



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle
Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel
Spécialité : MAII

Thème

Application de l'intelligence artificielle dans La maintenance industrielle

Présenté et soutenu publiquement par :

**BESSAYAH Fatima Zohra Romaiassa & SLIMANI Maroua Fatima
Zahra**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr. Taha BENARBIA	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Président
Mr. Abderrahim BENFEKIR	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Encadreur
Mr. Chenoufi MOHAMED	MCA	Univ. Oran-2, IMSI	Examineur

Juin 2024

Remerciements

*Après avoir terminé cette fin d'étude, nous adressons nos sincères remerciements premièrement à « **Allah** » tout-puissant qui nous a donné la santé, le courage, la patience indispensable pour mener à bien ce travail. Et nous tenons à remercier également notre prophète « **Mohamed** » pour nous orienter sur la bonne voie.*

Nous remercions sincèrement Madame la Présidente, pour avoir accepté de prendre la présidence du jury de soutenance. De plus, je tiens à remercier les membres du jury pour leur intérêt porté à ma recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

*Par la suite, nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude envers notre encadreur, **Mr. Abderrahim BENFEKIR**, pour son encadrement, son suivi et son encouragement.*

Mes remerciements vont également à mes professeurs, pour leur enseignement stimulant et leur passion pour la transmission du savoir. Votre soutien académique et vos conseils précieux ont contribué à élargir mes horizons intellectuels.

Nous tenons également à exprimer ma gratitude envers nos enseignants, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

Toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette PFE ne sont pas exclues de ses remerciements.

Enfin, nous souhaitons exprimer nos reconnaissances à nos parents qui nous incitent à progresser et qui ont toujours été présents pour nous. Nous sommes reconnaissants de votre suivi et nous vous adressons ce mémoire. Merci pour votre confiance et votre précieux soutien.

Sans oublier le remerciement de notre promotion 2023-2024

Dédicace

À la personne qui m'a le plus soutenu, m'a donné du courage et Elle était à mes côtés chaque fois que je tombais et elle m'a fait me relever. Etc'est

Ma mère.

*À **Mon père**, qui a travaillé dur pour me rendre heureuse et atteindre les plus hauts rangs. Merci, mon cher père,*

À ma sœur attentionnée qui m'encourage avec ses paroles significatives, je vous offre cette œuvre en cadeau de gratitude et de mon grand amour pour vous,

À mes frères qui ont été la raison de ma joie dans cette vie, et après tout je dédie cette œuvre

*À la personne le plus importante **Mr, HAMADOUCH Mohamed** qui m'a fortement aidé à réaliser ce travail*

*À mes deux amies « **Benrhiou Bochra, Kachroud Halima** » Vous m'avez accompagné dans le doux et l'amer, dans le difficile et le facile, tout au long de mon parcours universitaire. Je vous remercie pour votre présence dans ma vie.*

Et un grand merci

À ma collègue **Slimani Maroua Fatima Zahra** * pour votre gentillesse et votre bien*

Merci à tous

Romaissa

Dédicace

Je dédie ce travail spécialement :

À ma chère mère, ma raison de vivre, en témoignage de ma reconnaissance pour sa patience, son amour et ses sacrifices.

À mon cher père, pour son amour et son dévouement

*À vous, mes parents, je dis merci d'avoir fait de moi celui que je suis aujourd'hui. Aucune dédicace ne pourra exprimer mes respects, mes considérations et ma grande admiration pour vous. Puisse ce travail, vous témoignez mon affection et mon
Profond amour*

À mes chers frères, qui je le sais, ma réussite est très importante à leurs yeux, que Dieu vous garde pour moi.

À ma chère binôme, Bessayah Romaiassa pour son entente et sa sympathie.

À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que le self-made-man et les déterminés finiront toujours par réussir leur vie, à moi-même.

À mes amis, à mes enseignants et à ceux qui m'ont donné de l'aide un jour, que Dieu vous paye pour tous vos bienfaits.

Pour finir, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment, je dédie ce mémoire

- Maroua

Résumé :

Ce mémoire de fin d'étude se rapporte à la résolution du problème des temps d'arrêt causés par les pannes de machines, qui peuvent avoir une influence importante sur la productivité de l'entreprise. Le but principal est de créer des modèles prédictifs pour évaluer la durée de vie des équipements, en appliquant de l'intelligence artificielle dans les processus de maintenance.

Dans ce contexte, Notre travail se base sur une approche méthodique, pour surveiller et détecter en temps réel si le processus de broyage du ciment est présente un défaut ou s'il est en état de fonctionnement normal à l'aide de la machine Learning, en utilisant une base de données collectée tout au long de la durée de cinq mois comme des données d'entrée.

Les tests et l'évaluation présentés dans notre mémoire expliquent les avantages de l'utilisation de techniques de l'intelligence artificielle et leur efficacité dans la résolution de ces problèmes.

Mots clés : l'intelligence artificielle, broyage, machine Learning, prédiction des arrêts.

Abstract:

This thesis deals with the problem of downtime caused by machine failures, which can have a significant influence on the company's productivity. The main goal is to create predictive models to assess the lifetime of equipment, applying artificial intelligence in maintenance processes.

In this context, our work is based on a methodical approach, to monitor and detect in real time whether the cement grinding process is defective or is in normal working condition using the machine Learning, using a database collected throughout the five-month period as input data.

The tests and evaluation presented in our thesis explain the advantages of using artificial intelligence techniques and their effectiveness in solving these problems.

Keywords: artificial intelligence, grinding, machine learning, stop prediction.

ملخص :

تتناول هذه الأطروحة مشكلة التوقف عن العمل بسبب أعطال الآلة، والتي يمكن أن يكون لها تأثير كبير على إنتاجية الشركة. الهدف الرئيسي هو إنشاء نماذج تنبؤية لتقييم عمر المعدات، وتطبيق الذكاء الاصطناعي في عمليات الصيانة. في هذا السياق، يعتمد عملنا على نهج منهجي، للمراقبة والكشف في الوقت الفعلي عما إذا كانت عملية طحن الأسمنت معيبة أو في حالة عمل طبيعية باستخدام التعلم الآلي، باستخدام قاعدة بيانات تم جمعها طوال فترة الخمسة أشهر كبيانات مدخالت. تشرح الاختبارات والتقييم المقدمان في أطروحتنا مزايا استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وفعاليتها في حل هذه المشكلات.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، الطحن، التعلم الآلي، توقع إيقاف التشغيل.

Table des matières

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

PRÉAMBULE : État des lieux

0. Présentation générale de l'entreprise LafargeHolcim ciment Oggaz	4
0.1- Définition de LCO	4
0.2- Historique	5
0.3- Processus de fabrication du ciment	6

CHAPITRE 01: La maintenance industrielle.

1.1 Introduction.....	8
1.2 Généralités sur la maintenance industrielle	8
1.2.1 Définition de la maintenance.....	8
1.2.2 Les grands concepts de maintenance industrielle.....	9
1.2.3 Les 5 niveaux de maintenance.....	9
1.3 Types de maintenance.....	10
1.3.1 Maintenance préventive	10
1.3.2 Maintenance corrective	13
1.4 Le rôle de la maintenance	14
1.5 Les objectifs de la maintenance	14
1.5.1 Les objectifs de coût.....	14
1.5.2 Les objectifs opérationnels.....	15
1.6 Situation de la maintenance par rapport à la production	15
1.7 Les opérations de maintenance	16
1.7.1 Le dépannage.....	16
1.7.2 Les inspections	16
1.7.3 Les visites	16
1.7.4 Les contrôles.....	16
1.8 Industrie 4.0 et PdM/RxM	16
1.8.1 Exigences relatives aux méthodes de maintenance avancées	17
1.8.2 Planifier l'avenir.....	17
1.9 Conclusion	18

CHAPITRE 2 : Intelligence Artificielle

2.1 Introduction:.....	20
-------------------------------	-----------

2.2	Historique.....	20
2.3	L'intelligence artificielle (IA)	21
2.3.1	Le but de l'intelligence artificielle	22
2.3.2	Les domaines de l'intelligence artificielle.....	22
2.4	Le machine Learning ou apprentissage automatique.....	23
2.4.1	Le fonctionnement de le machine Learning	23
2.4.2	Les différents types de Machine Learning	23
2.5	Deep Learning ou apprentissage profond	25
2.5.1	Notions de Deep Learning:.....	26
2.6	Relation entre L'intelligence Artificielle et la Maintenance	30
2.6.1	Applications de l'IA dans la maintenance industrielle	30
2.6.2	Limites de l'intelligence artificielle dans la maintenance	31
2.7	Choix de machine Learning.....	32
2.7.1	Les étapes de développement d'un algorithme machine Learning	32
2.8	Conclusions.....	34

CHAPITRE 3 : Démarche de résolution du problème et Solutions Proposées

3.1	Introduction:.....	35
3.2	La méthodologie	35
3.3	Le Fonctionnement du système de broyage de ciment du broyeur à boulets:	35
3.3.1	Type, fonction et principe de fonctionnement de l'équipement principal	37
3.3.2	Un paramètre important dans le contrôle du fonctionnement du système de broyeur à boulets.....	38
3.3.3	Procédures opérationnelles standard pour le système de broyeur à boulets :	40
3.4	Élaboration du schéma de prédiction :.....	42
3.4.1	Mise en œuvre du machine learning.....	42
3.5	Développement du modèle	45
3.5.1	Préparation de la base de données	45
3.5.2	Construction du modèle.....	47
3.6	Développement de l'application:	53
3.6.1	premier essaie	53
3.6.2	Présentation notre interfaces du système.....	54
3.7	Conclusion	59
	Conclusion générale.....	60

Référence Bibliographie:	62
ANNEXE	65

Liste des figures

FIGURE 1 : PRESENCE DE LAFARGEHOLCIM DANS LE MONDE.....	4
FIGURE 2 : PROCESSUS DE FABRICATION DU CIMENT. [3]	6
FIGURE 3 : LE CONTENU DE LA FONCTION MAINTENANCE.[5]	8
FIGURE 4 : POLITIQUES DE MAINTENANCE. [6]	10
FIGURE 5 : PRINCIPE DE LA MAINTENANCE PREDICTIVE. [7].....	12
FIGURE 6 : HISTOIRE DE L'IA.[14].....	21
FIGURE 7 : LES DOMAINES DE L'IA.....	22
FIGURE 8 : TYPES DE MACHINE LEARNING.[18]	24
FIGURE 9 : STRUCTURE DU NEURONE BIOLOGIQUE. [24]	26
FIGURE 10 : NEURONE ARTIFICIEL. [18]	27
FIGURE 12 : ORGANIGRAMME DE L'ALGORITHME ANN. [27]	29
FIGURE 11 : PRINCIPE DES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS.[28].....	29
FIGURE 13 : PROCESSUS DE REFROIDISSEMENT ET DE BROYAGE DU CLINKER. [34]	36
FIGURE 14 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'EQUIPEMENT.[35]	38
FIGURE 15 : LE CONTROLE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE BROYEUR A BOULE. [35]	40
FIGURE 16 : IMPORTATION ET LECTURE DE LA BASE DE DONNEES.....	48
FIGURE 17 : VISUALISATION DE LA DISTRIBUTION DE L'OCCURRENCE D'ARRET	48
FIGURE 18 : GENERATION DE LA MATRICE DE CONFUSION.....	51
FIGURE 19 : GENERATION DE LA MATRICE DE CORRELATION	52
FIGURE 20 : APPLICATION IA&M PREMIER ESSAI.....	53
FIGURE 21 : CODE IMPOSSIBLE DE SIMULER.....	54
FIGURE 22 : PROBLÈME DE REDÉMARRAGE DE LA SESSION	54
FIGURE 23 : LOGO MC.....	54
FIGURE 24 : PAGE D'ACCUEIL	55
FIGURE 25 : FENETRE D'INVALIDATION	55
FIGURE 26 : LOGIN SUCCESSFUL	56
FIGURE 27 : INTERFACE DE CATÉGORISATION	56
FIGURE 28 : RESULTAT DE L'EXEMPLE NON ARRET	58
FIGURE 29 : RESULTAT DE L'EXEMPLE ARRET.....	58

Liste des tableaux

TABLEAU 1: STRUCTURE GENERALE DU MEMOIRE.....	3
TABLEAU 2: UNE PARTIE DE LA BASE DE DONNEES DONT LA SORTIE EST 0.	46
TABLEAU 3 : UNE PARTIE DE LA BASE DE DONNEES DONT LA SORTIE EST 1.	46
TABLEAU 4: LES DONNEES TEST MACHINE (SHUTDOWN / NOT SHUTDOWN).	57

Table des abréviations :

TSB : La Température de Sortie du Broyeur.	MP : Maintenance Préventive.
CIBA : Ciment Blanc Algérie.	EAG : Élévateur à Godets.
CETIM : Centre d'Études Techniques Industrielles de Matériaux de construction.	VS : Vitesse du Séparateur.
TEF : Température du Filtre à air et du filtre à manches d'Entrée.	LCO : Lafarge Ciment Oggaz.
NF EN : Norme Française European Norm.	RV : Registre du Ventilateur.
AFNOR : Association Française de Normalisation.	RAC : Registre d'Air de Circulation.
IDE :Integrated Development Environment.	ECOPact : Ecologique Pacte.
CEN : Comité Européen de Normalisation.	QP : Qualité du Produit.
GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur.	LOI : Loss On Ignition.
PdM : Product Data Management (gestion des données produit).	PwC :PricewaterhouseCoopers
POS : Procédures Opérationnelles Standard.	DM : Les Déchets de Matériaux.
PME : des Petites et Moyennes Entreprises.	TIS : technological information system
PMI : Project Management Institute.	KNN : K-Nearest Neighbors.
EPI : d'Équipement de Protection Individuelle.	GUI : Graphical User Interface.
API :Interface de Programmation d'Application.	IA : Intelligence Artificielle.
ISO :InternationalOrganization for Standardization (Organisation internationale de normalisation).	SDK : bibliothèque standard de Python
GPU :Graphics Processing Unit (unité de traitement graphique).	RxM : Remote Expert Maintenance.
ANN : Artificial Neural Network.	NP : numpy.
MAS : Matériau d'Alimentation Spécifique.	PD : Probability Distribution.
PMV : Puissance du Moteur du Ventilateur.	SNS : Social Networking Service.
BB : Broyeur a Boulet.	PLT : plot.
PMB : Puissance du Moteur du Broyeur.	MSE : Mean Squared Error.
IE : Injection d'Eau	MC : Machine Care.
TC : Température du Ciment.	

Introduction générale

Le béton est fabriqué à partir du ciment, un matériau de construction essentiel utilisé dans la construction de routes, de ponts, de tunnels, de barrages et de nombreux autres projets de constructions. Ainsi, l'industrie du ciment joue un rôle essentiel dans l'économie mondiale. et joue un rôle essentiel dans la croissance économique et le développement dans de nombreux pays, y compris l'Algérie.

Au cours des dernières décennies, la demande de ciment en Algérie a augmenté en raison de l'expansion des infrastructures et des projets de construction dans le pays. À cet égard, le pays vise à attirer des investissements étrangers dans le domaine de la chimie. Cela comprend la participation de Lafarge Holcim, implantée en Algérie depuis plus de dix ans.

La production mondiale de ciment est largement dominée par le Groupe Lafarge Holcim, avec une capacité de production de 286,6 millions de tonnes par an en 2020 [1]. Afin de répondre aux exigences de ses clients en Algérie, il propose une large gamme de produits adaptés à tout type de constructions. L'un de ses principaux produits est le clinker, qui se caractérise par ses merveilleuses propriétés et constitue le matériau de base pour la fabrication du ciment. Lors de la dernière étape de fabrication de ce produit, le broyage cuit, nous avons rencontré un problème récurrent d'arrêt du broyeur. Afin de résoudre ce problème, l'entreprise devait mettre en œuvre une limitation de l'arrêt du broyeur pour garantir son bon fonctionnement. Ainsi, elle a mis au point un système de pilotage automatique afin de diminuer les pannes et de continuer à exploiter le broyeur. Ce programme a abouti à la résolution de nombreux problèmes, dont le principal était le problème de bourrage de broyeur, mais pas à son arrêt. L'effet de cette décision a entraîné une baisse du taux de production quotidien de ce genre de produit, ce qui a entraîné des pertes financières pour l'entreprise.

Dans cette situation, notre projet de fin d'études a été confié par l'équipe du service de performance de l'entreprise à résoudre le problème de l'arrêt en identifiant les causes potentielles. En même temps, nous avons commencé à élaborer un modèle pour prédire l'arrêt du broyeur. Notre recherche vise donc à répondre à la question suivante : "Quels sont les éléments qui contribuent à l'arrêt du broyeur lors de la production de clinker, et comment peut-on suggérer une solution de prédiction basée sur l'apprentissage machine pour prévenir l'arrêt ?"

En repérant les origines de l'arrêt et en suggérant des solutions adéquates, notre objectif est de résoudre le problème de l'arrêt du broyeur sans avoir à recourir au pilotage automatique. Afin de parvenir à notre but, nous utiliserons une méthode intuitive qui nous permettra de repérer les éléments qui impactent l'arrêt du broyeur lors de la production de clinkers. Un modèle de prédiction de l'arrêt sera ensuite construit en utilisant deux environnements de développement différents et en appliquant divers algorithmes d'apprentissage.

Cette mémoire est composée d'une préface et de trois parties. La présentation de l'entreprise sera abordée dans le préambule, avec une description du processus de fabrication du ciment. Nous terminerons cette section en exposant la problématique que nous souhaitons résoudre. Dans le premier chapitre, nous définirons les concepts fondamentaux liés à la maintenance industrielle. Dans le deuxième chapitre, nous aborderons l'intelligence artificielle et les raisons qui ont conduit à l'utilisation de la méthode d'apprentissage automatique dans notre mémoire. Au chapitre suivant, nous exposerons en détail notre approche pour résoudre le problème, en commençant par identifier les causes potentielles de l'arrêt, puis en élaborant une solution intelligente pour prédire l'arrêt.

Problématique :

La maintenance traditionnelle est généralement réalisée après que l'équipement ou l'appareil a rencontré un dysfonctionnement qui implique de décrire les problèmes d'un équipement ou d'un appareil une fois qu'ils ont surgi et de les résoudre par la suite, ce qui nécessite des réparations plus coûteuses et plus complexes, dans ce cas si un bien tombe en panne de manière inattendue, cela peut perturber d'autres travaux de maintenance et provoquer des périodes d'arrêt inattendues. Cependant, les défis industriels d'aujourd'hui dans leur globalité sont la nécessité effectivement de produire plus ou au moins tout au temps avec des contraintes de ressources et souvent de budget réduit.

Pour faire face à cette problématique, nous sommes de plus en plus intéressés par l'implémentation d'une approche de maintenance prédictive pour prédire et détecter à temps les défauts qui peuvent survenir dans les systèmes. En effet, grâce à ce type de maintenance, nous allons éviter qu'un problème mineur ne devienne un problème majeur. Cela nous permet d'éviter les dépenses liées au remplacement des équipements et les temps d'arrêt imprévus. De plus, cela

nous offre la possibilité d'améliorer la sécurité de l'environnement de travail en diminuant les dangers pour les installations.

Dans notre projet de fin d'études, nous nous concentrons sur un problème technique complexe qui se pose lors du broyage du clinker. Avant d'arriver à l'entreprise, cette entreprise souffrait d'un problème récurrent d'arrêt de broyeur. Dans ce contexte, il est important de détecter rapidement les défauts de cet équipement avant qu'ils ne deviennent graves afin d'éviter toute transformation de ce problème ayant un impact majeur sur la production quotidienne, entraînant des pertes financières pour l'entreprise.

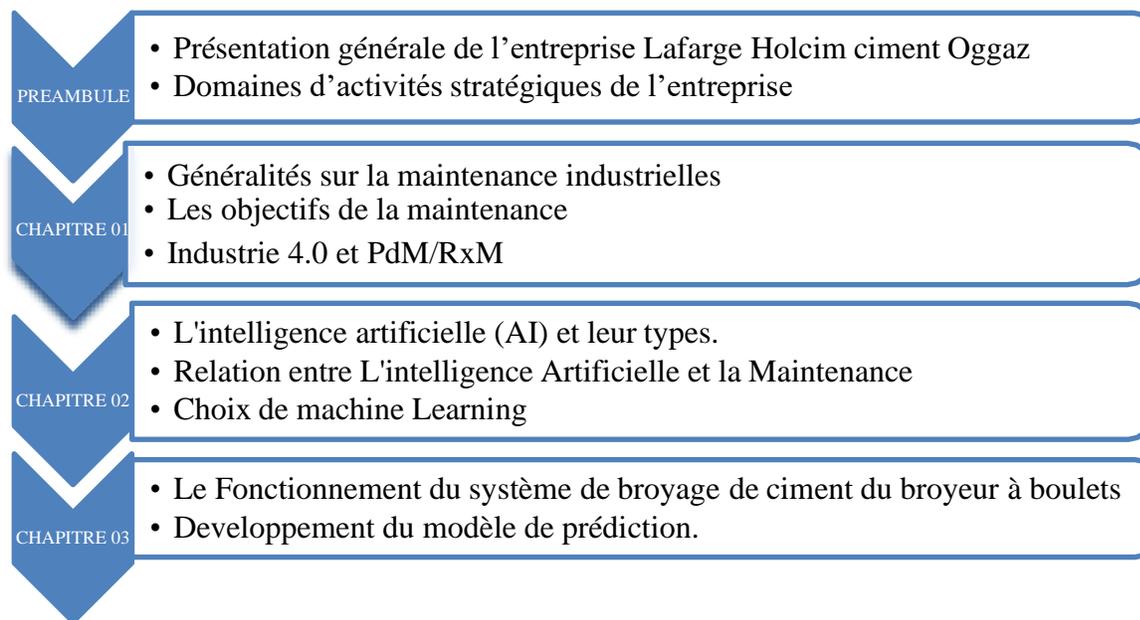


Tableau 1: Structure générale du mémoire.

