



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Electromécanique Minière

Prévision de la production et consommation future d'une entreprise Cas de la cimenterie d'El-Ma-Labiod *Tébessa*

Présenté et soutenu par

SEDAIRIA Ridha

Devant le jury:

		Grade	Etablissement
Président :	MELKIA Chaouki	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	KARA Mohammed	Professeur	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	HOUAM Ala	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion : 2019-2020

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie le Dieu, notre créateur de nos avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

J'adresse le grand remerciement à mon encadreur

***Professeur KARA MOHAMMED** pour ses conseils et ses dirigés.*

Je remercie, également les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Par ailleurs, la réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien moral et effectif de ma famille. Je remercie donc mes parents pour leur appui et leur soutien durant toutes mes années d'étude.

*Mes sincères remerciements vont au directeur de la cimenterie d'El-Ma-Labiod Tébessa, aux ingénieurs et techniciens de la cimenterie surtout le chef de département de production **Mr : DIFALLAH Kamel**, ainsi qu'à l'ensemble des membres du personnel de la société des ciments de Tébessa.*

Enfin, je remercie toute personne qui m'a aidé de manière directe ou indirecte à la réalisation de cette étude.

DEDICACES

*A l'aide de Dieu tout puissant, qui trace le
Chemin de ma vie.*

J'ai pu arriver à réaliser ce modeste travail

Que je le dédie :

A mes parents qui ont toujours veillé sur moi

A mes frères et soeurs

A ma belle famille

A tous mes amis

Merci désormais chacun à leur façon.

Table des matières

Introduction générale	1
CHAPITRE I. Présentation de la cimenterie SCT.	
I.1. Introduction	4
I.2. Généralité sur l'entreprise	4
I.3. Matières premières utilisées pour la fabrication du ciment	5
I.4. Les différents procédés cimentiers	5
I.5. Processus de fabrication du ciment	6
I.6. La normalisation de l'entreprise	9
I.7. Organigramme générale de la SCT	10
I.8. Consommations de l'entreprise	11
I.9. Les différentes consommations de l'entreprise	11
I.9.1. Consommation matières premières	11
I.9.2. Matières achetées	11
I.9.3. Consommation de l'eau	13
I.9.4. Consommation de l'énergie calorifique	14
I.9.5. Consommation de l'énergie électrique	16
I.9.5.1. Révélation des consommateurs régulateurs de l'énergie consommée dans la cimenterie	17
I.9.5.2. Sources d'économie d'énergie électricité dans la cimenterie	19
I.10. Conclusion	19
CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique.	
II.1. Introduction	20
II.2. Choix des paramètres rationnels des éléments du système d'alimentation d'une entreprise	20
II.3. Pertes d'énergie électrique	21
II.3.1. Types des pertes	21
II.3.2. Classification des pertes d'énergie électrique	21
II.3.3. Origine des pertes d'énergie électrique dans un réseau d'alimentation.	21
II.3.4. Classification des pertes d'énergie électrique selon l'origine	22
II.3.5. Classification des pertes d'énergie électrique selon l'enregistrement	23
II.3.5.1. Les pertes techniques	23
II.3.5.2. Les pertes non techniques	23
II.3.6. Les pertes industrielles	24
II.3.7. Coût des pertes de charge	26
II.3.8. Postes horaires appliqués en Algérie	27

Table des matières

II.3.9. Description de la source d'alimentation électrique	28
II.4. Détermination des charges électriques	30
II.4.1. Calcule des charges électriques et facteur de puissance	30
II.4.2. Compensation de l'énergie réactive	33
II.4.3. Choix de la puissance du transformateur (Strc)	34
II.5. Conclusion	35
CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment.	
III.1. Introduction	36
III.2. La mission de fonction production	36
III.3. Le processus de production	36
III.3.1. Définition	36
III.3.2. Les principaux services opérationnels	37
III.3.3. Les principaux services fonctionnels	37
III.4. Gestion de la production de l'entreprise	39
III.4.1. Typologie de production	39
III.4.2. Classification en fonction de l'importance des séries et la répétitivité.	39
III.4.3. Les types de production dérivée de la structure du produit	40
III.4.4. Le choix du type de production dépend	40
III.4.5. Classification selon l'organisation du flux de production	40
III.4.6. Classification selon la relation avec le client	42
III.5. Les différentes organisations de la production	43
III.5.1. Implantation en section en homogènes	43
III.5.2. Implantation en lignes de fabrication	43
III.5.3. Implantation en cellules de fabrication	44
III.6. La production antérieure de la cimenterie d'El-Ma-Labioud Tébessa	44
III.6.1. La méthode de prévision appliquée au sein de l'entreprise	45
III.6.1.1. Production sur commande	45
III.7. Conclusion	46
CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.	
IV.1. Introduction	47
IV.2. Le principe de la prévision	47
IV.3. Objectives et contraintes de la prévision	48
IV.4. Généralité sur les méthodes des prévisions	49
IV.4.1. Les méthodes qualitatives	49
IV.4.2. Les méthodes quantitatives	49

Table des matières

IV.4.2.1. Présentation graphique	49
IV.4.2.2. Méthode de décomposition	49
IV.4.3. Méthode de prévision dans les séries stationnaires	51
IV.4.4. Méthodes des moyennes mobiles	51
IV.4.5. Méthode de lissage exponentiel	52
IV.4.5.1. Lissage exponentiel simple	52
IV.4.5.2. Lissage exponentiel multiples	53
IV.4.5.3. Méthode du double lissage exponentiel de Holt-Winter	54
IV.4.6. Méthode d'analyse de la tendance	54
IV.4.7. Séries saisonnières	55
IV.5. Conclusion	56
CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production - consommation	
V.1. Introduction	57
V.2. Domaines e contraintes d'utilisation	57
V.3. Méthodes des prévisions	57
V.3.1. Choix de la méthode de précision	58
V.4. Détermination des prévisions de la production	58
V.5. Détermination des prévisions de la consommation en énergie électrique.	63
V.6. Détermination de la consommation spécifique en énergie électrique (SCEE)	68
V.6.1. Définition de la CSEE	68
V.6.2. Calculs du rapport de la CSEE	68
V.7. Etude de cas production-consommation du broyeur ciment.....	72
V.7.1. Caractéristiques techniques des équipements installés	72
V.7.2. Détermination des prévisions de la production et consommation en énergie électrique du broyeur ciment	73
V.7.2.1. Détermination de prévision de la production du broyeur ciment pour l'année 2020	73
V.7.2.2. Détermination de prévision de la production du broyeur ciment pour l'année 2021	74
V.7.2.3. Détermination de prévision de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment pour l'année 2020	77
V.7.2.4. Détermination de prévision de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment pour l'année 2021	82
V.8. Etude de la consommation spécifique en énergie électrique du broyeur ciment.....	85

Table des matières

V.9. Prévion de la consommation spécifique en énergie électrique du broyeur ciment pour l'année 2020.....	88
V.10. Prévion de la consommation spécifique en énergie électrique du broyeur ciment pour l'année 2021	89
V.11. Conclusion	90
Conclusion générale	91

Tableau des figures

Figure	Titre	Page
I.1.	Chaine de production de la cimenterie d'El-Ma-Labioud Tébessa.	09
I.2.	Organigramme représentatif de la structure de la cimenterie d'El-Ma-Labioud Tébessa.	10
I.3.	Représentation du diagramme de la consommation en matières premières.	13
I.4.	Représentation graphique de la consommation en énergie calorifique.	15
I.5.	Représentation graphique de la consommation en énergie électrique.	17
II.1.	Distribution de l'énergie électrique de la cimenterie d'El-Ma-Labioud Tébessa.	29
III.1.	Organisation de la production.	38
III.2.	Représentation graphique de la production antérieure de ciment.	45
V.1.	Représentation graphique des prévisions de la production	60
V.2.	Représentation graphique des prévisions de la production future	62
V.3.	Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique.	65
V.4.	Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique future.	67
V.5.	Diagramme d'évolution de la CSEE annuel de la cimenterie, durant les années calculées précédemment.	69
V.6.	Représentation graphique de la production de ciment des années antérieures.	70
V.7.	Représentation graphique de la consommation en énergie électrique des années antérieures.	70
V.8.	Représentation graphique d'évolution de la CSEE annuel de la cimenterie, durant les années calculées précédemment.	71
V.9.	Représentation graphique des prévisions de la production future du broyeur ciment.	76
V.10.	Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment.	79

