



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE «Abbès LAGHROUR» DE KHENCHELA  
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



Département de Mathématique et Informatique

## Mémoire de fin d'études

*Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)*

**Spécialité : Informatique**

**Option : Génie Logiciel et Systèmes Distribués**

# Modélisation Et Simulation De La Tache De Détection Des Pannes Dans Un Système Distribué

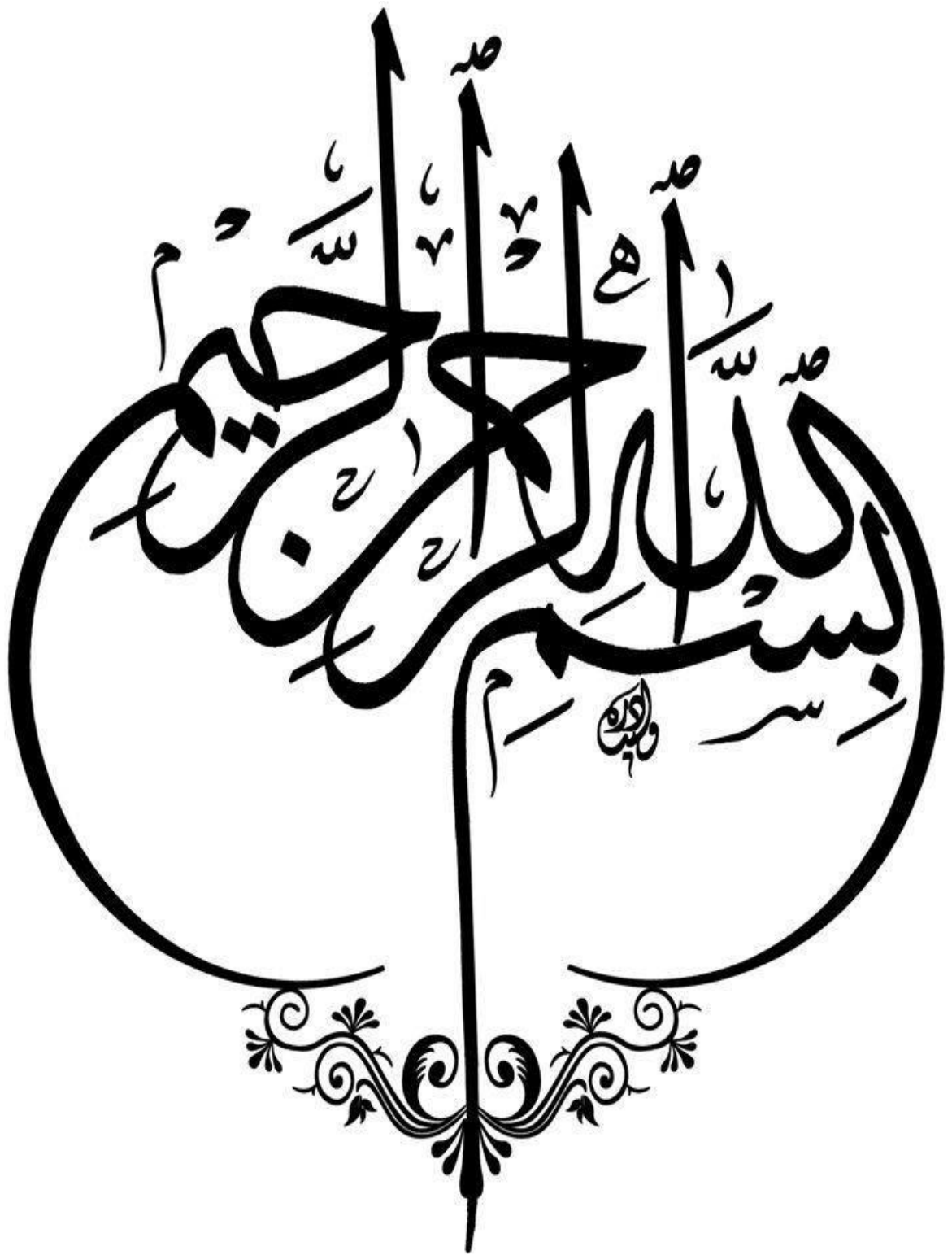
*Réalisé par :*

*-Nabil Karkar*

*Dirigé par :*

*-Dr.Mahdaoui Rafik*

*Année 2019/2020*



# *Remerciements*

*Notre remerciement s'adresse en premier lieu à ALLAH le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.*

*Nous voudrions dans premier temps remercier notre encadreur Dr.MahdaouiRafik pour sa patience sa grande disponibilité et surtout ses conciles ainsi que pour sa Compréhension et les encouragements qu'il nous a apportés...*

*Nous tenon aussi a remercier chaleureusement les membre de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptent d'évaluer notre projet.*

*Nos remerciements vont aussi à tous nos enseignants qui ontContribué à notre formation Dr Toufik Maarok, Dr hichemhouassiDr.Madamew.Chouhaleépouse Dr.Mahdaoui.*

*Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel Monsef, Tikou, Laid, Wald Sabti z, Sohieb, Abba, houssem , Amine et aussi mon cher amis BoucherbeLmeki R.*

# *Dédicace*

*Je dédier mon modeste travaille à ma cher femme qui ma  
donnée un vrais soutien psychique pour continuer mes études  
et mes filles Maya, Malak, Mirale et mon garçon Taha Med  
Amine ,et à tout ma grand famille mes sœurs en France et à  
mon ferrer Nasro en Russie et spécialement à Mon amis et  
cousin Hamide et ces enfants Iwen et Raken en fin je le dédier  
aussi aux mes etudiants*

# Résumé

L'objectif de notre travail. Or, comme l'économie Algérienne est dominée par le secteur de l'habitat et de la construction (logement social, autoroutes est-ouest, barrages, nouvelles villes, etc.), notre étude est axée sur la maintenance des équipements vitaux des unités fondamentales de l'industrie des ciments

Le document présenté est constitué de 3 chapitres qui peuvent être résumés et évalués comme suit.

Le premier chapitre consiste à la présentation de la définition de la maintenance les types de maintenance, les inconvénients et les avantages de chaque type, puis il se termine par le diagnostic de défaillances en va présenter des définitions, puis liste les différentes méthodes et modèles de diagnostic dans le domaine de la maintenance industrielle.

Dans le deuxième chapitre en va présentée tout d'abord l'entreprise ou l'usine sur laquelle qu'en va appliquée notre travail ou approche de la maintenance SCIMAT (Société des Ciments d'Ain-Touta), sa situation géographique, sa fiche technique et tous, ensuite il faut bien exprime le procédé de fabrication du ciment en indiquant les paramètres qui agissent sur le dysfonctionnement du système industriel le champ de notre modèle de simulation, bien sûr nous avons besoin d'un langage de modélisation universelle pour la modélisation de la phase de clinkérisation de la cimenterie et que l'en va par la suite réalisée sous un logiciel de simulation très compatible pour notre travail de surveillance à temps réel qui est Areana simulator avec sa dernière version, à la fin de ce chapitre 2 en va présenter brièvement le logiciel de la simulation Areana et ses modules en exprimant sa grande capacité d'offrir à l'utilisateur la souplesse et surtout de créer le modèle 2D et les animations dans les deux cas en utilisant le même modèle logique

En fin on est arrivé au troisième chapitre où dans lequel on va implémenter notre approche de détection des pannes d'une cimenterie à l'aide d'Arina simulator, où on a commencé par l'implémenter toute la cimenterie et par la suite on va préciser sur la phase concernée par notre projet (clinkérisation)

# Abstract

The objective of our work, as the Algerian economy is dominated by the housing and construction sector (social housing, east-west highways, dams, new towns, etc.), our study is focused on maintenance vital equipment of fundamental units of the cement industry

The presented document consists of 3 chapters which can be summarized and evaluated as follows.

The first chapter consists in the presentation of the definition of maintenance the types of maintenance, the disadvantages and the advantages of each type, then it ends with the fault diagnosis in going to present definitions, then lists the different methods and models of diagnostic in the field of industrial maintenance.

In the second chapter, we first present the company or factory to which our work or maintenance approach SCIMAT (Société des Ciments d'Ain-Touta) is applied, its graphic situation, its technical sheet and all, then we must express the cement manufacturing process by indicating the parameters that act on the dysfunction of the industrial system the scope of our simulation model, of course we need a universal modeling language for the modeling of the phase clinkerisation of the cement plant and that it is subsequently carried out under a very compatible simulation software for our real-time monitoring work which is Areana simulator with its latest version, at the end of this chapter 2 will present briefly on the simulation software Areana and its modules, expressing its capacity to offer these users the flexibility and above all to create the two-dimensional model and animations in both cases using the same logic model

At the end we arrived at the third chapter or in which we will implement our approach for detecting faults of an ai cement plant under Arina simulator, where we started by implementing the whole cement plant and then we will specify on the phase concerned by our project (clinkerization)

# Sommaire

---

|   |           |
|---|-----------|
| Introduction Générale.....  | 2         |
| <b>Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel.....</b> | <b>5</b>  |
| 1. Introduction .....   | 6         |
| 2. la maintenance industrial.....                                 | 6         |
| 2.1. Définition de la maintenance industrielle.....               | 6         |
| 2.2. Objectif de la maintenance .....                             | 7         |
| 2.3. Les types de maintenance .....                               | 7         |
| 2.3.1. Maintenance corrective .....                               | 8         |
| 2.3.2. Maintenance preventive .....                               | 9         |
| 2.3.3. La maintenance preventive prévisionnelle.....              | 11        |
| 3. Le diagnostic .....  | 12        |
| 3.1. C'est quoi le diagnostic .....                               | 12        |
| 3.2. Différentes notions utilisées en diagnostic .....            | 12        |
| 3.3. Procédure de diagnostic.....                                 | 13        |
| 3.4. Méthodes de diagnostic .....                                 | 13        |
| 3.4.1. Les approches à base de connaissance .....                 | 14        |
| 3.4.2 Les approches à base de modèle .....                        | 15        |
| 3.4.3. Les approches à base de données .....                      | 17        |
| 4. Conclusion.....  | 18        |
| <b>Chapitre II Modélisation d'un système industriel .....</b>     | <b>19</b> |
| 1. Introduction .....   | 20        |
| 2. Présentation de la SCIMAT .....                                | 20        |
| 2.1. Identité .....   | 20        |
| 2.2. Situation Géographique .....                                 | 20        |
| 2.3. Fiche Technique .....  | 20        |
| 3. Etapes de Fabrication du ciment .....                          | 20        |
| 3.1. Matières premières [10].....                                 | 21        |
| 3.2. Les étapes du processus.....                                 | 22        |
| 4. Atelier de clinkérisation .....                                | 27        |
| 4.1. Caractéristiques du Four rotatif .....                       | 28        |
| 5. La modélisation .....  | 29        |
| 5.1. Définition.....  | 29        |

# Sommaire

---

|   |           |
|---|-----------|
| 5.2.Les étapes de modélisation d'un système .....   | 29        |
| 5.3.Les langages de la modélisation .....   | 30        |
| 5.4.Origines et Historique d'UML .....  | 30        |
| 5.5.Définition UML.....   | 31        |
| 5.6.Diagramme de classe .....   | 32        |
| 5.6.1.Diagramme de comportement.....  | 32        |
| 5.6.2.Diagramme d'interaction dynamique .....   | 33        |
| 5.7. Simulation.....  | 33        |
| 5.7.1.Définition .....  | 33        |
| 5.7.2.Les différents logiciels de simulation .....  | 33        |
| 5.8.Pour quoi on a choisi Arena-simulation ? .....  | 33        |
| 5.8.1.Définition .....  | 33        |
| 5.8.2.Utilisation d'ARENA.....  | 34        |
| 6.Conclusion.....   | 38        |
| <b>Chapitre III Simulation du système .....</b>   | <b>39</b> |
| 1. Introduction .....   | 40        |
| 2 .Modélisation et simulation des procédés de fabrication du ciment par Arena simulateur... 40                |           |
| 2.1 Collection de donnes .....  | 40        |
| 2.2 Vérification et Validation .....  | 41        |
| 3. Modélisation et simulation des procédés de fabrication du clinker .....                                    | 42        |
| 4. Développement du modèle de simulation pour prévoir et analyser le processus de calcination du ciment. .... | 45        |
| 4.1. Méthodologie.....  | 45        |
| 4.1.1 Formulation du problème.....  | 45        |
| 4.1.2. Conceptualisation du système.....  | 46        |
| 5. Conclusion.....  | 53        |
| Conclusion et Perspectives.....   | 55        |
| Références Bibliographiques.....  | 57        |

## Liste des figures

---

| Liste des figures  | Page |
|--|------|
| Figure 1.1 : Schéma définit les types de maintenance                         | 8    |
| Figure 1.2 : Schémas de diagnostic   | 12   |
| Figure1.3: méthodes et outils en diagnostic                                  | 14   |
| Figure2.1: Processus de fabrication du ciment                                | 21   |
| Figure 2.2 : La carrière de cimenterie                                       | 22   |
| Figure 2.3 : La pré-homogénéisation des matières premières                   | 22   |
| Figure 2.4 : Le broyage du cru   | 24   |
| Figure 2.4 : Le refroidissement du clinker                                   | 25   |
| Figure 2.5 : Le stockage du clinker  | 25   |
| Figure 2.6 : Le broyage du ciment  | 26   |
| Figure 2.7 : Le stockage du ciment   | 26   |
| Figure 2.7 : Le contrôle qualité du ciment                                   | 27   |
| Figure 2.7 : Conditionnement et expédition du ciment                         | 27   |
| Figure 2.8 : Four Rotatif de la SCIMAT                                       | 28   |
| Figure 2.9 : Les étapes de modélisation d'un système                         | 30   |
| Figure 2.9 : Arena-simulation  | 34   |
| Figure 2.10 : interface arena  | 35   |
| Figure 2.11 : Basic Process d'ARENA  | 35   |
| Figure. 3.1 Modèle de simulation ARENA pour la ligne de production de ciment | 42   |
| Figure 3.2 : procédés de fabrication du clinker                              | 43   |
| Figure 3.3 : schéma conceptuel de la simulation                              | 46   |
| Figure 3.4 : Diagramme de flux massique-chaleur                              | 47   |
| Figure 3.5 : Modèle logique de la calcination par Arena                      | 48   |
| Figure 3.6 : Ajout de graphiques au modèle de base.                          | 49   |
| Figure 3.7 : Modèle de simulation de calcination                             | 50   |
| Figure 3.8 : modèle de simulation de calcination en fonctionnement normale   | 51   |
| Figure 3.9 : modèle de simulation de calcination avec message d'alerte       | 52   |

## Liste des tableaux

---

|   |      |
|---|------|
| Liste des tableaux  | Page |
| Tab.3.1: Traitement et distribution des temps de panne selon ARENA Input Analyzer | 41   |
| Tab.3.2. Variables liées au processus de clinkérisation                           | 44   |

**Introduction**

**Générale**

## **Introduction Générale**

L'objectif principal d'un projet de simulation est de donner la main aux utilisateurs ainsi que les experts de systèmes étudiés de faire un ensemble de scénarios de telle sorte que le système réel sera parfaitement simulé et complètement loin d'être touché par des erreurs catastrophiques de fausses manipulations.

Pour cela nous avons recourus directement à la simulation informatique et n'est pas analytique car une modélisation analytique est très limitée à cause de la complexité de notre champ d'application, à savoir la partie de clinkerisation de la cimenterie de Aitouta Batna.

Après avoir modéliser notre système par la méthode UML, nous allons faire une simulation de notre système par un logiciel de simulation des installations industrielles ARENA, pour une simulation en fonctionnement normale ou sans anomalie. Ensuite nous allons essayer de provoquer une défaillance et voir comment notre application va agir avec la présence d'une défaillance, panne ou une dégradation.

Le document présenté est constitué de 3 chapitres qui peuvent être résumés et évalués comme suit. :

### **Contexte d'étude**

#### **Le chapitre 1 :**

Consiste à la présentation de la définition de la maintenance les types de maintenance, les inconvénients et les avantages de chaque type, puis il se termine par le diagnostic de défaillances en va présenter des définitions, puis liste les différentes méthodes et modèles de diagnostic dans le domaine de la maintenance industrielle.