PRÉAMBULE : État des lieux

0.Présentation générale de l'entreprise LafargeHolcim ciment Oggaz :

0.1- Définition de LCO :

Lafarge Holcim est une entreprise franco-suisse qui se spécialise dans la fabrication de matériaux de construction. Présente dans près de 70 pays, elle emploie environ 72 000 salariés. Elle est l'un des leaders mondiaux du secteur de la construction, fournissant des solutions innovantes et durables pour répondre aux besoins de construction des clients dans le monde entier. Son chiffre d'affaires a atteint 26,834 milliards de francs en 2021.[2]



**Figure 1: Présence de LafargeHolcim dans le monde
(Holcim Integrated Annual Report 2021: Our global présence). [3]**

Lafarge Holcim a enregistré un chiffre d'affaires considérablement réparti à travers les différentes régions géographiques. L'Europe est la région la plus importante pour l'entreprise, représentant 29,9 % de son chiffre d'affaires total. L'Amérique du Nord suit de près, avec une part de marché de 27,2 %, tandis que l'Asie représente 22,1 % de ses revenus. L'Afrique et le Moyen-Orient contribuent à hauteur de 9 % chacun, tandis que l'Amérique latine représente 9,7 % de son chiffre d'affaires total. Cette répartition géographique des revenus de Lafarge Holcim démontre la présence de l'entreprise sur les principaux marchés mondiaux, ainsi que sa capacité à s'adapter aux différentes conditions économiques et commerciales à travers le monde.[2]

0.2- Historique :

- **2003** : Autorisation de construction de l'usine CIBA (ciment blanc Algérie) et début des recherches des matières principales en premier lieu le calcaire, la construction a été confiée à ORASCOM Construction Compagnie par contre la recherche a été entreprise par CETIM Centre d'études techniques industrielles de matériaux de construction.
- **2004** : après une étude bibliographique, une phase de reconnaissance géologique est réalisée sur l'axe Chleff-Oran, le calcaire d'Aoud-SMA d'Oggaz-Mascara, a été mis en évidence, et une phase prospection a été entreprise avec 07 sondages pilotes d'une profondeur variant de 48 m à 100 m répartis sur deux profils croisés l'un épousant l'axe de la structure (longueur) et l'autre sa largeur.
- **2005** : une phase d'exploration est entreprise suite aux résultats positifs de la phase précédente, elle consistait à la réalisation de 29 sondages mécaniques carottés d'une profondeur variant de 42 à 119 m soit une moyenne de 87 m, le nombre des sondages constituant au total un volume de 2289.80 ml et formant une maille assez régulière permettant d'évaluer les réserves du gisement.
- **2006** : vers mois de Novembre début d'exploitation de la carrière de calcaire avec le premier tir sur gisement.
- **2007** : vers le mois de Mai les premiers essais de concassage, et vers juin la production des premières tonnes de clinker blanc et vers juillet le premier sac de ciment blanc, vers septembre le démarrage officiel de commercialisation du ciment blanc. En cette année aussi, il a été décidé de construire une deuxième ligne de ciment gris.
- **2008** : vers le mois de mars les premiers essais de concassage pour ciment gris, et vers avril la production des premières tonnes de clinker gris. Envers mai le premier sac du ciment gris, vers juin le démarrage officiel de commercialisation du ciment gris.
- **2009** : l'achat d'ORASCOM par Lafarge.
- **2013** : CIBA (ciment blanc Algérie) devient LCO (Lafarge ciment Oggaz)
- **2015** ; fusion du groupe Lafarge avec groupe Holcim en un seul groupe pour construire un leader mondial du ciment et devenir Lafarge Holcim.[4]

0.3- Processus de fabrication du ciment :

Le ciment est un produit qui porté à une température de 1450 o, avec un mélange de calcaire et d'argile. Nous donnons des nodules durs appelés clinkers. Le clinker additionné à du gypse est broyé très finement pour obtenir le ciment « portland ». L'ajout au clinker, lors de son broyage, d'autres éléments minéraux, permet l'obtention des déférentes catégories de ciment « à ajouts » mélangés à des granulats, de sable, des adjuvants et de l'eau, le ciment est l'élément de base indispensable pour la fabrication du béton, dont il est le composant actif. C'est pourquoi il est aujourd'hui l'élément essentiel et incontournable du secteur de la construction contemporaine et donc du monde moderne.[4]

Pour obtenir le ciment, il faut passer par les cinq zones suivantes :

- a. Zone d'Extraction.
- b. Zone Cru.
- c. Zone cuisson.
- d. Zone ciment.
- e. Zone Expédition. [4]

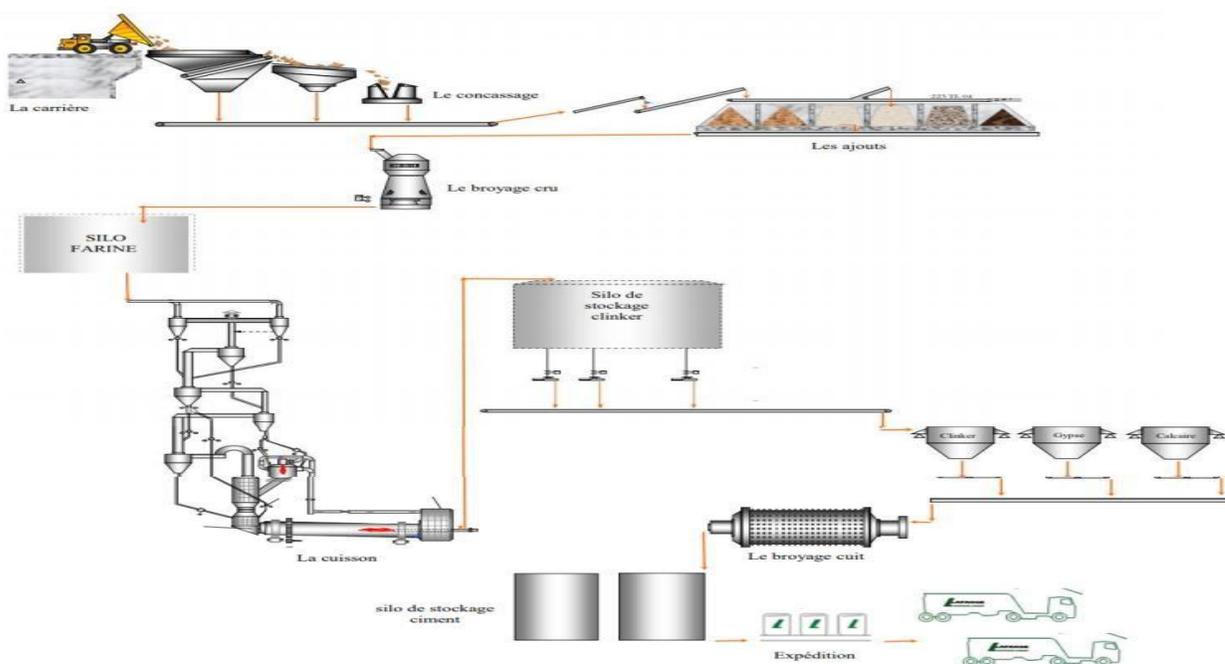


Figure 2 : Processus de fabrication du ciment.[3]

0.4- Domaines d'activités stratégiques de l'entreprise :

Le ciment : LafargeHolcim offre une gamme étendue de ciments durables et innovants. Le marché peut être segmenté en ciment ensaché et en vrac, avec les pays émergents étant les plus grands consommateurs de ciment ensaché. Les pays industrialisés, quant à eux, sont principalement des marchés en vrac, le ciment étant principalement consommé par de plus grands clients commerciaux tels que des entreprises de construction ou des fabricants de produits de construction. Lafarge travaille continuellement à rendre le ciment encore plus durable, en réduisant les émissions de carbone de sa production.[3]

Le béton prêt à l'emploi : L'entreprise propose une gamme de bétons innovants comprenant du béton autonivelant, du béton architectonique, du béton isolant et du béton perméable. Elle innove également pour des matériaux durables et augmente son portefeuille de solutions de béton à faible teneur en carbone. En 2021, ECOPact, la gamme la plus large de béton vert de l'industrie, offerte par LafargeHolcim, a offert des avantages durables, performants et circulaires dans 24 marchés dans le monde. [3]

Les agrégats : LafargeHolcim fournit des agrégats pour la construction, comme la pierre concassée, le gravier et le sable. Ces agrégats sont utilisés pour le béton, la maçonnerie, l'asphalte, les routes, les décharges et les bâtiments. Lafarge Holcim produit ces agrégats en extrayant et concassant des roches dures de carrières et en extrayant également du sable et du gravier sur terre et en mer. En outre, l'entreprise fournit des agrégats recyclés qui contribuent à une économie circulaire dans l'industrie de la construction.[3]

Solutions et produits : L'entreprise a identifié Solutions et produits comme son segment de croissance et vise à générer 30 % de ses ventes nettes d'ici à 2025 grâce à ce segment. Elle envisage d'étendre sa gamme de solutions et de systèmes intégrés, en se rapprochant de ses clients dans le domaine de la construction, de l'efficacité énergétique, de la réparation et de la rénovation.[3]

CHAPITRE 01 : La maintenance industrielle

1.1 Introduction :

Quels que soient les efforts entrepris au stade de la conception et la fabrication des machines pour assurer leur sûreté de fonctionnement, des défaillances apparaissant au cours de leur exploitation, les causes d'apparition de ces défaillances sont variables. Elles vont du coût de simple remplacement d'une pièce détériorée à d'importants frais d'immobilisation pour la machine donnée, elles peuvent aussi provoquer de graves accidents corporels.

C'est pourquoi on fait appel à la maintenance afin de maintenir en état les machines et rétablir leurs performances après défaillance. La maintenance implique un certain nombre de mesures organisationnelles, techniques et économiques.

Après avoir démontré sa rentabilité, la maintenance représente une fonction principale dans beaucoup d'entreprises industrielles et de services. Dans ce chapitre, on parle généralement sur la maintenance, leur type et leur niveau, et on a ajouté quelques notions sur l'industrie 4.0 et l'exigence relative aux méthodes de maintenance avancées.

1.2 Généralités sur la maintenance industrielle :

1.2.1 Définition de la maintenance :

D'après la norme (NF EN 13306) : {La maintenance est l'ensemble des 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. Plusieurs auteurs présentent la fonction maintenance comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion} (voir figure 3).[5]



Figure 3: Le contenu de la fonction maintenance.[5]

1.2.2 Les grands concepts de maintenance industrielle : Les trois grands concepts de la maintenance tels que définis par l'Association française de normalisation (AFNOR).[6]

a. La fiabilité :

La fiabilité est l'aptitude ou la probabilité d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données et pour une période de temps déterminée.[6]

b. La maintenabilité :

Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.[6]

c. La disponibilité :

La disponibilité est l'aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.[6]

1.2.3 Les 5 niveaux de maintenance :

Il y a cinq niveaux de maintenance, selon la classification de l'Afnor. Chaque niveau correspond à un degré de complexité des interventions :

- a. La maintenance de niveau 1** regroupe des actions simples à effectuer sur des équipements facilement accessibles ;
- b. La maintenance de niveau 2** correspond aux interventions peu complexes dont les procédures sont simples à suivre ;
- c. La maintenance de niveau 3** désigne des interventions complexes qui doivent prendre en compte l'équipement dans sa globalité et être réalisées par des techniciens spécialisés ;
- d. La maintenance de niveau 4** rassemble des opérations complexes et importantes, qui requièrent un ou plusieurs techniciens spécialisés, supervisés par un responsable ;
- e. La maintenance de niveau 5** correspond enfin à des actions semblables à des actions de fabrication (reconstruction, mise en conformité...) qui ne peuvent être réalisées que par le constructeur de l'équipement ou par un prestataire agréé par celui-ci. [10]

1.3 Types de maintenance :

1.3.1 Maintenance préventive :

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un rendu, les activités correspondantes sont déclenchées selon :

- Un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.
- Et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service.

Cette politique de maintenance s'adresse aux machines provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêt imprévisibles classés comme importants pour l'entreprise. Tel est le cas des machines, des chantiers de forage. Il convient donc d'organiser un système de maintenance visant à minimiser ces arrêts souvent trop onéreux, ainsi on aura à pratiquer trois formes de maintenance dites préventives.[6]

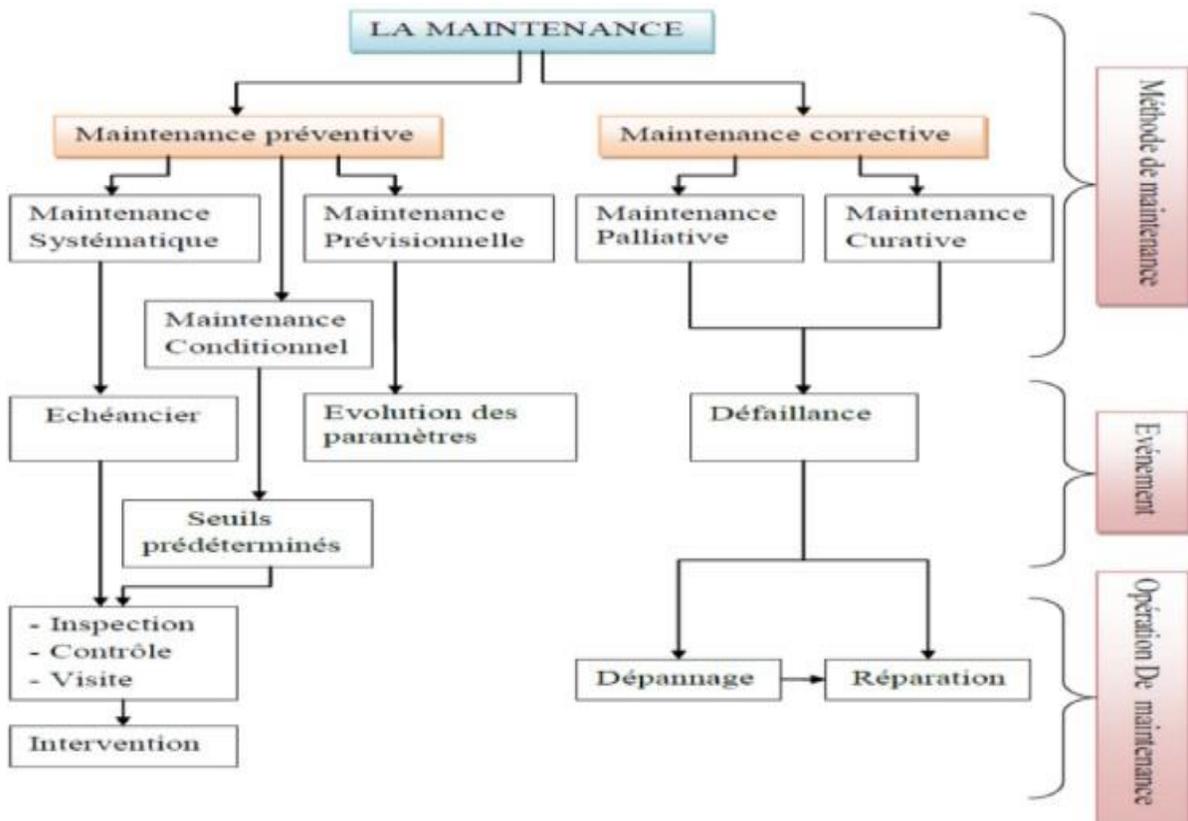


Figure 4: Politiques de maintenance. [6]

a. Maintenance Systématique :

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage. La mise en pratique de cette maintenance nécessite de décomposer les machines en éléments maintenables. Ces éléments doivent être visités ou changés régulièrement. La périodicité de ces visites s'établit par l'étude des lois de durée de vie. On harmonisera ces périodicités de façon à rentrer multiples les unes des autres. Des gammes d'entretien seront élaborées de façon à préciser le travail à exécuter par l'équipe d'en résultats des diverses mesures de maintenance, un rapport sera rédigé mettant en relief les et les observations. L'intérêt de cette méthode est de diminuer les risques de défaillance. Ceux-ci restent néanmoins possibles entre deux visites.[6]

b. Maintenance conditionnelle :

La définition de la maintenance conditionnelle donnée par [Afn94] est : Les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service. Le principe de la maintenance préventive conditionnelle est qu'elle se réfère à l'état du système dans ce qui peut en être discerner par la surveillance d'indicateurs significatifs. Lorsque cet état atteint un seuil défini, alors le risque est considéré comme important et une action de maintenance est décidée. L'erreur n'est plus liée à la probabilité d'émergence du risque comme en maintenance préventive systématique, mais à la définition du seuil et à la décision. La maintenance conditionnelle offre la possibilité de détecter les erreurs dès leur apparition, c'est-à-dire longtemps avant l'apparition d'une faute tangible. Les actions de maintenance sont donc uniquement réalisées en fonction des besoins réels.[7]

c. Maintenance prédictive :

La maintenance prédictive est définie selon [Afn94] comme : Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien permettant de retarder et de planifier les interventions. En maintenance prédictive (MP), l'évolution des indicateurs de surveillance doit être suivie dans le temps afin d'en tirer des prévisions, figure 6. La décision d'intervention et son degré d'urgence reposent sur l'identification préalable du ou des fautes et sur l'estimation de leur gravité. Elle diffère de la maintenance

conditionnelle par l'action d'extrapolation de la tendance analysée. Ceci lui permet de passer de l'état constaté à l'état prévisible.

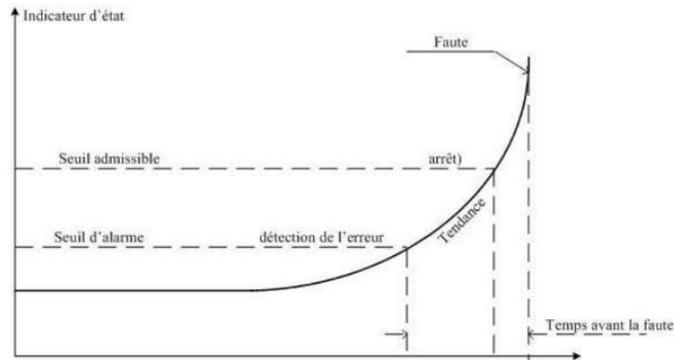


Figure 5: Principe de la maintenance prédictive. [7]

Son caractère permet de réduire considérablement le nombre d'incidents inopinés, de planifier de manière plus rentable les interventions préventives, de maximiser l'intervalle entre chaque réparation, et de minimiser le coût des arrêts de production imputables aux défaillances. Par conséquent, elle augmente la disponibilité et la durée de vie des équipements, et elle réduit considérablement les coûts de maintenance. [7]

Buts de la maintenance preventive:

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiants, etc.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.[8]

1.3.2 Maintenance corrective :

Selon la norme AFNOR, la maintenance corrective est définie par : « Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement ». Que ce soit dans un milieu industriel, tertiaire, des transports, les processus de maintenance, ainsi de la qualité, sont identiques. Ce qui change entre le manufacturier et les process continus, c'est la constante de temps de réalisation des différentes activités. Le vocabulaire est toujours le même, il est désormais normalisé au niveau Européen par le CEN (Comité Européen de Normalisation) après avoir été défini, en France, par l'AFNOR. Le processus « Maintenir – maintenance corrective » est un processus clé de la fonction de maintenance. C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou de la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement. Les activités de la maintenance corrective comprennent :

- La constatation et la localisation de la défaillance (symptôme).
- La constatation du mode de défaillance au cours du diagnostic initial.
- L'identification de la cause de la panne.
- La remise en état avec ou sans modification.
- Le contrôle du bon fonctionnement.
- Le compte rendu de l'intervention avec l'exploitation du processus de défaillance. [9]

a. Maintenance palliative :

Activités de maintenance corrective destinées pour permettre à un bien d'accomplir provisoirement toute ou une partie d'une fonction requise.

Note : Appelée couramment "dépannage", la maintenance palliative est principalement à qui devront être suivis d'actions constituées d'actions caractère provisoire curatives.[6]

b. Maintenance curative :

Ce sont les activités de maintenance corrective ayant pour objectif de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagements ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.[9]

1.4 Le rôle de la maintenance :

Aujourd'hui, les activités de maintenance ne visent plus seulement à réparer des équipements (maintenance corrective) mais aussi à anticiper les pannes et les dysfonctionnements (maintenance préventive).

Grâce aux nouvelles technologies, notamment aux capteurs électroniques et aux nouvelles solutions de GMAO, il est même possible de prévoir les pannes et de réaliser des interventions avant qu'elles ne surviennent (maintenance prévisionnelle ou prédictive). En bref, le rôle de la maintenance est de mettre en œuvre le fameux proverbe « mieux vaut prévenir que guérir ». L'objectif de la maintenance est ainsi de maintenir les outils de production en état de fonctionner en toute sécurité tout en réduisant les coûts de production. Pour répondre aux enjeux économiques croissants, elle est une source d'optimisation voire de profit.

Le rôle d'un service maintenance est donc aujourd'hui plus vaste qu'avant, et les responsables et techniciens sont impliqués dans des projets structurels qui doivent intégrer de nombreux paramètres comme le coût et les délais, la qualité, la sécurité ou l'environnement.[10]

1.5 Les objectifs de la maintenance :

1.5.1 Les objectifs de coût :

- Minimiser les dépenses de maintenance.
- Assurer la maintenance dans les limites d'un budget.
- Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par l'installation en fonction de leur âge et de leur taux d'utilisation.
- Tolérer à la discrétion du responsable de la maintenance une certaine quantité de dépense imprévue. [8]

1.5.2 Les objectifs opérationnels :

- Maintenir le bien durable :
 1. Dans un état acceptable.
 2. Dans des meilleures conditions.
- Assure la disponibilité maximale à un coût raisonnable.
- Éliminer les pannes à tout moment et au meilleur coût.
- Maximiser la durée de vie du bien. Remplacer le bien à des périodes prédéterminées.
- Assurer au bien des performances de haute qualité.
- Assurer au bien un fonctionnement sûr et efficace.
- Obtenir de l'investissement un rendement maximum.
- Garder au bien une présentation suffisamment satisfaisante.
- Maintenir le bien dans un état de propreté absolue.[8]

1.6 Situation de la maintenance par rapport à la production :

a. Le personnel de production :

Ne s'intéresse qu'aux informations nécessaires à l'obtention du produit fini.

b. Le personnel d'entretien :

Ne s'intéresse qu'aux informations nécessaires à la réalisation de son intervention sur l'outil de production quelle que soit sa fonctionnalité.[8]

c. Le personnel de maintenance :

Doit maîtriser toutes les contraintes posant la dégradation de l'outil de production pour limiter leur conséquence sur l'obtention de l'objectif de production quelles que soient les contraintes au niveau de la conception, de la fabrication et de l'exploitation.

Le système de maintenance semble se présenter comme sur système complémentaire au système de production.[8].

1.7 Les opérations de maintenance :

1.7.1 Le dépannage :

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement. Cette action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisionnés et de conditions de réalisation hors règles de procédure, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivi de la réparation. Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées, mais peuvent être nombreuses et n'exigent pas la connaissance du comportement des équipements et des modes de dégradation.[11]

1.7.2 Les inspections :

Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.[11]

1.7.3 Les visites :

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner des organes et une immobilisation du matériel.[11]

1.7.4 Les contrôles:

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet ajournement, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective. Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien.[11]

1.8 Industrie 4.0 et PdM/RxM :

La maintenance prédictive et prescriptive nécessite de grandes quantités de données historiques pour extraire les modèles inhérents aux données. Elle requiert des analyses puissantes. Le passage à des services dans le cloud donne accès à un puissant traitement en réseau partagé, ce qui rend ce type d'analyse abordable, même pour des PME/PMI manufacturières.

Les sociétés de conseil PwC et Mon innovation ont inventé le terme PdM 4.0, qui représente l'approche la plus récente en matière de maintenance prédictive. L'approche PdM 4.0 étend l'application de la maintenance prédictive en y incluant l'utilisation de l'analyse des données en volume (Big Data) afin d'exploiter les conditions environnementales, l'historique de la maintenance des actifs, les tâches de maintenance standards et les statistiques d'équipements comparables, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'organisation.[12]

1.8.1 Exigences relatives aux méthodes de maintenance avancées :

Divers facteurs tels que le budget et la technologie disponibles sont des conditions préalables à la mise en œuvre d'une méthode de maintenance moderne telle que la maintenance prédictive. L'exigence principale reste la disponibilité des données. Il n'est pas toujours facile d'obtenir des données sur les machines, et le défi de collecter et de gérer correctement des données contextualisées, suffisantes, précises s'avère souvent encore plus difficile.[12]

1.8.2 Planifier l'avenir :

Compte tenu des avantages considérables offerts par les méthodes de maintenance modernes et des améliorations imminentes, les entreprises manufacturières doivent au moins pouvoir profiter de ces évolutions. Pour ce faire, elles doivent mettre en place des systèmes capables d'accéder aux données de leurs machines ou de surveiller leurs machines et leurs installations. Les données des machines doivent être contextualisées et stockées avec d'autres informations pertinentes qui permettent d'analyser précisément des données et de formuler des prédictions. Les solutions basées sur le cloud comptent rendre la puissance de traitement disponible et abordable. De plus, les solutions appropriées basées sur le cloud doivent pouvoir exploiter les données anonymisées de différentes entreprises pour fournir de meilleures informations individuellement à chaque fabricant, grâce aux informations supplémentaires disponibles par type de machines. Les PME-PMI manufacturières doivent être conscientes qu'elles peuvent bénéficier des technologies de maintenance modernes et envisager de tirer avantage de leurs capacités.[12]

1.9 Conclusion :

Après ce chapitre, on remarque que la maintenance est très importante dans l'industrie pour diminuer les coûts et éviter les accidents et est une fonction complexe qui, selon le type de processus, peut être déterminante pour la réussite d'une entreprise. Les fonctions qui la composent et les actions qui les réalisent doivent être soigneusement dosées pour que les performances globales de l'outil de production soient optimisées.