Tableau des figures

V.11.	Prévision de la consommation en énergie électrique future du broyeur ciment.	82
V.12.	Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique future du broyeur ciment.	84
V.13.	Diagramme d'évolution de la CSEE annuelle du broyeur ciment durant les années antérieures.	86
V.14.	Représentation de la production de ciment du broyeur ciment durant les années antérieures.	86
V.15.	Représentation graphique de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment durant les années antérieures.	87
V.16.	Représentation graphique d'évolution de la CSEE annuel de la cimenterie, durant les années calculées précédemment.	87

Liste des tableaux

Tableau	Titre de tableau	Page
I.1.	Réserve des matières premières utilisée en fabrication du ciment.	12
I.2.	Consommation antérieure en matières premières.	12
I.3.	Consommation antérieure en eau.	13
I.4.	Consommation antérieure en énergie calorifique.	15
I.5.	Consommation antérieure en énergie électrique.	16
I.6.	Consommation énergétique du broyeur cru et ciment.	18
II.1.	Classification des pertes d'énergie électrique selon l'origine.	22
II.2.	Classification des pertes d'énergie électrique selon l'enregistrement.	24
II.3.	Répartition des tranches horaires.	27
II.4.	Tableau des consommateurs électriques de la cimenterie d'El-Ma-Labioud Tébessa.	32
II.5.	Caractéristique du transformateur recommandé.	34
III.1.	La production antérieure de ciment.	44
III.2.	Méthode de production de la cimenterie.	46
IV.1.	Décroissances de poids pour différents valeur de α .	53
V.1.	Relever de la production annuel de ciment.	58
V.2.	Statistiques descriptives (production tonne/an).	59
V.3.	Coefficient d'ajustement (production tonne/an).	59
V.4.	Paramètres du modèle (production tonne/an).	59
V.5.	Série avant et après lissage (production tonne/an).	60
V.6.	Prévision de la production future.	62
V.7.	Relever de la consommation annuel en énergie électrique.	63
V.8.	Statistiques descriptives (consommation KWh).	64
V.9.	Coefficient d'ajustement (consommation KWh).	64
V.10.	Paramètres du modèle (consommation KWh).	64
V.11.	Série avant et après lissage (consommation KWh).	65
V.12.	Prévision de la consommation en énergie électrique future.	67
V.13.	Relever de la production de ciment, l'énergie électrique, et le rapport CSEE.	68

Liste des tableaux

V.14.	Caractéristique technique du broyeur ciment.	72
V.15.	Relever de la production annuelle du broyeur ciment.	73
V.16.	Relever de la production mensuelle du broyeur ciment.	74
V.17.	Prévision de la production du broyeur ciment.	76
V.18.	La consommation annuelle en énergie électrique du broyeur ciment	77
V.19.	Statistiques descriptives (consommation KWh du broyeur ciment).	78
V.20.	Coefficient d'ajustement (consommation KWh du broyeur ciment).	78
V.21.	Paramètres du modèle (consommation KWh du broyeur ciment).	78
V.22.	Série avant et après lissage (consommation KWh).	79
V.23.	Prévision de la consommation future en énergie électrique du broyeur ciment.	81
V.24.	Relever de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment.	82
V.25.	Prévision de la consommation en énergie électrique future du broyeur ciment.	84
V.26.	Relever de la production, l'énergie électrique consommée et de la CSEE du broyeur ciment durant les années antérieures.	85

Liste des symboles

GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur.

GFE : Grandes Fonctions De L'Entreprise.

Ws : les pertes d'énergie électrique industrielle par tonne de minerai extrait,
KWh/t.

Wu : la consommation utile, KWh.

Wn : les pertes nominales, KWh.

Wc : la consommation mensuel d'énergie, KWh/mois ;

Qp : la production planifiée, t /mois



Introduction

générale

Introduction générale :

L'industrie du ciment en Algérie est considérée comme l'une des industries modernes les plus importantes et les plus développées et avancées, car elle a toutes les exigences de succès en termes de disponibilité des matières premières, d'expertise technique et technique et de marchés fixes localement et internationalement. Elle était censée développer cette industrie, et la planification de cette industrie est particulièrement nécessaire et Le ciment est l'un des principaux matériaux les plus importants dont la disponibilité affecte grandement la réalisation des projets urbains et économiques, et à partir de cette logique, des études prévisionnelles ont été préparées pour l'avenir de cette industrie afin d'avancer, de se développer et de se développer.

Et la stabilité et le développement, que ce soit au niveau de l'institution ou au niveau de l'État, et si l'objectif principal de l'administration est d'atteindre les objectifs qui doivent inclure tous les domaines de travail de l'institution, et aucun plan ne peut être élaboré sans une prévision scientifique précise de ce qu'elle veut atteindre dans un laps de temps donné, c'est-à-dire le processus de prévision C'est la base sur laquelle le plan est construit.

Les méthodes de prévision sont l'un des principaux facteurs contribuant au développement et à la croissance des institutions économiques, car elles sont devenues un outil plus efficace et plus précis pour prédire les événements futurs, ce qui a contribué à accroître la préparation des institutions aux changements attendus dans divers domaines, y compris la pandémie Covid-19, qui a provoqué des changements sur les marchés mondiaux ainsi que le volume de la demande de produits, de sorte que la direction contemporaine est tenue de prédire avec précision la production, la consommation et la demande futures en raison de conditions ambiguës et de leurs évolutions rapides.

Et ceci comme indiqué pour esquisser le chemin qu'il doit emprunter s'il veut se développer dans son domaine d'activité ou au moins maintenir sa position actuelle dans son environnement commercial,

Les méthodes de prévision font partie des sujets qui gagnent en importance à travers la prévision des changements économiques qui permettent aux décideurs de formuler des politiques économiques pour les périodes à venir.

Introduction Générale

Les organisations qui réussissent dépendent des méthodes de prévision, car elles sont une source d'informations pour toutes les activités de l'organisation. Par conséquent, il était prioritaire de disposer des méthodes scientifiques modernes utilisées par l'organisation pour gérer la production ou en particulier pour estimer la taille de la prévision pour la production et la consommation futures.

Et il y a plusieurs considérations pour classer les méthodes de prévision, parmi celles-ci Classifications utilisées dans le processus de prédiction Il s'agit de faire la distinction entre les méthodes descriptives et les méthodes quantitatives, comme la méthode de lissage exponentiel.

Où notre étude dans cette recherche s'est limitée à l'étude de la prévision de la production et de la consommation futures de la cimenterie.

Problématique

Les objectifs de la Société cherche à savoir comment gérer mieux la production, le transport, la commercialisation et les exercices de toutes activités en rapport avec la matière du ciment produite. En se basant sur les différentes préoccupations pratiques de l'entreprise, la prévision de la production et consommation future comme axe de recherche joue un rôle très important. Grâce aux méthodes de prévision, on peut réduire les dépenses superflues tout en assurant l'exploitation rationnelle des équipements et par conséquent en augmentant le rendement de l'entreprise et on peut prolonger la durée de vie des investissements. C'est l'objectif visé dans ce travail.

- Parfois l'entreprise produit un surplus de ciment non vendu à cause de la stagnation de la demande des clients. Ce surplus en production cause un préjudice considérable à l'économie de l'entreprise ;
- Parfois l'entreprise produit moins de ciment à cause d'une organisation non liée à la demande ce qui provoque des dépenses supplémentaires qui sont liées à l'énergie électrique et à d'autre charge.