#### **Le chapitre 2 :**

Dans ce chapitre en va présentée tout d'abord l'entreprise ou l'usine sur laquelle qu'en va appliquée notre travail ou approche de la maintenance SCIMAT (Société des Ciments d'Ain-Touta), sa situation géographique, sa fiche technique et tous, ensuite il faut bien exprimer le procédé de fabrication du ciment en indiquant les paramètres qui agissent sur le dysfonctionnement du système industriel le champ de notre modèle de simulation, bien sûr nous avons besoin d'un langage de modélisation universelle pour la modélisation de la phase de clinkerisation de la cimenterie et que l'en va par la suite réalisée sous un logiciel de simulation très compatible pour notre travail de surveillance à temps réel qui est Areana simulator avec sa dernière version, à la fin de ce chapitre 2 en va présenter brièvement le logiciel de la simulation Areana et ses modules en exprimant sa grande capacité d'offrir à ces utilisateurs la souplesse et surtout de créer le modèle deux dimensions et les animations dans les deux cas en utilisant le même modèle logique.

### **Le chapitre 3 :**

En fin on est arrivé au troisième chapitre ou dans le quelle on va implémenter notre approche de détection des pannes d'une cimenterie ai sous Arina simulator, où on a commencé par la implémenterions tout la cimenterie et par la suit on va préciser sur la phase concernée par notre projet (clinkérisation) .



**Chapitre I**

**La maintenance**

**et le diagnostic**

**industriel**

## **1. Introduction**

Ces dernières années, la maintenance industrielle a connu des mutations profondes et a été transformée d'un centre de coûts en un centre de profits. Ainsi, elle participe à la compétitivité de l'entreprise dans un milieu concurrent. La maintenance est définie comme étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Maintenir c'est donc effectuer des opérations qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. L'élément le plus important dans la maintenance c'est Le diagnostic qui est la première chose qui se fait si on était vouloir d'atteindre à la bonne solution et dans un temps plus proche. Et dans ce chapitre on va prendre ces trois chose en détail : lamaintenance industrielle, le diagnostic avec leur méthode la plus supportable.

## **2.la maintenance industrial**

### **2.1. Définition de la maintenance industrielle**

Nous pouvons nous référer à la définition normative [AFN01] : "Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise". Le management de la maintenance concerne toutes les activités des instances de direction qui d'une part déterminent les objectifs, la stratégie et les responsabilités concernant la maintenance, et d'autre part les mettent en application par des moyens tels que la planification, la maîtrise et le contrôle de la maintenance, l'amélioration des méthodes dans l'entreprise. [1]

-Au cours des vingt dernières années, la maintenance a considérablement évoluée. Actuellement, elle constitue l'un des vecteurs essentiels de compétitivité des entreprises [Talbi et al, 2003].

Les concepts liés à la maintenance sont :

**Diagnostic** : Identification d'une panne par ses symptômes

# Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

---

**Expertise** : Intervention, opération d'un expert, évaluation de l'état d'un équipement

**Pronostic** : Préviation, supposition sur ce qui doit arriver sur l'équipement.

## 2.2.Objectif de la maintenance

L'analyse de Compression de Temps Cycle (CTC) concerne plus particulièrement les causes de non-valeur ajoutées durant l'intervention: en effet, ces dernières empêchent le redémarrage de la production sans améliorer le système. L'organisation des tâches de maintenance en parallèle permet de réduire la durée de l'intervention et impose une planification plus efficace pour ce qui ne touche pas à la maintenance curative. En outre, les activités menées doivent améliorer la fiabilité des systèmes. Il faut prendre en compte les risques liés au non-respect des programmes de maintenance préventive. Les entreprises recourent à l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité). Cette méthodologie permet d'identifier les modes de défaillances et leurs effets sur le fonctionnement global du système fonctionnement...).[2]

## 2.3.Les types de maintenance

Les différents types de maintenance qui appelés parfois stratégies de maintenance présentées à la figure 1.1

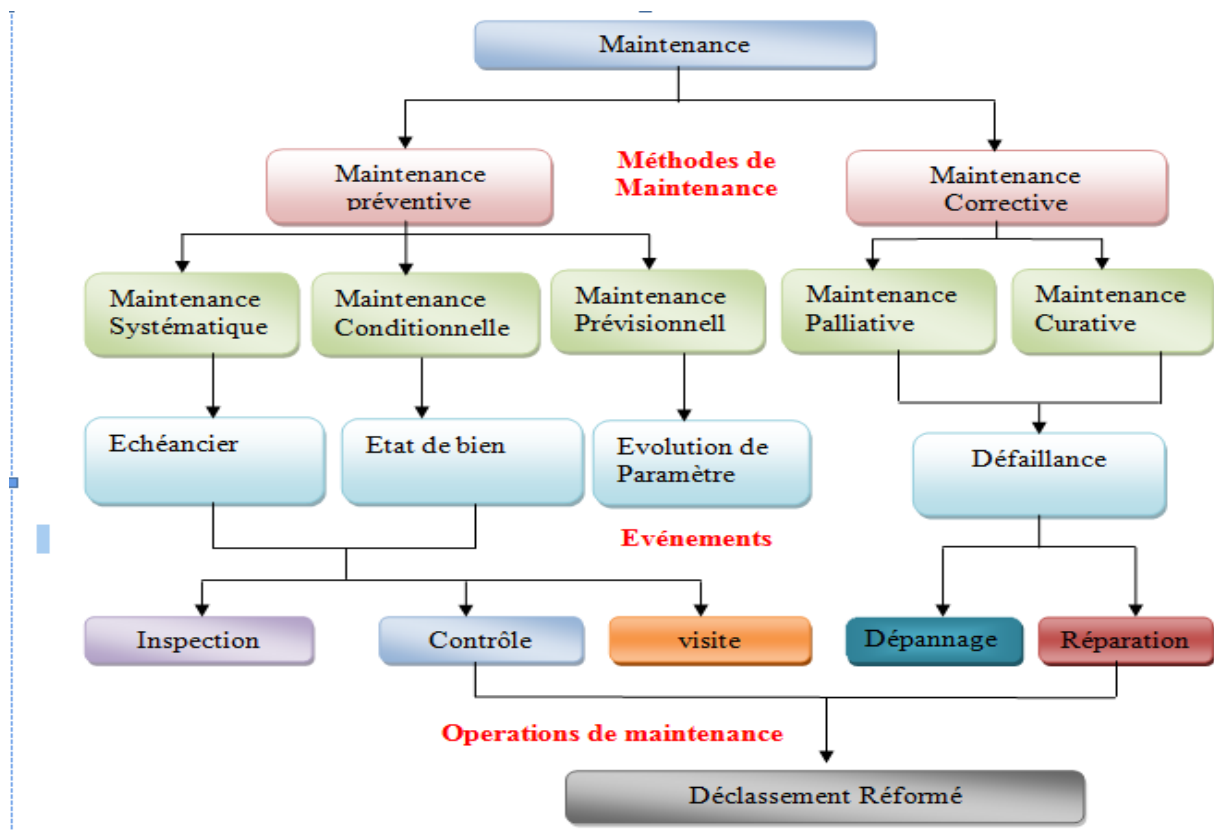


Figure 2.1 : Schéma définit les types de maintenance

## 2.3.1. Maintenance corrective

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. Pratiquement, c'est fonctionner sans entretien jusqu'à la rupture de la pièce. Il s'agit d'une "**maintenance effectuée après défaillance**". C'est une politique de maintenance (dépannage ou réparation) qui correspond à une attitude de réaction à des événements plus ou moins aléatoires et qui s'applique après la panne. Ce qui ne veut pas dire obligatoirement que celle-ci n'a pas été « pensée ». [3]

– maintenance palliative : C'est un le type de réparation est provisoire

– maintenance curative : C'est le type réparations est définitif

–La maintenance améliorative: C'est exécutée afin d'améliorer les fonctions ou la fiabilité d'un équipement.

# Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

---

## 2.3.1.1. Avantages et inconvénients de la maintenance corrective [4]

### Avantage :

- ✚ Faible coût de maintenance.

### Inconvénients :

- ✚ Coût de réparation important.
- ✚ Bris inopportune.
- ✚ Peu de sécurité des travailleurs.
- ✚ Stockage important des pièces.
- ✚ Temps de réparation élevé.
- ✚ Perte de production élevée.

## 2.3.2. Maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. C'est une politique qui s'adresse aux éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles, mais importants.[5]

### 2.3.2.1. Opportunités de la maintenance préventive

La maintenance préventive nous donne :[5]

- ✚ Au service de sécurité (diminution des avaries catastrophiques).
- ✚ Au service de maintenance (meilleure planification des travaux et du personnel, moins d'imprévus, charge de travail régulière).
- ✚ Au service de fiabilité (connaissance des matériels, le taux de défaillance se trouve réduit).
- ✚ à la production (diminution des arrêts imprévus, meilleure disponibilité)
- ✚ Au gestionnaire (action sur les coûts de non-maintenance, mais augmentation des coûts directs de maintenance préventive).
- ✚ Au client (moins de pannes).
- ✚ à l'enquêteur (connaissance des avaries).
- ✚ au service de qualité (meilleur service).
- ✚ au service de logistique (stock de rechanges).

# Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

---

- ✚ au service méthodes (meilleure planification de la production).

## 2.3.2.2. Maintenance préventive systématique

Généralement, la maintenance préventive s'adresse aux éléments dont le coût des pannes est élevé, mais ne revenant pas trop cher en changement. En d'autres mots quand les conséquences de la défaillance en coût et pertes sont plus importantes que le coût et pertes causés par les remplacements des composants du produit; à noter que dans une maintenance planifiée, le remplacement des composants, se fait dans des échéances inférieures à leurs durée de vie, ce qui peut constituer dans d'autres conditions, une sorte de gaspillage. Pratiquement, la maintenance préventive s'exécute sans contrôle préalable de l'état du bien et à des intervalles de temps définis (révision périodique.).[5]

La maintenance préventive systématique exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage indépendamment de l'état du bien.

## 2.3.2.3. Avantages et inconvénients de la maintenance préventive systématique.

### Avantages

- ✚ Réduction des coûts et des durées de maintenance par rapport à l'entretien curatif.
- ✚ Bonne planification des opérations et des ressources.
- ✚ Contrôle du niveau de stockage des pièces de rechange.
- ✚ Généralement, peu de catastrophes.
- ✚ Sécurité accrue.

### Inconvénient

- ✚ Révisions non nécessaires (l'entretien n'est pas fonction de l'état de la machine, mais plutôt de la durée d'utilisation).
- ✚ Remplacement de pièces en bon état.
- ✚ Création de défauts lors des remontages (si les procédures ne sont pas claires et contrôlées).

## 2.3.2.4. Maintenance préventive conditionnelle

C'est un type de maintenance déclenché suite à un symptôme observable permettant de prédire une défaillance prochaine. Il s'agit là d'intervenir juste avant que la panne ne

# Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

---

surviene. La maintenance préventive conditionnelle ou Maintenance prédictive, est conditionnée par un évènement prédéterminé obtenu par l'auto-diagnostic, par des relevées de mesures périodiques ou par des capteurs spécialisés... Le choix entre une maintenance préventive systématique et une maintenance préventive conditionnelle est déterminé par les enjeux de la défaillance. La maintenance conditionnelle basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.[6]

## 2.3.2.5. Avantages et inconvénients de la maintenance préventive conditionnelle [5]

### Avantages

- ✚ Réduction de coût d'environ et de la durée de réparation par rapport à l'entretien préventif.
- ✚ L'accroissement de la durée de vie des pièces par rapport à une politique de changement systématique. Remplacement des pièces défectueuses uniquement.
- ✚ La suppression des défauts de jeunesse lors de remise en route après un entretien systématique.

### Inconvénient

- ✚ Nécessite une équipe de maintenance formée en analyse vibratoire et en essais non destructifs.
- ✚ Niveau technologique plus élevé.

## 2.3.3. La maintenance préventive prévisionnelle

La maintenance prévisionnelle est, selon la norme NFEN 13306 X 60-319, une « maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

Son principe est le suivant : tout élément manifeste des signes, visibles ou non, de dégradation qui en annoncent la défaillance. Le tout est de savoir reconnaître ces signes précurseurs. Des appareils permettent de mesurer cette dégradation, laquelle peut être une variation de température, de vibration, de pression, de dimension, de position, de bruit, etc. Ces dégradations peuvent donc être d'ordre physique, chimique, comportemental, électrique ou autre. [6]

## 3. Le diagnostic

### 3.1. C'est quoi le diagnostic

Le diagnostic d'un système est l'identification du mode de fonctionnement, à chaque instant, par ses manifestations extérieures (symptômes). Son principe général consiste à confronter les données relevées au cours du fonctionnement réel du système avec la connaissance que l'on a de son fonctionnement normal ou défaillant. Si le mode de fonctionnement identifié est un mode défaillant, le système de diagnostic devrait localiser la cause. Il est évident que si l'on veut représenter tous les défauts possibles d'une installation industrielle, la tâche peut être considérable. En conséquence, la plupart des méthodes qu'en nous évoquerons ci-dessous se fondent sur les connaissances du comportement normal de l'installation. Mais il est bien clair que si l'on a une bonne connaissance des anomalies possibles, il faut l'utiliser pour améliorer la surveillance et le diagnostic. [7]

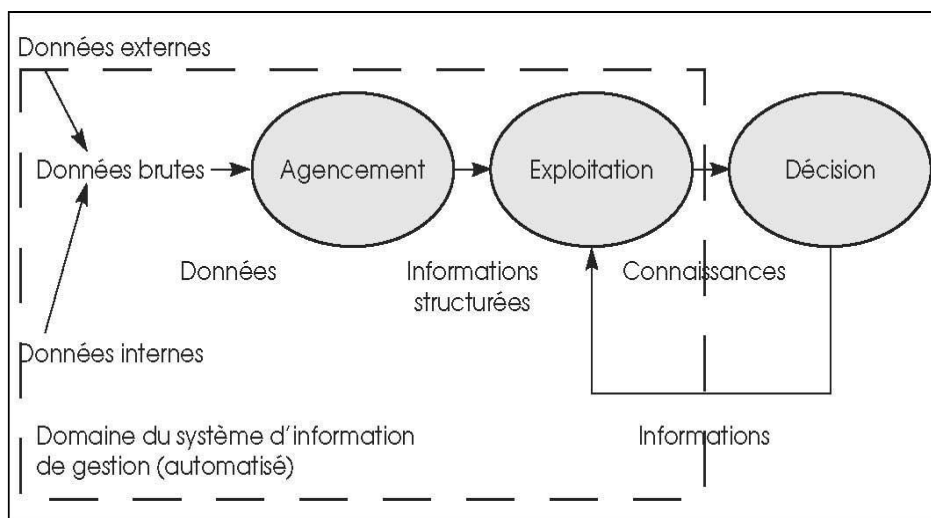


Figure 1.2 : Schémas de diagnostic

### 3.2. Différentes notions utilisées en diagnostic

Comme étape vers une terminologie unifiée, le "Technical Committee of International Federation of Automatic Control" (IFAC) SAFEPROCESS a suggéré des définitions préliminaires dans le domaine du diagnostic de défaut [Isermann 1998].

- **Analyse structurelle** : Analyse des propriétés structurales des modèles, c'est-à-dire des propriétés qui sont indépendantes des valeurs réelles du paramètre.

# Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

---

– **panne** : Une panne est une erreur, un dysfonctionnement dans un dispositif mécanique, électrique, informatique.

**Note** : Une panne est généralement la conséquence d'une défaillance ; néanmoins, elle peut exister sans défaillance préalable. C'est l'ensemble des défaillances des composants. La cause supposée d'une panne est un défaut physique ou une erreur humaine.[7]

## 3.3.Procédure de diagnostic

Nous distinguons généralement, dans la procédure de diagnostic, deux étapes principales : la première concerne **la détection et localisation**, la deuxième représente **l'identification**.

**Détection** : La détection est la première décision que doit prendre par un système de surveillance. C'est le fait de décider qu'un indicateur de défaut est pertinent et donc de signaler si le système est défaillant ou pas. La détection revient à choisir entre deux hypothèses la première correspond au fonctionnement normal, la deuxième correspond au fonctionnement défaillant. Pour détecter les défauts d'un système, il faut donc être capable de classer les situations observables comme étant normales ou anormales.