CHAPITRE 2 : Intelligence artificielle.

2.1 Introduction:

Depuis quelques années, l'intelligence artificielle (IA) a suscité un grand intérêt médiatique et une attention sans précédent. Il suscite de nombreuses promesses, dont certaines reposent sur des prévisions très spéculatives ou très lointaines des capacités de la machine. Le renouveau de l'intérêt pour l'IA est principalement attribué aux avancées technologiques majeures qui ont permis aux ordinateurs d'améliorer considérablement leurs performances dans de nombreux domaines, tels que la vision par ordinateur ou la reconnaissance automatique de la parole. Ces progrès ont ouvert de vastes perspectives pour l'intégration de l'IA sous diverses formes (applications, robots, chatbots, etc.) dans les environnements de travail.

Il est remarquable que de plus en plus de domaines sont concernés, tels que l'industrie, la santé, l'agriculture, la finance, la banque, l'assurance, le transport, etc. En conséquence, l'IA est de plus en plus présente dans les organisations et les systèmes de production. L'automatisation des tâches, la logistique, l'analyse prédictive, le diagnostic et l'analyse de grandes bases de données sont quelques-unes des nombreuses applications de l'IA dans ces secteurs. L'IA est généralement considérée comme un ensemble de technologies capables de fournir divers avantages, notamment en termes de performance (optimisation des processus internes, rapidité d'exécution des tâches, augmentation de la productivité, etc.) et parfois en termes de facilitation du travail voire de réduction de la pénibilité en permettant l'automatisation de tâches fastidieuses ou répétitives.

2.2 Historique :

L'histoire de l'IA remonte à plusieurs décennies. Les chercheurs ont commencé à explorer le domaine dans les années 1950. Depuis lors, de nombreuses approches ont été développées pour améliorer les capacités des machines à apprendre et à raisonner.[13]

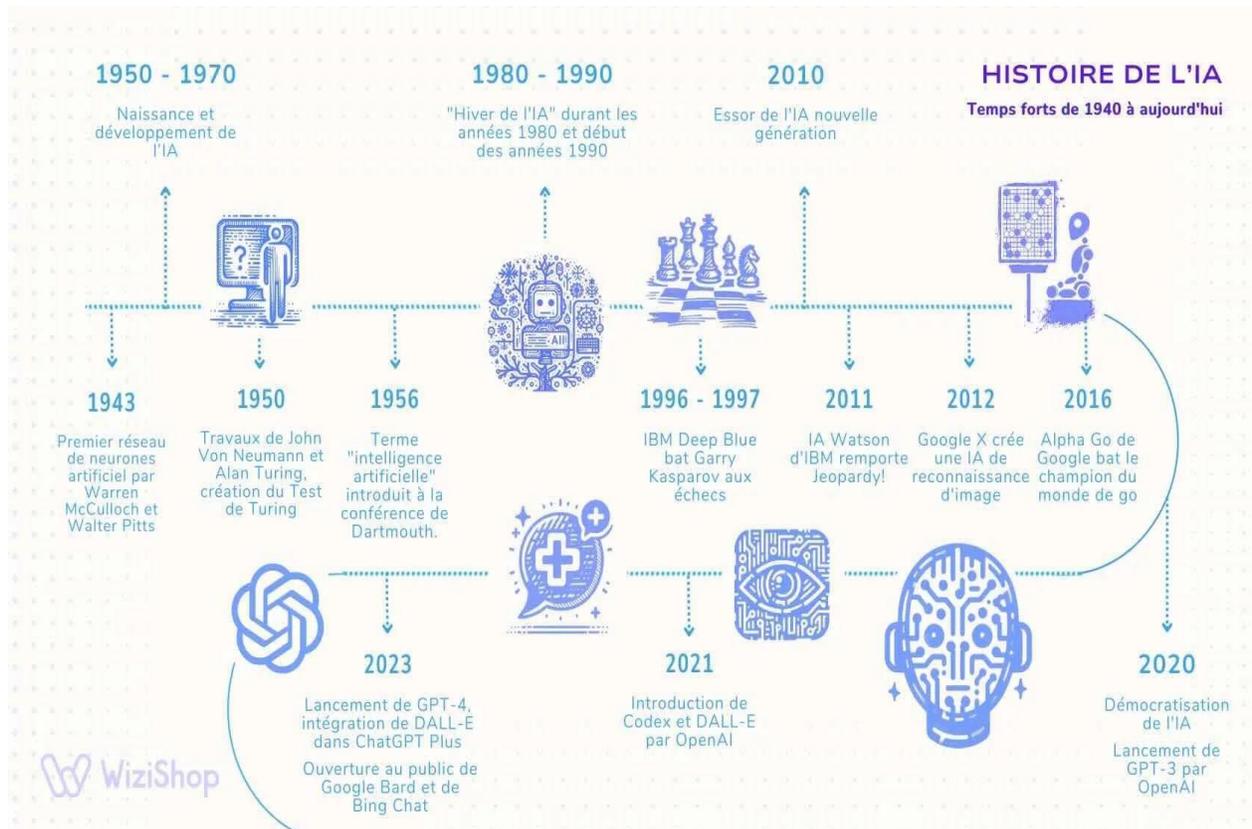


Figure 6: histoire de l'IA.[14]

2.3 L'intelligence artificielle (IA) :

Est un processus d'imitation de l'intelligence humaine qui repose sur la création et l'application d'algorithmes exécutés dans un environnement informatique dynamique. Son but est de permettre à des ordinateurs de penser et d'agir comme des êtres humains.

Pour y parvenir, trois composants sont nécessaires :

- Des systèmes informatiques.
- Des données avec des systèmes de gestion.
- Des algorithmes d'IA avancés (code).

Pour se rapprocher le plus possible du comportement humain, l'intelligence artificielle a besoin d'une quantité de données et d'une capacité de traitement élevées.[15]

La norme ISO 2382-28 définit l'intelligence artificielle comme la « capacité d'une unité fonctionnelle à exécuter des fonctions généralement associées à l'intelligence humaine, telles que

le raisonnement et l'apprentissage ». Qualifiée de prochaine révolution informatique, l'intelligence artificielle est au cœur de tous les sujets d'actualité. Il semble indispensable de définir cette technologie de rupture et de clarifier son régime juridique, mais aussi d'identifier les applications en cours ou en développement dans les entreprises et les bénéfices qu'elles en tirent.[13]

2.3.1 Le but de l'intelligence artificielle :

Le but de l'intelligence artificielle est de simuler le cerveau humain en réalisant des "machines intelligentes". Il ne s'agit d'ailleurs en aucun cas de machines intelligentes, mais bien plutôt de programmes intelligents. L'intelligence présente de multiples facettes : nous sommes capables d'enrichir nos connaissances, de résoudre des problèmes, d'utiliser un langage, de mémoriser des informations, etc. [16]

2.3.2 Les domaines de l'intelligence artificielle :

Les domaines de l'IA sont très vastes et en constante évolution, le schéma (8) ci-dessous [17] représente quelques-uns des principaux domaines.

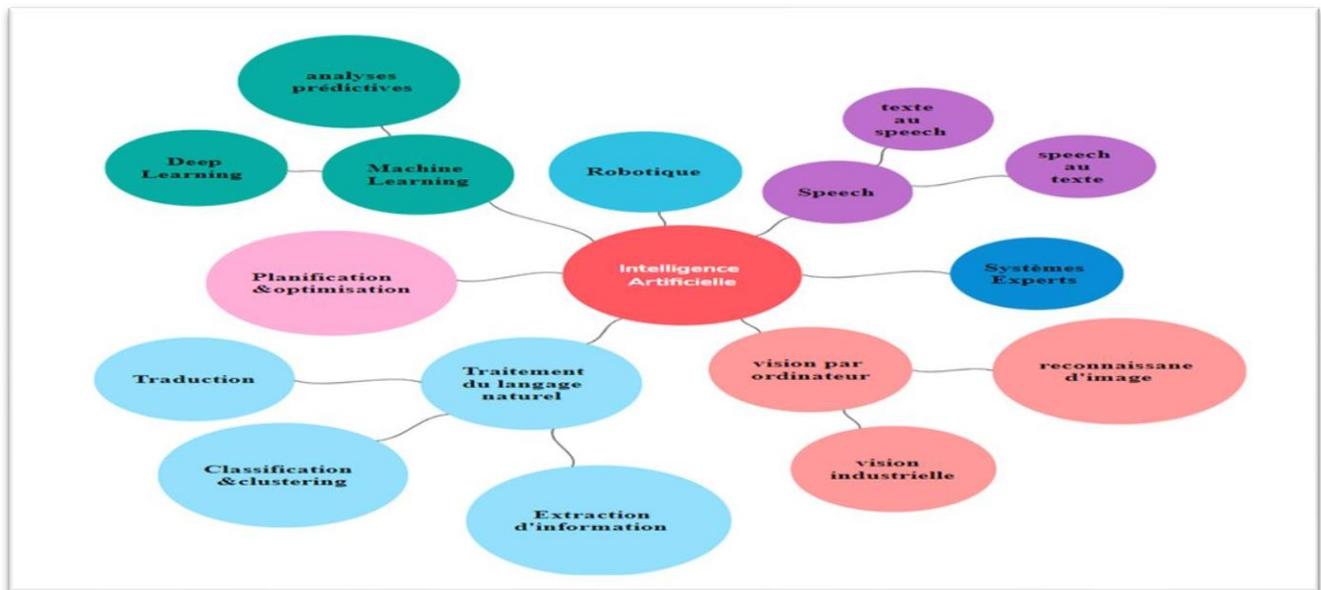


Figure 7 : Les domaines de L'IA.

2.4 Le machine Learning ou apprentissage automatique :

Le machine Learning, spécialité de l'intelligence artificielle, est le domaine de la science informatique qui a pour objectif d'analyser et d'interpréter des modèles et des structures de données afin de permettre l'apprentissage, le raisonnement et la prise de décision sans interaction humaine. En résumé, avec le machine Learning, l'utilisateur alimente un algorithme avec une quantité considérable de données et demande à l'ordinateur d'effectuer des recommandations et de prendre des décisions à partir de ces données. Lorsque des corrections sont appliquées, l'algorithme peut incorporer ces informations pour améliorer sa prise de décision.

Le Machine Learning est donc pour objectif de créer des systèmes capables d'apprendre et de s'améliorer à partir de l'expérience, plutôt que d'être programmés avec des instructions spécifiques pour chaque tâche.[15]

2.4.1 Le fonctionnement de le machine Learning :

Le machine Learning est constitué de trois parties :

- L'algorithme au cœur du processus décisionnel.
- Les variables et les fonctionnalités qui constituent la décision.
- La connaissance de base pour laquelle la réponse est connue et qui permet au système d'apprendre.

Le modèle est alimenté dès le départ avec des données de paramètres provenant de réponses connues. L'algorithme est ensuite exécuté et des ajustements sont effectués jusqu'à ce que la sortie de l'algorithme (apprentissage) et la réponse connue correspondent. À ce stade, des quantités croissantes de données sont saisies pour entraîner le système et traiter des décisions plus complexes.[15]

2.4.2 Les différents types de Machine Learning :

En général, les méthodes d'apprentissage automatique sont classées en fonction de l'effort humain nécessaire pour les coordonner et de la manière dont elles utilisent les données étiquetées. La figure (8) résume les plus courantes.

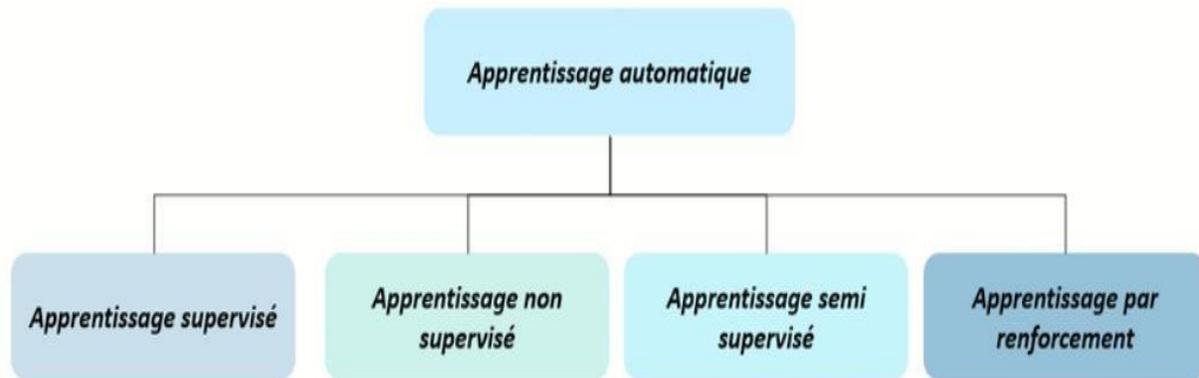


Figure 8 : Types de Machine Learning.[18]

a. Apprentissage Supervisé:

Dans l'apprentissage supervisé, un algorithme apprend à faire des prédictions ou des décisions basées sur des données d'apprentissage étiquetées ; c'est-à-dire, les données d'entrée sont associées à une étiquette de sortie ou à une valeur cible correspondante, et l'algorithme apprend à mapper l'entrée à la sortie.

Il est possible de subdiviser l'apprentissage supervisé en deux catégories distinctes : la régression et la classification.[19]

b. Apprentissage Non Supervisé:

L'apprentissage non supervisé vise à identifier des modèles ou des structures dans les données sans recourir à des étiquettes ou à des cibles explicites. En d'autres termes, les données ne sont pas étiquetées, et l'algorithme doit d'une façon autonome découvrir la structure sous-jacente et les relations entre les données.[19]

c. Apprentissage Semi-Supervisé:

L'apprentissage semi-supervisé est une technique qui fusionne des aspects des deux types précédents. Dans ce type d'apprentissage, un petit ensemble de données étiquetées est combiné avec un ensemble plus vaste de données non étiquetées pour entraîner un modèle. Les données étiquetées servent de guide lors du processus d'apprentissage, tandis que les données non

étiquetées aident le modèle à généraliser et à acquérir des fonctionnalités plus robustes. Cette approche est particulièrement précieuse dans les situations où l'obtention de grandes quantités de données étiquetées peut s'avérer difficile ou coûteuse.[19]

d. Apprentissage par Renforcement:

L'apprentissage par renforcement est une approche où un agent interagit avec un environnement afin d'apprendre à prendre des actions qui maximisent une récompense cumulative. L'agent apprend par essais et erreurs en recevant des commentaires sous forme de récompenses ou de pénalités en fonction de ses actions. Cette technique implique trois éléments clés : l'agent, l'environnement et le signal de récompense. L'agent prend des mesures dans l'environnement en fonction de son état actuel et reçoit un signal de récompense qui indique à quel point ces actions étaient bonnes ou mauvaises. L'agent utilise ses commentaires pour mettre à jour sa politique et améliorer ses actions futures. [19]

2.5 Deep Learning ou apprentissage profond :

Est l'une des technologies principales du Machine Learning. Avec le Deep Learning, nous parlons d'algorithmes capables de mimer les actions du cerveau humain grâce à des réseaux de neurones artificiels. Les réseaux sont composés de dizaines voire de centaines de « **couches** » de neurones, chacune recevant et interprétant les informations de la couche précédente.[20]

L'apprentissage profond est particulièrement adapté à la reconnaissance d'images, qui est importante pour résoudre des problèmes tels que la reconnaissance faciale, la détection de mouvements et de nombreuses technologies avancées d'assistance au conducteur telles que conduite autonome, détection de voie, détection de piétons et stationnement autonome.

Les modèles d'apprentissage en profondeur peuvent atteindre une précision d'avant-garde dans la classification des objets, dépassant parfois les performances au niveau humain. On forme des modèles à l'aide d'un grand nombre de données étiquetées et d'architectures de réseaux de neurones contenant de nombreuses couches, incluant généralement des couches convolutives.

La formation de ces modèles est intensive en calcul et on peut généralement accélérer l'entraînement en utilisant un **GPU** haute performance. De nombreuses applications d'apprentissage en profondeur utilisent des fichiers images, et parfois des millions de fichiers

images. Pour accéder à de nombreux fichiers image pour un apprentissage en profondeur efficace.[21]

2.5.1 Notions de Deep Learning:

Le Neurone biologique / artificiel :

Le cerveau humain est le meilleur modèle de machine la plus rapide, la plus polyvalente et la plus autonome. Ses actions sont beaucoup plus cryptées que celles de ses cellules de base. Il est composé d'un grand nombre d'unités biologiques fondamentales qui transmettent et reçoivent des informations. Ces cellules nerveuses appelées "neurones".

Dans la section suivante, nous allons plonger plus en profondeur au fonctionnement précis des réseaux de neurones.

a. Neurones Biologiques:

Un neurone est l'un des éléments de base du système nerveux et du cerveau. Cette cellule est spécialisée dans le traitement, la réception et la transmission des informations électrochimiques vers d'autres cellules nerveuses du cerveau central ou périphérique.[22]

Est une cellule composée d'un corps cellulaire et d'un noyau. Le corps cellulaire se ramifie pour former ce que l'on nomme les dendrites. Celles-ci sont parfois si nombreuses que l'on parle alors de chevelure dendritique ou d'arborisation dendritique. C'est par les dendrites que l'information est acheminée de l'extérieur vers le soma, corps du neurone. L'information traitée par le neurone chemine ensuite le long de l'axone (unique) pour être transmise aux autres neurones. La transmission entre deux neurones n'est pas directe.[23]

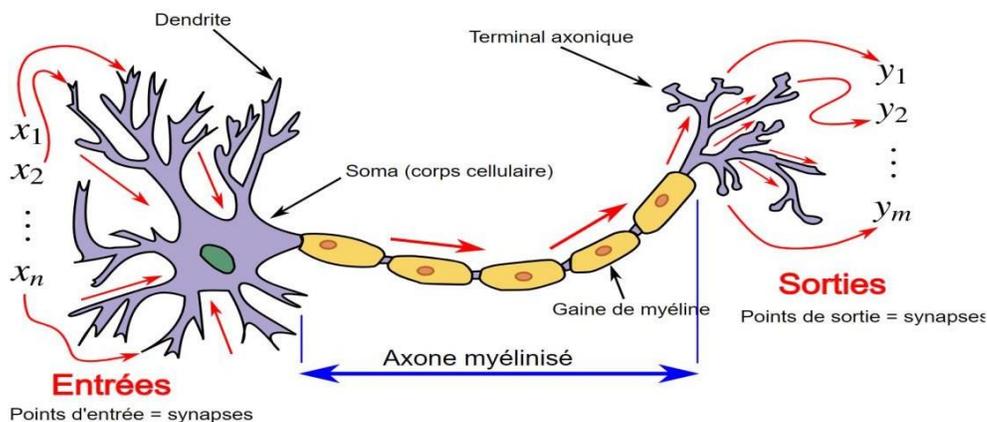


Figure 9: Structure du neurone biologique. [24]

b. Neurone Artificiel:

Un neurone artificiel fonctionne d'une manière inspirée de celle d'un neurone biologique : un nœud d'un réseau de plusieurs neurones reçoit généralement plusieurs valeurs d'entrée et génère une valeur de sortie.

Le neurone calcule la valeur de sortie en appliquant une fonction d'activation à une somme pondérée des valeurs d'entrée.[25]

Le neurone artificiel, connu également sous le nom de perceptron, est une unité de base dans les réseaux de neurones artificiels (ANN). Il est spécifiquement conçu pour imiter, de manière simplifiée, le fonctionnement des neurones biologiques présents dans le cerveau. Il a comme fonction le traitement de l'information, tel qu'il reçoit les entrées et produit un résultat à la sortie.[19]

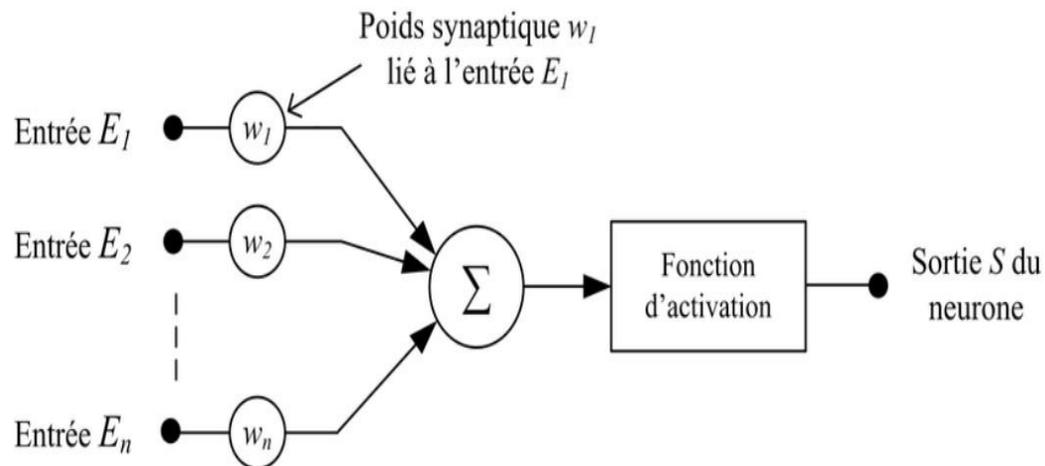


Figure 10: Neurone Artificiel. [18]

Réseau de Neurones Artificiels :

Un réseau de neurones artificiel est un modèle d'apprentissage automatique qui s'inspire du fonctionnement du cerveau humain. C'est une collection interconnectée de neurones artificiels qui sont des unités de traitement de l'information. Chaque neurone reçoit des signaux d'entrée, effectue

des calculs et transmet des signaux de sortie. Les neurones sont organisés en différentes couches, telles que la couche d'entrée, les couches cachées et la couche de sortie, chacune d'elles joue un rôle spécifique dans le processus de traitement de l'information.

Couche d'entrée : C'est la première couche du réseau où les données entrent dans le système. Chaque nœud de cette couche correspond à une caractéristique spécifique des données.

Couche cachée : est une couche intermédiaire située entre la couche d'entrée et la couche de sortie. C'est la couche où les informations sont traitées. Elle permet au réseau de découvrir des motifs et des relations complexes dans les données.

Couche de sortie : C'est la dernière couche du réseau où les résultats finaux sont générés.

Un réseau de neurones artificiels (ANN) peut apprendre et donc être formé pour trouver des solutions, reconnaître des modèles, classer des données et prévoir des événements futurs. Les réseaux de neurones artificiels sont utilisés pour résoudre des problèmes plus complexes, tels que la reconnaissance des caractères, la prédiction boursière et la compression d'image.