Par ailleurs, d'autres objectifs d'ordre général sont visés par l'implantation de la cimenterie au lieu sous indique tels que :

- Renforcement de l'effort national dans le domaine de l'emploi et la création des postes de travail.
- Correction dès qu'il y'a écart entre les régions, exige plus d'efforts de développement visant à rééquilibrer la régionale dans le domaine économique.

Introduction Générale

- Couvrir le déficit - en particulier régional - dans le domaine du ciment et matériaux de construction.
- Produire un produit qui est caractérisé par des normes internationales permettant la concurrence.
- Prévision de la production et consommation future de l'entreprise pour assurer le minimum de pertes d'énergie électrique et le minimum de ciment fabriqué en stock.

Hypothèse

- Les caractéristiques de l'industrie cimentière algérienne dépendent étroitement de l'environnement interne et externe.
- Les cimenteries sont les plus gros consommateurs d'énergie électrique haute tension ont fini par être sensibles, depuis une décennie, au système de tarification de ce type d'énergie et adaptent progressivement leur comportement en vue de réduire d'énergie. A partir d'un niveau de prix de l'électricité, les entreprises réagissent en adaptant leur consommation.

Nous présentons notre travail en cinq chapitres :

Pour mieux cerner l'étude mémoire à été divisé notre travail en cinq chapitres :

- Le premier chapitre expose la structure de l'entreprise et les différentes carrières, ainsi que la définition et les réserves géologiques.
- Le deuxième chapitre explication L'alimentation des entreprises en énergie électrique, et nous avons également fait une étude les charges électrique
- Le troisième chapitre explique les étapes de la production de ciment et la méthode de prévision de la production.
- Le quatrième chapitre représente les méthodes de recherche, ces différents types et leurs principes d'utilisations.
- Enfin, le cinquième chapitre consacré à l'étude de la production et la consommation en énergie électrique future de l'entreprise. Et nous avons également fait une étude de cas du broyeur cru et la consommation spécifique en énergie électrique.



Chapitre I

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

I.1. Introduction

La cimenterie d'El Ma Labiod Tébessa, est basée sur un nouveau style dans le département de production, intégrant la donne environnementale pour se conformer aux impératifs d'un développement durable. Et maintenir la continuité et la stabilité. En termes des prévisions de la production et consommation future de l'entreprise.

Un système de production regroupe l'ensemble des éléments matériels et immatériels qui sont nécessaires à la production de biens ou de services par une entreprise. Un système de production d'une entreprise est un processus d'addition de valeur à des biens ou à des services qui répondent à des objectifs de quantité, de prix, de qualité et de délai.

Aujourd'hui, la fonction Production est l'une des fonctions importantes de l'entreprise, dont l'objectif est de produire des biens et des services, afin de dégager une rémunération du capital engagé, qui pourra être ou non réaffecté à de nouveaux investissements.

La réalisation d'une cimenterie d'EL Ma Labiod de Tébessa était une nécessité pour le pays pour son développement, vu le manque est l'insuffisance du ciment qui ne peut satisfaire aux besoins d'une population qui augmente chaque jour et la demande croissant dans le secteur industriel et plus particulièrement dans le domaine de construction et des travaux publics. [1]

I.2. Généralités sur l'entreprise

La société de la cimenterie d'EL Ma Labiod de Tébessa, SCT est une filiale du groupe (E.R.C.E), de Constantine et sa capacité de production annuelle est de l'ordre de 525 000 tonne.

Alors que les objectifs de production étaient de 600 000 tonnes, le complexe a produit 651 500 tonnes. Ce dépassement des objectifs retenus en début d'exercice permet au SCT de réunir une des conditions de sa pérennité économique sur un marché national de plus en plus concurrentiel. [2]

Selon la même source, les pouvoirs publics ont choisi la région d'El Ma Labiod à 26 km au sud de Tébessa et à 35 km de la frontière algérienne et tunisienne.

Pour l'installation de ce complexe à cause de ses richesses géologiques offrant des strates argileuse et sablonneuse servant de matière première pour ce produit stratégique pour l'essor du secteur du bâtiment et des travaux publics. [1], [2]

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

I.3. Matières Premières utilisées pour la fabrication du ciment

La presque totalité des matières premières utilisées pour la fabrication du ciment proviennent de la carrière calcaire, de la carrière argile, de la carrière du sable, du gypse et du minerai de fer. Les opérations technologiques nécessaires à la préparation de la roche, comportant : le forage, l'abattage à l'explosif, le chargement et le transport de la matière au concassage.

Les principales matières premières (calcaire, argile et les sables) sont extraites dans des carrières proches de l'usine de fabrication. Après le concassage primaire, les matières premières sont transportées vers l'usine où elles sont stockées et préparées. D'autres matériaux tels que la bauxite, le minerai de fer, le laitier de haut fourneau ou le sable de fonderie sont approvisionnés par d'autres sources. [1], [3]

Calcaire : carrière 230 ha (à 2 km).

Argile : carrière 70 ha (à 10 km).

Sable : carrière 21 ha (à 6 km).

Gyps : Ain M'Lila (à 100 km).

Fer : mine Boukhadra (à 70 km).

I.4. Les différents procédés cimentiers

IL existe 4 méthodes de fabrication du ciment, [1] mais dans la cimenterie d'El Ma Labiod Tébéssa, le ciment n'est fabriqué que par la voie sèche.

- a. Les voies sèches. Le procédé utilisant des «fours longs» n'est plus installé, mais il existe encore des lignes de production en service. Les fours à préchauffeurs avec ou sans précalcinateurs sont les seuls procédés actuellement installés.

D'autres techniques consistent à agglomérer la matière sous forme de granules (voie semi-sèche) ou à la transformer en une pâte fluide (voie semi-humide ou humide).

- b. Les voies semi-humide et semi-sèche ces technologies, utilisées il y a une trentaine d'années, présentaient l'avantage d'une consommation calorifique plus faible que la voie humide.

Les matières premières étaient préparées sous forme de boudins via des « filtres-presses » (procédé semi-humide, technique actuellement abandonnée) ou sous forme de granules via un « granulateur », plateau tournant incliné – où la matière.

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

c. La voie humide. Ce procédé ancien (matières premières mélangées à l'eau avant broyage et homogénéisation) est, d'une façon générale, remplacé par la voie sèche (matières premières broyées, homogénéisées et acheminées à sec vers le four). La voie humide est utilisée depuis longtemps.

C'est le procédé le plus ancien, et le plus simple mais qui demande le plus d'énergie électrique et calorifique.

I.5. Processus de fabrication du ciment

La majorité des cimenteries modernes utilise le procédé dit « en voie sèche », le procédé de fabrication du ciment consiste à « cuire », à haute température (1450 °C à 1500 °C), un mélange de calcaire et d'argile, convenablement dosé et broyé sous la forme d'une « farine crue », ajouts convenablement choisis (du gypse, notamment), devient le ciment bien connu de tous, pour les maçonneries, les travaux du bâtiment et les ouvrages d'art. La majorité des cimenteries modernes utilisées le procédé dit « en voie sèche », qui est le plus économique en consommation d'énergie (environ 0.9 KWh, par kg de clinker). [18]

Le procédé de fabrication du ciment est un processus industriel dans lequel de grandes quantités de matières premières sont transformées en produits commerciaux tels que le clinker ou le ciment.

Les méthodes utilisées pour l'extraction des matières premières dans les cimenteries dépendent des natures mécaniques des matériaux à extraire.

De l'extraction des matières au transport, en passant par la cuisson, suivez pas à pas la fabrication du ciment en cliquant sur chacune des étapes :

a. La carrière : Les matières premières sont extraites de la carrière généralement à ciel ouvert le calcaire est extrait par abattage en grande quantité au moyen d'explosifs, l'argile est extraite à l'aide des pelles mécaniques, elle est mélangée d'argile brune et d'argile rouge, le transport des matières ce fait par camion jusqu'au concasseur.

b. Le concassage : Est une opération destinée à la réduction des blocs de calcaires qui sont obtenus pendant l'extraction. Le concassage est réalise par un concasseur a battoirs qui est place justes près de la carrière, ce concasseur est constitue deux rotors primaire et secondaire. Ce concasseur comporte aussi une chaudière pour chauffer les écrans de chocs et les parois du concasseur afin d'éviter le colmatage.