**Localisation** : La localisation est le fait de déterminer le(s) sous-ensemble(s) fonctionnel(s) défaillant(s). Cet ensemble a intérêt à être le plus réduit possible.

**Identification** : L'identification ou l'estimation vise à fournir des informations quantitatives sur les caractéristiques du défaut : instant d'apparition, valeur de l'écart d'un paramètre permettant de le quantifier. Dans le cas de défauts procédés, l'identification revient à connaître les valeurs de différents paramètres du système.[7]

## 3.4.Méthodes de diagnostic

Le diagnostic est un thème de recherche fédérant différentes communautés scientifiques (Automatique, Informatique, Productique...), aujourd'hui au coeur des préoccupations industrielles. Le diagnostic a pour but d'établir un lien entre un symptôme observé, la défaillance qui est survenue et ses causes. Au sein de la communauté automatique du continu, le diagnostic se retrouve sous l'appellation FDI « Faultdetection and Isolation », regroupant à la fois la détection d'une déviation de comportement qui donne lieu à la génération d'un symptôme (fonction détection) et l'isolation de la défaillance qui mène à la localisation de l'élément responsable de cette défaillance (fonction diagnostic). Pour la communauté

# Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

automatique des systèmes à événements discrets, à laquelle nous appartenons, le diagnostic se différencie bien de la détection de défaillance qui caractérise le fonctionnement du système comme normal ou anormal. Les activités de recherche que nous présentons ici, couvrent ces deux aspects : Détection et diagnostic. De nombreuses méthodes sont abordées dans plusieurs travaux en diagnostic. Nous pouvons les scinder en trois grandes familles en fonction du type de connaissance a priori sur le système.[8]

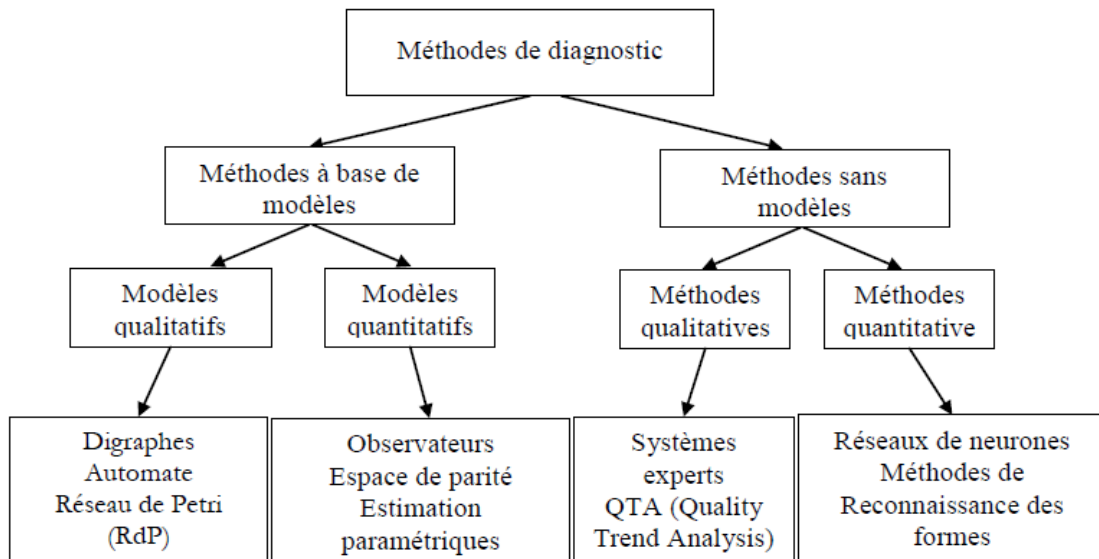


Figure1.3: méthodes et outils en diagnostic[6]

## 3.4.1. Les approches à base de connaissance

qui reposent sur des modèles quantitatifs basés sur les principes physiques fondamentaux ou qualitatifs basés sur la structure du système et les liens entre composants. Ces méthodes utilisent un modèle décrit par des relations mathématiques représentant les différentes relations physiques du procédé. Généralement, ces relations physiques découlent de l'application de lois fondamentales de divers domaines (physique, chimie, électricité, thermodynamique, mécanique, etc.). Ainsi, il est possible de créer une modélisation du système qui, en lui appliquant les entrées  $U$  similaires au système réel (lois de commande, paramètres du procédé, etc.), fournit une réponse estimée du système  $\hat{Y}$ . Il est alors possible de calculer l'écart entre la réponse réelle du système ( $Y$ ) et sa réponse estimée ( $\hat{Y}$ ). Cet écart est usuellement appelé résidu ( $R$ ). En d'autres termes, les résidus sont les écarts entre les observations du système et le modèle mathématique. L'objectif de ce type d'approche est de réussir à faire la distinction entre les résidus causés par des fautes (causes assignables) et les

# Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

---

résidus causés par les autres sources de variation précédemment citées (causes aléatoires) Les résidus sont relativement élevés lorsqu'une faute est présentée dans le procédé. Dans ce cas, la présence de faute est détectée en appliquant des seuils adéquats sur les résidus. Il existe plusieurs approches de génération de résidus, cependant trois sont essentielles, il s'agit de.

**-Estimation de paramètres:** Les résidus sont la différence entre les paramètres nominaux du modèle et les paramètres estimés du modèle.

**-Observateurs:** Les méthodes à base d'observateurs reconstruisent une estimation de la sortie à partir de toutes ou parties des sorties réelles du système. Les résidus sont alors classiquement la différence entre les sorties mesurées et les sorties estimées.

**-Equations de parité:** Cette méthode consiste à vérifier l'exactitude des équations mathématiques du modèle en se basant sur les sorties du procédé. Lorsque le modèle mathématique du système est disponible, ces méthodes à base de modèles analytiques sont très performantes. Elles sont généralement intitulées FDI (FaultDetection and Isolation). En effet, alors que pour la notion de détection de fautes toutes les communautés scientifiques partagent la même définition, pour ce qui est du diagnostic beaucoup de divergences apparaissent. Il semble donc important de définir ici ce qui est entendu par isolation de faute. L'isolation de faute est la détermination du lieu exact de la faute afin de déterminer quel(s) composant(s) du système est/sont défectueux.

L'isolation de faute fournit plus d'informations que la phase d'identification de variables, mais moins que la phase de diagnostic toute entière puisque celle-ci comprend également les notions d'emplacement, d'amplitude et de durée de la faute. comme les experts déjà signalé l'approche à base de modèles analytiques donne des résultats supérieurs aux autres méthodes (connaissances ou données). Mais, ceci n'est vrai que lorsque le modèle est bien construit. Or, la construction du modèle pour des systèmes complexes et/ou de grandes envergures, devient presque impossible. De plus, même si l'on arrive à bâtir un modèle, il n'est que rarement assez détaillé et précis pour permettre d'obtenir des résultats satisfaisants.[6]

## 3.4.2 Les approches à base de modèle

qui s'appuient sur les connaissances et les raisonnements experts, dans le cas où un modèle analytique du procédé n'est pas disponible, une solution est basé sur l'exploitation de

## Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

---

la connaissance humaine disponible sur le procédé. Il existe alors des méthodes exploitant les connaissances qualitatives que détiennent des experts sur le procédé étudié. Nous avons notamment citer quelques techniques telles que les systèmes experts [Jean-Noël Chatain , 1993 ], l'AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets) [Jean Faucher , 2004], l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités) [Jean Faucher , 2004], ainsi que les arbres de défaillances [Gilles Zwingelstein 1995 ].

**Les systèmes experts** sont des techniques d'intelligence artificielle, basés sur les connaissances, permettant d'imiter le raisonnement humain pour la résolution d'un problème. Un système expert bien conçu est capable de représenter l'expertise humaine existante, prendre en compte des bases de données existantes, d'acquérir de nouvelles connaissances, d'effectuer de l'inférence logique, de donner des suggestions, et finalement de prendre des décisions basées sur un raisonnement. L'avantage principal dans l'utilisation d'un système expert est que l'expert humain n'a plus besoin d'être physiquement présent, puisqu'il est là virtuellement par le biais du système de connaissance. Mais, l'élaboration de la base de connaissance pour des systèmes de grandes tailles est une tâche très ardue, ce qui dans la pratique limite l'application de cette technique à des systèmes avec un nombre d'entrées sorties restreint. Cependant, d'autres études affirment que les systèmes experts représentent une approche devant se développer fortement dans le futur. [9]

**L'AMDE** [Jean Faucher, 2004] est une technique issue de la communauté de la sûreté de fonctionnement. Elle permet une analyse systématique et très complète, composant par composant, de tous les modes possibles de défaillance et précise leurs effets sur le système global. L'AMDE consiste à établir sous forme de tableau l'ensemble des différentes défaillances de chaque composant du système, et d'en analyser les conséquences (effets) directes sur le système et son entourage (notamment l'opérateur). Il est possible de renforcer l'AMDE par une étude de la criticité, obtenant ainsi

**l'AMDEC**[Jean Faucher, 2004]. L'étude de criticité détermine quels sont les modes de défaillances les plus critiques en prenant en compte les notions de gravité des différents modes couplées à des notions de probabilité (fréquence d'apparition). Une fois l'AMDEC réalisée, nous l'utilisons afin de diagnostiquer des situations hors contrôle du procédé. Ainsi, en partant des effets observés, l'utilisateur peut remonter rapidement vers la cause de ces effets grâce au tableau réalisé. Cette méthode est très puissante car dès l'apparition d'effets indésirables sur le procédé elle permet de rapidement remonter vers les causes ayant

# Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

---

engendrées ces effets. Mais, plusieurs inconvénients rendent cette démarche non réalisable sur des systèmes trop complexes. En effet, l'établissement d'un tableau AMDEC pour des systèmes de grandes échelles demande un investissement beaucoup trop lourd afin de référencer toutes les défaillances possibles ainsi que les relations causes-effets de celles-ci. De plus, cette méthode ne permet pas la prise en compte de combinaisons de plusieurs défaillances. Un autre outil issu de la sûreté de fonctionnement est l'arbre de défaillances. Un arbre de défaillance se présente sous la forme d'un diagramme logique où un événement indésirable (une faute précise) est placé au sommet. Ensuite, les causes immédiates de cette faute sont reliées grâce à des connecteurs logiques "ET" et "OU", et ainsi de suite jusqu'à atteindre, à la base, un ensemble d'événements élémentaires. Cet outil présente les mêmes avantages et les mêmes inconvénients que l'AMDEC. [10]

### 3.4.3. Les approches à base de données

Ces méthodes ont l'avantage de ne pas nécessiter la connaissance d'un modèle mathématique ou structurel du procédé, contrairement aux méthodes à base de modèles. Seulement, la disponibilité de grandes quantités de données historiques du processus est nécessaire. Il y a diverses façons de traiter ces données et de les présenter en tant que connaissance a priori pour le diagnostic. Ceci est connu comme l'extraction des caractéristiques.

# Chapitre I La maintenance et le diagnostic industriel

---

## 4. Conclusion

A partir de ce chapitre et qui nous avons parlé on déduit que Le développement des entreprises et l'adaptation au milieu concurrentiel est dépend à plusieurs facteurs.

Parmi ces facteurs la maintenance qui joue le rôle le très important et pour être en avant il faut placer la maintenance avec tout leur type dans votre stratégie d'amélioration de votre entreprise pour aller plus loin.

# **Chapitre II**

## **Modélisation d'un système industriel**

## **1.Introduction**

Après une explication des systèmes de maintenance et de diagnostic industriel, dans ce chapitre on va présenter notre système d'aide à la maintenance industrielle, la modélisation des tâches de la maintenance comme un service dans un langage areana. Après une présentation de l'unité de clinkerisation de la cimenterie la CIMAT d'Ain-Touta-BATNA, nous allons donner un aperçu sur le processus de fabrication des ciments et plus précisément la zone de clinkérisation. Ensuite, nous allons essayer de modéliser la tâche pertinente du maintenance industrielle à savoir la surveillance industrielle dans un environnement CM.

## **2.Présentation de la SCIMAT**

### **2.1.Identité**

- Raison Sociale : SCIMAT (Société des Ciments d'Ain-Touta), Filiale du Groupe ERCE.
- Forme Juridique : Société par Action (SPA).
- Siège sociale : Rue Benflis –BP : 67-05000 –El –Boustène, Batna –ALGERIE

### **2.2.Situation Géographique**

- La Société des Ciments de Ain Touta (SCIMAT) se compose de :
- Une Direction Générale : située à Batna.
- Une Unité Cimenterie: située dans la commune de Tilatou, Daïra de Seggana, à 50 Km à l'ouest de Batna elle couvre une superficie de 20 hectares et implantée sur l'axe routier Batna-
- Bari ka (Route Nationale N° 5) et sur la rocade ferroviaire Ain-Touta-M'sila.

### **2.3.Fiche Technique**

- Domaine d'activité : Fabrication et vente des ciments.
- Capacité de production : 1.500.000 de tonnes de ciment par an.

## **3.Etapes de Fabrication du ciment**

Le Ciment produit par la cimenterie Ain-Touta est fabriqué à partir d'un processus à voie sèche c'est la procédure la plus utilisée et la plus économique.

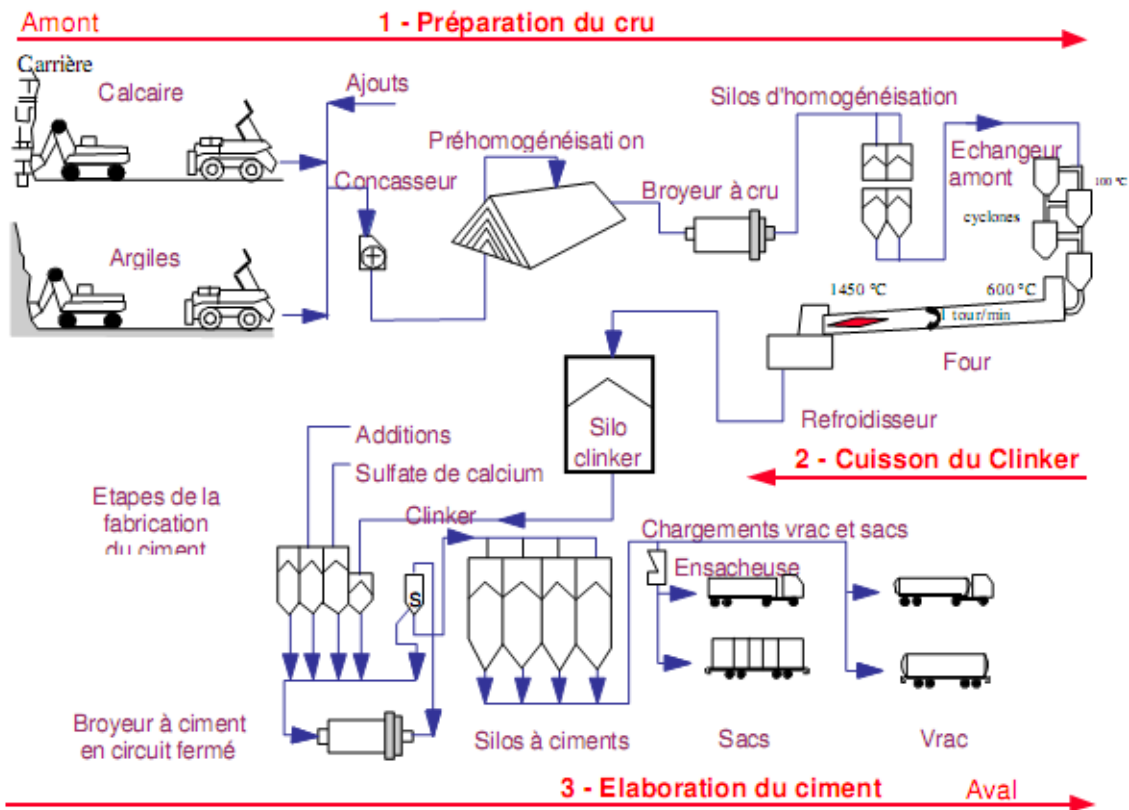


Figure2.1: Processus de fabrication du ciment

### 3.1.Matières premières [10]

**Calcaire:** Roche constituée principalement de carbonates de calcium (75 à 92% de  $\text{CaCO}_3$ ) extraite de la carrière par abattage à l'explosif.