Le comportement d'un réseau de neurones est défini par la façon dont ses éléments individuels sont connectés et par les forces de ces connexions ou poids. Les poids sont automatiquement ajustés en entraînant le réseau selon une règle d'apprentissage spécifiée jusqu'à ce qu'il exécute correctement la tâche souhaitée. Les réseaux de neurones artificiels sont excellents pour modéliser des données non linéaires avec un grand nombre de fonctionnalités d'entrée. Lorsqu'ils sont utilisés correctement, les ANN peuvent résoudre des problèmes qui sont trop difficiles à résoudre avec un algorithme simple. Cependant, les réseaux de neurones sont coûteux en calcul, il est difficile de comprendre comment un réseau de neurones artificiels a atteint une solution. [27]

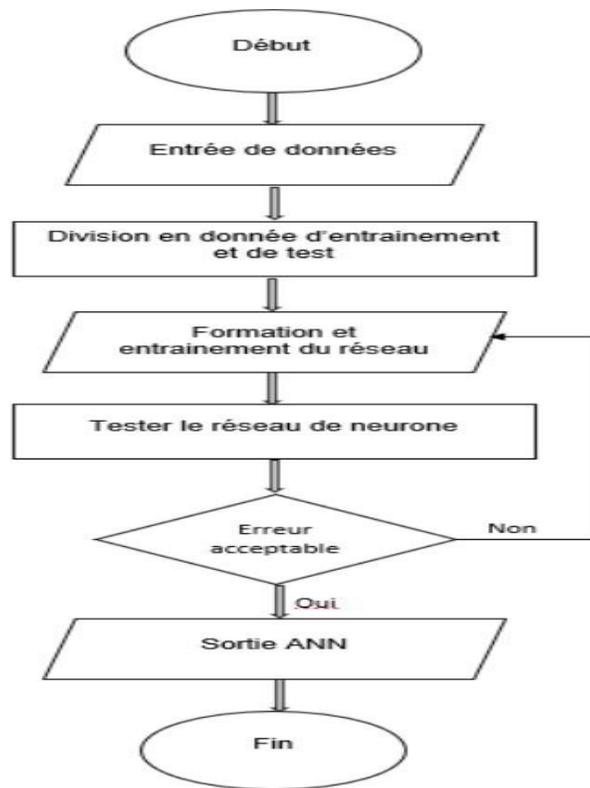


Figure 11 : Organigramme de l’algorithme ANN. [27]

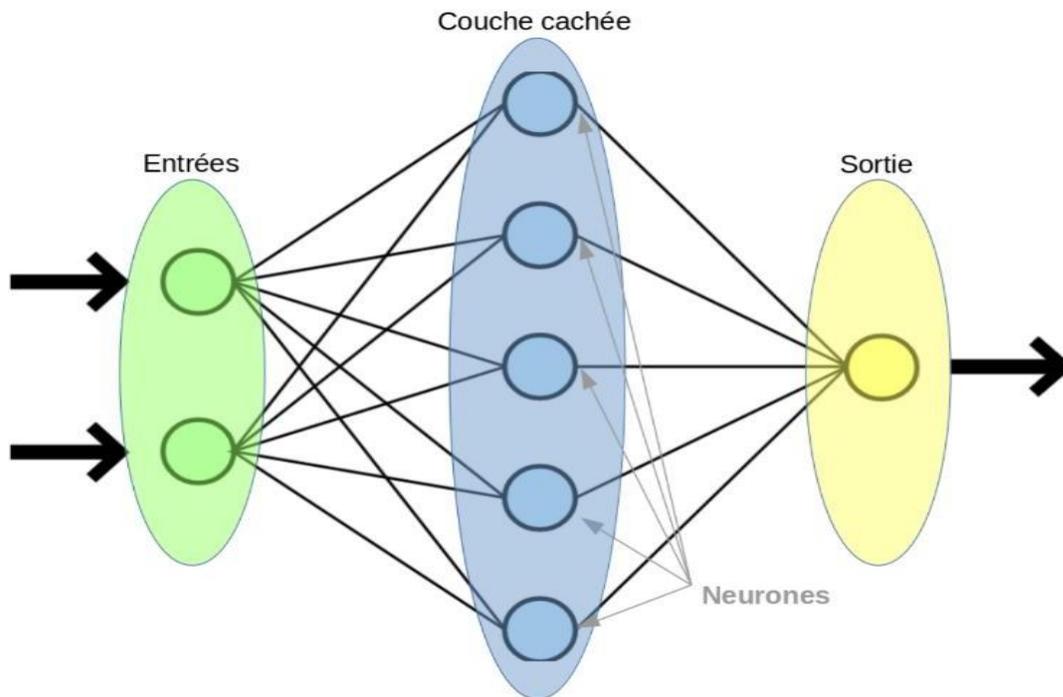


Figure 12: principe des réseaux de neurones artificiels.[28]

2.6 Relation entre L'intelligence Artificielle et la Maintenance :

Au cours de ces dernières années, de nombreuses tentatives ont été faites pour appliquer les techniques d'intelligence artificielle à la modélisation et gestion de la maintenance. L'utilisation de l'intelligence artificielle est avant tout une tentative de remplacer l'intelligence humaine par l'intelligence artificielle. Le but ultime est de parvenir à une gestion de la maintenance plus efficace et, dans certains cas, de faire de la réalisation de cet objectif.[29]

L'intelligence artificielle (IA) a le potentiel de révolutionner le domaine de la maintenance en offrant de nouvelles solutions innovantes et performantes. Avec ses capacités d'analyse de données, de prise de décision et d'automatisation, l'IA peut améliorer considérablement l'efficacité, la fiabilité et la durabilité des processus de maintenance.

2.6.1 Applications de l'IA dans la maintenance industrielle :

L'IA trouve de nombreuses applications dans le domaine de la maintenance industrielle, contribuant à l'amélioration des performances, de la fiabilité et de l'efficacité des opérations de maintenance.

a. Prédiction des pannes et des défaillances :

La prédiction des pannes et des défaillances est l'une des principales applications de l'IA dans la maintenance prédictive. En utilisant des techniques d'apprentissage automatique, il est possible de construire des modèles prédictifs capables d'estimer la probabilité de survenue d'une panne ou d'une défaillance pour des équipements spécifiques. Ces modèles sont entraînés sur des données historiques, telles que les relevés de capteurs, les rapports de maintenance et les données opérationnelles. Les modèles de prédiction des pannes permettent aux équipes de maintenance d'anticiper les défaillances imminentes et de prendre des mesures préventives pour éviter les temps d'arrêt non planifiés. Cela permet d'améliorer la disponibilité des équipements, de réduire les coûts de réparation et de minimiser l'impact sur la production. [30]

b. Détection des anomalies et des comportements anormaux :

La détection des anomalies et des comportements anormaux est une autre application clé de l'IA dans la maintenance prédictive. En utilisant des techniques d'apprentissage automatique, il est possible d'analyser les données de capteurs en temps réel pour identifier les variations

anormales par rapport aux modèles normaux ou attendus. Les modèles de détection des anomalies permettent d'alerter les équipes de maintenance lorsqu'un équipement ou un système présente des signes de défaillance imminente ou de comportement anormal. Cela permet d'initier rapidement des actions correctives pour prévenir les pannes ou les incidents graves. Les techniques d'apprentissage non supervisé, telles que les méthodes de clustering et de détection d'anomalies, sont souvent utilisées pour détecter les comportements anormaux.[30]

c. Optimisation de la planification de la maintenance :

L'optimisation de la planification de la maintenance est un défi majeur pour les équipes de maintenance. L'IA offre des approches puissantes pour résoudre ce problème en prenant en compte des facteurs tels que les coûts, les performances, les contraintes opérationnelles et les disponibilités des ressources. En utilisant des techniques d'optimisation basées sur l'IA, telles que les algorithmes génétiques et les méthodes de recherche heuristique, il est possible de trouver des plans de maintenance optimaux qui minimisent les coûts tout en maintenant la disponibilité des équipements. Ces méthodes prennent en compte des paramètres tels que la criticité des équipements, les intervalles de maintenance, les capacités de l'équipe de maintenance et les contraintes de production.[30]

2.6.2 Limites de l'intelligence artificielle dans la maintenance :

L'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) dans la maintenance industrielle présente certaines limites qu'il convient de prendre en compte :

- La nécessité d'avoir des données de qualité et en quantité suffisante pour entraîner les modèles prédictifs et de détection d'anomalies. [30]
- La complexité des algorithmes d'IA, qui nécessitent une expertise technique pour les mettre en œuvre et les interpréter correctement.[30]
- Les limites des modèles prédictifs, qui peuvent ne pas être suffisamment précis dans certains cas ou nécessiter des mises à jour fréquentes pour s'adapter à l'évolution des conditions opérationnelles. [30]

2.7 Choix de machine Learning :

ML est au cœur des solutions de développement modernes et tournées vers l'avenir que de nombreuses entreprises industrielles cherchent à adopter, il est également devenu essentiel dans le domaine de maintenance en raison de sa capacité à analyser de grandes quantités de données de maintenance, de capteur, ou de performances des équipements et de détecter des modèles complexes. Il peut s'adapter et apprendre des nouvelles données, ce qui le rend plus précis et efficace dans la prédiction des pannes.

On a choisi l'apprentissage automatique supervisé, car on a besoin d'entraîner un modèle pour faire une prédiction d'arrêt. Il utilise des techniques de classification et de régression pour développer des modèles d'apprentissage automatique. [31]

- **Les techniques de classification :** prédisent des réponses discrètes : par exemple, si un e-mail est authentique ou un spam. Ils classent les données d'entrée en catégories. Les applications typiques incluent l'imagerie médicale, la reconnaissance vocale et la notation de crédit.

On a utilisé la classification pour catégoriser et séparer en classes spécifiques nos données.

- **Les techniques de régression :** prédisent des réponses continues, par exemple des quantités physiques difficiles à mesurer telles que l'état de charge de la batterie, la charge électrique sur le réseau ou les prix des actifs financiers. Les applications typiques incluent la détection virtuelle, la prévision de la charge électrique et le trading algorithmique.

On a utilisé ces techniques de régression, car on a travaillé avec une plage de données de temps jusqu'à la panne d'un équipement.[31]

2.7.1 Les étapes de développement d'un algorithme machine Learning :

Avant de commencer à construire un modèle d'apprentissage, il est important de comprendre les besoins et les objectifs de l'entreprise. Il est crucial de déterminer la problématique à résoudre, les données à collecter, les résultats attendus et le type de modèle à utiliser.[32]

a. La collecte des données:

Les machines ont besoin de consommer beaucoup d'informations pour développer leur capacité à accumuler des connaissances et à prendre des décisions autonomes. Pour obtenir des résultats précis et adaptés aux besoins de l'entreprise, il est important de collecter des données fiables en fonction des objectifs définis précédemment.

b. La préparation des données:

Un modèle d'apprentissage réussi dépend de données de qualité. Il est donc nécessaire de prétraiter les données pour en extraire tout le potentiel. Cela implique de nettoyer et normaliser les données brutes, et éventuellement de les enrichir avec d'autres sources. L'objectif est de rendre les données cohérentes et exploitables par les algorithmes.

c. Choix du modèle:

Après avoir préparé les données, il faut choisir l'algorithme qui convient le mieux en fonction de la complexité du problème. En plus de choisir le bon modèle, il est essentiel de bien programmer les algorithmes pour obtenir des résultats précis et des prévisions pertinentes. Les hyperparamètres, qui sont des variables d'ajustement, jouent un rôle important dans le contrôle du processus d'entraînement du modèle.

d. Entraînement du modèle:

Le test d'entraînement est l'étape clé de l'apprentissage automatique. Le modèle est alimenté en données et s'entraîne progressivement pour améliorer sa capacité à résoudre des problèmes et à accomplir des tâches complexes. Pour cette phase d'apprentissage, il est recommandé d'utiliser un ensemble de données d'entraînement. Cependant, il est souvent nécessaire de sélectionner un échantillon représentatif du dataset complet afin de prévenir les biais et d'entraîner le modèle de manière plus efficace.

e. Évaluation du modèle:

La dernière étape consiste à confronter le modèle à la réalité du terrain en utilisant un ensemble de données de test. Cette partie des données permet de tester la performance du modèle dans le contexte de l'entreprise et de peaufiner son fonctionnement.

2.8 Conclusions :

Nous avons traité dans ce chapitre le domaine de l'intelligence artificielle. On a donné un bref historique de l'IA, ainsi que des définitions et des types d'apprentissage automatique, de réseaux de neurones et d'apprentissage en profondeur.

Grâce à l'IA, les entreprises peuvent désormais anticiper les pannes, planifier les interventions de manière prédictive et allouer leurs ressources de manière optimale. Les techniciens bénéficient également d'une assistance numérique intelligente, leur permettant d'accéder à des informations pertinentes, de diagnostiquer les problèmes avec précision et d'automatiser les tâches répétitives.

CHAPITRE 3 : Démarche de résolution du problème et Solutions Proposées.

3.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous présenterons dans un premier temps le système industriel étudié, Ce qui permettra de mieux comprendre le fonctionnement du processus de broyage, puis nous présenterons la méthodologie générale, les bases de données utilisées qui sont extraites du « LAFARGE HOLCIM » effectuées dans différentes conditions de fonctionnement.

L'objectif est de développer un modèle de maintenance prédictive pour détecter l'état opérationnel d'un broyeur. En d'autres termes, il s'agit de prédire si la machine fonctionne normalement ou si elle présente des dysfonctionnements.

3.2 La méthodologie:

En utilisant des capteurs pour déterminer à quel moment la vérification des équipements est nécessaire, il est possible de prévenir les pannes et de réduire les coûts de maintenance de routine. Grâce à des capteurs intégrés et connectés à Internet, le contrôle des équipements de production s'effectue à distance et en temps réel. Dans ce cas, les recommandations sont envoyées aux services de l'exploitation, de la maintenance afin de remédier aux problèmes avant même qu'ils ne surviennent. Cette méthode permet de réduire les coûts d'exploitation et les coûts d'investissement en favorisant des réparations et une maintenance proactive des équipements en vue d'améliorer l'utilisation de la capacité et de la productivité.[33]

3.3 Le Fonctionnement du système de broyage de ciment du broyeur à boulets:

Lorsque le clinker issu de l'intérieur du four rotatif, dont la température est encore élevée ou d'environ 1200 °C, pénètre dans le système de refroidissement, que l'air extérieur refroidit à l'aide de plusieurs ventilateurs de refroidissement. En général, on utilise un refroidisseur à liquide de refroidissement, un refroidisseur réticulé et un refroidisseur planétaire pour le refroidissement. Dans ce refroidisseur, la température du clinker est réduite à moins de 100°C. Par la suite, on introduit le clinker issu du refroidisseur dans le silo à clinker à l'aide d'un convoyeur à tablier afin de fournir la chaleur nécessaire à la combustion dans le système de four rotatif. Et un brûleur à charbon ou à charbon fin utilisé comme combustible.

Le broyeur à ciment ou processus de broyage du clinker, est utilisé pour effectuer le broyage du clinker dans le silo de la boîte d'alimentation. Ensuite, il est ajouté du gypse et des additifs dans une pré-composition spécifique, puis il est introduit dans le système de broyage en même temps jusqu'à ce qu'il atteigne un certain degré de finesse en fonction de la qualité du ciment à produire. Il est également équipé d'un dispositif de collecte de poussière pour capturer la poussière en suspension dans l'air pendant le processus de broyage. La poussière capturée est renvoyée sous forme de produit tandis que l'air pur sort par la cheminée dans l'air libre. Le produit de ciment issu des résultats du broyage est ensuite placé dans le silo à ciment comme produit final en ciment.[34]

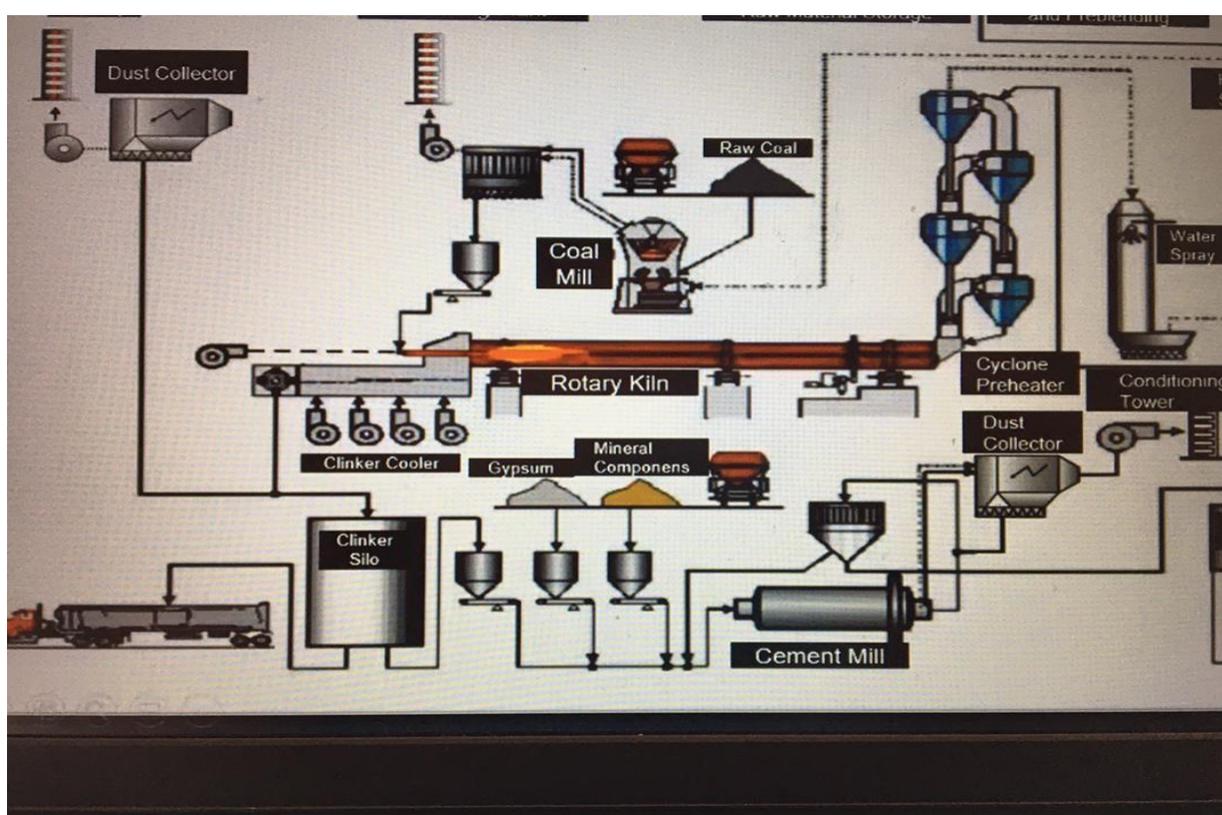


Figure 13: Processus de refroidissement et de broyage du clinker. [34]

Avant d'utiliser le système de broyeur à boulets, vous devez comprendre plusieurs choses importantes, notamment :

- Le type, la fonction et le principe de fonctionnement de l'équipement principal et de l'équipement de support.
- Un paramètre important dans le contrôle du fonctionnement du système de broyeur à boulets.
- Procédures opérationnelles standard pour le système de broyeur à boulets, sur (comment démarrer la procédure opérationnelle, comment arrêter la procédure opérationnelle).

3.3.1 Type, fonction et principe de fonctionnement de l'équipement principal:

Dans cette perspective, nous pouvons voir qu'il existe plusieurs équipements clés utilisés pour faire fonctionner le processus de broyage du ciment avec un système de broyeur à boulets sans pré-broyage. Il s'agit notamment des trémies suivantes : clinker, gypse et additifs, dont la fonction est de préparer les matériaux à broyer dans le broyeur à boulets. Chaque trémie est équipée d'un tapis d'alimentation de pesée, dont la fonction est de peser les matériaux à broyer dans le broyeur à boulets.

- a. Trémie pour Clinker, Gypse et Additif, sa fonction est de préparer le matériau à broyer dans le broyeur à boulets. Chaque trémie est équipée d'un alimentateur à bande, sa fonction est de peser le matériau à broyer dans le broyeur à boulets.
- b. Ball Mill, sa fonction est de broyer simultanément des matériaux de clinker, de gypse et d'additifs, selon une composition prédéterminée. Le broyeur à boulets tourne à l'aide d'un moteur, dont la puissance électrique est adaptée à la conception de la capacité de production de ciment.
- c. Élévateur à godets, sa fonction est de transporter les matériaux du broyeur à boulets vers le séparateur.
- d. Séparateur, sa fonction est de séparer les matières grossières et fines. Matériau fin dans le produit et matériau grossier Retour au broyeur à boulets pour broyage. Le séparateur est équipé d'un moteur d'entraînement à vitesse variable, pour faire tourner le rotor dynamique, plus la rotation du rotor du séparateur est élevée, plus le matériau du produit est lisse et vice versa.

- e. Filtre à manches, sa fonction est de capter la poussière de ciment du produit. Bag Filtre est équipé d'équipements de transport pour transporter les matériaux du produit jusqu'au silo.
- f. Mill ID Fan, sa fonction est d'aspirer l'air et les matières fines de l'intérieur du broyeur à boulets et du séparateur. Mill ID Fan est équipé d'un registre dont la fonction est d'ajuster la quantité d'air entrant selon les besoins.
- g. Silo à ciment, sa fonction est d'accueillir les produits en ciment résultant du processus de broyage. Les produits de ciment transportent l'équipement jusqu'au silo supérieur, généralement à l'aide d'un élévateur à godets et certains par transport aérien.[35]

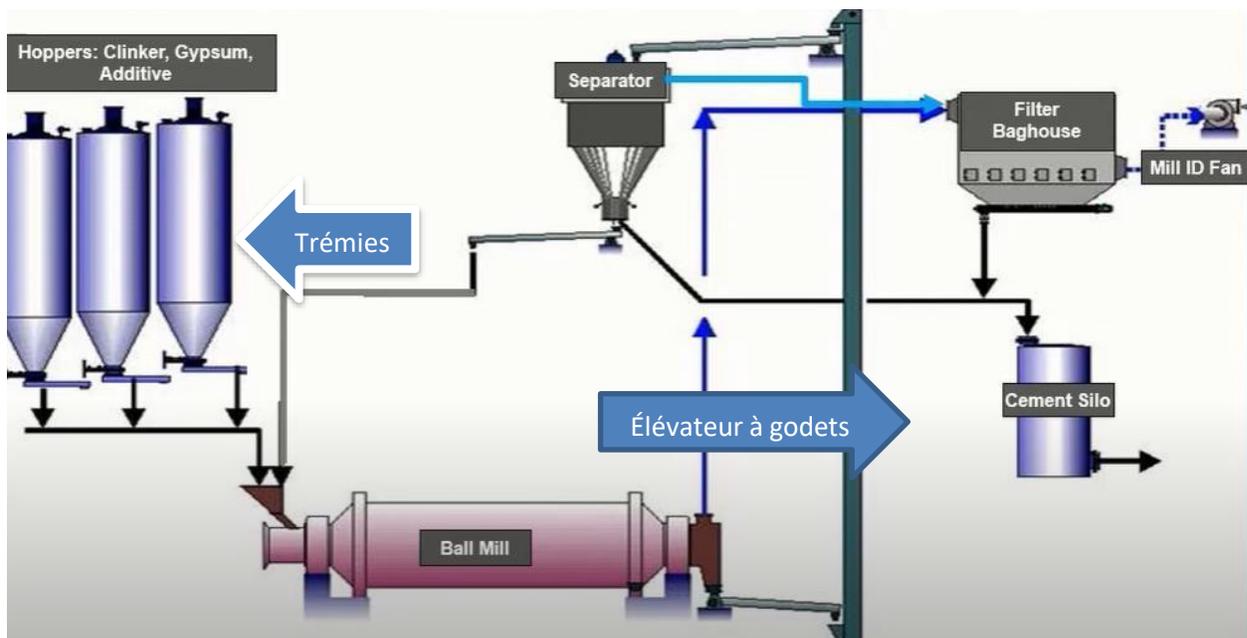


Figure 14: principe de fonctionnement de l'équipement.[35]

3.3.2 Un paramètre important dans le contrôle du fonctionnement du système de broyeur à boulets :

Un élément crucial pour superviser le bon fonctionnement du système de broyeur à boulets, notamment :

- a. Le matériau d'alimentation spécifique (MAS) : sa fonction est de contrôler la quantité de matériaux de clinker + gypse + L'additif à introduire dans le broyeur à boulets.
- b. Les déchets de matériaux (DM) : sont un indicateur des matériaux rejetés du séparateur.