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

c. Préparation de la crue : Pour la préparation du cru, on utilise trois constituants en générale qui sont le calcaire, l'argile brune, l'argile rouge pour la fabrication du CPA325 CPA400 CPJ45.

Après le concassage de ces trois constituants de base on obtient une granulométrie de 0 à 25 mm une prise d'échantillon pour effectuer les analyses afin de déterminer la composition, les constituant sont acheminés vers l'usine par des transporteurs couvert puis ce mélange est stocké dans un hall de Pré-homogénéisation le stockeur forme deux tas l'un en constitution, l'autre en reprise.

Une seconde correction est prévue juste avant le broyage cru, cette correction se fait pour ajouter de calcaire et minerai de fer, après correction du cru, le mélange est acheminé à l'aide de transporteurs à barbes vers un concasseur sécheur qui réduira la granulométrie de 0 à 7 mm.

d. Le broyage du cru : Le broyage du cru est une opération qui consiste à préparer un mélange homogène (la farine). La farine obtenue est stockée dans un silo après avoir subi une opération d'homogénéisation pour obtenir une composition chimique régulière.

e. Homogénéisation : Les deux silos servants de stockage et fonctionnement en continu, l'alimentation, le mélange et la vidange sont simultanées, la farine cru expédiée par l'air lift est dégagé dans la boîte de récupération.

La capacité de stockage de chaque silos est de 10, 000T, chaque silos est équipé de deux sorties latérales pouvant assurer la totalité du débit farines vers le four, il est donc possible de fonctionner avec un ou deux silos.

f. Zone de cuisson : La ligne de cuisson est constituée par :

- **Préchauffer ou cyclones :** Les gazes réchauffent la poudre crue qui circule dans les cyclones en sens inverse, par gravité. La poudre s'échauffe ainsi jusqu'à 800 °C environ et perd donc son gaz carbonique (CO₂) et son eau. C'est un échangeur a contre courant destiner à préchauffer la farine avant son entrée dans le four, en récupérant la chaleur de gaz sortant du four « environ égale à 100 °C ».

Par le fait que l'argile et le calcaire ont la même densité (2,70 g/cm³), un exhausteur monté sur les cyclones aspire les gazes de combustions et le mélange carrière, faisant une tornade garantie que tous les grains de la crue subite la chaleur des gazes.

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

- **Four rotatif** : Le four constitue par une virole cylindrique de 90m de long et de 5.6m de diamètre protégé par de la brique réfractaire), incliné selon un angle de 1 à 4 degrés par rapport à l'horizontale. Le calcaire est chargé à l'extrémité supérieure, le combustible et l'air comburant étant brûlé à l'extrémité inférieure.
- **Refroidisseur** : Le refroidisseur a pour rôle d'abaisser la température du clinker tombant du four à une température d'environ 1450 °C jusqu'à 80-100 °C. Il est équipé d'une batterie de ventilateurs fournissant l'air de refroidissement.

g. Stockage du clinker : Le clinker est stocké dans des silos à clinker qui d'une part, confèrent à l'atelier de broyage du clinker (étape suivante) une autonomie de fonctionnement en cas d'arrêt imprévu du four rotatif et d'autre part, protègent le clinker d'une dégradation physico-chimique que causerait le stockage prolongé à l'air libre.

h. broyage du clinker : Le broyage du clinker s'effectue à l'aide d'un broyeur à deux compartiments à commande centrale travaillant en circuit fermé avec un séparateur dynamique à cyclone extérieur.

- L'air de ventilation du broyeur assurée des conditions d'opération favorables.
- L'évacuation du ciment sur les silos de stockages est assurée par une pompe pneumatique.

Le clinker peut être complété par toute une gamme de constituants ajoutés sous forme pulvérulente. [4] Cette opération est déterminante dans la phase finale de la fabrication du ciment.

Les propriétés de résistance d'un ciment ne sont pas déterminées seulement par sa teneur en divers minéraux de clinker mais surtout par sa finesse de broyage il faut que les particules du ciment soient inférieures à 100 microns et que la surface de ces particules avec le milieu extérieur sont maximum pour faciliter l'hydratation au moment de la prise.

i. Stockage du ciment : Le stockage du ciment est fait dans des silos de capacité unitaire qui peut atteindre 10,000T de

j. Les expéditions : C'est une comprennent le stockage du ciment dans des silos de ciment pour alimenter par la suite les ateliers d'ensilage pour l'expédition du ciment.

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

L'extraction est réalisée au moyen d'un système d'élévation du ciment se trouvant au fond du silo et un ensemble d'élévateurs assurant son acheminement vers les ensacheuses ou vers les portes de chargement en vrac.

La figure ci-dessous démontre la chaîne de production de la cimenterie d'El-Ma-Labioud Tébessa.



Figure I.1. : Chaîne de production de la cimenterie d'El-Ma-Labioud.

I.6. La normalisation de l'entreprise

La société des ciments de Tébessa (SCT) vient d'être certifiée ISO 9001/95 par l'Agence Française (AFAQ). La SCT est la deuxième cimenterie Algérienne. Du groupe ERCE à être certifiée après celle d'Ain-Touta (Scimat). Ces deux cimenteries produisent à elles seules plus de 20% de la production nationale. [5]

La cimenterie d'El-Ma-Labioud a été créée en vue de la supervision des activités de production et de commercialisation et de l'exercice de toutes les activités concernant le ciment et les matériaux de construction au niveau national et à l'étranger, et dont les fonctions sont :

- La supervision administrative de l'usine.
- Programmation pour la vente de 20% de la production nationale.

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

I.7. Organigramme générale de la SCT :

Comme toute autre entreprise, la cimenterie d'El-Ma-Labioud est constituée de différents départements qui veillent sur le bon fonctionnement de cette dernière. [6] voir schéma (figure I.2.)

