d'une simulation Monte Carlo.
- Figure III.1 L'organigramme de l'EN.EMB.
- Figure III.2 L'organigramme de l'unité BAG.
- Figure III.3 La collaboration inter-départements.
- Figure III.4 Les niveaux de communication au niveau de BAG.
- Figure III.5 les étapes de la production de BAG.
- Figure III.6 Organigramme interne du département de la production de BAG.
- Figure III.7 La hiérarchie nécessaire pour lancer une production.
- Figure III.8 Le processus de fabrication d'une BAG 11/13.
- Figure III.9 La description de l'assemblage d'une BAG 11/13.
- Figure III.10 Etapes d'analyse préliminaire par historique de la BAG.
- Figure III.11 Bilan des arrêts au niveau du système BAG pour les 5 premiers mois de l'année 2011.
- Figure III.12 Classement des arrêts du système BAG durant les 5 premiers mois de l'année 2011.
- Figure III.13 Les temps d'état des moyens de production : la norme NFE 60-182.
- Figure III.14 Développement du TRS selon les valeurs du Tq, Tp et Do pour chaque installation de production pour les 3 mois de travail.
- Figure III.15 Variation du TRG selon les valeurs du TRS et Tc pour chaque installation de production pour les 3 mois de travail.
- Figure III.16 Regroupement des indicateurs en tableaux de bord.
- Figure III.17 L'interface principale de l'application programmée pour la simulation de la BAG.
- Figure III.18 Fenêtre d'une simulation selon les indicateurs choisis par l'utilisateur.
- Figure III.19 La préparation d'une simulation selon un objectif déterminé.
- Figure III.20 Choix des indicateurs de la productivité de la BAG .

- Figure III.21 Les indicateurs de l'exploitation des machines de production de la BAG.
- Figure III.22 Les indicateurs de la rentabilité de la BAG.
- Figure III.23: La simulation par scénario.
- Figure III.24: La simulation de la disponibilité des installation de production du BAG.
- Figure III.25: La simulation dredement des installation de production du BAG.
- Figure III.26 Variation des valeurs aléatoires de l'indicateur TRS.
- Figure III.27 Variation des valeurs aléatoires de l'indicateur TRG.
- Figure III.28 Variation des valeurs aléatoires du taux de gravité des arrêts de la BAG.

## Liste des tableaux

- Tableau I.1 Exemple d'attribution de la maintenance selon le type d'équipement.
- Tableau III.1 La collaboration entre les départements d'exploitation dans une production BAG.
- Tableau III.2 Le calendrier des jours ouvrables du système BAG pour : Janvier, Février, Mars Avril et Mai de l'année 2011.
- Tableau III.3 Regroupement des données de travail d'une journée dans un flash.
- Tableau III.4 Les pertes de temps enregistrés au BAG pour le moi de Janvier.
- Tableau III.5 Les pertes de temps enregistrés au BAG pour le moi de Février.
- Tableau III.6 La durée de chaque type d'arrêt de temps pour le mois de Février.
- Tableau III.7 La répartition des pertes de temps selon les services pour le mois de Février.
- Tableau III.8 Les pertes de temps enregistrés au BAG pour le moi de Mars.
- Tableau III.9 La durée de chaque type d'arrêt de temps pour le mois de Mars.
- Tableau III.10 La répartition des pertes de temps selon les services pour le mois de Mars.
- Tableau III.11 Les pertes de temps enregistrés à la BAG pour le moi d'Avril.
- Tableau III.12 La durée de chaque type d'arrêt pour le mois d'Avril.
- Tableau III.13 La répartition des pertes de temps selon les services pour le mois d'Avril.
- Tableau III.14 Les pertes de temps enregistrés à la BAG pour le moi de Mai.
- Tableau III.15 La durée de chaque type d'arrêt pour le mois de Mai.
- Tableau III.16 La répartition des pertes de temps selon les services pour le moi de Mai.
- Tableau III.17 La classification des pertes de temps pour les 5 premiers mois de l'année 2011.
- Tableau III.18 Les pertes de temps enregistrées dans BAG pour les 5 premiers mois de l'année 2011.
- Tableau III.19 La production mensuelle enregistrée dans BAG.
- Tableau III.20 Les rebus classés dans BAG par installation mécanique.
- Tableau III.21 La cadence et le temps unitaire théorique par installation mécanique.
- Tableau III.22 L'écart de production par installation mécanique.
- Tableau III.23 La classification des causes des arrêts propres et induits.
- Tableau III.24 Les arrêts de production de la découpe flans.
- Tableau III.25 Les arrêts de production de l'emboutis supérieur.
- Tableau III.26 Les arrêts de production de l'emboutis inférieur.
- Tableau III.27 Les arrêts de production de la découpe pieds et colliers.
- Tableau III.28 Les temps d'état de fonctionnement de la découpe flans.
- Tableau III.29 Les temps d'état de fonctionnement de l'emboutis supérieur.
- Tableau III.30 Les temps d'état de fonctionnement de l'emboutis inférieur.
- Tableau III.31 Les temps d'état de fonctionnement de la découpe pieds.
- Tableau III.32 Les temps d'état de fonctionnement de la découpe colliers.
- Tableau III.33 Le calcul du TRS pour la découpe flans.
- Tableau III.34 Le calcul du TRS pour l'emboutis supérieur.
- Tableau III.35 Le calcul du TRS pour l'emboutis inférieur.
- Tableau III.36 Le calcul du TRS pour la découpe pieds.
- Tableau III.37 Le calcul du TRS pour la découpe colliers.
- Tableau III.38 Evaluation du TRG de la découpe flans.
- Tableau III.39 Evaluation du TRG de l'emboutis supérieur.

Tableau III.40 Evaluation du TRG de l'emboutis inferieur.

Tableau III.41 Evaluation du TRG de la découpe pieds.

Tableau III.42 Evaluation du TRG de la découpe colliers.

Tableau III.43 Le TRS et TRG de chaque installation pendant 3 mois de production.

Tableau III.44 Exemple d'un tableau de bord

Tableau III.45 format d'affichage des résultats de simulation.

Tableau III.46 Première valeurs aléatoires du TRS et TRG.

Tableau III.47 les valeurs aléatoires du TRS et TRG.

Tableau III.48 Première estimation du taux de gravité.

Tableau III.49 Les valeurs aléatoires du taux de gravité.