- c.** Le bruit du moulin ou niveau du moulin (BB), qui fait office d'indicateur du niveau de matériaux dans le broyeur à boulets.
- d.** La Puissance du moteur du broyeur (PMB), comme indicateur de la charge électrique utilisée pour faire tourner le broyeur à boulets.
- e.** Température du ciment (TC), affichée comme indicateur de la température du ciment à la sortie du broyeur.
- f.** Injection d'eau (IE), nécessaire si la température du ciment est trop élevée.
- g.** La température de sortie du broyeur (TSB), à laquelle il fonctionne comme indicateur de l'entrée d'air à la sortie du broyeur et la température de fonctionnement du broyeur à boulets.
- h.** Élévateur à godets (EAG), comme indicateur Pour transporter des matériaux dans un élévateur à godets.
- i.** Vitesse du séparateur (VS), sa fonction est de contrôler la finesse du produit, plus Rotation du séparateur à chaque fois le produit est plus lisse, mais la quantité de résidus est augmentée vice versa.
- j.** Température du filtre à air et du filtre à manches d'entrée (TEF) pour déterminer l'entrée d'air et la température à laquelle il entrera dans le filtre à manches.
- k.** La fonction du registre du ventilateur (RV) est de contrôler l'admission d'air dans le broyeur et le système de séparation.
- l.** Registre d'air de circulation (RAC), dont le travail consiste à contrôler la circulation de l'air vers le séparateur. Si le registre est trop ouvert, cela peut réduire le tirage à la sortie du broyeur et vice versa.
- m.** Puissance du moteur du ventilateur Mill ID (PMV) un indicateur de la puissance électrique sur le ventilateur Mill ID pendant fonctionnement du processus de production de broyage de ciment.
- n.** Qualité du produit (QP) il s'agit des données du rapport provenant de l'analyse de la qualité effectuée par le laboratoire, Par exemple, nature, résidu SO₃ 45 microns LOI.

Ce sont les équipements et paramètres importants, qui sont utilisés pour faire fonctionner le broyeur à boulets sans Pré-broyeur.[35]

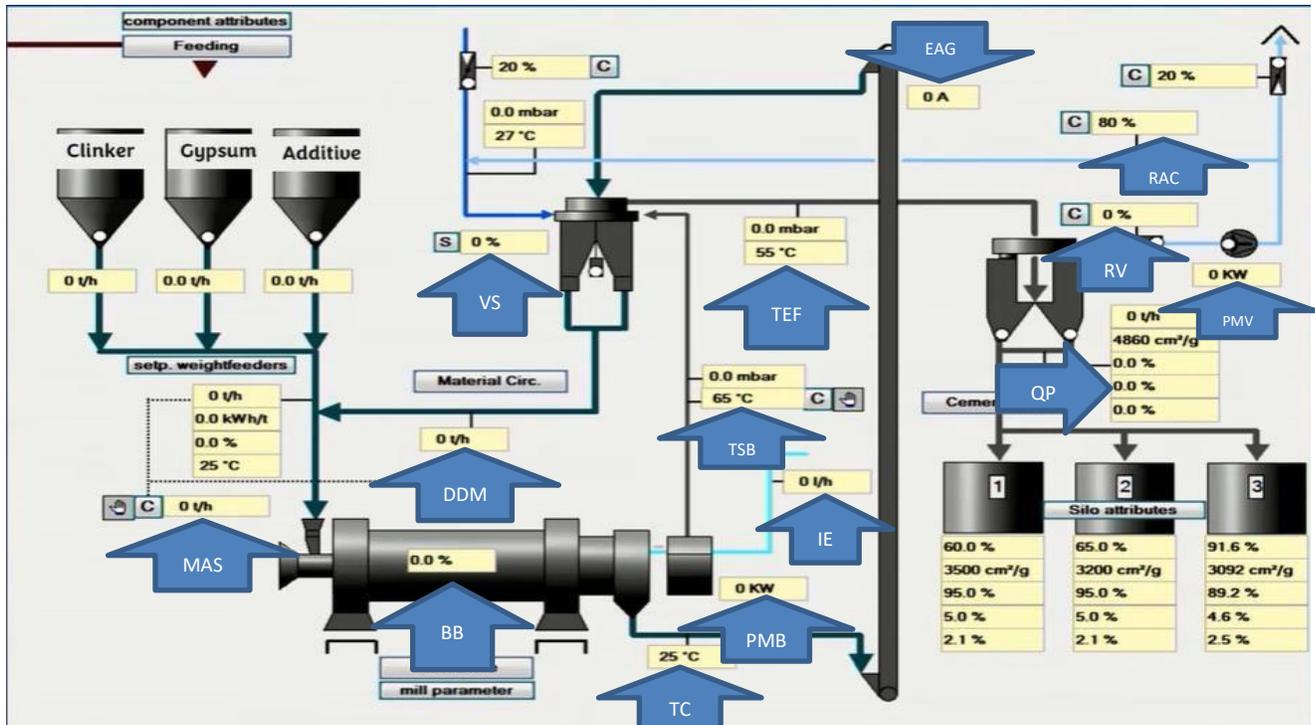


Figure 15: le contrôle du fonctionnement du système de broyeur à boules. [35]

3.3.3 Procédures opérationnelles standard pour le système de broyeur à boulets :

Les procédures opérationnelles standard (POS) pour un système de broyeur à boulets peuvent varier en fonction du type de broyeur, de ses spécifications et des exigences spécifiques de l'installation. Cependant, voici une vue d'ensemble générale des étapes courantes pour démarrer et arrêter un broyeur à boulets :

a. Comment démarrer la procédure opérationnelle :

- 1. Préparation avant le démarrage :** Assurez-vous que toutes les procédures de sécurité sont suivies, notamment le port d'équipement de protection individuelle (EPI). Vérifiez visuellement l'état du broyeur, des dispositifs de sécurité et des circuits électriques.
- 2. Inspection préalable au démarrage :**
 - Vérifiez l'absence de tout obstacle dans le broyeur.
 - Assurez-vous que le lubrifiant nécessaire est suffisant dans les systèmes de lubrification.

3. Démarrage des systèmes :

- Mettez en marche le moteur principal du broyeur à boulets.
- Activez les systèmes de lubrification et de refroidissement, le cas échéant.
- Surveillez les indicateurs de température et de pression pour détecter tout dysfonctionnement.

4. Alimentation du matériau :

- Démarrez le convoyeur ou tout autre système d'alimentation du matériau.
- Assurez-vous que la trémie d'alimentation est correctement positionnée et que le débit est régulier.

5. Surveillance et ajustement initial :

- Surveillez les paramètres de fonctionnement tels que la vitesse de rotation, la charge du broyeur et la granulométrie du matériau.
- Effectuez les ajustements nécessaires pour optimiser les performances du broyeur.

b. Comment arrêter la procédure opérationnelle :

1. Arrêt progressif des systèmes

- Réduisez progressivement la vitesse de rotation du broyeur à boulets.
- Arrêtez les systèmes de lubrification et de refroidissement une fois que le broyeur a atteint une vitesse de rotation sûre pour l'arrêt.

2. Arrêt de l'alimentation :

- Arrêtez le convoyeur ou le système d'alimentation du matériau.
- Attendez que le broyeur soit complètement déchargé avant de poursuivre l'arrêt.

3. Arrêt du moteur principal :

- Éteignez le moteur principal du broyeur à boulets après que la rotation du broyeur a cessé.

4. Vérifications finales :

- Effectuez une dernière inspection visuelle pour vous assurer que tout est en ordre.
- Enregistrez les données de fonctionnement pertinentes et les observations pour les rapports et la maintenance ultérieure.

5. Maintenance préventive :

Procédez aux tâches de maintenance préventive selon les recommandations du fabricant ou du responsable de la maintenance.

Ces étapes peuvent être ajustées en fonction des spécificités du broyeur à boulets et des politiques de sécurité de l'installation. Assurez-vous toujours de suivre les instructions fournies par le fabricant et de respecter les normes de sécurité en vigueur.

3.4 Élaboration du schéma de prédiction :

3.4.1 Mise en œuvre du machine learning :

Notre approche astucieuse implique la création d'un modèle prédictif d'arrêt.

a. Appareil de conservation de données :

Tous les membres du personnel de LCO utilisent Microsoft Excel afin de stocker les données. De cette manière, la base de données que nous avons utilisée pour les algorithmes de prédiction est présentée sous forme d'un fichier Excel, provenant du TpriseIS de l'entrée.



b. Environnement de programmation employé :

L'intégralité du programme a été réalisée en utilisant Python 3.0 et ses bibliothèques correspondantes.



c. Environnements de développement :

- **Jupyter** : est une application web libre qui permet de concevoir et de mettre en œuvre des applications. Les carnets interactifs. Le format convivial des notebooks Jupyter combine du code exécutable (en général en python), des visualisations, des explications textuelles et d'autres éléments. La programmation interactive, la présentation de données, la collaboration et la documentation des travaux sont facilitées par ces outils.



- **Collaborateur Google** : La plateforme cloud gratuite Google collaboratory repose sur les Jupyter Notebooks. Cela offre la possibilité de créer, exécuter et partager du code Python directement dans le navigateur, sans avoir besoin d'installer des bibliothèques ou des environnements de développement l'échelle locale. Nous avons employé cette méthode pour prédire en utilisant la régression logistique et la méthode des voisins les plus proches KNN.



d. Utilisation des bibliothèques :

- **Pandas** : Pandas est une bibliothèque Python qui permet de manipuler et d'analyser aisément des données tabulaires grâce à des structures de données puissantes comme les DataFrames. Elle permet de charger des données provenant de diverses sources, de les nettoyer, de les transformer, de les fusionner et de les regrouper, ainsi que d'utiliser des outils statistiques pour analyser et visualiser les données.



- **Sklearn** : Sklearn, également connu sous le nom de scikit-learn, est une bibliothèque Python d'apprentissage automatique. Son offre comprend une variété d'algorithmes d'apprentissage supervisé et non supervisé, tels que les arbres de décision, les techniques de régression, les techniques de classification, les techniques de regroupement, les techniques de réduction de dimensionnalité, et bien d'autres encore.



- **Matplotlib** : Matplotlib est une bibliothèque Python essentielle pour visualiser des données. Elle offre la possibilité de réaliser une multitude de graphiques et de visualisations, comme des graphiques linéaires, des diagrammes circulaires, des histogrammes, des nuages de points, des cartes thermiques, et bien d'autres encore. Matplotlib propose une gestion approfondie des caractéristiques visuelles des graphiques et offre la possibilité de personnaliser les couleurs, les étiquettes, les axes, les légendes, et ainsi de suite.



- **Seaborn** : Seaborn est une extension Python qui permet de visualiser les statistiques. Son interface conviviale permet de concevoir des graphiques à la fois amusants et instructifs, comme des cartes thermiques, des diagrammes en violon, des diagrammes en boîte et des diagrammes en barres. La création de graphiques basés sur des données tabulaires est améliorée grâce à l'utilisation de matplotlib en arrière-plan.



e. Utilisation des GUI :

- **Anvil** : Anvil Editor est un environnement de développement intégré basé sur le Web, permettant de créer des applications Web dans votre navigateur Web. Il comprend tout ce qui est nécessaire pour créer des applications, depuis une base de données, un planificateur de tâches, une authentification utilisateur sécurisée et des API Web jusqu'à l'intégration avec la messagerie électronique et les services externes de Google, Microsoft, Facebook, ainsi que tout ce qui comporte un SDK Python. Les développeurs créent l'interface utilisateur par glisser-déposer et écrivent tout leur code en Python, qu'il s'exécute sur le serveur ou dans le navigateur Web.



- **Tkinter** : Tkinter est une bibliothèque Python GUI (Graphical User Interface) standard qui fournit un ensemble d'outils et de widgets pour créer des applications de bureau avec des interfaces graphiques. Tkinter est inclus avec la plupart des installations Python, ce qui le rend facilement accessible aux développeurs qui souhaitent créer des applications GUI sans nécessiter d'installations ou de bibliothèques supplémentaires.



- **PyCharm**: PyCharm is an integrated development environment (IDE) used for programming in Python. It provides code analysis, a graphical debugger, an integrated unit tester, integration with version control systems, and supports web development with Django. PyCharm is developed by the Czech company JetBrains.



3.5 Développement du modèle :

3.5.1 Préparation de la base de données :

Nous avons préparé une base de données sous format Excel qui a été extraite du TIS de L'entreprise. Cette base de données contient 16 colonnes. Les 15 premières colonnes représentent les entrées de notre algorithme et contiennent les données captées par les capteurs installés sur le broyeur, qui enregistrent les paramètres de marche. La seizième colonne représente la sortie de notre algorithme, elle contient des valeurs binaires indiquant la présence ou l'absence d'un arrêt dans le broyeur, les paramètres de marche du broyeur sont :

- Specific Electrical Energy, “Énergie électrique spécifique par tonne “, exprimée en kilowatt-heure par tonne (KWh/t).
- Air Lift Pressure, exprimée en Millibar (mbar).
- Kw Mill, exprimée en Kilowatt (KW).
- Kw Elevator, exprimée en Kilowatt (KW).
- Mill Inlet Pressure, exprimée en Millibar (mbar).
- Mill Outlet Pressure, exprimée en Millibar (mbar).
- Noise Level, “L'écoute qui indique le niveau de bruit du broyeur”, exprimé en pourcentage (%).
- Mill Outlet Gaz température, exprimée en degré celsius (°C).
- SD Pressure inlet, exprimée en Millibar (mbar).
- SD Outlet Gaz température, exprimée en degré Celsius (°C).
- kw Fan Separator, exprimée en Kilowatt (KW).
- DP Filter Mill, exprimée en Millibar (mbar).
- DP Filter Separator, exprimée en Millibar (mbar).
- Temperature Materials, exprimée en degré Celsius (°C).
- Temperature Final Product, exprimée en degré Celsius (°C).

Démarche de résolution du problème et solutions proposées

Les deux figures ci-après montrent deux parties de notre base de données :

1	Effic	Electrical Enk	air Lift Pressur	Kw Mill	Kw Elevator	Mill Inlet Pressur	Mill Outlet Pressur	Noise Level	Outlet Gaz temper	SD Pressure inlet	SD Outlet Gaz temperature	Fan Separa	DP Filter Mill	Filter Separat	Temperature Mater	Temperature Final	ARRE
2	85.8	0.02	0	-0.19	0.02	-0.09	15.15	56.24	-0.05	32.21	0	0.08	0.05	30.33	19.99	0	
3	86.23	0.34	0	-0.2	0.07	0.01	45.38	30.63	-0.05	21.48	0	0.08	0.05	28.82	22.7	0	
4	35.96	0.42	0	-0.19	0	-0.1	36.61	42.99	-0.09	25.24	0	0.08	0.05	23.65	15.54	0	
5	46.28	0.01	0	-0.18	0.01	0.03	0.08	17.9	0.01	17.74	0	0.08	0.05	18.53	19.08	0	
6	53.05	0.4	5966.93	40.61	1.89	12.39	93.57	119.04	4.06	77.99	541.5	8.35	10.31	114.48	83.06	0	
7	41.19	0.02	5551.9	78.32	1.09	11.28	77.25	112.27	4.57	89.61	531.87	7.6	7.78	106.94	94.69	0	
8	74.09	0.38	0	-0.19	0	-0.15	38.88	63.91	-0.01	46.27	0	0.08	0.05	36.12	18.07	0	
9	42.29	0.44	5866.57	67.41	1.38	11.24	82.89	115.06	4.25	94.95	515.63	7.49	9.16	110.36	99.88	0	
10	46.27	0.23	0	9.73	0.02	-0.17	25.21	75.48	3.46	50.46	506.87	0.09	7.47	65.76	55.1	0	
11	40.9	0.42	5515.5	73.63	1.48	13.8	88.33	97.82	4.64	81.57	542.53	7.54	10.22	95.06	85.09	0	
12	40.78	0.01	6033.67	58.33	2.17	20.38	82.13	115.35	3.15	78.27	540	9.14	8.51	110.64	82.74	0	
13	42.13	0.45	0	13.27	1.04	0.99	14.39	28.31	3.56	39.66	460.4	1.77	5.49	27.36	23.27	0	
14	39.08	0.44	5639.33	56.66	1.19	11.96	91.31	112.59	4.53	88.96	519.8	7.84	9.53	106.93	93.53	0	
15	46.12	0.42	5668.8	62.45	1.1	12.69	87.95	119.78	3.59	82.77	540.9	8.44	7.67	115.63	85.44	0	
16	85.56	0.33	0	-0.18	0.01	-0.12	40.81	58.83	-0.03	38.4	0	0.08	0.05	35.11	17.44	0	
17	40.46	0.45	5911.47	63.06	1.73	14.71	88.29	112.96	3.91	93.22	506.33	7.37	9.82	111.2	98.21	0	
18	44.47	0.03	5449.2	66.15	0.73	10.87	93.8	114.33	4.04	88.34	481.4	7.67	7.65	112.26	89.34	0	
19	43.12	0.43	5574.33	77.58	1.46	16.61	87.76	107.45	4.01	75.2	539.9	10.66	7.69	105.65	77.69	0	
20	150.18	0.4	0	-0.18	0	-0.07	38.12	33.15	-0.1	16.44	0	0.09	0.05	17.11	14.28	0	
21	36.21	0.45	5487.67	78.06	1.01	12.37	86.08	111.6	4.47	93.08	518.07	7.57	8.92	105.77	97.23	0	
22	125.68	0.41	0	-0.19	0	-0.08	21.08	38.88	-0.12	23.51	0	0.08	0.05	23.02	19.58	0	
23	35.14	0.46	5450.17	80.95	1.2	15.07	83.71	105.99	4.05	91.41	513.37	7.68	9.45	104.33	94.94	0	
24	36.17	0.43	5633.47	56.04	1.97	18.96	83.37	111.93	4.7	90.1	529.67	9.62	9.16	106.58	93.54	0	
25	576.48	0.39	0	-0.19	0	-0.09	24.18	51.92	-0.01	28.44	52.37	0.08	0.17	29.7	22.51	0	
26	46.28	0.43	0	-0.19	0.01	-0.11	12.21	50.03	-0.12	29.53	0	0.08	0.05	26.99	18.54	0	
27	43.84	0.42	5580.47	61.01	1.55	13.41	91.3	106.07	4.44	86.1	525.67	7.48	9.86	102.09	90.39	0	
28	59.51	0.36	0	-0.19	0.02	-0.02	18.39	23.96	-0.12	21.07	0	0.08	0.05	19.96	16.83	0	

Tableau 2: Une partie de la base de données dont la sortie est 0.

4622	71.90241404	0.14598342	1196.062	17.150893	1.536780658	4.267234729	37.155752	92.84841267	1.823479623	85.83913389	222.04378	3.40555619	3.389517905	86.71882113	82.7333046	1
4623	64.92292951	0.35061481	2312.055	31.135179	1.011804397	18.72142983	30.054244	89.18067491	2.980437516	54.71354869	521.19405	6.08032885	6.701052328	89.55506152	56.4207491	1
4624	99.36379169	0.42692614	2957.782	49.318993	2.485442273	9.285594837	41.55427	80.90040812	3.66499005	74.85276873	535.08066	7.09624059	7.43115104	81.67950914	76.2764938	1
4625	343.3323253	0.3242957	3082.854	21.97512	0.794621485	3.109161219	31.727132	101.7753585	4.022211822	83.40867437	513.2052	4.60897523	7.5142957	94.70212188	76.4053916	1
4626	81.13386709	0.31655289	1935.749	20.210245	0.485088718	19.83795859	25.326975	90.74421048	3.115088718	52.11585692	514.87736	5.3642623	6.77405346	91.2051043	51.7346218	1
4627	24.83653102	0.22189454	5548.984	74.032332	1.37970322	12.65568362	78.360061	102.431286	4.437644424	82.7109818	538.42728	7.79556696	8.277117126	99.51737657	88.6512879	1
4628	45.92014852	0.2332041	5532.952	60.587104	1.040460724	15.49944528	78.075245	107.7686419	4.058595289	73.58656509	538.39233	7.33933416	8.054966979	101.2128685	77.711407	1
4629	152.6310227	0.26958002	3326.128	38.380321	1.910855855	7.582322461	61.575192	83.42841809	3.908192904	73.93828829	468.90263	6.45744833	6.865641237	77.66329886	70.4062639	1
4630	165.1118015	0.22809727	1143.804	19.530738	0.720816624	2.879756826	32.157404	77.30248149	2.888192549	56.12438423	472.01272	1.57456129	6.370616115	72.82876136	52.9325867	1
4631	57.93242032	0.35976623	5772.414	49.152571	2.002337663	12.91023377	89.224321	126.3620425	3.572824084	82.51912631	518.15835	11.3759504	8.347482879	114.3443141	84.3697757	1
4632	84.37989356	0.33360514	6045.634	33.640559	3.291136414	15.01117812	102.03133	122.8733582	3.756179763	66.67646894	532.44691	11.0113548	7.514764047	108.2320901	67.4330564	1
4633	25.10153597	0.23313695	5559.88	75.330047	1.39484147	12.57117831	77.979692	102.3808995	4.431441418	83.40488875	536.98731	7.66343602	8.317416238	99.70176978	89.3800653	1
4634	67.19142597	0.40724741	1839.942	16.829744	0.769754279	4.618115851	73.494969	95.90966031	1.890660315	69.25111993	229.57341	3.22628626	3.612015433	87.91853589	64.3566807	1
4635	42.15081894	0.44987918	5803.82	84.033715	1.970399649	11.27156142	78.820289	111.3302055	3.959367997	92.71447874	509.88679	7.39593897	8.768921876	108.1577327	97.450315	1
4636	93.26633228	0.04322633	1342.417	15.594527	0.435807258	3.341934176	40.892556	104.262827	1.25516591	83.26960063	161.48346	1.77483814	2.665494352	91.65478545	84.7612003	1
4637	42.38376888	0.38950764	4350.477	44.213879	2.295781002	15.79404085	73.760467	117.0007901	3.525135836	78.14096813	534.31152	8.06907471	7.676061123	112.3004082	80.719839	1
4638	61.64817984	0.10587687	1556.786	21.117114	0.497702039	3.600615673	35.361077	96.4947329	2.119989078	87.29385375	237.63857	2.75769658	3.763425098	89.24320486	89.9654423	1
4639	83.42481427	0.35253635	1801.143	24.232396	1.452644071	13.57283777	31.320221	78.75372079	4.082644071	66.19338749	522.15402	5.65612817	7.171619838	81.97734498	63.1573724	1
4640	117.4974076	0.10557712	1275.432	16.922079	0.531931391	3.186057204	37.946481	95.17000359	1.805931211	74.11442647	266.2146	1.70729146	3.915108078	85.30539679	74.0264728	1
4641	67.49342713	0.05266143	1653.797	22.749065	0.636548246	4.296587852	38.845533	97.48749403	1.816904102	86.84915627	192.84729	2.72337314	3.120237633	89.2642805	90.5584572	1
4642	173.8155037	0.26523756	1131.748	20.540772	0.838088318	2.971228019	30.928397	72.39295653	3.247354776	52.62489789	525.76639	1.71807714	7.078088318	69.69240616	48.5523778	1
4643	62.11058495	0.34438926	5495.994	56.401063	1.687833473	10.55009636	94.103433	100.8854378	2.919038884	62.77687361	533.19808	10.5898842	7.566099324	87.77359125	65.8855397	1
4644	85.30835276	0.12757774	1567.179	24.163986	1.801787693	5.883750038	38.975476	79.49175984	3.89137029	82.71280473	399.60207	4.63079456	6.623116506	79.28761964	79.4306266	1
4645	77.01323902	0.3102453	2061.307	20.945915	0.236709836	21.91062099	24.084939	94.82702349	2.732837864	47.47664149	513.48617	5.40212111	6.413083168	94.2567636	48.4921777	1
4646	65.15055688	0.16805521	1734.872	19.45908	0.47518515	4.10592575	54.253853	100.5593517	1.45444455	79.82603618	168.36924	2.55425892	2.663518325	90.71018563	80.8951185	1
4647	109.4072465	0.3139249	3144.541	39.748727	0.700187762	6.2067108	61.333129	101.4878803	2.870817774	86.43452439	342.12826	4.43037552	5.438273939	93.91656598	90.1160559	1

Tableau 3 : Une partie de la base de données dont la sortie est 1.