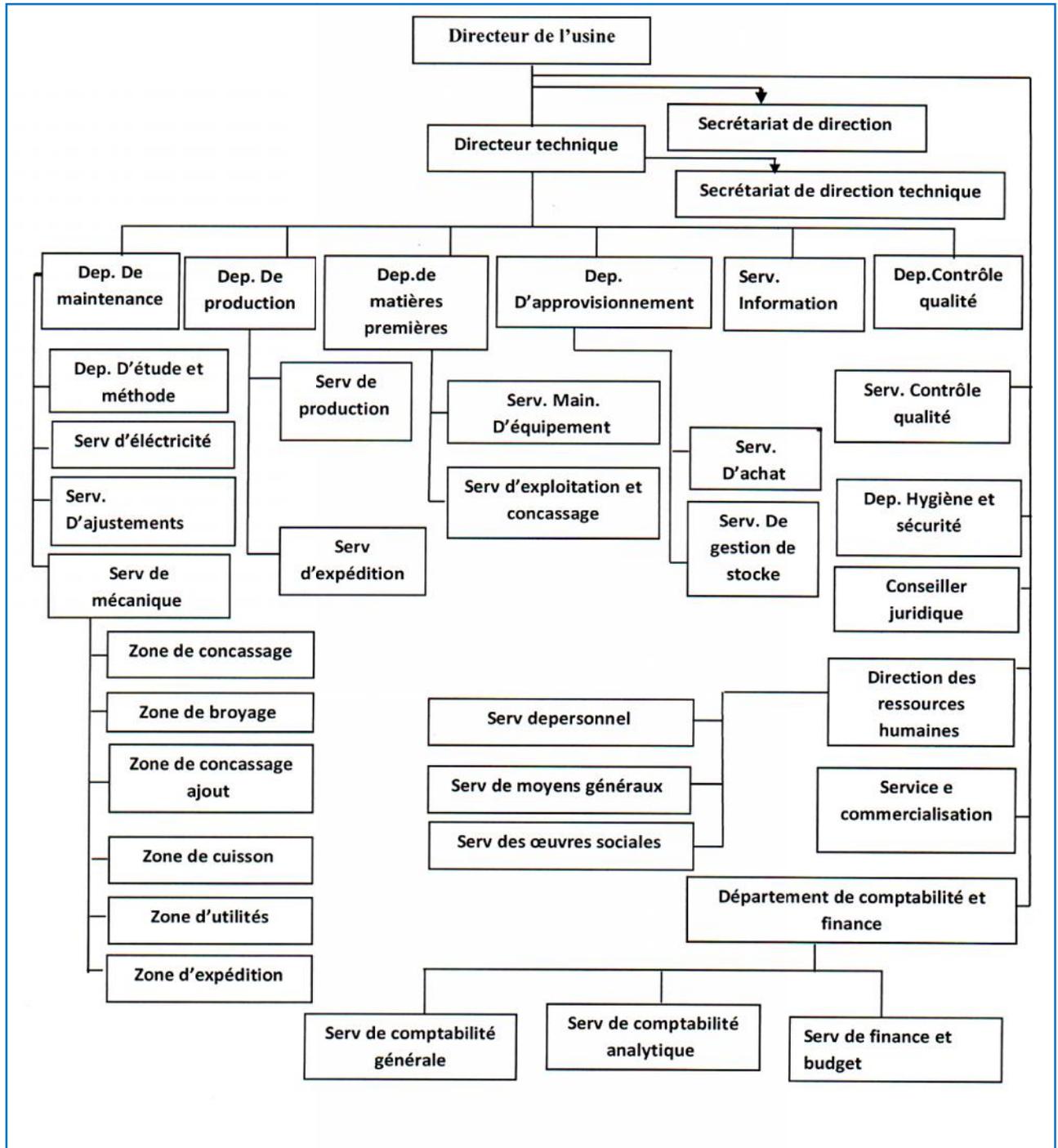


Figure I.2. : Organigramme représentatif de la structure de la cimenterie d'El Ma Labioud Tébessa

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

I.8. Consommation de l'entreprise

Généralement, toutes les cimenteries dépendent de la même consommation, parce qu'il est considéré comme faisant partie de ses bénéficiaires. Par conséquent, chaque entreprise cherche à contrôler sa consommation. Surtout la consommation de l'énergie électrique qui est la partie la plus importante de l'entreprise, par rapport au coût de la production.

L'objet de ce chapitre porte sur la consommation globale de la cimenterie d'El-Ma-Labioud Tébéssa, en termes de volume, de nature, d'évolution, et enfin en termes de relation avec les grandeurs économiques.

I.9. Les différentes consommations de l'entreprise

I.9.1. Consommation matières premières

a. Calcaire : Les calcaires sont des roches sédimentaires, tout comme les grès ou les gypses, facilement solubles dans l'eau (voir karst), composées majoritairement de carbonate de calcium CaCO_3 mais aussi de carbonate de magnésium MgCO_3 . [1]

b. Argile : L'argile désigne une matière rocheuse naturelle à base de silicates et/ou d'aluminosilicates hydratés de structure lamellaire, provenant en général de l'altération de silicates à charpente tridimensionnelle, tels que les feldspaths. Elle peut être une matière localement abondante, très diverse, traitée et/ou raffinée avant emploi, à la fois meuble ou plastique (souvent après addition d'eau) ou à pouvoir desséchant, absorbant ou dégraissant voire à propriétés collantes ou encore réfractaires, pour servir par exemple autrefois selon des usages spécifiques, souvent anciens, au potier et au briquetier, au maçon et au peintre, au teinturier et au drapier, au verrier et à l'ouvrier céramiste. [1]

c. Sable : le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0.063 (limon) et 02 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires de coquillage et de corail.

I.9.2. Matières achetées :

- Minerai de fer.
- Gypse.
- Ajouts (laitier, tuf)

a. Le minerai de fer : est une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxydes, comme l'hématite. Les minerais de fer ont une teneur en fer variable selon le minéral ferrifère ; sachant également que l'isomorphisme, presque toujours présent dans les minéraux naturels réduit la teneur théorique.

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

b. Gypse : Le gypse est une espèce minérale composé de sulfate di hydraté de calcium de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Le mot gypse désigne ainsi à la fois un corps chimique composé minéral naturel et une roche évaporite majeure.

c. Ajouts (laitier, tuf) : Les adjuvants pour matériaux cimentaires sont des produit chimique ajouté au matériau cimentaires tel que les coulis, les mortiers de ciment et les bétons de ciment pour modifier leurs caractéristiques. [1] Les ajouts de cet adjuvant, réalisé lors du malaxage, sont le plus souvent inférieurs à 5% en masse de ciment.

Les réserves des matières premières utilisées pour la fabrication du ciment sont présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau I.1. : Réserves de la matière première utilisée en fabrication du ciment

Désignations	Distance	Superficie (ha)	Réserves (T)	Situation
Calcaire	500 m	230	84 300 000	En
Argile	10 km	70	31 150 000	/
Sable	120 km	/	7 850 000	Concession
Minerai de fer	60 km	/	/	Boukhadra
Gypse	70 km	/	/	Bir Elater

La consommation antérieure en matières premières est représentée dans le tableau ci-dessous : [3]

Tableau I.2. : Consommation antérieure en matières premières

Années	Consommation matières premières en tonne					
	Calcaire	Argile	Sable	M.fer	Ajouts	gypse
2015	621 543	207 304	9174	15 575	113 822	40 128
2016	570 954	193 684	8184	13 117	106 115	35 988
2017	550 262	172 188	4476	12 883	99 498	38 254
2018	646 969	183 452	7404	15 913	59 721	26 689
2019	841 714	143 700	4548	11 581	62 805	26 285

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

- Représentation du diagramme de la consommation des matières premières :

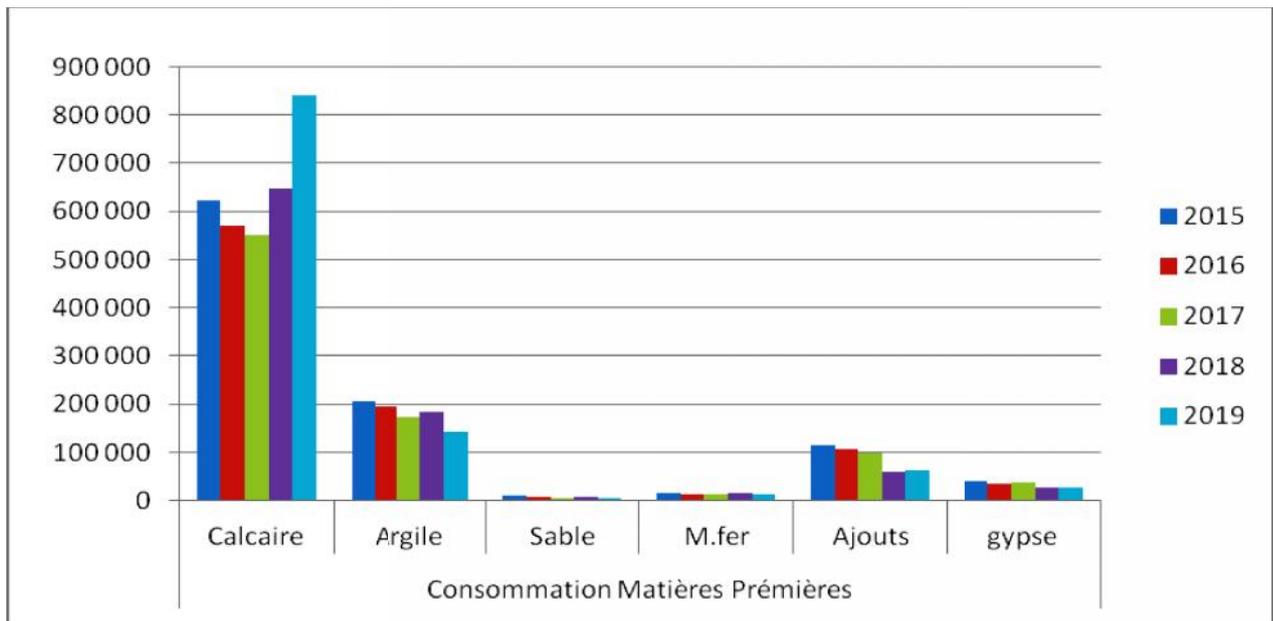


Figure I.3 : Représentation du diagramme de la consommation en matières premières.