**Argile :** Roche constituée principalement de silice, d'alumine et de fer extraite du Gisement par ripage

**Minerai de fer:** Roche qui se rencontre le plus souvent sous forme d'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et qui joue un rôle utile de fondant.

**Gypse:** Roche constituée principalement des sulfates de calcium ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et qui joue un rôle utile de retardateur de prise.

**Pouzzolane:** Roche d'origine volcanique constituée principalement de silice, utilisée comme ajout actif.

### 3.2. Les étapes du processus

Le procédé décomposé en 12 étapes clés

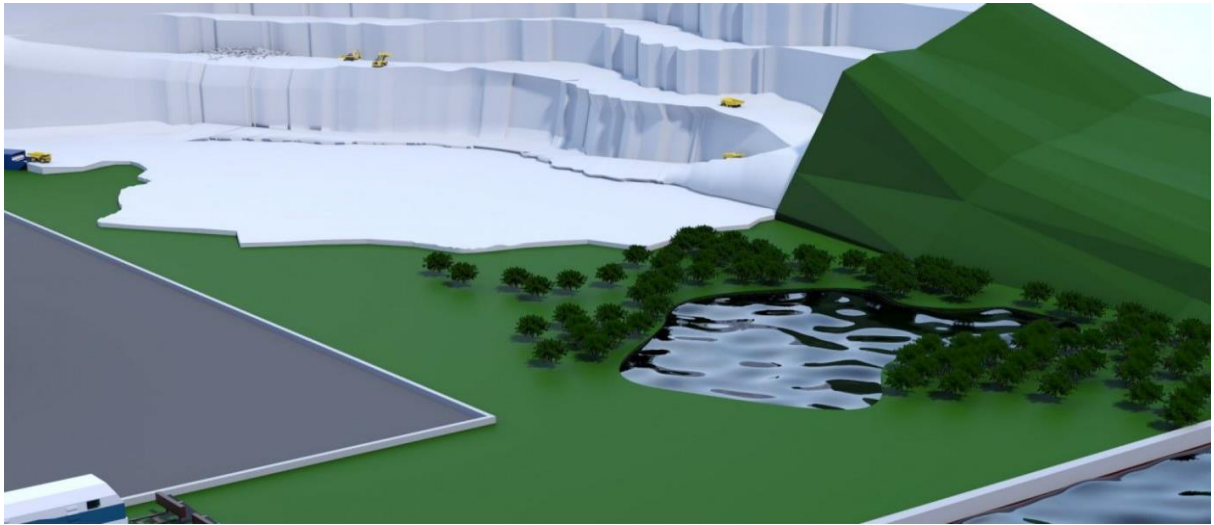
#### La carrière de cimenterie

- La pré-homogénéisation des matières premières
- Le broyage du cru
- L'homogénéisation du cru
- Le préchauffage du cru
- La cuisson
- Le refroidissement du clinker
- Le stockage du clinker
- Le broyage du ciment
- Le stockage du ciment
- Le contrôle qualité du ciment
- Conditionnement et expédition du ciment

## Chapitre II Modélisation d'un système industriel

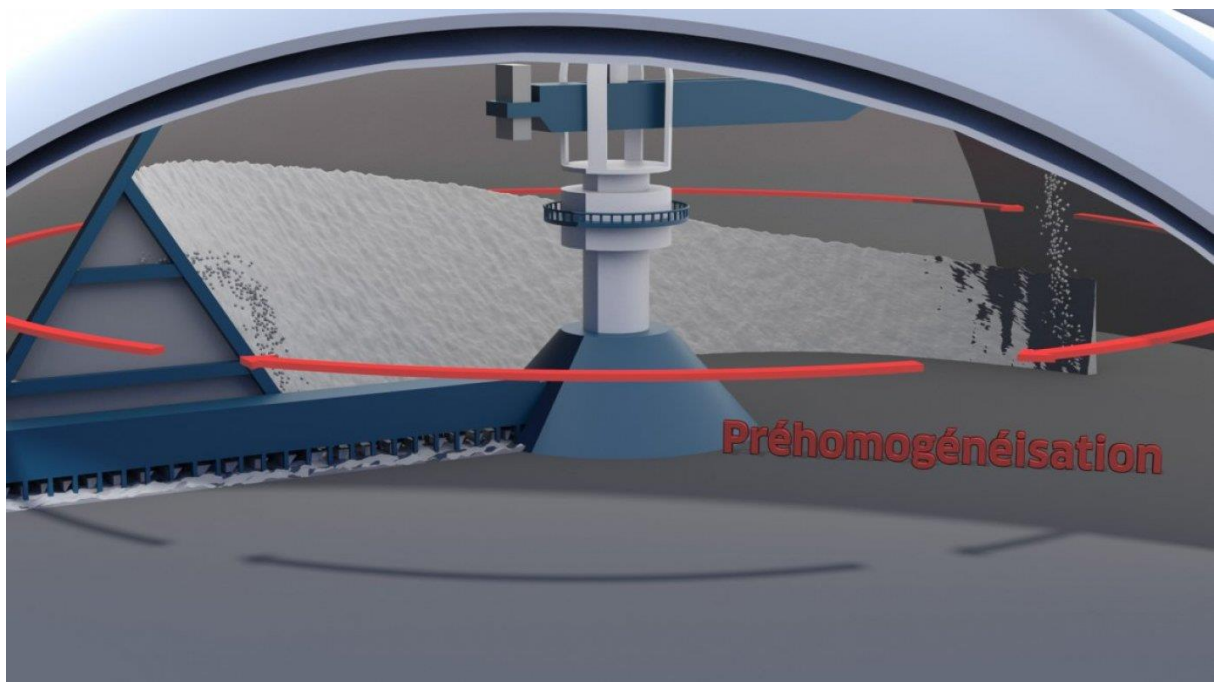
---

**La carrière de cimenterie :** Toute l'histoire de la fabrication du ciment, commence à la carrière...



**Figure 2.2 : La carrière de cimenterie**

**La pré-homogénéisation des matières premières :** Les roches extraites de la carrière sont concassées et acheminées jusqu'à la cimenterie.



**Figure 2.3 : La pré-homogénéisation des matières premières**

## Chapitre II Modélisation d'un système industriel

---

**Le broyage du cru :** Le mélange de roches minérales, préparé dans le hall de pré-homogénéisation, est dosé, séché et broyé afin de réduire la roche en une poudre très fine, de taille micrométrique.



**Figure 2.4 : Le broyage du cru**

**L'homogénéisation du cru :** Après avoir été finement broyée, la farine crue est très largement brassée dans des silos d'homogénéisation, de manière à obtenir une composition.

**Le préchauffage du cru :** La farine crue dosée passe par deux air-lifts qui la transportent en haut des préchauffeurs à cyclones.

- Chaque tour de préchauffage est constituée de quatre étages de cyclones :
  - L'étage supérieur comporte un cyclone double de 4,35 m de diamètre.
  - Les trois étages au dessous comportant chacun un cyclone simple de 6,6m de diamètre.
  
- La farine crue alimentée aux prés chauffeurs subit une décarbonatation partielle suite échange thermique à contre courant à des températures variant de 320°C - 850°C selon étages cyclones.

## Chapitre II Modélisation d'un système industriel

**Four rotatif :** La farine, précédemment préchauffée à 850°C, est ensuite chauffée à 1 450°C sous une flamme à 2 000°C, dans un four rotatif garni de briques réfractaires, qui fonctionne 24h/24 et 7j/7.

**Le refroidissement du clinker :** Le mélange en fusion est ensuite trempé (c'est-à-dire refroidi rapidement) par soufflage d'air, afin d'obtenir la chimie cristalline appropriée pour les propriétés.

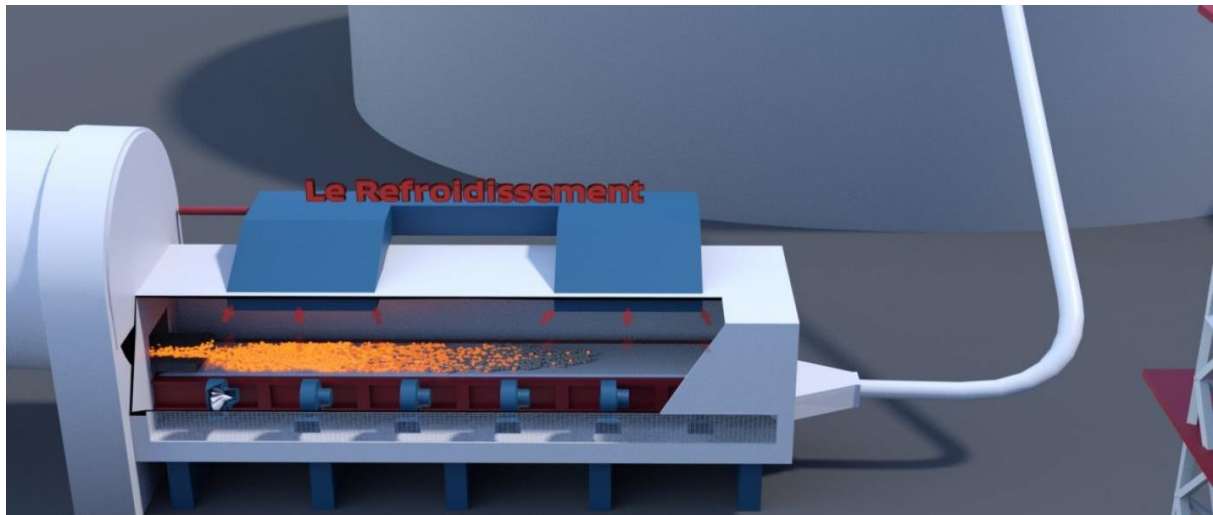


Figure 2.4 : Le refroidissement du clinker

**Le stockage du clinker :** Le clinker refroidit à 100°C est transporté et stocké dans un hall de plusieurs dizaines de milliers de tonnes, permettant ainsi d'assurer une continuité de la production.

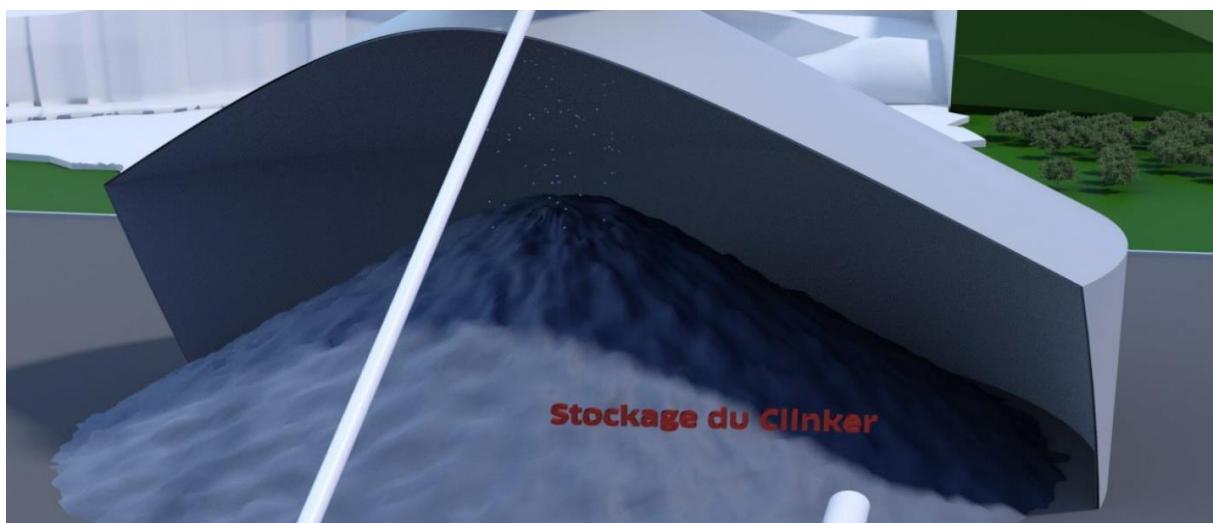
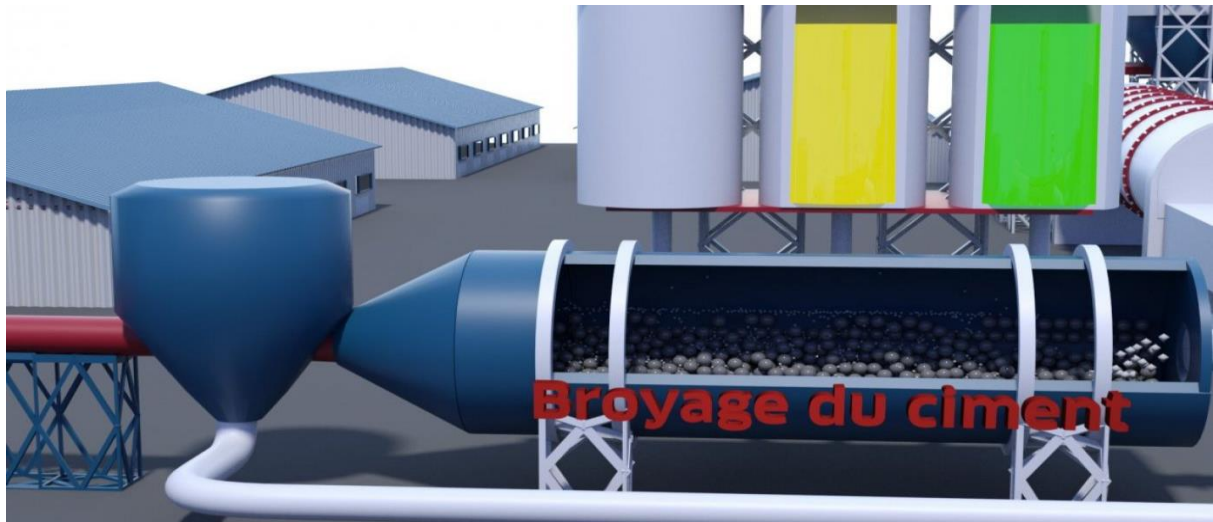


Figure 2.5 : Le stockage du clinker

## Chapitre II Modélisation d'un système industriel

**Le broyage du ciment :**Le clinker est ensuite broyé avec du gypse, qui joue le rôle de régulateur de prise, et un ou plusieurs constituants principaux autre que le clinker :



**Figure 2.6 : Le broyage du ciment**

**Le stockage du ciment :** Le ciment est stocké dans des silos d'une capacité de plusieurs milliers de tonnes, qui peuvent être parfois divisés en plusieurs compartiments.



**Figure 2.7 :Le stockage du ciment**

## Chapitre II Modélisation d'un système industriel

**Le contrôle qualité du ciment :** Lors de son stockage, le ciment est prélevé, analysé chimiquement et physiquement et des essais de résistance sur mortiers normalisés sont réalisés.



**Figure 2.7 : Le contrôle qualité du ciment**

**Conditionnement et expédition du ciment :** Le ciment est expédié en vrac ou en sac par différents modes de transport.



**Figure 2.7 : Conditionnement et expédition du ciment**

### 4. Atelier de clinkérisation

L'atelier de clinkérisation regroupe deux lignes de fours rotatifs dont le débit de clinker est 1560 t/h. Le four, de la SCIMAT, est un cylindre d'acier rotatif posé avec une inclinaison de 3 à 5% vers la sortie. Il est calé à intervalles par des trains porteurs à galets. La rotation lui est transmise à travers une couronne dentée, un pignon et un réducteur de vitesse. Le four aura tendance à se

## Chapitre II Modélisation d'un système industriel

déplacer vers l'aval au cours de sa rotation. Il est protégé contre les très hautes températures de service par revêtement de briques réfractaires maçonnées à l'intérieur sur toute longueur. Le revêtement est sensible à la déformation élastique du four et les variations de température.

La température de cuisson est aux environs de 1450°C. La chauffe est faite soit au fuel, soit au gaz, soit au charbon pulvérisé ou une combinaison de ces trois. Les matières premières sont enfournées à l'entrée du four et se déplacent à contre-courant des gaz chauds, à travers le four jusqu'à ce qu'elles en ressortent par le refroidisseur sous forme de clinker cuit.[11]



**Figure 2.8 : Four Rotatif de la SCIMAT**

### 4.1. Caractéristiques du Four rotatif

- Type du four : Four rotatif UNAX à 04 étages de préchauffeurs
- Capacité journalière : 2X1500 t/j de clinker
- Diamètre : 4,55 mètres
- Longueur : 68 m
- Vitesse de rotation : 2,0 tr/mn
- Revêtement : Réfractaire à base d'alumine et de magnésie chrome.
- Température de cuisson : Jusqu'à 1400°C
- Température Clinker sortie refroidisseurs : de 150 °C à 200 °C

### 5. La modélisation

#### 5.1. Définition

La modélisation consiste à définir les points suivants : Le système, Le modèle, L'objectif, Un critère de rentabilité [12].