3.5.2 Construction du modèle:

Nous avons tout d'abord ajouté un nouveau notebook sur Google colab et au même temps on a créé un dossier sur Drive et importé notre fichier des données sur ce dossier, que nous avons appelé "Equilibrated_Data.xlsx". Par la suite, nous avons réalisé les étapes suivantes :

a. Importation et lecture de la base de données :

Cet extrait de code provient d'un programme Python dans lequel diverses bibliothèques/modules sont importés pour les tâches d'analyse de données et d'apprentissage automatique.

```
import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.metrics import accuracy_score, confusion_matrix
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.metrics import mean_squared_error
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
from imblearn.over_sampling import SMOTE
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from IPython.display import display
from google.colab import drive

drive.mount('/content/drive')
excel_path = '/content/drive/MyDrive/folder/folder/Equilibrated_Data.xlsx'
data = pd.read_excel(excel_path)
print(data.head())
```

Et comme résultat de simulation ça donne cette matrix suivante :

Mounted at /content/drive							
	Specific Electrical	Energy	Air Lift	Pressure	Kw Mill	Kw Elevator	\
0		85.80		0.02	0.00	-0.19	
1		86.23		0.34	0.00	-0.20	
2		35.96		0.42	0.00	-0.19	
3		46.28		0.01	0.00	-0.18	
4		53.05		0.40	5966.93	40.61	
	Mill Inlet Pressure	Mill Outlet Pressure	Noise	Level	\		
0	0.02	-0.09	15.15				
1	0.07	-0.01	45.38				
2	0.00	-0.10	36.61				
3	0.01	0.03	0.08				
4	1.89	12.39	93.57				
	Mill Outlet Gaz temperature	SD Pressure inlet	SD Outlet Gaz temperature	\			
0	56.24	-0.05	32.21				
1	30.63	-0.05	21.48				
2	42.99	-0.09	25.24				
3	17.90	0.01	17.74				
4	119.04	4.06	77.99				
	kW Fan Separator	DP Filter	Mill	DP Filter	Separator	\	
0	0.0		0.08		0.05		
1	0.0		0.08		0.05		
2	0.0		0.08		0.05		
3	0.0		0.08		0.05		
4	541.5		8.35		10.31		
	Temperature Materials	Temperature Final Prod	ARRET	\			
0	30.33	19.99	0				
1	28.82	22.70	0				
2	23.65	15.54	0				
3	18.53	19.08	0				
4	114.48	83.06	0				

Figure 16: Importation et lecture de la base de données.

b. Visualisation de la distribution des occurrences d'arrêt :

Nous avons présenté dans cette section un code qui utilise la bibliothèque Seaborn et Matplotlib afin de générer un graphique. Le nombre d'occurrences de chaque catégorie de données dans la colonne "Arrêt" est représenté par des barres dans ce graphique.

```
sns.countplot(x="ARRET", data=pd.read_excel(excel_path), palette="hls")
plt.show()
```

Et comme résultat de simulation ça donne ce graphe suivant :

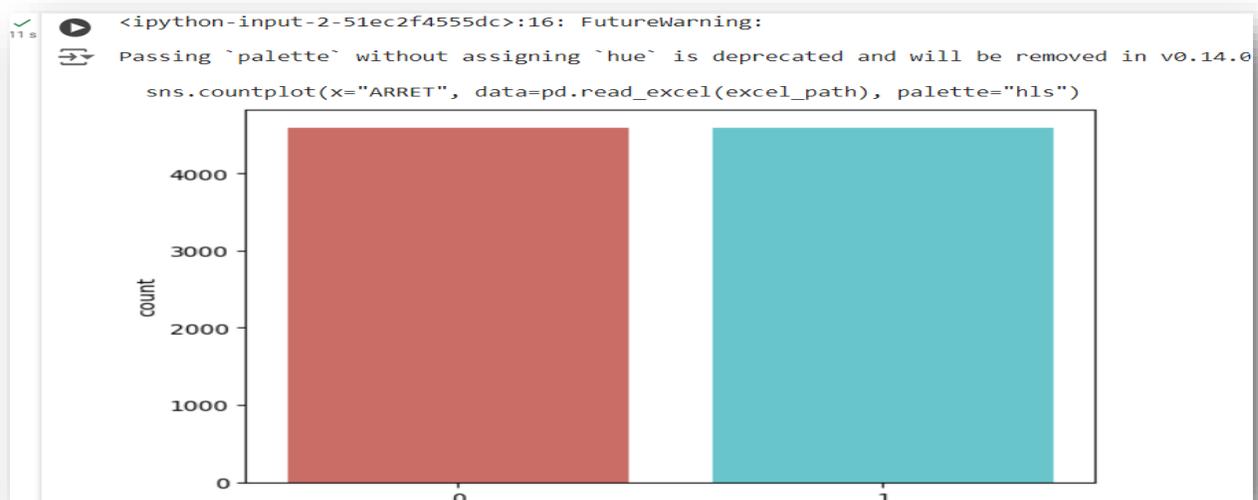


Figure 17: Visualisation de la distribution de l'occurrence d'arrêt

c. La mise en œuvre de l'algorithme de classification :

Un algorithme qui s'appuie sur le classifieur d'arbres de décision de la bibliothèque scikit-learn a été utilisé. Notre méthode consiste à importer le classifieur, à séparer les données d'entrée et les étiquettes de sortie, à créer une instance du modèle, à entraîner le modèle sur les données d'entrée et les étiquettes de sortie, à utiliser le modèle entraîné pour prédire de nouvelles données, et enfin à afficher ceux-ci.

```
X = data[['Specific Electrical Energy', 'Air Lift Pressure', 'Mill Inlet Pressure', 'Kw Mill', 'Kw Elevator', 'Mill Inlet Pressure', 'Mill Outlet Pressure', 'Noise Level', 'Mill Outlet Pressure']]
y = data['ARRET']

smote = SMOTE(random_state=42)
X_resampled, y_resampled = smote.fit_resample(X, y)

scaler = StandardScaler()
X_resampled_scaled = scaler.fit_transform(X_resampled)
```

Ce segment de code semble faire partie d'un pipeline d'apprentissage automatique, vraisemblablement destiné à des tâches de classification, compte tenu de la présence de la variable cible y nommée 'ARRET'.

d. Application de l'algorithme de la régression logistique :

Ce code entraîne un modèle de régression linéaire sur les données d'entraînement, effectue des prédictions sur les données de test, puis calcule l'erreur quadratique moyenne (MSE) pour évaluer les performances du modèle.

```
model = LinearRegression()
model.fit(X_train, y_train)

y_pred = model.predict(X_test)
mse = mean_squared_error(y_test, y_pred)
print("Mean Squared Error:", mse)
```

Dans l'ensemble, cet extrait de code vous permet d'entraîner un modèle de régression linéaire, de faire des prédictions et d'évaluer ses performances en utilisant la métrique de l'erreur quadratique moyenne.

Mean Squared Error: 0.13291093295315196

```
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_resampled_scaled, y_resampled, test_size=0.2, random_state=42)

knn = KNeighborsClassifier(n_neighbors=5)
knn.fit(X_train, y_train)

y_pred = knn.predict(X_test)
accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)
```

e. Division des données et évaluation de la précision :

Ce segment de code représente un flux de travail typique pour l'entraînement et le test d'un classifieur des K plus proches voisins (KNN) sur un ensemble de données et calcule la précision des prédictions. Cela permet d'évaluer les performances du modèle.

Accuracy: 0.9880304678998912

La précision des prédictions est égale à 0.9880304678998912, autrement dit les prédictions du modèle ont atteint une précision de 98.80%.

f. Génération de la matrice de confusion :

Un code a été ajouté qui évalue la matrice de confusion en utilisant les étiquettes de sortie réelles et les prédictions du modèle, puis affiche cette matrice de confusion de manière graphique.

Cela permet de visualiser les performances du modèle en ce qui concerne les classifications correctes et incorrectes des classes "Non-arrêt" et "arrêt".

```
accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)

conf_matrix = confusion_matrix(y_test, y_pred)

print(f'Accuracy: {accuracy}')
print('Confusion Matrix:')
print(conf_matrix)

sns.heatmap(conf_matrix, annot=True, fmt='d', cmap='Blues', xticklabels=['Normal case', 'shutdown'], yticklabels=['Normal case', 'shutdown'])
plt.xlabel('Predictions')
plt.ylabel('reel case')
plt.title(' confusion matrix')
plt.show()
```

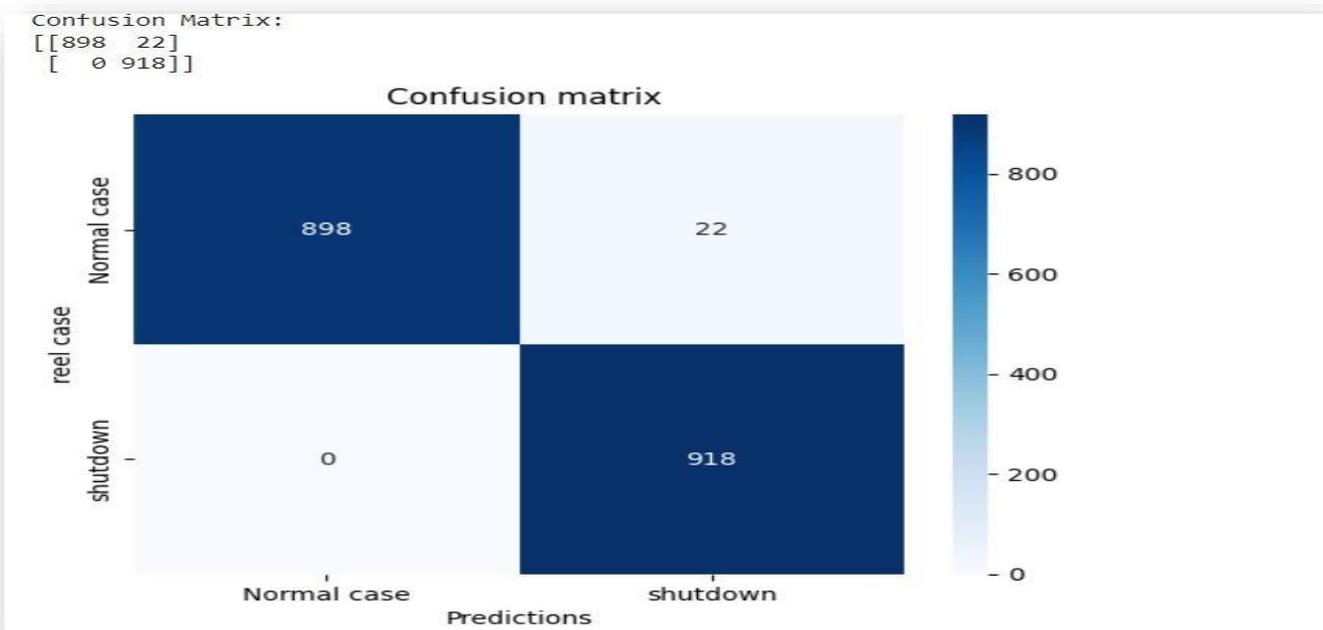


Figure 18: Génération de la matrice de confusion

g. Génération de la matrice de corrélation :

En utilisant une carte de chaleur, nous avons ajouté un code qui permet de créer une représentation visuelle de la matrice de corrélation des données présentes dans notre base de données. Cela offre la possibilité de représenter visuellement les liens et les degrés de corrélation entre les diverses variables du jeu de données.

```

correlation_matrix = data.corr()

plt.figure(figsize=(12, 10))
sns.heatmap(correlation_matrix, annot=True, cmap='coolwarm', fmt=".2f")
plt.title('Matrice de Corrélation')
plt.show()

```

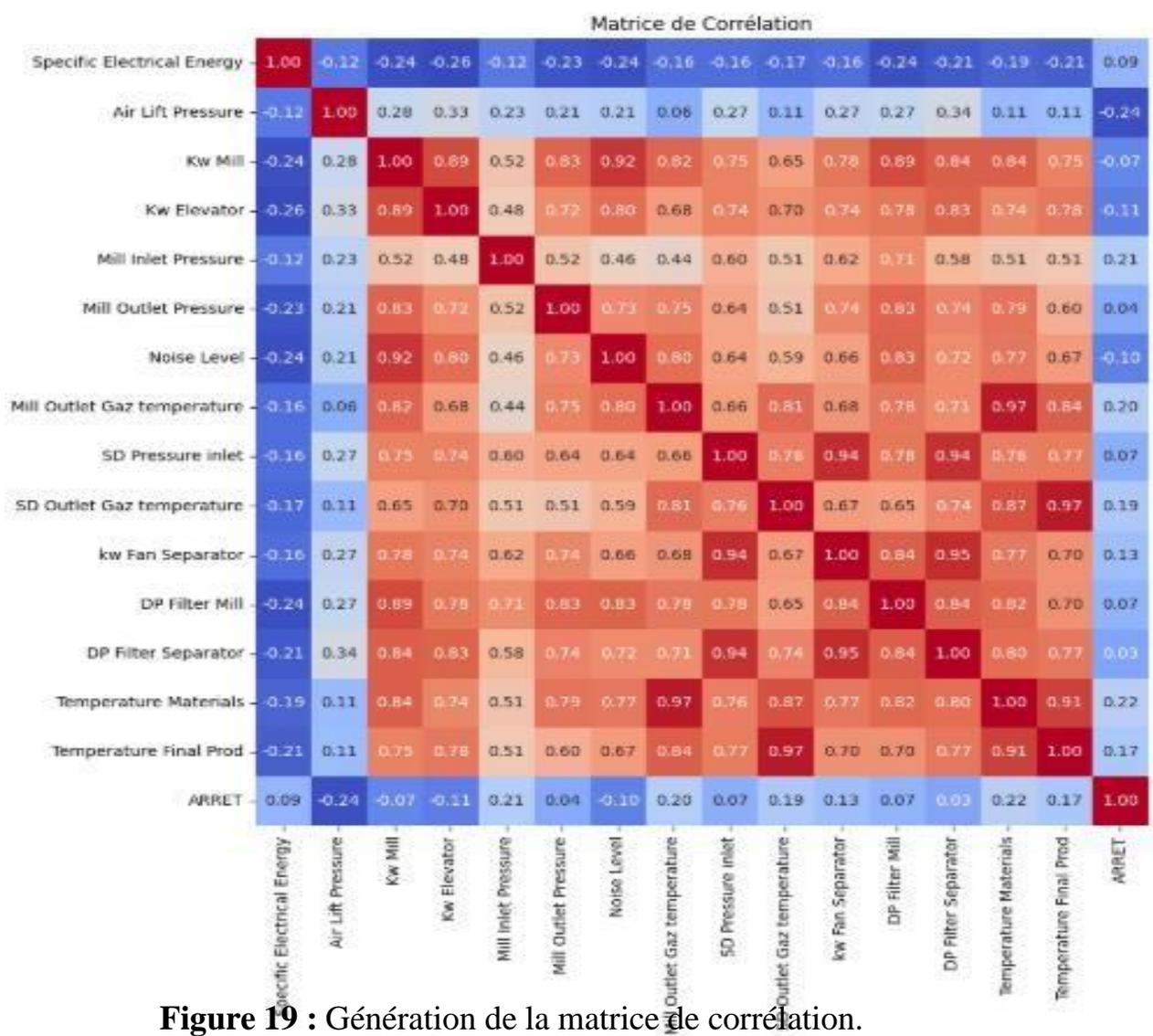


Figure 19 : Génération de la matrice de corrélation.

3.6 Développement de l'application:

3.6.1 premier essaie:

Pour développer notre application, nous avons utilisé Anvil, qui offre une interface utilisateur conviviale et permet la création d'applications multiplateformes. Nous avons connecté notre application au back-end développé en Python.

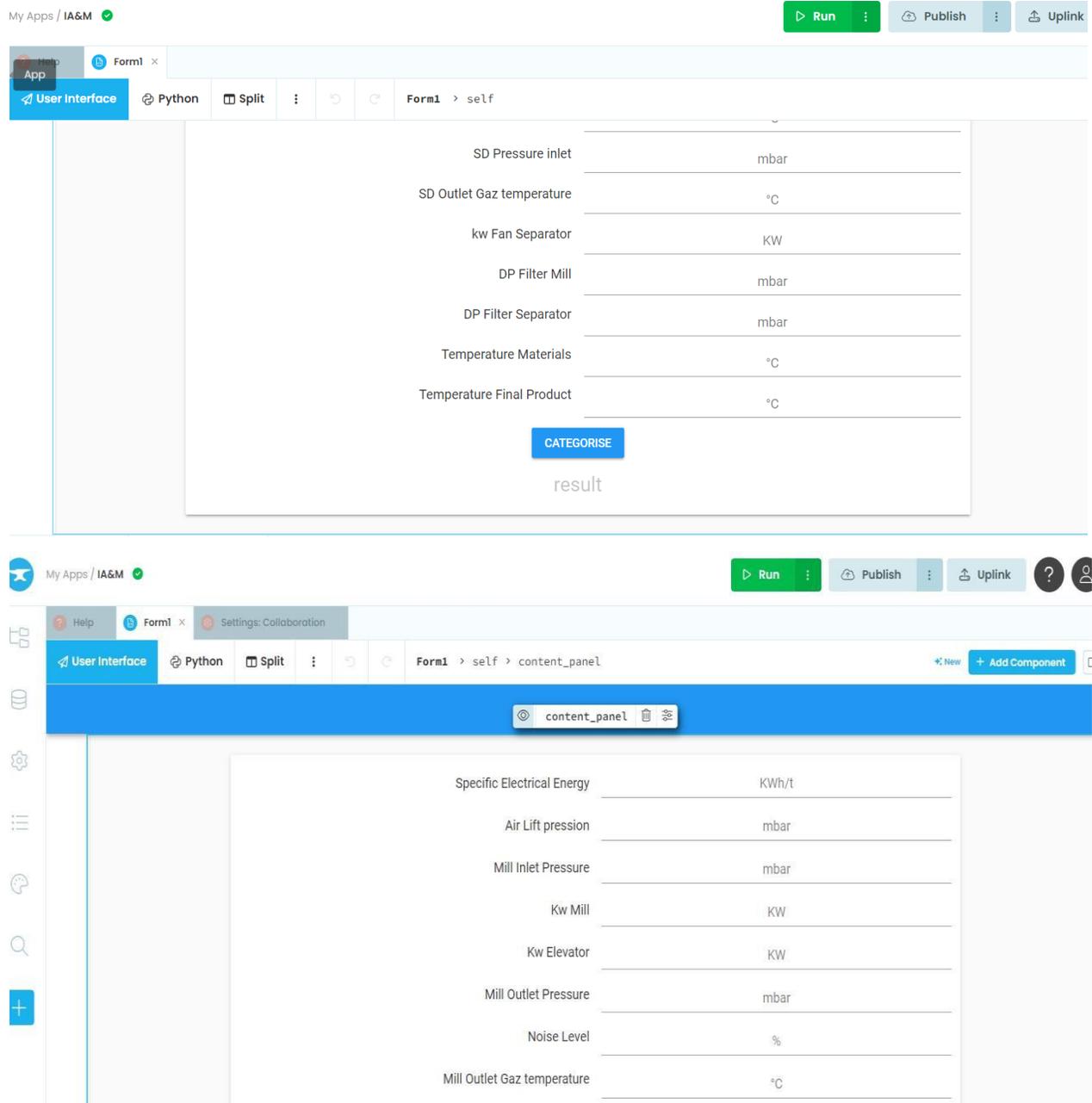


Figure 20 : Application IA&M premier essaie.

Mais nous avons finalement été confrontés à un problème difficile et nous n'avons pas pu le résoudre, comme le montre les figures (21,22).

```
1 anvil.server.wait_forever()
```

Figure 21 : Code impossible de simuler.

The screenshot shows a terminal window with the following text:
Successfully built ws4py
Installing collected packages: ws4py, argparse, anvil-uplink
Successfully installed anvil-uplink-0.5.0 argparse-1.4.0 ws4py-0.5.1
WARNING: The following packages were previously imported in this runtime:
[argparse,google]
You must restart the runtime in order to use newly installed versions.
Below this text is a button labeled "RESTART SESSION".

Overlaid on the right side of the terminal is a dialog box titled "Restart session". It contains the following text:
WARNING: The following packages were previously imported in this runtime:
[argparse,google]
You must restart the runtime in order to use newly installed versions.
Restarting will lose all runtime state, including local variables.
At the bottom right of the dialog are two buttons: "Cancel" and "Restart session".

Figure 22: Problème de redémarrage de la session.

3.6.2 Présentation notre interfaces du système :

Notre L'interface (GUI) Machine Care pour la prédiction des arrêts d'un broyeur vise à fournir une solution intuitive pour anticiper et gérer les temps d'arrêt imprévus dans les opérations de broyage industriel.

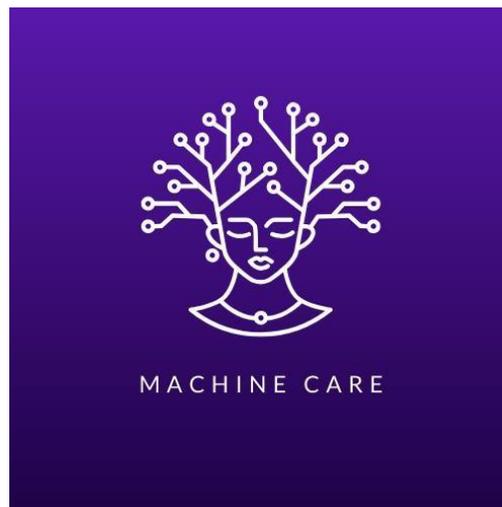


Figure 23 : Logo MC.

a. La page d'accueil de l'application :

Notre interface d'accueil est la partie d'authentification pour les utilisateurs de l'application, comme indiqué dans la figure 24, Si l'utilisateur ou le mot de passe est mal saisi, une fenêtre apparaîtra dans laquelle il est indiqué « invalid username or password », figure25.

Et si l'utilisateur ou le mot de passe correcte, une fenêtre apparaîtra dans laquelle il est indiqué « Login successful! », figure 26.