On a constaté que l'année 2015, la consommation est plus élevée par rapport aux années postérieures à cause de la stagnation de la demande du ciment.

I.9.3. Consommation de l'eau

L'eau est essentiellement consommée dans : [3]

- Le processus de broyage clinker.
- Le conditionnement des gaz de four pour le dépoussiérage électrostatique.
- L'arrosage des pistes, des oliviers et des espaces verts.
- Les utilités sanitaires.

Pour les autres ateliers de ligne de production, l'eau utilisée est recyclée.

Action réalisée pour réduire la consommation :

- Élimination des fuites dans le réseau d'alimentation.
- Installation des nouvelles pompes (atelier cuisson, ciment et cru)
- Installation des compteurs au niveau des puits pour suivre la consommation journalière.
- Utilisation d'ajout à forte teneur en humidité (laitier) et d'adjuvant de montre dans le broyage clinker.

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

- La consommation antérieure en eau est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.3. : Consommation antérieure en eau

Années	Consommation d'eau (m ³)				Total (m ³)
	1 ^{er} trimestre	2 ^{ème} trimestre	3 ^{ème} trimestre	4 ^{ème} trimestre	
2015	2 695	2 120	3 692	3 668	12 175
2016	3 313	4 733	2 466	881	11 393
2017	4 628	1 554	7 206	1 109	14 497
2018	738	852	1 492	15 700	32 210
2019	12 500	11 210	15 600	14 070	53 380
Total	23 874	20 469	30 456	35 428	123 655

I.9.4. Consommation de l'énergie calorifique

L'énergie calorifique que sont essentiellement liés à la cuisson des matières premières dans le four, les matériaux devant être portés à une température de l'ordre de 1 450 à 1500°C. Des besoins calorifiques annexes sont cependant nécessaires pour assurer le séchage des produits d'addition (argile, laitier, etc.) qu'il vaut mieux protéger des intempéries.

Les besoins calorifiques dépendent principalement des facteurs suivants : [7]

- Type de procédé utilisé ;
- Conception des équipements (la récupération thermique dépend d'équipements tels que : refroidisseur, nombre d'étages du préchauffeur, etc.) ;
- Fiabilité de fonctionnement des lignes de cuisson.

La consommation antérieure en énergie calorifique est représentée dans le tableau 2.3. Ci-dessous : [3]

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

Tableau I.4. : Consommation antérieure en énergie calorifique.

	Consommation calorifique MJ/t				
	2015	2016	2017	2018	2019
Janvier	3 266 789	5 132 678	4 646 466	5 334 119	4 476 628
Février	4 756 092	3 192 705	3 226 400	2 932 540	3 702 296
Mars	632 493	9 442	4 491 257	5 083 418	4 069 820
Avril	424 181	3 167 736	1 710 130	5 020 199	214 674
Mai	4 684 268	4 897 264	5 108 810	5 301 226	4 530 696
Juin	738 760	4 350 728	4 704 728	5 097 896	4 363 537
Juillet	702 277	4 450 342	4 468 273	4 157 000	3 219 532
Août	593 957	4 747 001	4 291 278	5 220 000	3 732 771
Septembre	4 982 748	4 413 120	3 642 657	5 098 000	1 244 273
Octobre	3 844 539	4 656 384	3 022 433	4 838 897	4 681 868
Novembre	5 023 158	3 256 894	4 971 407	5 002 664	3 207 359
Décembre	4 883 766	4 943 613	4 461 521	4 555 827	4 474 955
Total	34 533 028	47 217 907	41 027 703	57 641 786	41 918 409

Représentation graphique de la consommation en énergie calorifique du tableau précédent :

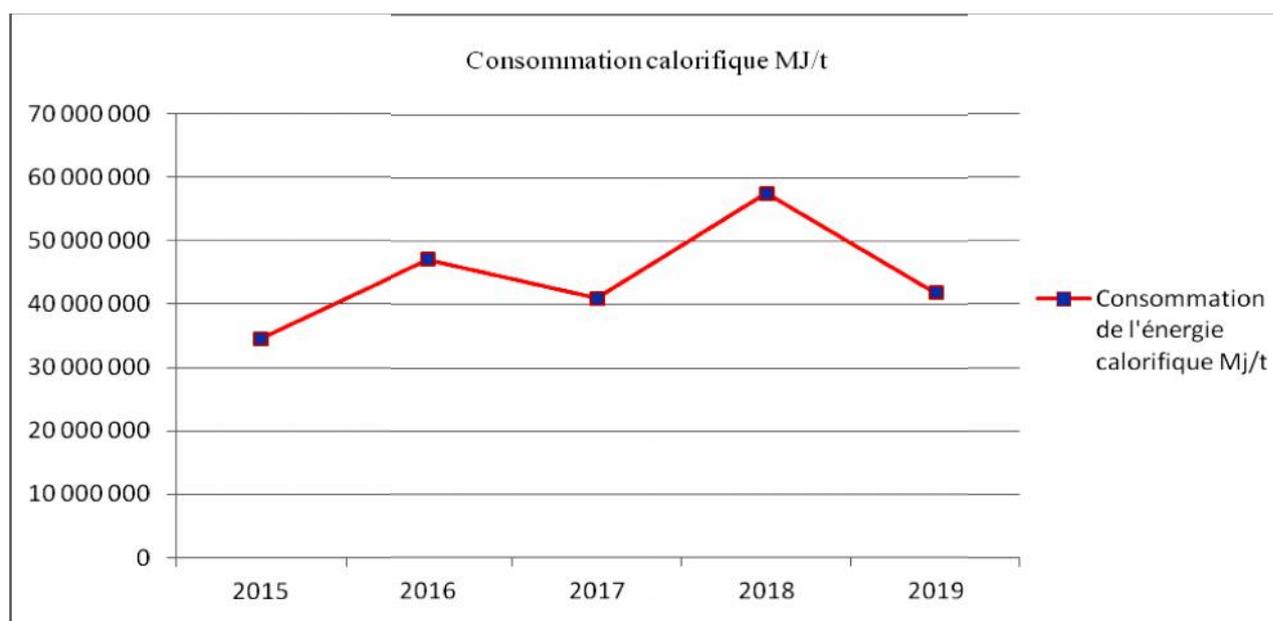


Figure I.4 : Représentation graphique de la consommation en énergie calorifique

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

I.9.5. Consommation de l'énergie électrique

Principalement, la consommation de l'énergie électrique des cimenteries répartie comme suite : [5]

- Préparation de la matière : 30% (Concassage – broyage cru).
- Production du clinker : 30% (Four – appareils annexes).
- Production du ciment : 40% (broyage ciment).

En matière de fabrication de ciment, le broyage du ciment est, dans l'ordre d'importance, le premier consommateur d'énergie électrique, et en tant que tel, il revêt un intérêt considérable pour les recherches sur les économies d'énergie.

Environ 40% de l'énergie électrique nécessaire à la production d'un ciment de qualité standard sont utilisés pour le broyage de ce ciment. [4]

La consommation antérieure en énergie électrique est représentée dans le tableau 2.3. Ci-dessous : [3]

Tableau I.5. : Consommation antérieure en énergie électrique.