**Le système** : il y a de nombreuses définitions ont été attribuées au system [13]

- Ensemble de composants reliés entre eux.
- Ensemble organisé d'éléments fonctionnels.
- Assemblage d'éléments fonctionnant de manière unitaire et en interaction Permanente [1].

**Le modèle** : structure simplifiée de la réalité qui ne contient pas que les caractéristiques estimées importantes pour l'étude du système [1].

**L'objectif** : le but pour lequel de modèle a été élaboré [1].

**Un critère de rentabilité** : un critère économique qui justifie l'utilisation d'un modèle [1].

#### 5.2. Les étapes de modélisation d'un système

L'étape de modélisation est une phase essentielle à la simulation. Différents points doivent être abordés:[14]

- Définir l'objectif de la modélisation
- Définir les éléments du système (via la réalisation d'une fonction, ou d'un processus) et les limites du système (les entrées, les sorties).
- Définir les interactions entre ces éléments (hiérarchie).
- Définir la dynamique du système (entités qui circulent entre les éléments, comportement du système au cours du temps).
- Abstraction (choisir les éléments du système pertinents pour l'étude).
- Formalisation, conceptualisation: Modèle mathématique (les lois discret et les lois continues).

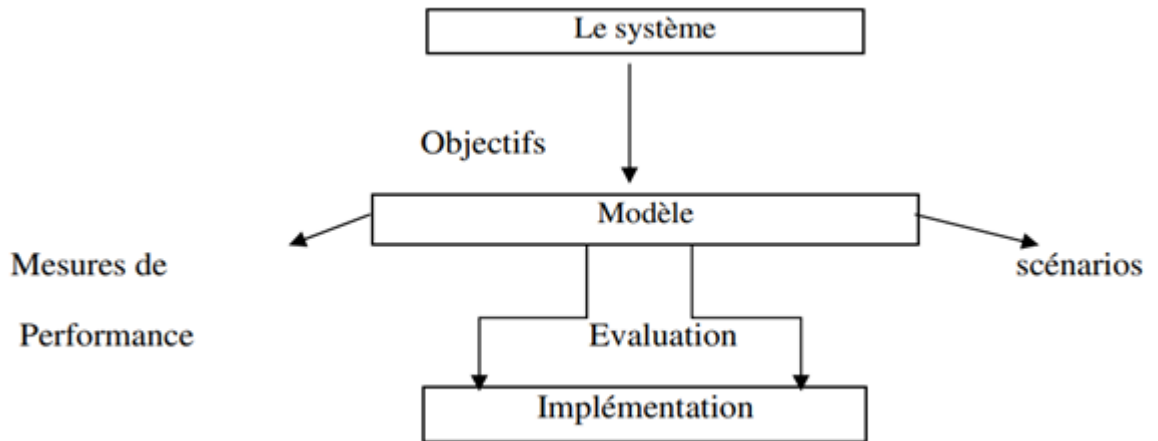


Figure 2.9 : Les étapes de modélisation d'un système

### 5.3. Les langages de la modélisation

Le génie logiciel et la méthodologie s'efforcent de couvrir tous les aspects de la vie du logiciel. Issus de l'expérience des développeurs, concepteurs et chefs de projets, ils sont en constante évolution, parallèlement à l'évolution des techniques informatiques et du savoir-faire des équipes.

Comme toutes les tentatives de mise à plat d'une expérience et d'un savoir-faire, les méthodologies ont parfois souffert d'une formalisation excessive, imposant aux développeurs des contraintes parfois contre-productives sur leur façon de travailler.

Avec la mise en commun de l'expérience et la maturation des savoir-faire, on voit se développer à présent des méthodes de travail à la fois plus proches de la pratique réelle des experts et moins contraignantes. UML qui se veut un instrument de capitalisation des savoir-faire puisqu'il propose un langage qui soit commun à tous les experts logiciels, va dans le sens de cet assouplissement des contraintes méthodologiques. [16]

### 5.4. Origines et Historique d'UML

La modélisation objet consiste à créer une représentation informatique des éléments du monde réel auxquels on s'intéresse, sans se préoccuper de l'implémentation. Il s'agit donc de déterminer les objets présents et d'isoler leurs données et les fonctions qui les utilisent. Pour cela des méthodes ont été mises au point. Entre 1970 et 1990, de nombreux analystes ont mis

## Chapitre II Modélisation d'un système industriel

---

au point des approches orientées objets, si bien qu'en 1994 il existait plus de 50 méthodes objet. Toutefois seules 3 méthodes ont véritablement émergé :

- **OMT** de **JamesRumbaugh** (General Electric) qui fournissait une représentation graphique des statique et fonctionnel d'un système.
- **OOD** de **GreadyBooch** (Département of Défense) qui introduisait le concept de paquetage (package).
- **OOSE** de **Jacobson** (Ericsson) qui fondait son analyse la description des besoins des utilisateurs (cas d'utilisation, ou use case).

Chaque méthode avait ses avantages et ses partisans. Bien que le nombre de méthodes s'était la profession risquait encore de se diviser entre ces trois méthodes, créant autant de communautés qui auraient du mal à communiquer. Dans un objectif de normalisation et de standardisation les trois constructeurs qui régnaient chacun sur l'une des trois méthodes se mirent d'accord pour définir une méthode commune qui fédérerait leurs apports respectifs (ils sont depuis surnommés « the Amigos »).

**UML** (UnifiedModelingLanguage) pour langage de modélisation unifié est né de cet effort de convergence. Le terme langage est quant à lui employé pour souligner qu'**UML** à l'ambition d'être un langage et non celle d'être une méthode.[16]

### 5.5.Définition UML

UML (sigle désignant l'unifiedmodeling langage ou «langage de modélisation unifié») est un langage de modélisation graphique à base de pictogrammes, il est apparu dans le monde du génie logiciel, dans le cadre de la «conception orientée objet» UML est couramment utilisé dans les projets logiciels.

UML est utilisé pour spécifié, visualiser, modifier et construire les documents nécessaires au bon développement d'un logiciel orienté objet, UML offre un standard de modélisation, pour représente l'architecture logicielle. [16]

### Les diagrammes

Les diagrammes sont des éléments graphiques, ceux-ci décrivent le contenu des vues, qui sont des notations abstraites. Les diagrammes peuvent faire partie de plusieurs vues.

**Diagramme structurelle ou statique :** par exemple

#### 5.6.Diagramme de classe

Un diagramme des classes décrit le type des objets du système ainsi que les différentes formes de relation statique qui les relient entre eux. On distingue classiquement deux types principaux de relation entre objets.

Les associations, bien connues des vieux modèles entité/association utilisés dans la conception des bases de données depuis les années 70.

Les sous types, particulièrement en vogue en conception orientée objets, puisqu' ils s'expriment très bien à l'aide de l'héritage en programmation. [16]

#### 5.6.1.Diagramme de comportement

##### Diagramme de cas d'utilisation

Un cas d'utilisation modélise une interaction entre le système informatique à développer et un utilisateur ou un acteur interagissant avec le système. Plus précisément, un cas d'utilisation décrit une séquence d'actions réalisées par le système qui produit un résultat observable pour un acteur.

Il y a en général deux types de description des use cases :

- Une description textuelle de chaque cas.
- Le diagramme des cas d'utilisation qui présente une synthèse de l'ensemble des cas.
- Dépendances entre cas d'utilisation .

Il est parfois intéressant d'utiliser des liens entre cas, UML en fournit deux types :

La relation utilise (include) : est employée quand deux cas d'utilisation ont en commun une même fonctionnalité et que l'on souhaite factoriser celle-ci en créant un sous-cas, ou cas intermédiaire, afin de marquer les différences d'utilisation.[16]

La relation **étend** (ex-tend) : nous dirons qu'il y a extension d'un cas d'utilisation quand un cas est globalement similaire à un autre ou lorsque un cas doit être spécialisée ou adaptée.

### 5.6.2. Diagramme d'interaction dynamique

#### Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence permet de montrer les interactions d'objets dans le cadre d'un scénario d'un Diagramme des cas d'utilisation. Dans un souci de simplification, on représente l'acteur principal à gauche du diagramme, et les acteurs secondaires éventuels à droite du système. Le but étant de décrire comment se déroulent les actions entre les acteurs ou objets.

La dimension verticale du diagramme représente le temps, permettant de visualiser l'enchaînement des actions dans le temps, et de spécifier la naissance et la mort d'objets. Les périodes d'activité des objets sont symbolisées par des rectangles, et ces objets dialoguent à l'aide de messages.

### 5.7. Simulation

#### 5.7.1. Définition

La simulation par ordinateur c'est la création d'un modèle numérique à l'aide des logiciels pour résoudre des problèmes d'une situation existante ou hypothétique ou un problème inattendu, ce qui facilite le processus d'étudier le comportement du système et ça parle modification sur les hypothèses ou l'influence de comportement des variables du système.

#### 5.7.2. Les différents logiciels de simulation

Il existe des divers outils de simulation performant pour gérer des systèmes de production et d'autre , Parmi les logiciels de simulation existant on a écrit sur les plus utilisées au monde : **Simul8 ,Automod , Arena.**

### 5.8. Pour quoi on a choisi Arena-simulation ?

#### 5.8.1. Définition

ARENA® est un logiciel de simulation largement utilisé par la communauté de modélisation et de simulation

· Plus de 5000 objets d'animation complexes sont incluses dans la bibliothèque de l'animation Arena.

## Chapitre II Modélisation d'un système industriel

- Animation peut également être créée par l'utilisateur. Clip Art, des bitmaps, des dessins AutoCad et beaucoup d'autres.
- La compatibilité des données : données d'importation et d'exportation de / vers un fichier de Les types de fichiers suivants: Excel, Access, XML, texte,....
- Script Visual Basic : Contrairement à d'autres outils qui utilisent des langages propriétaires de script, Arena utilise un éditeur standard VBA (inclus) et le modèle objet Arena pour construire des interfaces utilisateur personnalisées et sur mesure interfaces de données à des modèles Arena.[18]

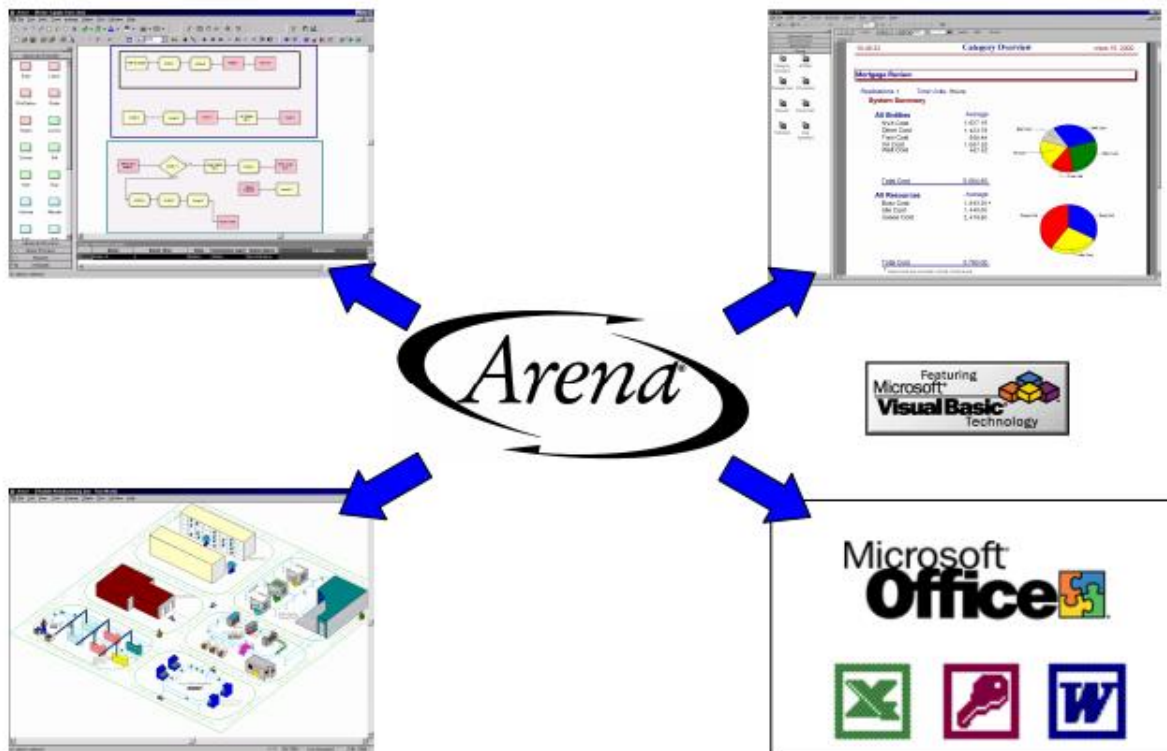


Figure 2.9 : Arena-simulation

### 5.8.2.Utilisation d'ARENA

L'installation d'ARENA est une installation simple sauf que la version complète de ce logiciel est payante. Dans notre projet on a utilisé la version STUDENT est une version gratuite destiné à un usage scolaire seulement. Cette version gratuite d'Areana :

- Offre une fonctionnalité complète.
- Le modèle limité de la taille et peut être copié sur un autre PC, Il n'y a aucune limite de temps.

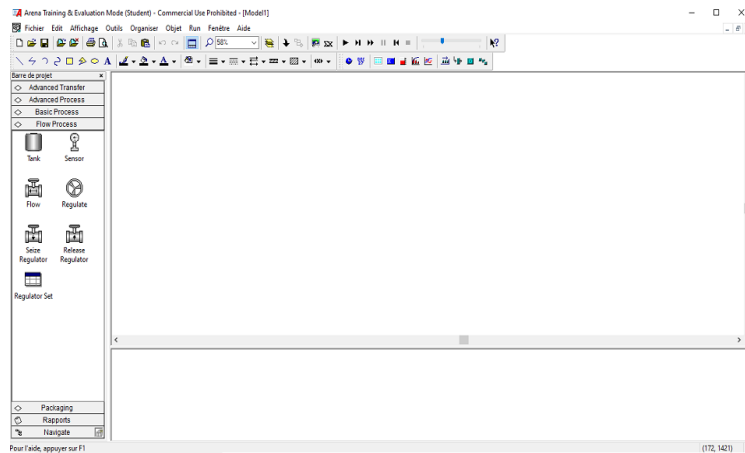


Figure 2.10 : interface arena

Les modules à configuré sous Arena : les modules configurée sous areana son représente dans la figure suivante.

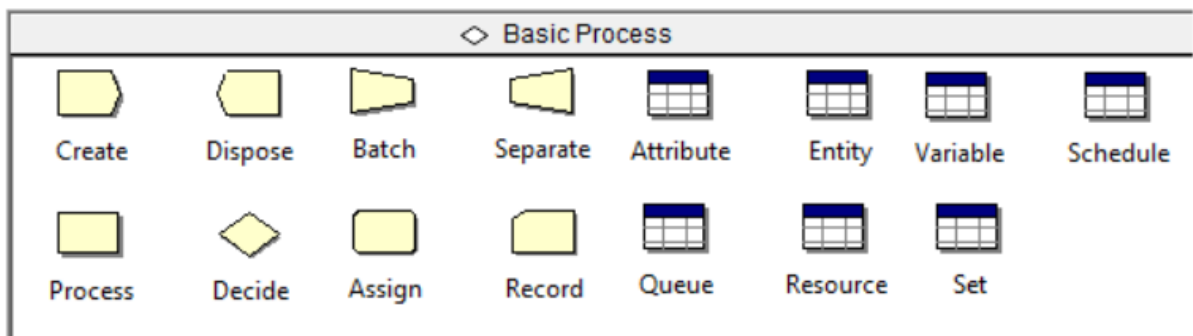


Figure 2.11 : Basic Process d'ARENA

### Create

Ce bloc est considéré comme le module de départ des entités. Les arrivées dans le système (pièce, machine ...).