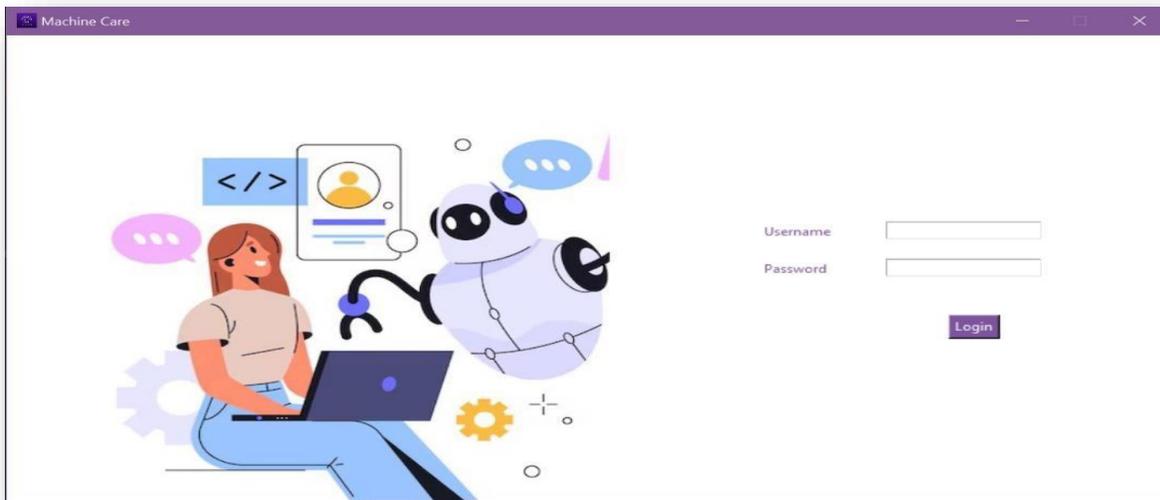


Figure 24: Page d'accueil.

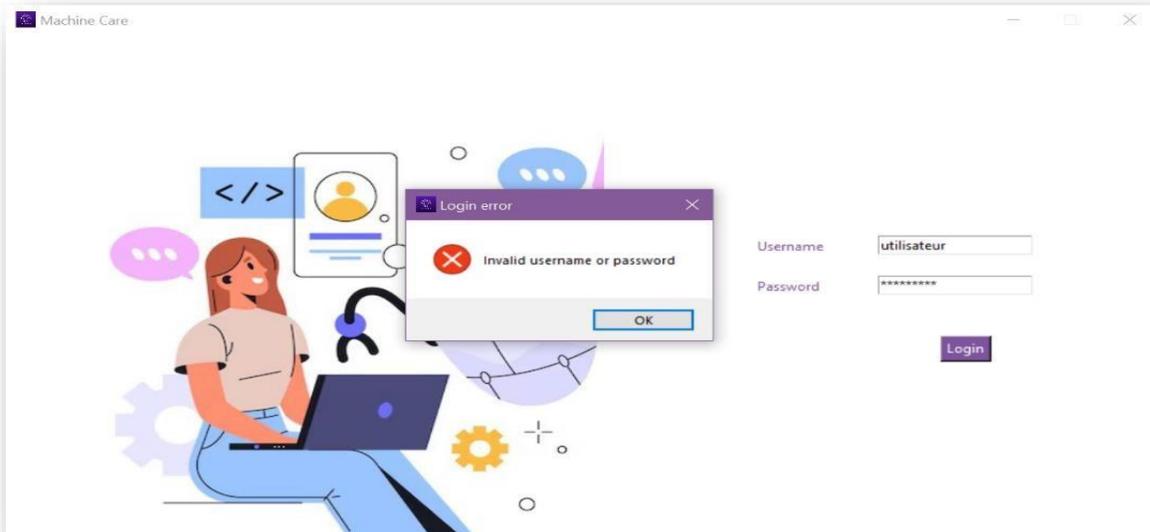


Figure 25: Fenêtre d'invalidation.

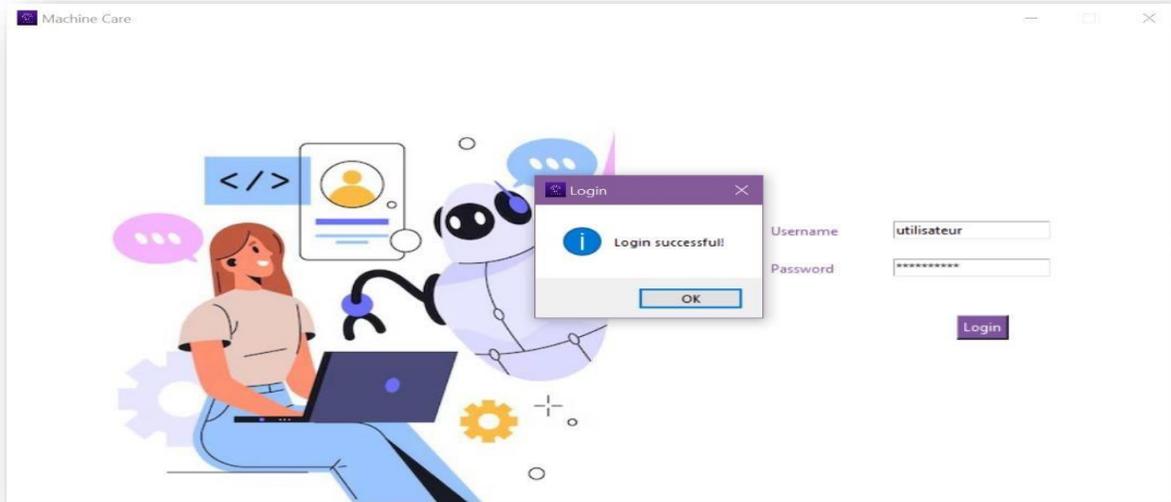


Figure 26 : Login successful.

b. Lapage d'interface de catégorisation :

Cette interface permet à l'utilisateur de faire des prédictions (Shutdown / not shutdown) de broyeur de clinker.

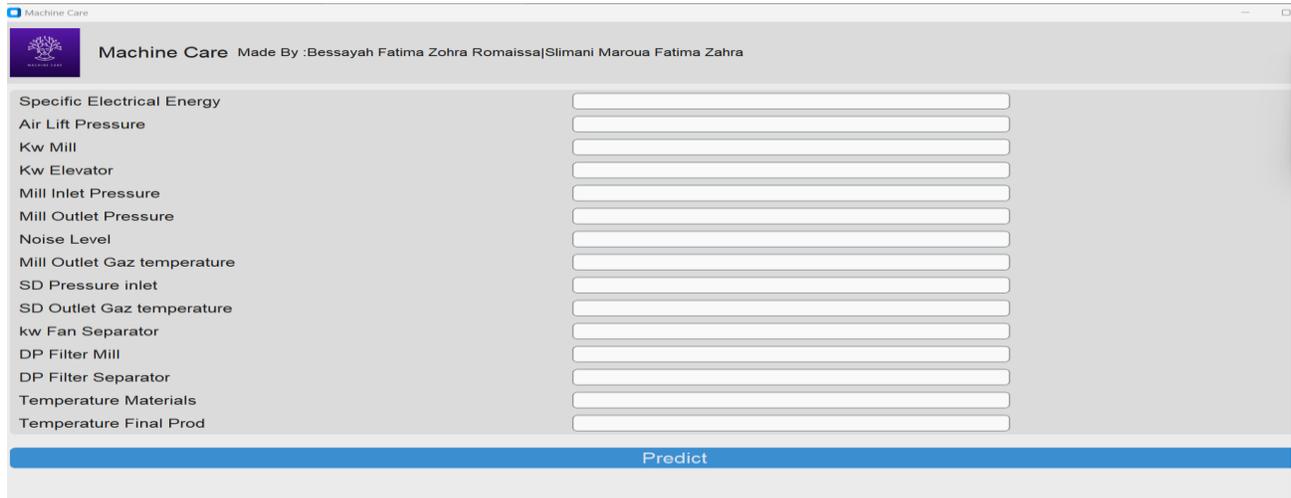


Figure 27: Interface de catégorisation.

c. Simulation et Test de Prédiction :

Nous avons pris des données de fonctionnement de broyeur depuis le fichier excel « TEST MACHINE », Tableau 4. On essaie de saisir les valeurs des capteurs pour un moment précis et on appuie sur le bouton de prédiction, et le résultat apparaît sous forme de message, soit {The model predicted that the exemple is shutdown} ou {The model predicted that the exemple is not shutdown}, figure (28 – 29).

Démarche de résolution du problème et solutions proposées

Nous avons répété ce processus plusieurs fois pour garantir la validité du programme. Comme nous l'avons mentionné précédemment, il doit y avoir une erreur de 3 %, et c'est ce que nous avons constaté lorsque nous avons effectué le test, mais la plupart étaient correctes à 97 %. Toutes ces preuves peuvent être trouvées dans l'Annex.

ID	Date	Time	U	U_32	5549.81	64.11	7.02	10.03	100.28	115.06	4.45	89.31	530.01	7.64	9.0	109.28	94.34	
1901	20.02.2024	16:30	0	39.95														
1902	20.02.2024	16:30	0	39.95	0.33	5620.37	58.57	1.01	9.81	94.88	116.51	4.63	92.58	530.3	7.62	9.93	109.37	96.51
1903	20.02.2024	17:00	0	27.41														
1904	20.02.2024	17:00	0	27.41	0.35	5499.43	78.71	0.91	10.37	87.57	114.9	4.41	94.99	519.93	7.68	10.12	110.33	98.99
1905	20.02.2024	17:30	0	37.74														
1906	20.02.2024	17:30	0	37.74	0.35	5508.6	82.39	0.89	10.93	89.45	114.57	4.2	95.69	506.77	7.79	10.09	110.05	99.58
1907	20.02.2024	18:00	0	40.63														
1908	20.02.2024	18:00	0	40.63	0.34	5645.77	59.67	0.93	10.09	93.29	117.93	4.48	95.55	517.97	7.66	10.35	110.88	98.88
1909	20.02.2024	18:30	0	33.28														
1910	20.02.2024	18:30	0	33.28	0.35	5533.37	80.68	1.01	11.46	74.77	114.15	4.31	95.7	508.7	7.74	10.16	110.43	99.44
1911	20.02.2024	19:00	0	34.61														
1912	20.02.2024	19:00	0	34.61	0.34	5547.03	64.92	1.08	11.51	92.31	113.75	4.46	94.71	513.23	7.9	10.29	108.32	97.98
1913	20.02.2024	19:30	0	34.7														
1914	20.02.2024	19:30	0	34.7	0.33	5644.3	56.25	1.07	11.01	84.84	119.28	4.58	94.73	521.17	7.95	10.36	111.43	98.53
1915	20.02.2024	20:00	0	39.03														
1916	20.02.2024	20:00	0	39.03	0.35	5516.27	80.66	0.99	11.72	85.54	112.98	4.31	95.81	505.43	7.94	10.17	109.58	99.63
1917	20.02.2024	20:30	0	38.51														
1918	20.02.2024	20:30	0	38.51	0.34	5643	57.32	1.09	11.21	86.21	115.46	4.58	94.03	521.47	8.08	10.52	109.17	97.37
1919	20.02.2024	21:00	0	36.42														
1920	20.02.2024	21:00	0	36.42	0.35	5522.43	82.62	1.06	11.99	87.32	114.02	4.33	95.76	509.53	7.68	9.98	109.85	100.05
1921	20.02.2024	21:30	0	30.13														
1922	20.02.2024	21:30	0	30.13	0.34	5641.7	63.05	1.1	11.52	94.38	116.18	4.52	95.73	517.17	7.54	10.25	110.04	99.49
1923	20.02.2024	22:00	0	35.37														
1924	20.02.2024	22:00	0	35.37	0.34	5580.87	70.05	1.04	11.39	91.28	115.79	4.41	96.37	511.57	7.83	10.17	110.94	100.2
1925	20.02.2024	22:30	0	38.45														
1875	20.02.2024	10:00	0	39.56														
1876	20.02.2024	10:00	0	39.56	0.36	5474.33	91.6	1.17	13.43	74.24	110.17	4.17	94.67	505.2	8.48	10.1	107.86	98.14
1877	20.02.2024	10:30	0	47.79														
1878	20.02.2024	10:30	0	47.79	0.33	5659.63	51.97	1.43	12.31	92.3	117.08	4.71	94.33	529.13	8.41	10.53	109.35	96.98
1879	20.02.2024	11:00	0	35.91														
1880	20.02.2024	11:00	0	35.91	0.34	5540.97	67.57	1.23	12.54	80.15	118.45	4.52	95.23	520.6	8.46	10.31	112.37	98.86
1881	20.02.2024	11:30	0	41.76														
1882	20.02.2024	11:30	0	41.76	0.35	5507.13	78.41	1.18	13.3	81.12	112.28	4.26	95.74	507.43	8.48	10.34	109.04	98.99
1883	20.02.2024	12:00	1	819.29														
1884	20.02.2024	12:00	1	819.29	820.26	821.29	822.29	823.29	824.29	825.26	826.26	827.29	828.29	829.29	830.29	831.26	832.29	833.29
1885	20.02.2024	12:30	0															
1886	20.02.2024	12:30	0		0	13.55	2.57	4.53	19.11	47.75	3.9	72.13	501.27	7.15	7.31	51.63	41.68	
1887	20.02.2024	13:00	0															
1888	20.02.2024	13:00	0		0	13.52	2.75	4.81	18.27	41.48	3.98	62.42	500.73	7.16	7.27	42.82	31.51	
1889	20.02.2024	13:30	0															
1890	20.02.2024	13:30	0		0	13.44	3.03	5.01	17.99	38.26	3.98	56.37	501.17	7.22	7.08	39.24	24.54	
1891	20.02.2024	14:00	0															
1892	20.02.2024	14:00	0		0	13.52	3.05	5.13	12.86	35.92	4.01	52.33	502.07	7.21	7.01	37.15	22.62	
1893	20.02.2024	14:30	0															
1894	20.02.2024	14:30	0		0	13.58	3.1	5.19	8.89	34.2	3.99	49.2	493.6	7.26	6.82	35.61	21.72	
1895	20.02.2024	15:00	0	76.49														
1896	20.02.2024	15:00	0	76.49	0.19	5319.03	21.89	2.2	6.62	90.04	88.79	4.1	48.22	514	7.46	6.64	60.19	40.37
1897	20.02.2024	15:30	0	51.35														
1898	20.02.2024	15:30	0	51.35	0.27	5589.2	46.01	1.24	9.57	96.4	122.01	3.99	71.78	525.43	7.59	8.08	107.47	78.52
1899	20.02.2024	16:00	0	44.41														
1900	20.02.2024	16:00	0	44.41	0.32	5549.87	64.77	1.02	10.03	100.28	115.06	4.45	89.31	530.07	7.64	9.6	109.28	94.34
1901	20.02.2024	16:30	0	39.95														
1902	20.02.2024	16:30	0	39.95	0.33	5620.37	58.57	1.01	9.81	94.88	116.51	4.63	92.58	530.3	7.62	9.93	109.37	96.51

Tableau 4: les données test machine (shutdown / not shutdown).

Démarche de résolution du problème et solutions proposées

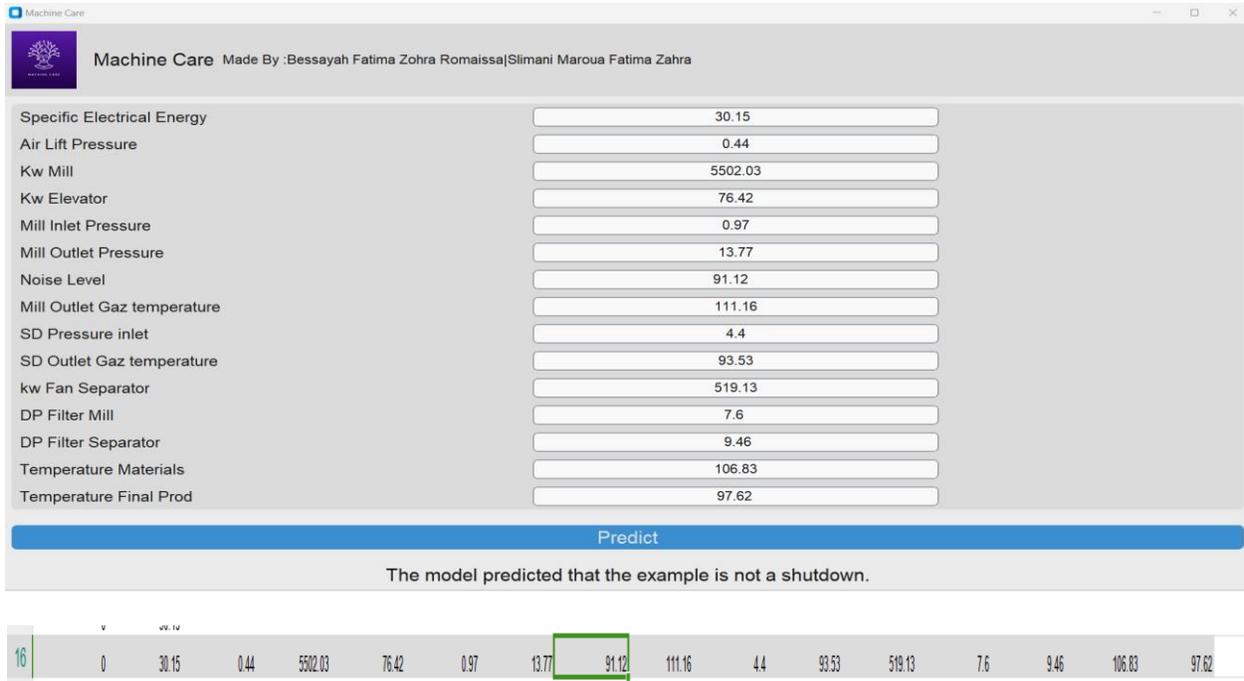


Figure 28 : Résultat de l'exemple non arrêt.

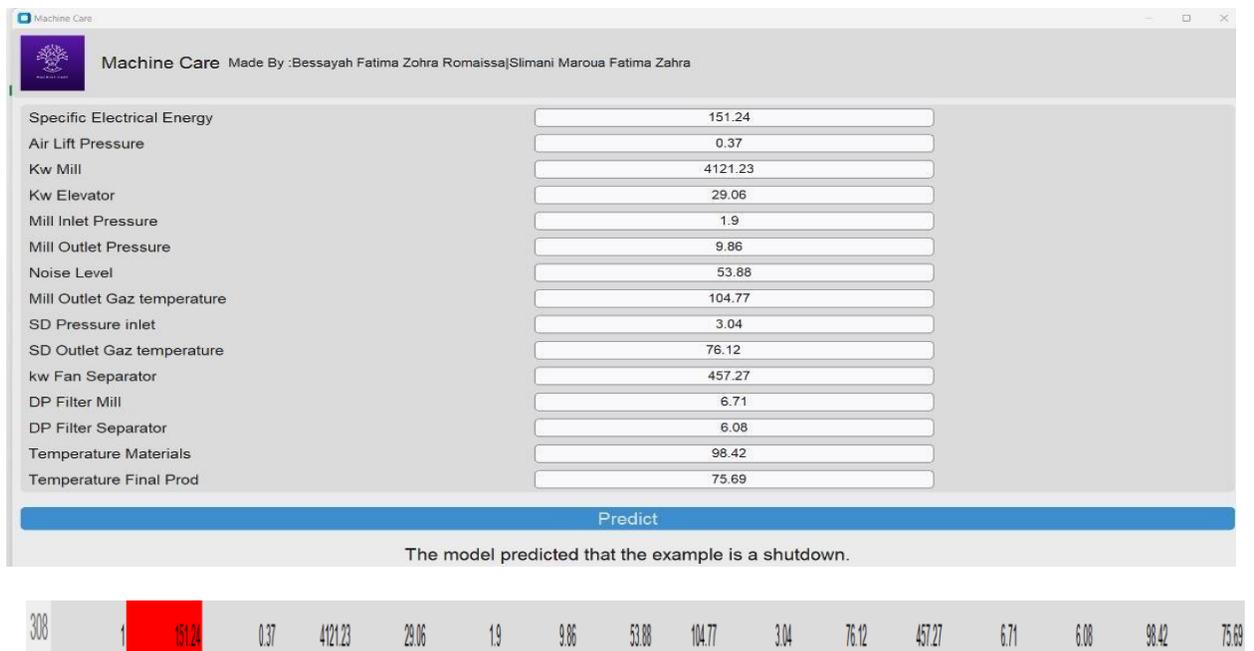


Figure 29: Résultat de l'exemple arrêt.

3.7 Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté notre démarche de résolution du problème ainsi que les solutions proposées pour traiter l'arrêt. Nous avons commencé par décrire en détail Le Fonctionnement du système d'équipement cote process et contrôle.

Ensuite, nous avons expliqué la construction d'un modèle de prédiction basé sur le machine Learning ligne par ligne et la simulation de chaque algorithme. Par la suite, nous avons essayé de créer une web application pour faire le test en temps réelles.

Conclusion générale :

Ce projet de recherche s'est concentré sur l'utilisation de l'intelligence artificielle dans le domaine de la Maintenance Prédictive pour réduire les coûts de maintenance (directs ou indirects). L'objectif était de choisir l'algorithme de machine Learning le plus adapté aux problèmes rencontrés en Maintenance Prédictive. Le travail réalisé nous a permis de consulter de nombreux articles de recherche portant sur le machine Learning, un domaine en pleine expansion avec des applications majeures dans l'industrie. Parallèlement, la Maintenance Prédictive est devenue un sujet de recherche très répandu dans le domaine de la maintenance industrielle, Les nouvelles technologies de PdM disponibles sur le marché renforcent son importance par rapport aux approches de maintenance traditionnelles. Par conséquent, Le machine Learning vise à améliorer la Maintenance prédictive en simplifiant les tâches et les calculs de prédictions. Ensuite, nous avons utilisé l'apprentissage supervisé de Machine Learning (AI) pour développer une approche améliorée de la maintenance prédictive visant à prévenir les dysfonctionnements normaux et anormaux du broyeur.

Effectivement, il est crucial de collecter des données précises sur l'état de la machine pour pouvoir appliquer avec succès l'apprentissage supervisé. Ce type d'approche nous permet d'obtenir des prédictions plus précises et fiables concernant les défaillances critiques de la machine, ce qui est essentiel pour une maintenance prédictive efficace. La qualité des données est donc fondamentale pour garantir l'efficacité et la fiabilité des prédictions générées par les modèles d'apprentissage supervisé.

En outre, les informations obtenues grâce à l'apprentissage automatique peuvent aider les responsables de la maintenance à anticiper les défaillances et à planifier les ressources matérielles et humaines nécessaires. Ainsi, la maintenance prédictive peut remplacer les approches traditionnelles de maintenance corrective et préventive.

En conclusion, notre produit final est un logiciel qui offre aux utilisateurs la possibilité d'accéder facilement et de déterminer la durée de vie restante de leurs systèmes. Il propose une interface conviviale qui facilite la prise de décision efficace pour la planification de la maintenance.

Par la suite, nous allons mettre en lumière les Perspectives d'amélioration de notre projet de recherche.

Prédiction de la fiabilité des capteurs de paramètres :

Nous aurions cherché à développer des modèles prédictifs permettant d'estimer la fiabilité des capteurs. Afin de mettre en œuvre des stratégies de maintenance préventive et renforçant ainsi la confiance dans les données collectées par ces capteurs, cela aurait impliqué une analyse plus approfondie de la fiabilité des capteurs de paramètres pour améliorer la qualité des informations recueillies.

Alertes et notifications :

Il est possible de mettre en place des systèmes d'alerte automatique qui signalent les déviations anormales dans les mesures des capteurs, permettant ainsi d'intervenir de manière proactive avant qu'une défaillance ne se produise.

Prédiction des types de pannes :

À l'avenir, il existe de nombreuses possibilités de travaux futurs dans l'utilisation des techniques d'IA et d'apprentissage automatique pour de nouvelles avancées dans le domaine de la maintenance préventive, il est possible que les entreprises mettent en place des programmes de maintenance préventive et prédictive pour surveiller en temps réel l'état des équipements et développera les technologies de l'analyse des données pour prédire précisément les pannes industrielles courantes qui surviennent telles que les ruptures de pièces, les pannes d'équipement électrique, les fuites de liquides, les problèmes de systèmes hydrauliques ou pneumatiques, les problèmes de contrôle et d'automatisation, l'usure normale des équipements, etc.