	Consommation électrique KW/h				
	2015	2016	2017	2018	2019
Janvier	4 445 000	7 085 000	6 194 300	5 499 000	5 115 000
Février	6 174 200	4 282 000	5 827 400	3 537 000	4 540 000
Mars	6 296 900	497 300	1 947 500	5 842 000	5 430 000
Avril	4 677 400	4 141 000	432 600	5 025 000	2 319 000
Mai	6 194 000	6 481 600	6 191 000	5 018 000	5 571 000
Juin	6 459 100	5 878 700	6 737 000	4 964 000	4 545 000
Juillet	6 404 200	5 866 300	6 076 000	5 785 643	4 301 000
Août	5 139 500	6 275 900	6 073 000	5 783 000	4 160 000
Septembre	6 778 600	5 766 900	5 145 000	5 973 000	2 164 000
Octobre	5 255 500	6 169 000	4 408 000	5 785 643	5 621 000
Novembre	6 640 000	4 317 200	6 049 000	5 783 000	3 895 000
Décembre	6 604 900	6 618 000	6 009 000	5 973 000	4 592 000
Total	71 069 300	63 378 900	60 657 200	64 968 286	52 253 000

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

Représentation graphique de la consommation en énergie électrique du tableau précédent :

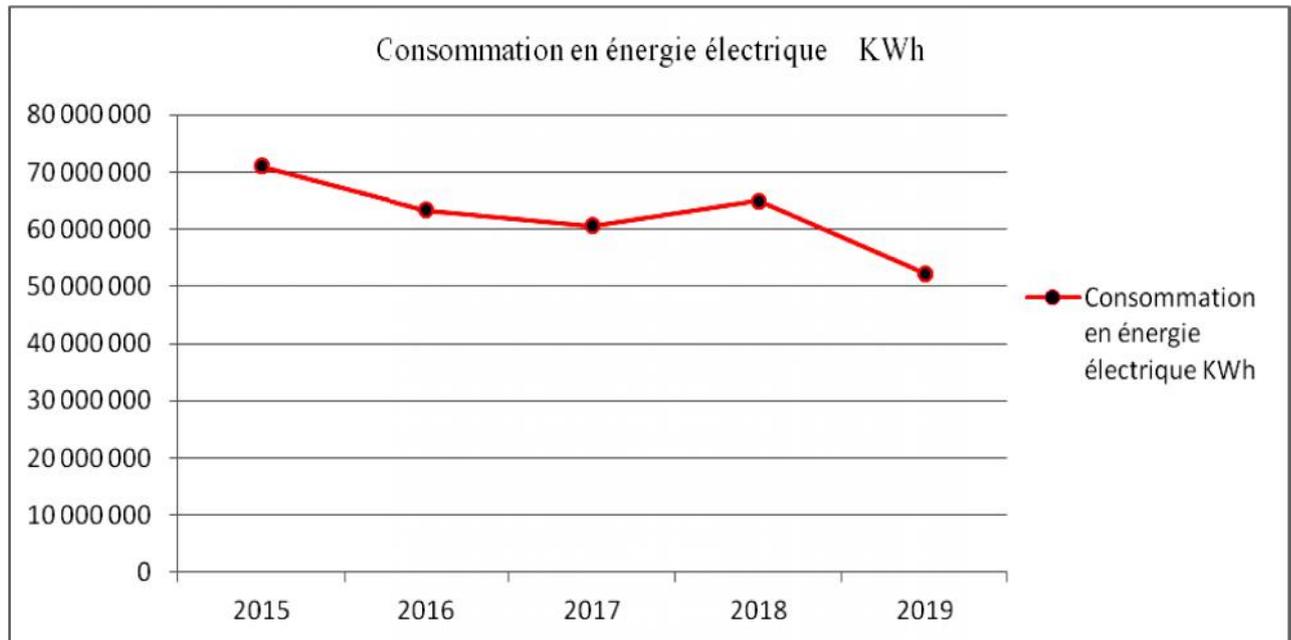


Figure I.5 : Représentation graphique de la consommation en énergie électrique

I.9.5.1. Révélation des consommateurs régulateurs de l'énergie consommée dans la cimenterie

La consommation de l'énergie électrique varie entre 70.7 et 159.5 KWh/tonne de ciment. Elle est liée principalement au broyage des matières premières et du clinker.

Le tableau 3.6 ne met que très partiellement en évidence l'intérêt énergétique de certains procédés de broyage par rapport à d'autres. Ceci vient de multiples raisons telles que :

- ∅ Extrême diversité des produits à broyage : en particulier pour le ciment, la finesse recherchée (la consommation électrique en dépend) est fonction de la qualité du ciment recherchée et de la qualité du clinker broyé ; [7]
- ∅ L'installation de façon très rentable des séparateurs à haute performance sur des ateliers de broyage en "circuit ouvert". [8]

Il est à noter que les ventilateurs sont également de gros consommateurs d'énergie électrique. À titre d'exemple, [8] la puissance du ventilateur principal installé sur un broyeur vertical est du même ordre de grandeur que celle du moteur du broyeur. [9]

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

Les ventilateurs constituent formidable levier d'économie d'énergie du fait de la nature quadratique de la charge. En régime normal, les gros ventilateurs consomment environ 9% du débit nominal, ce qui représente encore un potentiel d'économie de 20% de nos jours, les ventilateurs des nouvelles usines sont en général commandés en vitesse variable. [10]

Le remplacement du parc existant laisse augurer d'énormes gisements d'économie d'énergie, tout particulièrement en ce qui concerne les ventilateurs des refroidisseurs.

La consommation électrique dépend aussi de la qualité de l'ingénierie mise en œuvre pour la conception de la ligne de production (usine en « ligne » avec un nombre limité de transporteurs, transport par convoyeur plutôt que pneumatique, etc.).

Le manque de fiabilité des équipements est un facteur important de surconsommation électrique, en fonction de la fréquence et de la durée des arrêts et redémarrages (les ventilateurs ne sont pas arrêtés lors d'arrêts momentanés, par exemple). [7]

La production d'électricité étant souvent réalisé par des centrales thermiques brûlant des combustibles minéraux (charbon), ou pétroliers (fuel-oil, gaz), toute économie dans la consommation d'électricité permet de réduire le facteur énergétique, mais aussi les émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'électricité.

Tableau I.6 : Consommation énergétique du broyeur cru et ciment

Procédé	Consommation électrique moyenne (KWh/t)
Broyage « cru »	
Boulets, voie humide	20 (7/29.6)
Boulets, circuits ouverts	22 (21.9/26.7)
Boulets, circuits fermés (équipés de séparateurs)	24 (24.2/40.6)
Vertical	19 (18.6/32.2)
Broyage ciment	
Boulets, circuits ouverts	46 (26/93)
Boulets, circuits fermés (équipés de séparateurs)	51 (28/128)
Presse (en prébroyage) + boulets	42 (29.6/64.1)
Horomill	37 (28.5/39.6)
N.B : Les valeurs indiquées sont des valeurs moyennes (valeurs extrêmes données entre parenthèses) définies à partir de nombreuses usines installées à travers le monde.	

CHAPITRE I Présentation de la cimenterie SCT

I.9.5.2 Sources d'économie d'énergie électrique dans la cimenterie

Les différents audits énergétiques réalisés dans la cimenterie ne se sont basés que sur la facturation de l'énergie électrique et définissent surtout le coût de l'énergie ramené à une tonne de ciment produit par cimenterie. Ce travail ne cible pas en réalité les sources réelles de surconsommation d'énergie électrique.

Chaque solution, envisagée après une étude généralement menée par le cimentier, avec le concours éventuel d'experts ou ingénieurs conseils, est à valider sur le plan technico-économique avec les ingénieurs et constructeurs spécialisés sur l'ensemble des aspects énergétique, production, qualité et impact sur l'environnement. [7]

Ces dernières sont à localiser au niveau du processus technologique et surtout au niveau de l'exploitation des équipements gros consommateurs d'énergie électrique.

Les actions permettant une réduction de la consommation de l'énergie électrique dans le système de production concernant les deux principales composantes :

- Equipements fixes : par une maintenance préventive et un contrôle de la marche par des systèmes modernes et adaptés (GMAO, GFE ...).
- Flux matières : par la régularité qualitative, granulométrique et quantitative.