### Les paramètres de Create

- **Type:** il y a plusieurs lois, chacun a une méthodologie différence de travail.
- **Value:** nombre des arrivées par S/M/H/D.
- **Units:** unité de temps.
- **Entities per Arrival:** N arrivées par unité de temps
- **Max Arrivals:** maximum des arrivées par unité de temps.
- **First Creation:** le temps de début des arrivées.

### Dispose

Les sorties du système (soit des pièces, machines,...).

### Process

#### Les paramètres de Process.

#### Action:

- **Delay:** L'entité doit être séjournée dans le bloc process pendant un temps spécifié.
- **Seize Delay:** File d'attente en amont du bloc Delay, et Nécessité de joindre une ressource au processus
- **Seize Delay Release:** Comme Seize Delay, mais une entité libère des unités de ressources après Delay (ce que nous voulons dans ce modèle).
- **Delay Release:** Suppose entité à déjà saisi des unités de ressources à un autre module amont, maintenant retards et de presse unités de ressources.
- **Delay type:** loi utilisée.
- **Units:** unité de temps.

### Decide

Décide si l'arrivée est vraie ou fausse.

#### Les paramètres de Decide.

#### Type:

- **2-way by Chance:** soit vrai ou faux avec pourcentage de succès.
- **2-way by Condition:** soit vrai ou faux avec condition.
- **N-way by Chance:** plusieurs choix avec pourcentage de succès.
- **N-way by Condition:** plusieurs choix avec condition.

### Batch

#### Les paramètres de Bach.

- **Batch Size:** divisé l'entité à 2 par exemple.
- **Rule:** attribut ou entité.
- **Save Criterion:** produit.

### Separate

Les paramètres de Separate.

Type:

- **Duplicate Original:** Revient à la forme originale.
- **Split Existing Batch:** faire le contraire d'un Batch existe.
- **Percent Cost to Duplicates (0-100):** le pourcentage pour dupliquer une entité.
- **# of Duplicates:** nombre de duplication.

### Assign& Record

Utilisé pour calculer le temps écoulé dans un système (temps d'attente, la durée de service, ).

ARENA permet une modélisation précise et flexible des systèmes de manutention. La conception des niveaux de détail nécessaires et des dispositifs matériels utilisés est facilitée par les différents concepts fournis :

#### • *Transfert simple :*

Une pièce circule d'un point à un autre. Seuls les temps de transfert sont considérés. Ce mode est très utile en première approximation et lorsque la manutention n'est pas l'objet de l'étude.

#### • *Transporteur :*

Une ressource particulière (chariot, pont roulant, robot ...) se déplace pour venir chercher les pièces et les transporter vers leur destination. L'utilisateur gère avec simplicité la vitesse, la cartographie du circuit ou les phénomènes de panne et d'indisponibilité.

#### • *Convoyeur :*

Le logiciel intègre en standard la gestion des convoyeurs, avec ou sans accumulation, ainsi que les dispositifs à plages débrayables. Des pièces de différentes tailles peuvent circuler et s'accumuler sur des matériels dont le fonctionnement est contrôlable (vitesse, pannes, longueur d'accumulation,...)

## Chapitre II Modélisation d'un système industriel

---

- *Chariots guidés (AGV) :*

Sans aucun doute l'un des domaines de prédilection d'ARENA. Après la définition de la cartographie du réseau, la gestion du cantonnement, des conflits aux carrefours, des variations de vitesse (vide / plein, accélération / décélération, virages), des optimisations d'utilisation, est proposée en standard. On dispose ici d'un outil puissant pour valider des configurations mêmes complexes, chose pratiquement impossible avec les techniques traditionnelles.[18]

### 6.Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté brièvement les étapes de fabrication de Ciment et spécialement la phase declinkérisation qui est le but de notre travail et comme notre travail est une simulation on a présenté aussi le logiciel de simulation utilisé ARENA SIMULATOR 16.00 et ses fonctionnalités, ainsi que le langage de modalisation UML.

Dans le chapitre suivant on va modéliser notre système et le développer sous logiciel ARENA SIMILATOR.

# **Chapitre III**

## **Simulation du système**

## 1. Introduction

Ces dernières années, l'avènement des nouvelles technologies informatiques a apporté des innovations tout aussi importantes dans la prise de décision et la conception de produits et de processus. En ce sens, l'une des techniques ayant le plus d'impact est la simulation.

Simuler, c'est reproduire artificiellement un phénomène ou les relations entrées-sorties d'un système, lorsque son fonctionnement ou son expérimentation est impossible, coûteux, dangereux ou peu pratique. La AinTouta est une société originaire de l'État,

## 2 .Modélisation et simulation des procédés de fabrication du ciment par Arena simulateur

### 2.1 Collection de donnes

à ligne de production réelle pendant une année complète. Ces données incluent l'échec de chaque machine au cours de cette année qui est entrée dans l'analyseur d'entrée ARENA pour produire la meilleure distribution de l'échec. Les données de panne incluent la maintenance prédictive et préventive programme. Les distributions de probabilité avec leurs paramètres sont planifiées dans le **tableau 1**,

| Traitement et distribution des temps de panne selon ARENA Input Analyzer |                        |                          |                   |
|--|------------------------|--------------------------|-------------------|
| Arrivée du camion  | EXPO (7) min.          | Capacité du broyeur brut | 9000 ton/day      |
| Temps de traitement Crasher  | EXPO (6) min.          | Panne du broyeur 1       | EXPO(7.4)         |
| Machine d'emballage  | EXPO(8) min            | Panne du broyeur 2       | EXPO(7.18)        |
| Panne Crasher  | LOGN (1.04, 2.26) hrs. | Capacité du four         | 7000 ton/day      |
| Temps de traitement de l'empileur  | EXPO (7) min.          | Panne du four            | GAMM(15.8, 0.718) |
| Temps de traitement des réclamations                                     | EXPO (8) min           | Capacité Cimenterie      | 8000 ton/day      |
| Temps de traitement refroidisseur  | EXPO(6) min            | Panne de la Cimenterie   | LOGN(3.72, 8.12)  |

|                                    |                |                                |                     |
|------------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------------|
|                                    |                | 1                              |                     |
| Panne du refroidisseur             | EXPO (10) hrs. | Panne de la<br>Cimenterie<br>2 | LOGN(4.69,<br>10.1) |
| Arrivée du camion<br>d'élimination | EXPO(10) min   | Panne de la<br>Cimenterie<br>3 | LOGN(4.23,<br>9.1)  |

**Tab.3.1: Traitement et distribution des temps de panne selon ARENA**

**Input Analyzer**

**2.2 Vérification et Validation**

La méthode d'animation est utilisée pour montrer le mouvement des entités à l'intérieur du modèle et pour s'assurer que le mouvement est similaire à ce que le concepteur pense qui a appelé la validité du faciale. La validité faciale signifie que l'animation doit être conforme au flux de la matière première et du clinker dans la chaîne de production réelle; et cela vérifie le modèle. La validation du modèle ARENA est effectuée en comparant la sortie du modèle avec la sortie du système réel qui a appelé la validation statistique ou Walkthrough validation. Le nombre de camions de ciment produits par jour à partir du modèle est comparé au nombre de camions de ciment produits par jour à partir du système réel. Le nombre de camions de ciment produits par jour à partir du modèle est de 143 camions, tandis que le taux de production réel du système par jour est de 134, ce qui équivaut à 6667 tonnes par jour, ce qui est considéré comme valide. La nature de ce système de production est un état stationnaire car il fonctionne en continu 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

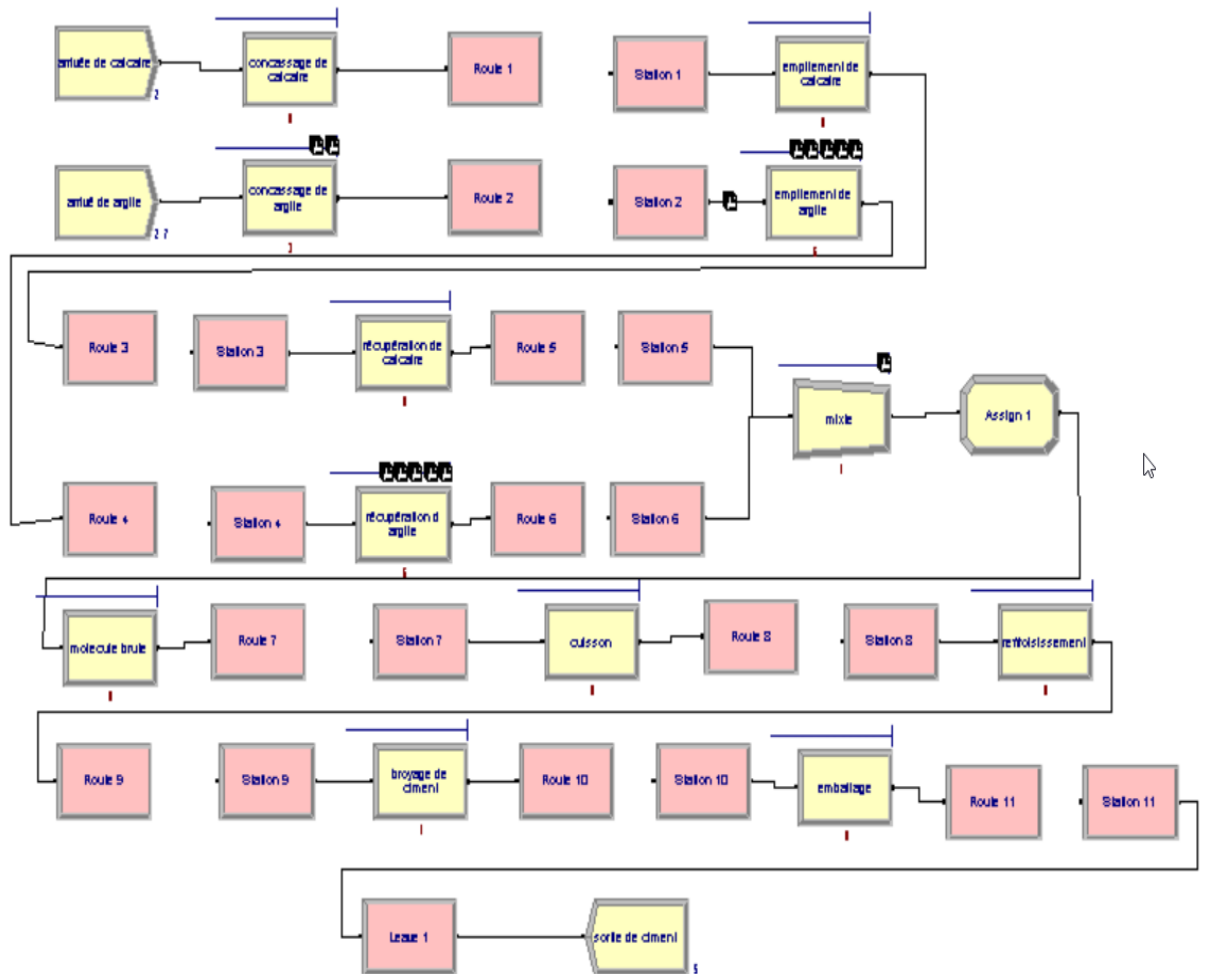


Fig. 3.1 Modèle de simulation ARENA pour la ligne de production de ciment

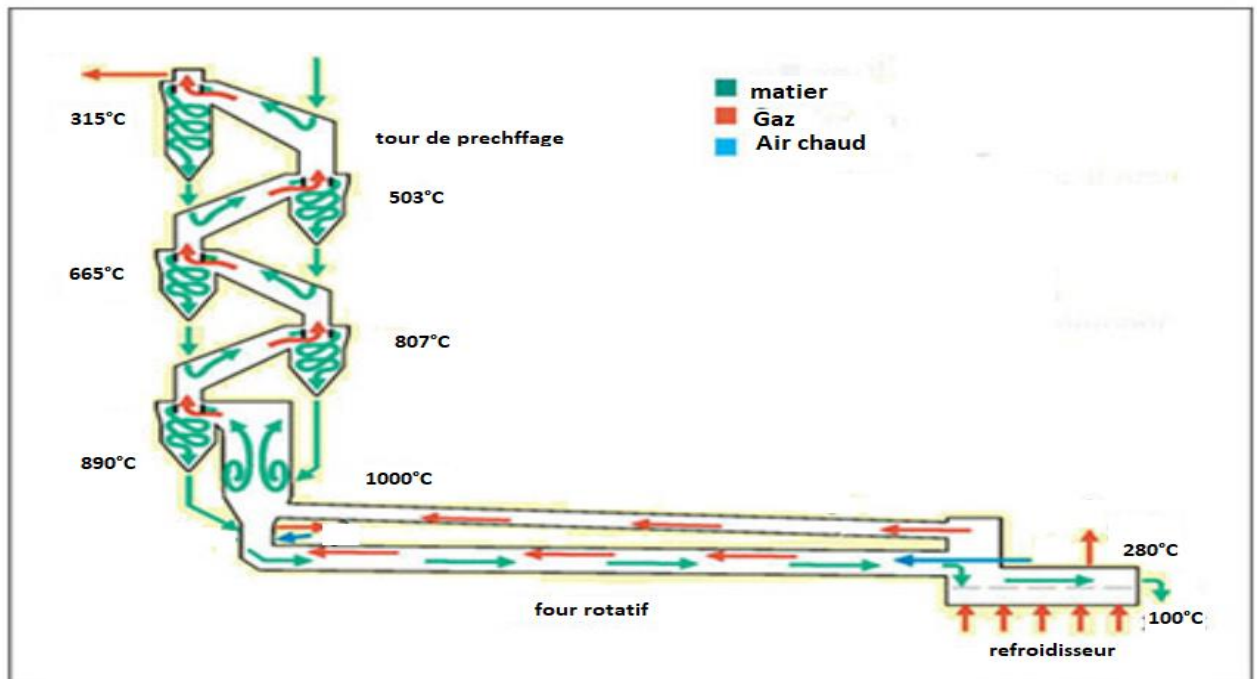
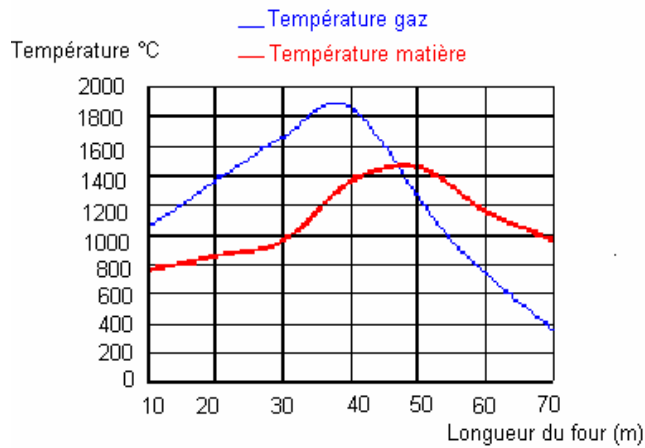
### 3. Modélisation et simulation des procédés de fabrication du clinker

Par la suite en va construire un sous modèle par le même logiciel de simulation areanac est le procédé de fabrication de clinker qui est diviser en trois phase Préchauffeur, four et refroidisseur (PHE) :

Le four est alimenté au moyen du préchauffeur à cyclone qui chauffe la matière première pour faciliter la cuisson. Le matériau broyé ou le mélange brut est inséré par le haut de la tour et tombe à travers elle. Pendant ce temps, les gaz du four, qui sont à haute température, montent à contre-courant, ainsi le mélange brut est préchauffé avant d'entrer dans le four.