Référence Bibliographie:

- [3] AMEUR Imène, KHELOUFI Chaimaâ, ‘‘ Management Industriel et Logistique’’, mémoire de fin d’étude de Génie industriel, École Nationale Polytechnique d’Oran -Maurice Audin-
- [4] Documentation interne de la société des ciments LAFARGE- Oggaz « Présentation de l’entreprise ».
- [5] Dr-Salima-Drid, ‘‘Maintenance_Surete_De_Fonctionnement’’, Decouverte, Université Batna 2, Février 2018.
- [7] Rachid NOUREDDINE, ‘‘Productique ‘’, mémoire master Génie Mécanique, Université des Sciences et de la Technologie d’Oran - Mohamed Boudiaf -, 03 Décembre 2008.
- [8] MAHFOUD BRAHIM, ‘‘ MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE MECANIQUE’’, mémoire master Génie Mécanique, BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY, Année : 2016/2017.
- [9] Moncef BOUCHEMAL, ‘‘ Electromécanique’’, mémoire master de Génie Electrotechnique et Automatique, Université 8 Mai 1945 – Guelma, le 15/06 /2022.
- [11] Abdennour BenGaid, Abderahmane Kercha. ‘‘MAINTENANCE INDUSTRIELLE’’, mémoire de fin d’étude TS de maintenance, INSFP Mohamed Chérif Messaadia – Ghardaia -
- [13] CIGREF 21 avenue de Messine 75008 PARIS, Gouvernance de l’intelligence artificielle dans les entreprises.pdf
- [16] l’intelligence artificielle à travers Turbo Prolog, Benedicte Hudault
- [17] Villanueva, MB et Salenga, MLM (2018). Prédiction du rendement des récoltes de melon amer à l’aide d’un algorithme d’apprentissage automatique. Int. J.Adv. Calculer. Sci. Appl, 9, 16.
- [19] LARIBI, H., & MELIANI, O. (2023). Sélection d'un Algorithme de Deep Learning Approprié pour la Maintenance Prédicative (Doctoral dissertation).
- [21] TOLGUI, H. (2017). Deep Learning pour Reconnaissance du visage.
- [23] Djalal, D. Application de l’intelligence Artificielle dans la Détection Des Obstacles (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA).

[27] Zoungrana, W. B. A. B. (2020). Application des algorithmes d'apprentissage automatique pour la détection de défauts de roulements sur les machines tournantes dans le cadre de l'Industrie 4.0 (Doctoral dissertation, Université du Québec à Chicoutimi).

[29] Bouziane Khaled Delbaz & Abdelhafid (2021) Contribution à l'étude de la maintenance basée sur la fiabilité. Étude de cas. (MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES).

[30] SAHRAOUI, M. A., & TALHI, N. (2023). Application Mobile pour la maintenance prédictive des systèmes Industriel, Cas d'étude : Pompe réacteur de SONATRACH et base de données turboréacteurs de NASA (Doctoral dissertation).

[33] Industrie 4.0-Pour une entreprise hautement concurrentielle, juin 1976, Quebec, Canada, GGI group.

Webographie:

[1] Jesse. (2020). Top 10 Cement Companies in the World 2020 | Global Cement Industry Factsheet. Bizvibe Blog. <https://blog.bizvibe.com/blog/top-10-cement-companies-world>

[2] Financial Publications, Annual & Interim Reports | Holcim. (2023). Sustainable Construction & Building Company | Holcim. <https://www.holcim.com/media/media/releases/annual-and-interim-reports>

[6]Chpitre | RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUES, universite Tiaret <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11875/4/chapitre%201.1.pdf>

[10] Plateforme officiel de Mobility Work, Copyright 2024 © Mobility Work SAS | Tous droits réservés.<https://mobility-work.com/fr/blog/maintenance-industrielle/>

[12] Droits d'auteur 2012 - 2024 | FactoryEye par Magic Software | Tous droits réservés | Politique de confidentialité (RGPD) | Imprimer.

[14] WIZISHOP A ÉTÉ CRÉÉ en 2008, Gregory Beyrouiti & René Cotton.<https://www.wizishop.fr/blog/histoire-intelligence-artificielle>.

[15] NetApp, Inc. 3060 Olsen Drive San Jose, CA 95128 ,512(f) of the Copyright Act. <https://www.netapp.com/fr/artificial-intelligence/what-is-machine-learning/>

[18] 2008-2024 ResearchGate GmbH. All rights reserved. ResearchGate GmbH Chausseestr. 20 Berlin, Germany 10115 https://www.researchgate.net/figure/Types-dapprentissage-automatique_fig7_359279482

[20] la Société DataScientest, immatriculée 011755665975 au RCS de Paris sous le numéro 831 450 069 dont le siège social est situé au 2 place de Barcelone 75016 Paris, contact@datascientest.com. <https://datascientest.com/deep-learning-definition>

[22] 2001-2024 FUTURA-SCIENCES TOUS DROITS RÉSERVÉS - GROUPE MADEINFUTURA <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/cerveau-neurone-209/>

[24] CC BY-SA 4.0 / Fichier:Neurone.svg / Date de création : 13 février 2022 / Téléversé : 13 février 2022. https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8les_du_neurone_biologique

[25] Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) / 3 place de Fontenoy TSA 80715 75334 PARIS CEDEX 07 / Marie-Laure DENIS, Présidente / Louis DUTHEILLET DE LAMOTHE, Secrétaire général <https://www.cnil.fr/fr/definition/neurone-artificiel>

[28] Natural Solutions/ 68 rue Sainte, 13001 Marseille/Olivier Rovellotti <https://www.natural-solutions.eu/blog/histoire-du-deep-learning>

[31] https://www.mathworks.com/discovery/machinelearning.html?s_tid=srchtitle_site_searc_4_machine%2520learning#how-it-works

[32] 2005 - 2024 Talend, Inc., Tous droits réservés. <https://www.talend.com/fr/>

[34] 6 mars 2022 Cement Production Process Technology / channel youtube de Parros Cement Techno. <https://youtu.be/NKARkkGZBXI>

[35] 27 août 2022 Cement Mill System / channel youtube de Parros Cement Techno. https://youtu.be/YdCXNmQ_WHk?list=PLk_Be3n1qJOVzCL-cLZ66fGgwbB5yi33L

ANNEXE

Annex :

Les tests de « Shutdown »:

Example 01 :



Machine Care



Machine Care Made By :Bessayah Fatima Zohra Romaisa|Slimani Maroua Fatima Zahra

Specific Electrical Energy	92.36
Air Lift Pressure	0.43
Kw Mill	3331.97
Kw Elevator	43.58
Mill Inlet Pressure	1.53
Mill Outlet Pressure	7.34
Noise Level	46.32
Mill Outlet Gaz temperature	86.62
SD Pressure inlet	4.29
SD Outlet Gaz temperature	85.43
kw Fan Separator	522.03
DP Filter Mill	7.22
DP Filter Separator	8.68
Temperature Materials	87.97
Temperature Final Prod	83.25

Predict

The model predicted that the example is a shutdown.

Exemple 02 :



■ Machine Care

Machine Care Made By :Bessayah Fatima Zohra Romaiassa|Slimani Maroua Fatima Zahra

Specific Electrical Energy	66.3
Air Lift Pressure	0.45
Kw Mill	3969.8
Kw Elevator	43.92
Mill Inlet Pressure	1.33
Mill Outlet Pressure	6.64
Noise Level	63.75
Mill Outlet Gaz temperature	99.5
SD Pressure inlet	4.47
SD Outlet Gaz temperature	91.66
kw Fan Separator	522.03
DP Filter Mill	7.12
DP Filter Separator	8.95
Temperature Materials	98.84
Temperature Final Prod	91.91

Predict

The model predicted that the example is a shutdown.

Exemple 03 :

5141	25.03.2024 05:30	1	255.37	0.3	947.33	14.85	0.7	1.59	12.71	74.09	4.04	78.05	495.77	1.59	6.56	73.82	61.22
------	------------------	---	--------	-----	--------	-------	-----	------	-------	-------	------	-------	--------	------	------	-------	-------

Machine Care

 Machine Care Made By :Bessayah Fatima Zohra Romaisa|Slimani Maroua Fatima Zahra

Specific Electrical Energy	255.37
Air Lift Pressure	0.3
Kw Mill	947.33
Kw Elevator	14.85
Mill Inlet Pressure	0.7
Mill Outlet Pressure	1.59
Noise Level	12.71
Mill Outlet Gaz temperature	74.09
SD Pressure inlet	4.04
SD Outlet Gaz temperature	78.05
kw Fan Separator	495.77
DP Filter Mill	1.59
DP Filter Separator	6.56
Temperature Materials	73.82
Temperature Final Prod	61.22

Predict

The model predicted that the example is a shutdown.

Les tests de « Not Shutdown » :

Exemple 01 :



Machine Care

Machine Care Made By :Bessayah Fatima Zohra Romaissa|Slimani Maroua Fatima Zahra

Specific Electrical Energy	<input type="text" value="36.04"/>
Air Lift Pressure	<input type="text" value="0.45"/>
Kw Mill	<input type="text" value="5631.03"/>
Kw Elevator	<input type="text" value="71.24"/>
Mill Inlet Pressure	<input type="text" value="0.96"/>
Mill Outlet Pressure	<input type="text" value="9.54"/>
Noise Level	<input type="text" value="78.04"/>
Mill Outlet Gaz temperature	<input type="text" value="90.51"/>
SD Pressure inlet	<input type="text" value="4.61"/>
SD Outlet Gaz temperature	<input type="text" value="82.61"/>
kw Fan Separator	<input type="text" value="530.03"/>
DP Filter Mill	<input type="text" value="7.21"/>
DP Filter Separator	<input type="text" value="8.78"/>
Temperature Materials	<input type="text" value="89.19"/>
Temperature Final Prod	<input type="text" value="84.62"/>

Predict

The model predicted that the example is not a shutdown.

Exemple 02 :



Machine Care



Machine Care Made By :Bessayah Fatima Zohra Romaissa|Slimani Maroua Fatima Zahra

Specific Electrical Energy	39.31
Air Lift Pressure	0.03
Kw Mill	5650.87
Kw Elevator	74.12
Mill Inlet Pressure	1.5
Mill Outlet Pressure	8.18
Noise Level	89.68
Mill Outlet Gaz temperature	88.25
SD Pressure inlet	4.33
SD Outlet Gaz temperature	78.76
kw Fan Separator	530.93
DP Filter Mill	7.33
DP Filter Separator	11.93
Temperature Materials	85.95
Temperature Final Prod	81.23

Predict

The model predicted that the example is not a shutdown.

Exemple 03 :

7916	22/14/2024 23:30	0	65.28	0.35	5630.3	51.34	1.03	5.75	95.77	116.98	3.51	90.08	484.17	7.38	7.39	105.05	93.81
------	------------------	---	-------	------	--------	-------	------	------	-------	--------	------	-------	--------	------	------	--------	-------

■
Machine Care



Machine Care

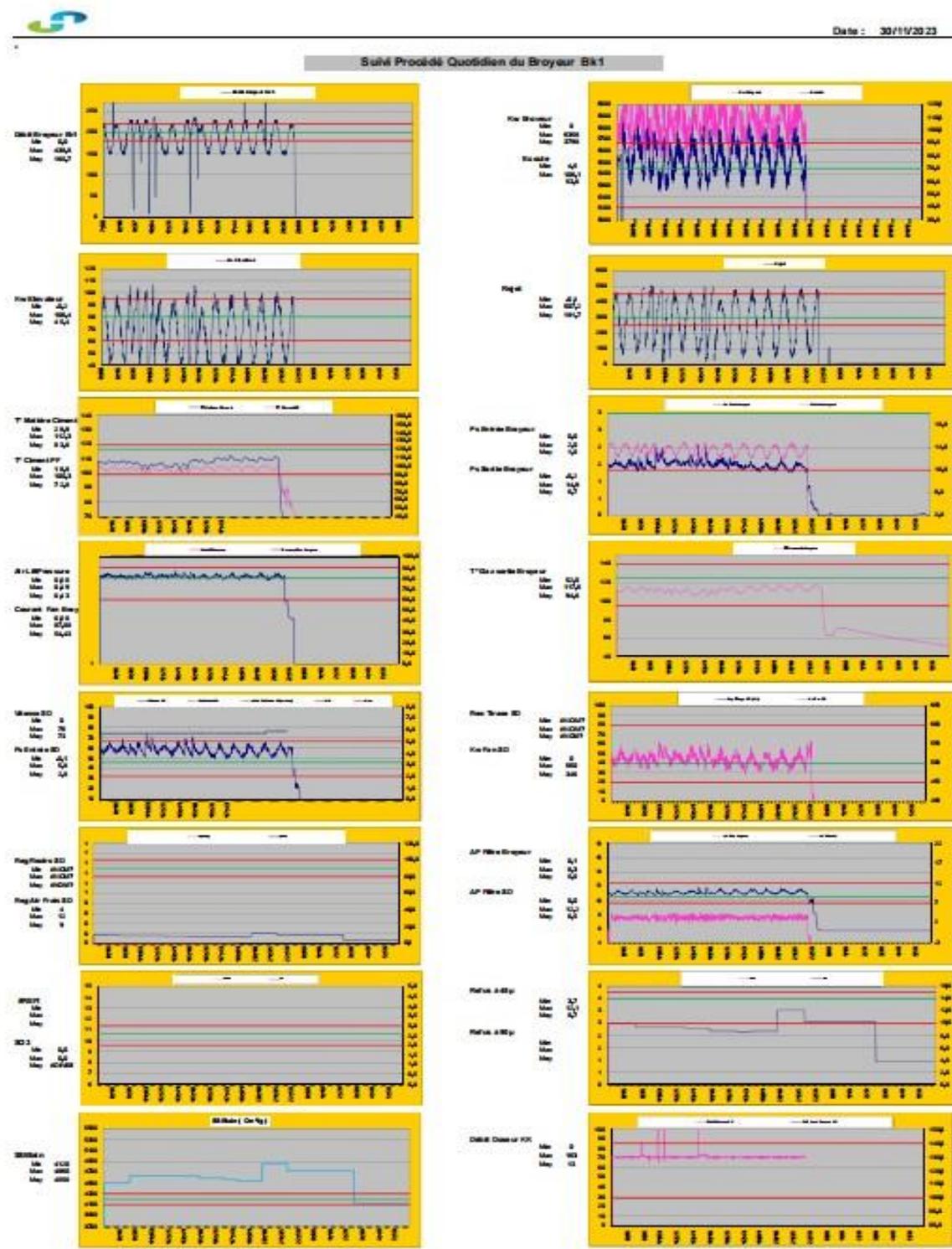
Made By :Bessayah Fatima Zohra Romaissa|Slimani Maroua Fatima Zahra

Specific Electrical Energy	<input type="text" value="65.28"/>
Air Lift Pressure	<input type="text" value="0.35"/>
Kw Mill	<input type="text" value="5630.3"/>
Kw Elevator	<input type="text" value="51.34"/>
Mill Inlet Pressure	<input type="text" value="1.03"/>
Mill Outlet Pressure	<input type="text" value="5.75"/>
Noise Level	<input type="text" value="95.77"/>
Mill Outlet Gaz temperature	<input type="text" value="116.98"/>
SD Pressure inlet	<input type="text" value="3.51"/>
SD Outlet Gaz temperature	<input type="text" value="90.08"/>
kw Fan Separator	<input type="text" value="484.17"/>
DP Filter Mill	<input type="text" value="7.38"/>
DP Filter Separator	<input type="text" value="7.39"/>
Temperature Materials	<input type="text" value="105.05"/>
Temperature Final Prod	<input type="text" value="93.81"/>

Predict

The model predicted that the example is not a shutdown.

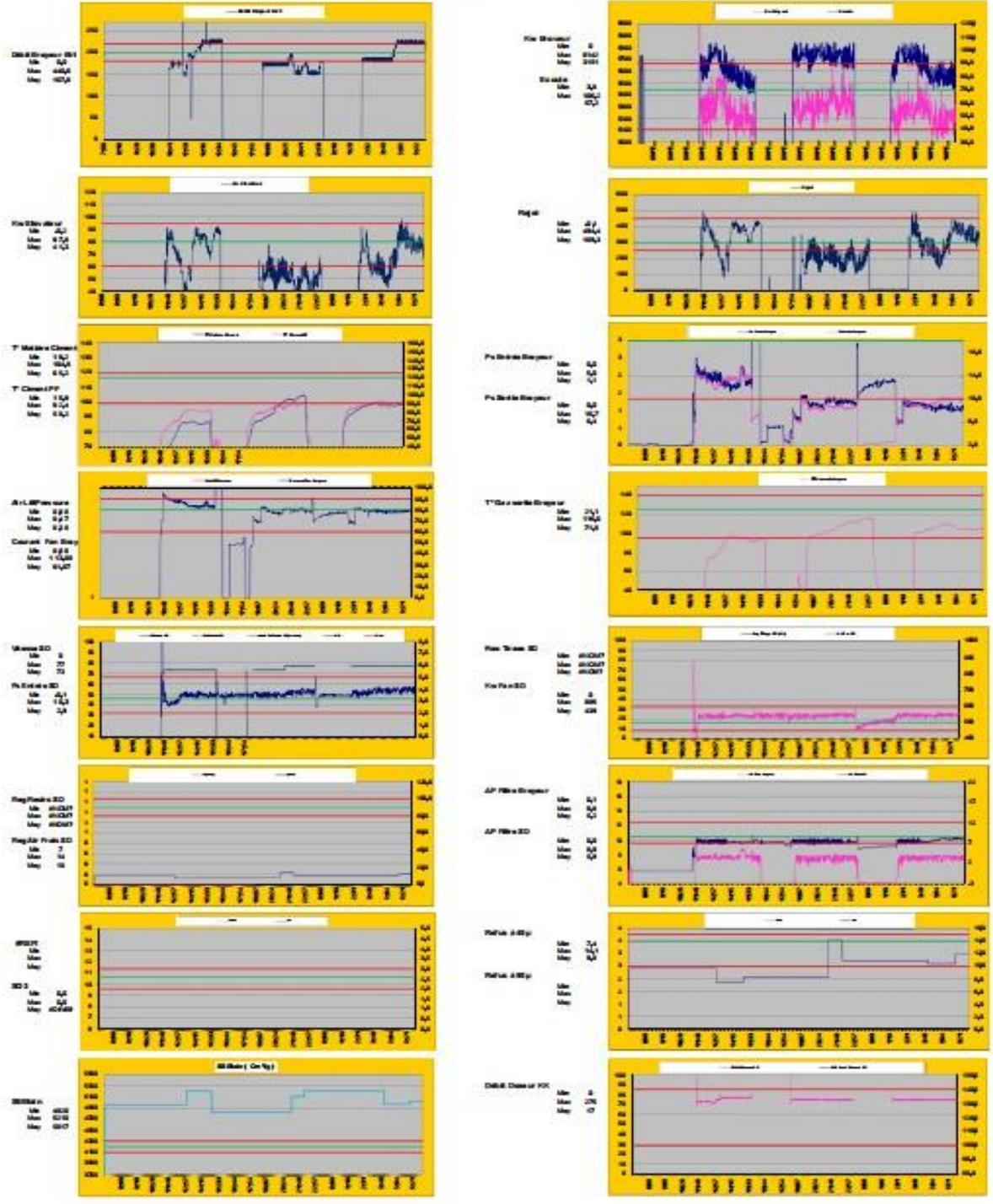
Les graphes des capteurs dans le cas d'arrêt :



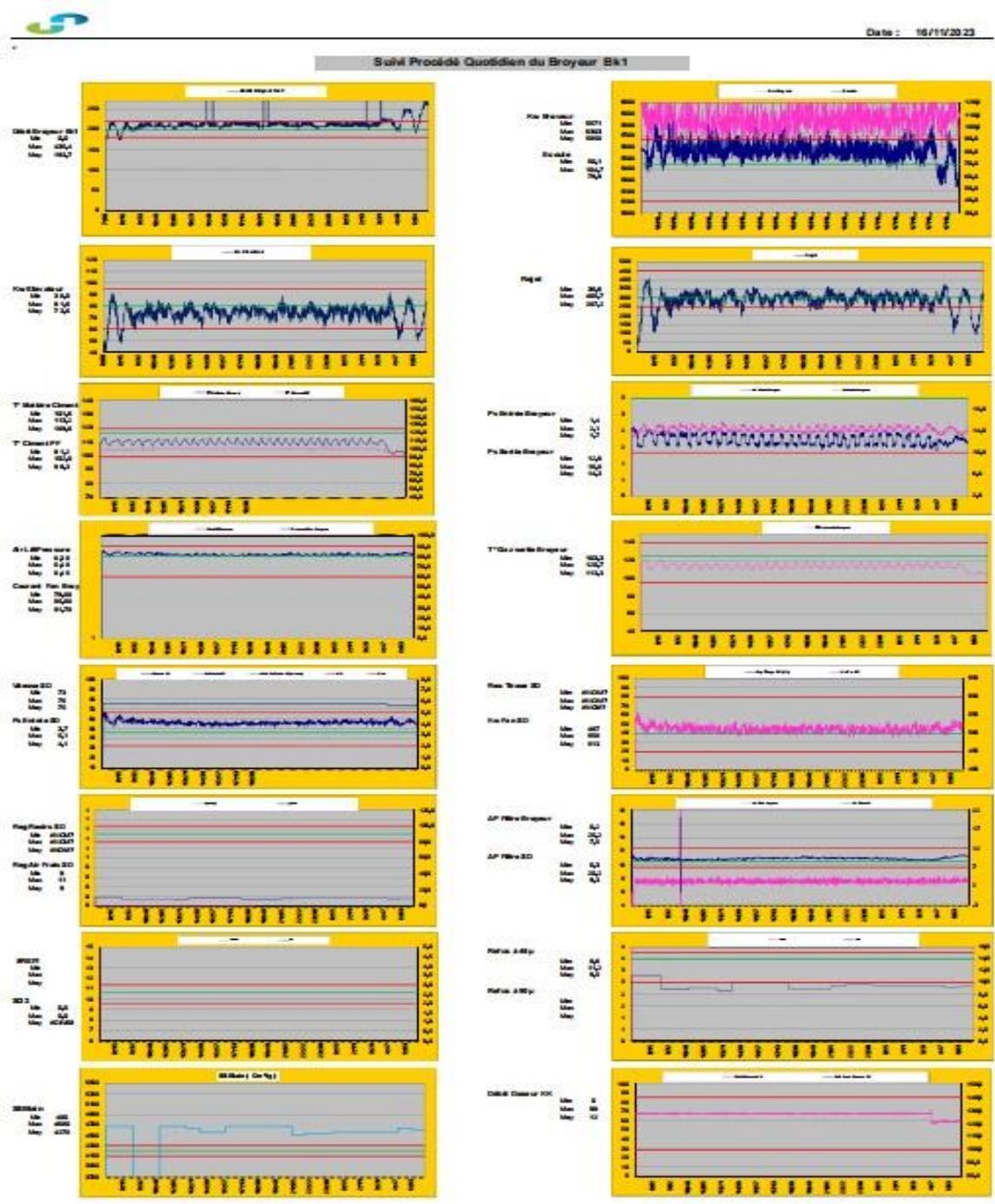


Date : 09/12/2023

Suivi Processus Quotidien du Broyeur BA1



Les graphes des capteurs dans le cas de non arrêt :





Date : 16/01/2024

Suivi Processus Quotidien du Broyeur Bx1