Au fur et à mesure que le mélange brut progresse dans le four pendant qu'il tourne, la température augmente pour atteindre 1 500 ° C. A cette température, des réactions chimiques complexes se produisent qui conduisent au clinker. Pour atteindre les températures requises pour la cuisson des matières premières et la production de clinker, le four a une flamme

principale qui brûle à 2, 000, Une fois que le clinker quitte le four, un refroidisseur est introduit en injection d'air froid pour abaisser la température de 1.400 ° C à 100 °C. L'air chaud généré dans cet appareil est renvoyé au four pour soutenir la combustion, améliorant ainsi l'efficacité énergétique du processus.mais dans notre travaille en va base sur le phenimenneduechange thermique enrte gaz et matier qui se passe dans le four représentée par la figure [14]



**Figure 3.2 :** procédés de fabrication du clinker

Pour modélisé le procédé de fabrication du clinker il faut d'abord cite les paramètres qui agisse sur notre simulation, qui sont réellement des résultats des capteurs de température et de débit de charge (matière) et du gaz , chaque paramètre a un intervalle de bonne fonctionnement de telle sorte que si l

un de ces paramètres dépasse son intervalle soit de plus ou de moins une alerte doit se déclencher. Ses paramètres sont présentés dans le tableau suivant avec leur signification :

| Paramètre | Signification                    | Paramètre  | Signification                       |
|-----------|----------------------------------|------------|-------------------------------------|
| V_R_F     | Vitesse de rotation four         | T_s_g_f    | Température sortie gaz four         |
| D_e_c_f   | Debit d'entrée charge four       | D_e_c_c    | Debit d'entrée charge cyclone       |
| D_s_c_f   | Debit sortie charge four         | D_s_c_c    | Debit sortie charge cyclone         |
| T_e_c_f   | température d'entrée charge four | T_e_c_c    | Température d'entrée charge cyclone |
| T_s_c_f   | Température sortie charge four   | T_s_c_c    | Température sortie charge cyclone   |
| D_e_g_f   | Température entre gaz four       | D_e_g_c    | débit entrées gaz cyclone           |
| D_s_g_f   | Debit sortie gaz four            | D_s_g_c    | débit sortie gaz cyclone            |
| T_e_g_c   | Température d'entrée gaz cyclone | D_e_c_v    | Début entre charge ****             |
| T_s_g_c   | Température sortie gaz cyclone   | D_s_c_v    | Début sortie charge ***             |
| D_g_s_b   | Debit gaz sortie ****            |            |                                     |
| T_g_s_b   | Température **** sortie ****     | T_s_c_pp   | Température sortie charge ****      |
| D_s_c_pp  | Debit sortie charge ****         | Etat_vanne | Etat de vanne                       |
| Capa_silo | Capacité silo                    | D_e_c_si   | Début entre charge silo             |
| D_s_c_si  | Debit sortie charge silo         | Mode_d_def | Mode de défiance                    |

**Tab.3.2. Variables liées au processus de clinkérisation**

La simulation nous permettra d'expérimenter des changements dans les paramètres (modules) et de trouver les conditions optimales de fabrication du clinker. Dans le présent travail, un modèle de simulation du processus de calcination du ciment Portland est développé. La méthodologie utilisée est celle utilisée en simulation, qui établit la définition du problème, l'analyse des variables à modéliser, faire un modèle de base, développer un modèle détaillé, la validation et le rapport et les conclusions.

### 4. Développement du modèle de simulation pour prévoir et analyser le processus de calcination du ciment.

#### 4.1. Méthodologie

Pour développer le modèle de simulation de l'unité d'alcination, il est nécessaire de suivre les étapes de la méthodologie de simulation :

- Formulation du problème.
- Conceptualisation du système.
- Modèle de base.
- Modèle complet.

##### 4.1.1 Formulation du problème

Dans le processus de fabrication du ciment, nous trouvons La calcination, qui est définie comme le changement physico-chimique de la farine brute (calcaire et granulats broyés) ( $3\text{CaCO}_3$ ) à haute température par la combustion de coke et de combustibles alternatifs. La farine crue est acheminée vers le four rotatif où elle élève sa température à environ  $1450^\circ\text{C}$ , en conséquence, les composants de la farine crue sont fusionnés en un seul élément appelé Clinker, qui est le produit résultant du four. Pour optimiser ce processus, nous avons besoin d'un modèle qui nous permette de manipuler les différentes variables du système.

Le modèle doit être capable de saisir un certain nombre d'entités dans l'unité de temps pour simuler l'alimentation en matière première. Comme le modèle enregistre la comptabilisation de la matière première consommée, de la même manière, il doit enregistrer la consommation de carburant et comptabiliser le produit fini (clinker).

## 4.1.2. Conceptualisation du système Schéma conceptuel de la simulation

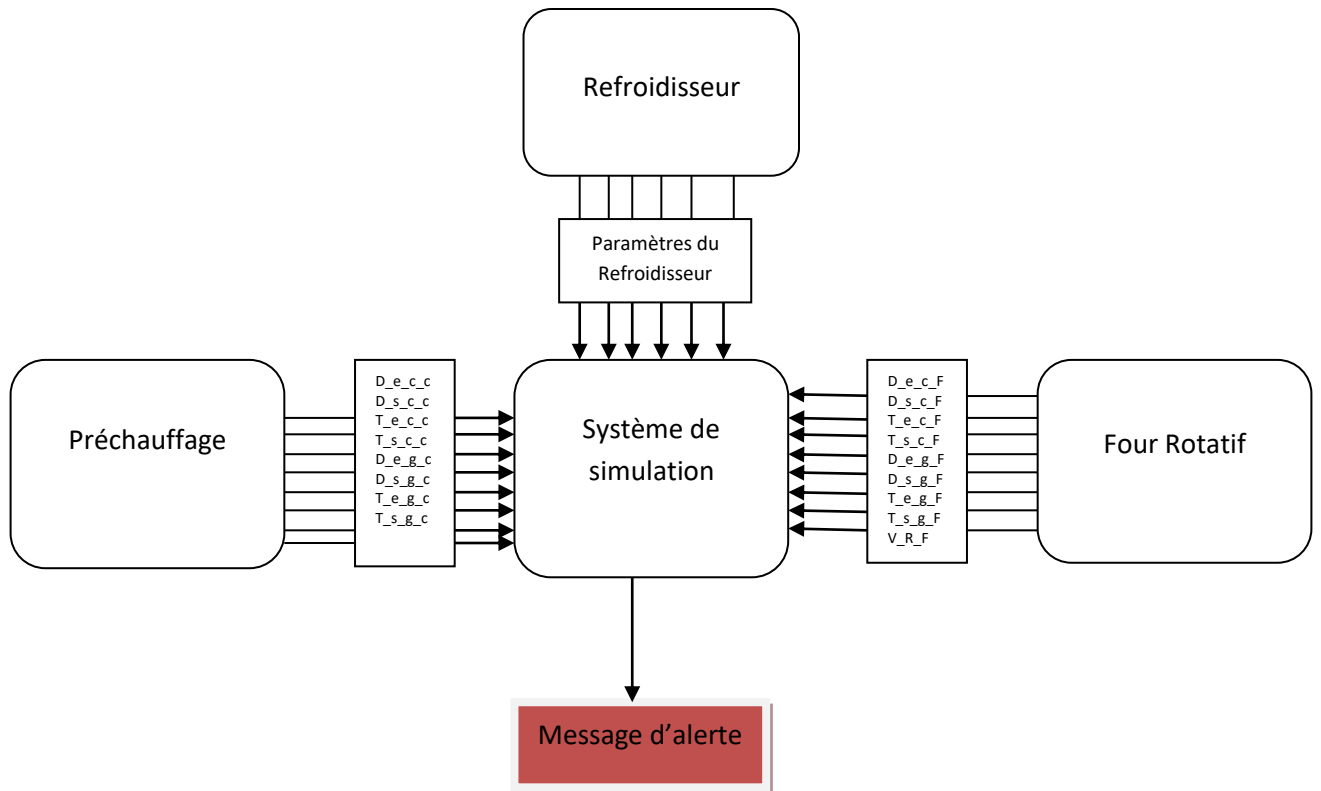


Figure 3.3 : schéma conceptuel de la simulation

Diagramme de flux

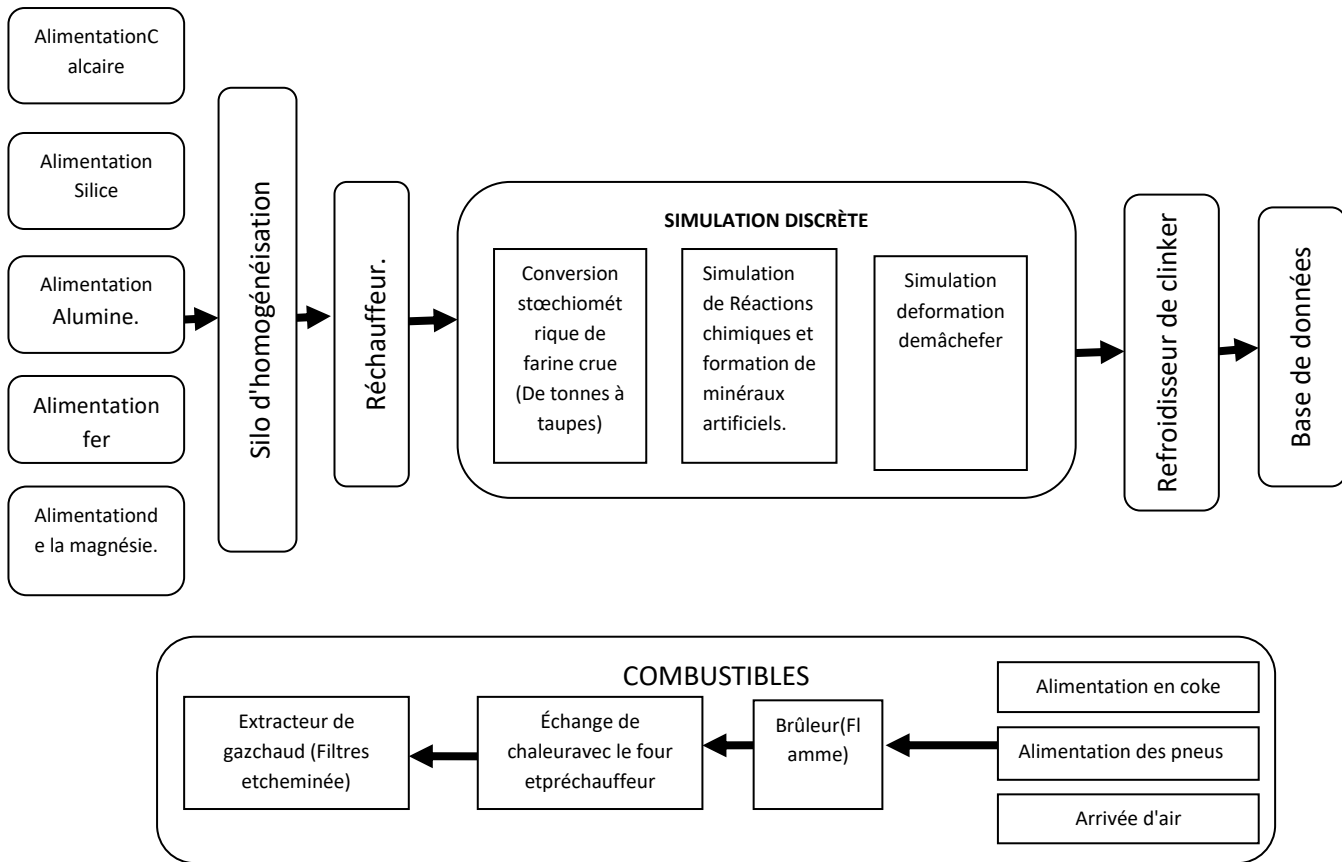


Figure 3.4 : Diagramme de flux massique-chaueur



Des graphiques ultérieurs ont été ajoutés pour compléter le modèle et lui donner plus de vue.

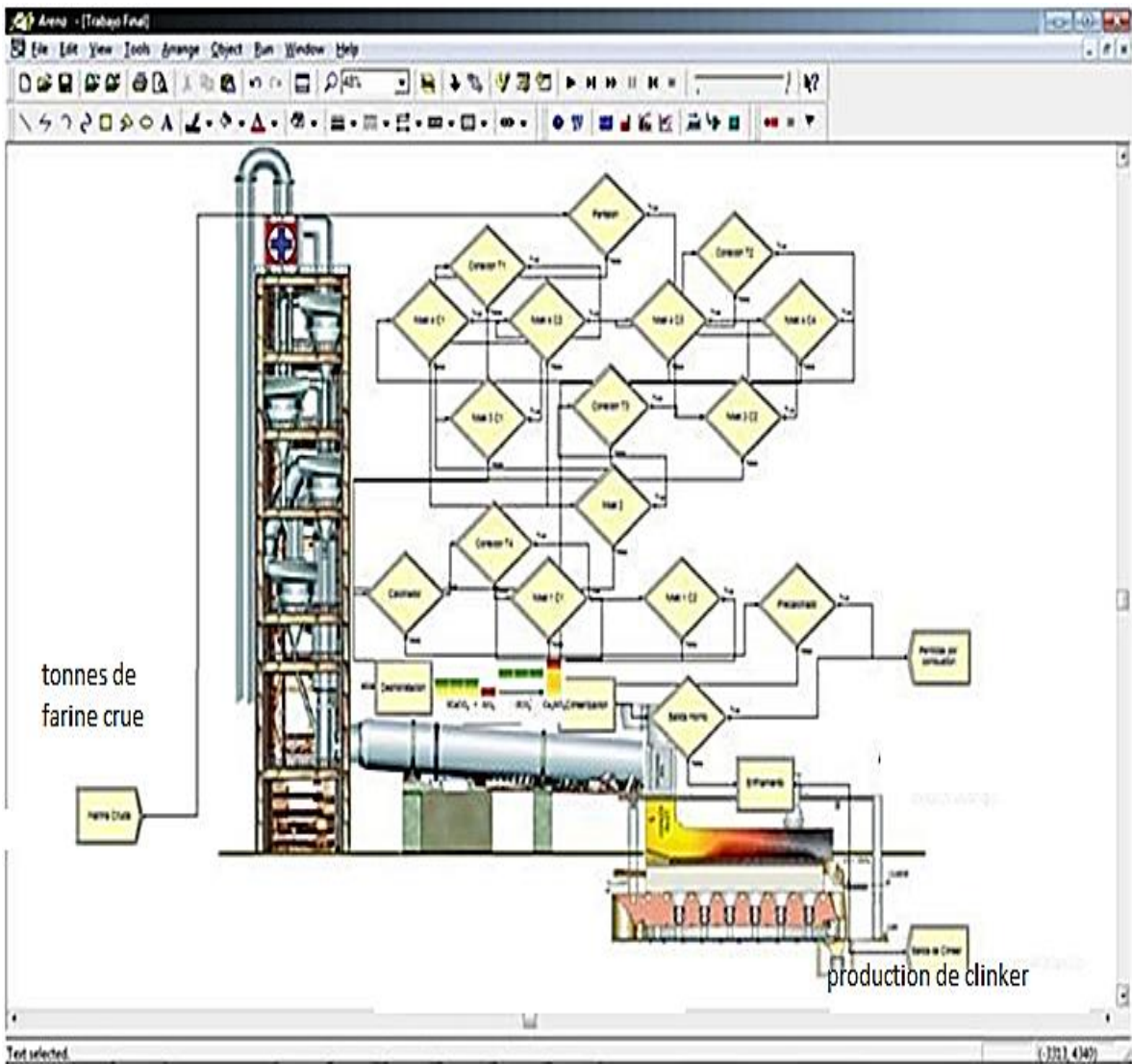
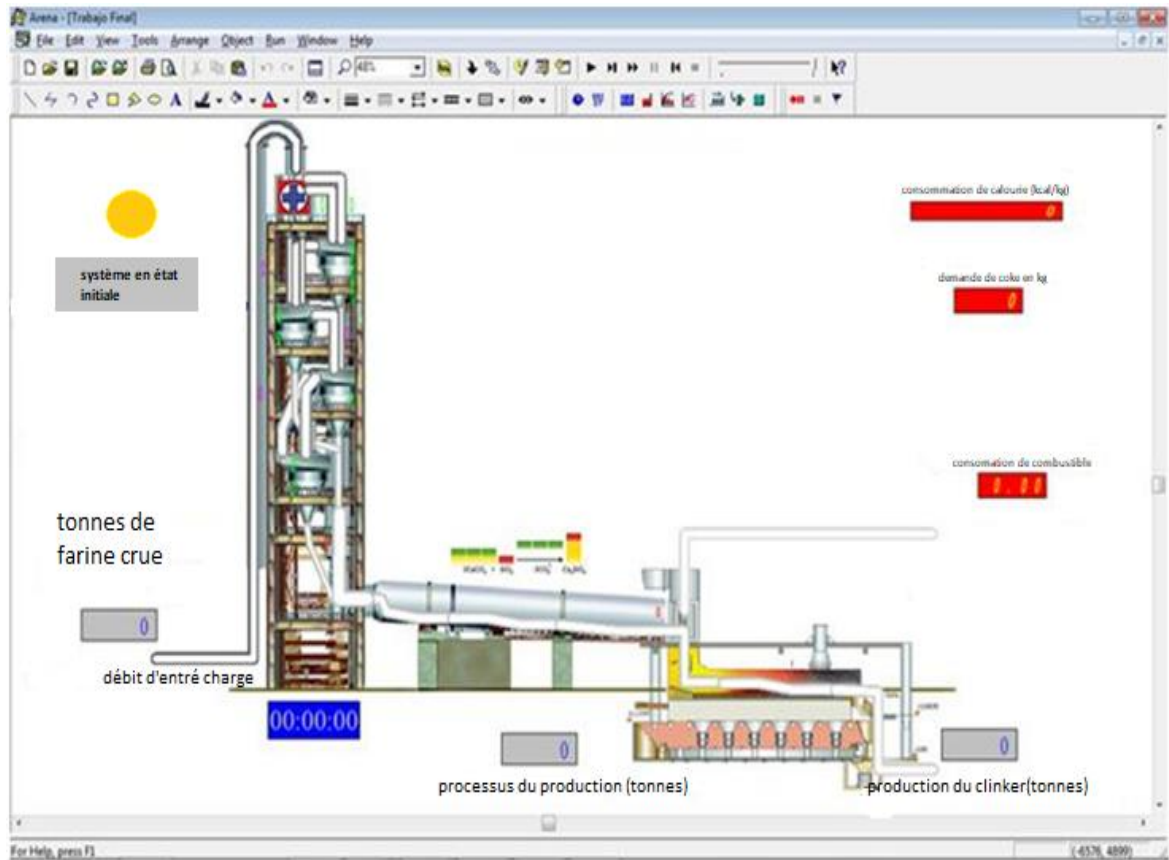


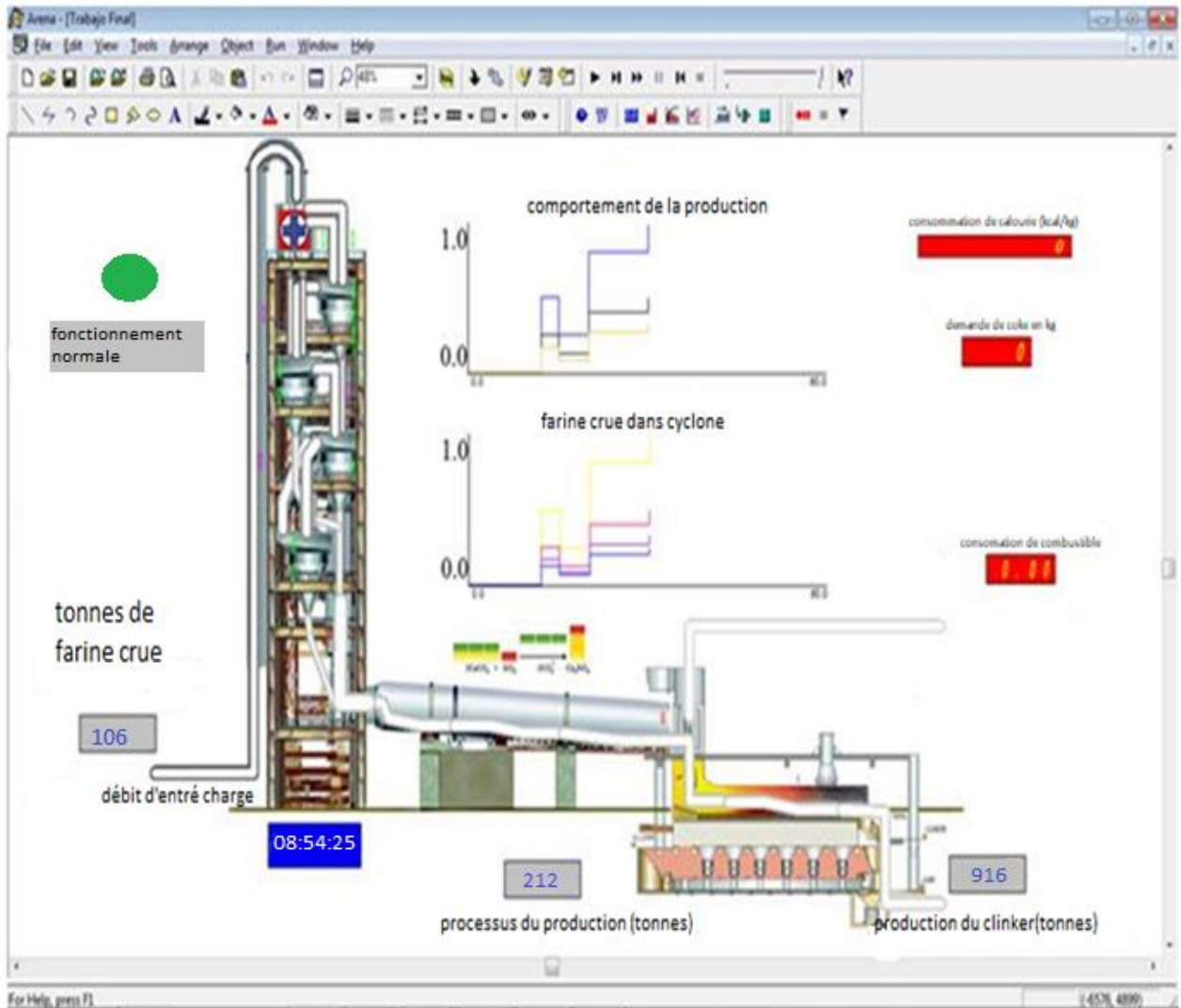
Figure 3.6 : Ajout de graphiques au modèle de base.

La figure ce déçus représente notre système de simulation dans un état stationnaire c'est-à-dire n'est pas encore en fonction ou tous les paramètres sont a leurs état initiale.



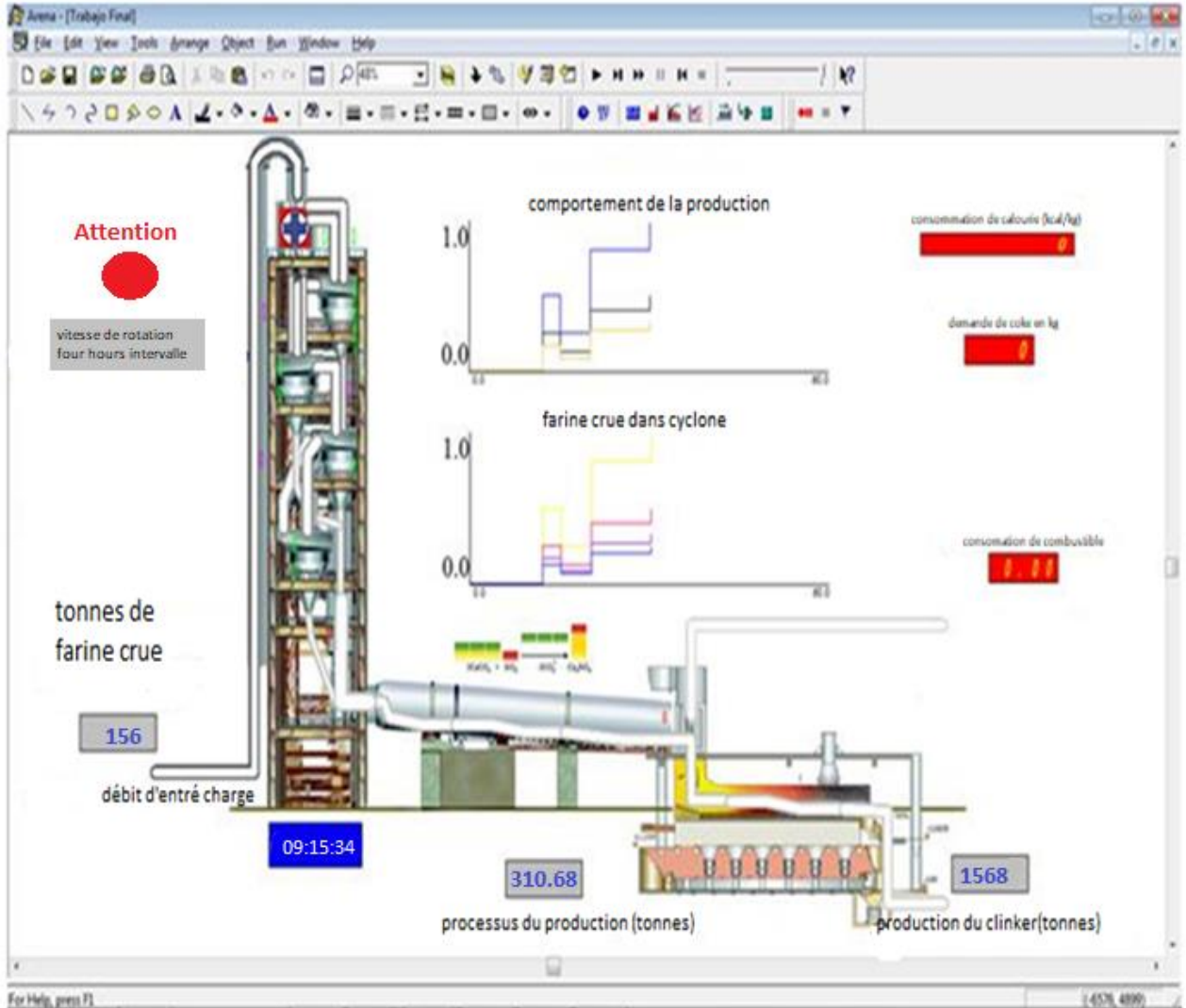
**Figure 3.7 : Modèle de simulation de calcination**

Mais dans la figure suivante on a installé virtuellement notre système qui en lui attaché avec les flux normale de matière première et du combustible, les lecteurs des capteurs de température et de débit et de vitesse de rotation de four sont fourni a notre modèle de simulation se forme d'un fichier CSV et tant que toute les paramètres indiquer précédemment déroule chaque un dans sont intervalle de fonctionnement normal donc tous va bien.



**Figure 3.8 :** modèle de simulation de calcination en fonctionnement normale

Après avoir le fonctionnement normal de simulation on a provoquer exprès un débordement de l'un de paramètre qui agisse sur le déroulement normal de la simulation par exemple si en choisi la vitesse de rotation de four dans ce cas une alerte ce déclenche avec des effets sonores et visuel (lampe rouge) comme il est démontré dans la figure suivante :



**Figure 3.9 :** modèle de simulation de calcination avec message d'alerte

### 5. Conclusion

Les résultats numériques analysés semblent être conformes à la réalité. En effet, les températures de la charge et des gaz dans les différents équipements se trouvent dans les limites des valeurs de consignes et peuvent de ce fait être considérés comme des résultats donc on a réalisé notre modeste travail qui répond aux besoins de la simulation qui a pour rôle la détection des pannes ou des défaillances dans les systèmes complexe qui ne support jamais des ruptures de fonctionnement.

*Conclusion et  
Perspectives*

# Conclusion

---

## Conclusion et Perspectives

Des évolutions très importantes ont marqué la conception des systèmes industriels modernes ce qui complique davantage la tâche de l'opérateur chargé d'entreprendre des opérations de diagnostic dans le cadre des activités de conduite et de maintenance. Il est donc nécessaire de disposer d'outils d'aide au diagnostic permettant de décharger l'opérateur d'une partie du traitement nécessaire pour l'accomplissement de sa tâche.

En effet, la pratique du diagnostic industriel s'inscrit dans le processus de conduite de l'entreprise. Les activités de conduite et de maintenance du processus industriel conduisent à entreprendre en pratique des opérations de diagnostic qui sont de nature très différentes et souvent conditionnées par la spécificité des systèmes et des moyens disponibles.

Les systèmes industriels sont caractérisés par une complexité importante (technologie d'automatisation, interactions importantes opérateurs-processus) qui complique davantage la tâche de l'opérateur chargé du diagnostic. Pour pallier cette difficulté, l'aide informatique devient indispensable et un large éventail de techniques ont été utilisées pour automatiser le diagnostic des systèmes industriels. A chaque type de diagnostic est associé un ensemble de techniques utilisables.

Notre étude a pour objectif de contribuer à proposer un outil d'aide aux opérateurs d'un procédé industriel dans leurs tâches de diagnostic des problèmes et leur résolution. Pour la réalisation de cette étude, choix a été fait de s'appuyer d'une part sur les techniques à base modèle de modélisation fonctionnelle et matérielle.

Comme nous l'avons vu, cette approche utilisée en diagnostic répond parfaitement aux problèmes du type manipulation d'une grande quantité d'information à temps réel, de données non homogènes et incomplètes.

Ainsi une approche pratique pour la réalisation d'un système à base de connaissances pour l'aide au diagnostic des défaillances

# **Références Bibliographique**

## Références bibliographiques

---

### Références Bibliographiques

- [1] Yang, Baosheng, Hongmei Lu, and Lili Chen. "BPNN and RBFNN based modeling analysis and comparison for cement calcination process." *Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence*. IEEE, 2010.
- [2] ELHASIA, Tarek, NOCHE, Bernd, et ZHAO, Lima. Simulation of a sustainable cement supply chain; proposal model review. In : *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*. World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET), 2013.p. 562.
- [3] WAHL, Sébastien, HEMATI, Mehrdji, et GIMENEZ, Michel. Un nouveau procédé de concentration du CO<sub>2</sub> intégré au cœur de la cimenterie.
- [4] WAHL, Sebastien. *Nouvelle technologie de concentration de CO<sub>2</sub> intégrée à la cimenterie: étude d'un nouveau procédé de décarbonatation*. 2018. Thèse de doctorat.
- [5] WASSILA, SAMER et ZOHRA, ZEHAR Fatima. Simulation numérique des transferts thermique dans un cuisson de four cimentrie. 2016.
- [6] BISULANDU, Mungyeko et ROBERT, Baby-Jean. *Modélisation de l'apport d'énergie par combustibles alternatifs dans les fours tournants de production de ciment*. 2018. Thèse de doctorat. Pau.
- [7] KELTON, W. David. *Simulation with ARENA*. McGraw-hill, 2002.
- [8] ALTIOK, Tayfuret MELAMED, Benjamin. *Simulation modeling and analysis with Arena*. Elsevier, 2010.
- [9] BORGES, Jorge Luis. *El libro de arena*. Debols! llo, 2011.
- [10] WIEVIORKA, Michel. *The arena of racism*. Sage, 1995.
- [11] ALLEN, Theodore T. Introduction to ARENA software. In : *Introduction to Discrete Event Simulation and Agent-based Modeling*. Springer, London, 2011. p. 145-160.
- [12] BYLUND, Markus et ESPINOZA, Fredrik. Testing and demonstrating context-aware services with Quake III Arena. *Communications of the ACM*, 2002, vol. 45, no 1, p. 46-48.
- [13] DE FRANCESCHI, AS Morales, KORMANN, Liuz Fernando, et WESTPHALL, Carlos Becker. Performance evaluation for proactive network management. In : *Proceedings of ICC/SUPERCOMM'96-International Conference on Communications*. IEEE, 1996. p. 22-26.
- [14] KAPUR, Patricia A. et STEADMAN, Randolph H. Patient simulator competency testing: ready for takeoff?. *Anesthesia & Analgesia*, 1998, vol. 86, no 6, p. 1157-1159.

## Références bibliographiques

---

- [15]MAJUMDAR, Abhijit, BENAVIDEZ, Patrick, et JAMSHIDI, Mo. Lightweight multi car dynamic simulator for reinforcement learning.In : *2018 World Automation Congress (WAC)*. IEEE, 2018. p. 1-6.
- [16]NEURO-FLOUS, II LES SYSTÈMES. Diagnostic Industriel par Neuro-Floue Application à Un Système de Production.
- [17]TOUIL, Djamel, BELAADI, Salah, BOUGHEDAOU, Mènouar, *et al.* Modélisation d'un préchauffeur à cyclones d'une cimenterie et analyse des pertes physico-chimiques d'exergie. 2007.
- [18]ABDOU, DIB. Modélisation et Simulation d'un Problème d'Ordonnancement. 2005.