I.10. Conclusion :

D'après notre analyse de la cimenterie d'El Ma Labiod Tébessa tout cet enchaînement d'ateliers entraînant le processus de fabrication du ciment au sein de l'entreprise, ne serait entièrement effectif que si ce dernier est maîtrisé et géré dans un cadre garantissant la disponibilité et la performance des équipements tout en assurant la qualité de ciment fabriqué selon les normes et la demande des clients.

Après étude sur les différentes consommations de l'entreprise, on a constaté que la consommation en énergie électrique représente une part très importante dans le coût de la tonne de ciment. Tandis que la part de l'eau occupe la deuxième position après l'énergie électrique. Par contre l'énergie calorifique représente une part non négligeable dans le coût total de la tonne de ciment.

la cimenterie d'El Ma Labiod Tébessa dispose une grande gamme des équipements industriels et elle présente un plus pour l'économie nationale.

Chapitre II

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

II.1. Introduction

L'alimentation des entreprises en énergie électrique, peut être assurée par le poste régional d'interconnexion où bien par le poste local du système énergétique, ces différents postes alimentent les différents postes de transformation de différentes entreprises qui alimentent les différents postes et les différents consommateurs de différents ateliers.

Ces éléments sont reliés électriquement par des lignes aériennes et des câbles souterrains relatifs à des normes de courant de charge et de tension en vigueur. Quant aux considérations éco énergétiques dans l'industrie des mines et des ciments,

Le schéma principal d'alimentation des entreprises, dépend non seulement de la tension et du courant de charge, mais aussi, dépend de la catégorie des consommateurs, de la configuration des entreprises et de la vitesse d'avancement des travaux miniers dont la forme peut être : maillée, radiale ou arborescente.

II.2. Choix des paramètres rationnels des éléments du système d'alimentation d'une entreprise

On a avantage à relier les réseaux d'alimentation des entreprises par des lignes d'interconnexion et ceci pour trois raisons : [11]

- Stabilité ;
- Continuité de service ;
- Economie.

La motivation de la recherche appliquée à l'économie d'énergie électrique au stade d'élaboration du projet est d'optimiser les paramètres électriques et technologiques suivants :

- Choix de la tension d'alimentation ;
- Choix de l'emplacement des sous station de distribution ;
- Choix de la section économique ;
- Choix des transformateurs éco énergétiques ;
- Choix des moteurs éco énergétiques ;
- Choix des réparations des charges ;
- Choix de la tarification d'énergie ;
- Choix des moyens de compensation des pertes actives et réactives ;
- Choix de la protection des installations et des personnes.

La plupart des problèmes cités portent un caractère d'optimisation, dont la solution la plus efficace peut être trouvée en vertu de l'analyse d'un ensemble des variantes équivalentes.

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

II.3. Pertes d'énergie électrique

II.3.1. Types des pertes

Un transformateur peut occasionner les types de pertes d'énergie suivants :

- Perte à vide.
- Perte en charge.
- Perte due au refroidissement.
- Perte supplémentaires, produites par les harmoniques.

II.3.2. Classification des pertes d'énergie électrique

Il est connu que le processus de transfert d'énergie électrique s'accompagne des pertes. Lors du transfert, une partie de la quantité d'énergie à transporter dans les conducteurs est dissipée par effet joule. De là seulement apparaît la signification matérielle du concept de « pertes d'énergie électrique ».

Les pertes d'énergie ont lieu dans tous les éléments du système électrique à savoir :

- Génératrices ;
- Transformateurs ;
- Lignes électriques ;
- Consommateur d'énergie (moteurs électriques, installations thermiques, ...etc.).

L'ensemble du système électrique, de la production à la distribution, le seuil des pertes globales, pertes nominales augmentées des pertes supplémentaires considéré comme acceptable par les experts internationaux est de 15 à 16 %. Ce pourcentage inclut les pertes techniques et les pertes non techniques. [12]

Pour faire face aux très nombreuses causes des pertes d'énergie électrique d'une entreprise industrielle, même si les phénomènes sous-jacents ne sont pas parfaitement compris. Nous avons préféré le mode de classement des pertes adopté dans notre recherche selon les critères employés dont l'origine et l'enregistrement.

II.3.3. Origine des pertes d'énergie électrique dans un réseau d'alimentation

Les pertes électriques actives dans le réseau se composent essentiellement comme suit : [13]

- a.** Les pertes liées à la magnétisation des transformateurs dès qu'ils sont sous tension (« perte fer » ou « pertes à vide ») ;
- b.** les pertes liées à l'échauffement des enroulements des transformateurs lorsqu'ils sont parcourus par des courants (« pertes cuivre » ou « pertes en charge ») ;

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

- c. Les pertes liées à l'échauffement des conducteurs des liaisons aériennes et des liaisons souterraines en relation avec puissances acheminées par ces ouvrages.

Les pertes techniques de tous les éléments consommateurs d'énergie qui composent les réseaux de transport et de distribution (liaisons et postes de transformation), sont principalement les pertes par effet Joule (80 % des pertes sur le réseau de transport sont dues à l'effet Joule sur les liaisons) mais aussi les pertes par effet couronne (décharge électrique entraînée par l'ionisation du milieu entourant un conducteur), ainsi que les pertes des transformateurs et des auxiliaires des postes [HQT-10, 2000],

II.3.4. Classification des pertes d'énergie électrique selon l'origine :

La classification des pertes d'énergie électrique selon l'origine, montre, que les pertes totale est une composante sommaire des pertes nominales et des pertes supplémentaires. [11]

La première composante engendre l'ensemble des pertes en projet, ces pertes sont inévitables, dans lesquelles les installations électrique fonctionnent au voisinage du régime optimal. Tandis que la seconde composant est considérable, se manifeste et accroisse dès qu'il apparaît un dérèglement dans le système. Alors, l'ajustement des paramètres de réglage pour amener le procédé de plus en plus proche des contraintes de procédé, ne peut se faire sans connaître le critérium d'optimisation.

Tableau II.1 : Classification des pertes d'énergie électrique selon l'origine

Pertes d'énergie industrielles (Enregistrées)	
<ul style="list-style-type: none">❖ Pertes d'énergie supplémentaires (enregistrées + non enregistrées) :• Pertes à cause d'un mauvais facteur de puissance.• Pertes à cause de la détérioration de la qualité d'énergie.• Pertes à cause de l'irrationalité de processus technologique.• Pertes à cause de la l'imperfection du système d'alimentation.• Pertes à cause de la désorganisation de la production planifiée.	<ul style="list-style-type: none">❖ Pertes d'énergie nominales. (enregistrées non enregistrées).❖ Pertes en projet, liées aux progrès Technique et scientifiques.

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

II.3.5. Classification des pertes d'énergie électrique selon l'enregistrement

Les pertes sur les réseaux électriques sont divisées en deux catégories :

- Les pertes techniques
- Les pertes non techniques

II.3.5.1. Les pertes techniques

Les pertes techniques constituent une préoccupation grandissante pour l'ensemble de la production et distributeurs d'énergie électrique. Selon les pays, le coût de ces pertes est soit répercuté sur les consommateurs, soit pris en charge par les gestionnaires des réseaux de distribution électrique. Par ailleurs,

Les gestionnaires des réseaux de transport et de distribution d'électricité doivent veiller à la compensation des pertes électriques et doivent donc en prévoir le volume et les achats d'électricité correspondant, afin de pouvoir satisfaire la demande. [14]
Les pertes techniques proviennent généralement de la production et du transit sur le réseau. [15]

- Les pertes techniques de la production sont liées aux moyens de production et aux auxiliaires ; l'amélioration de l'efficacité et de l'exploitation des outils de production permet de réduire ces pertes.
- Les pertes techniques de transport et de distribution proviennent du transit sur le réseau. Elles sont liées à un mauvais rendement du réseau suite au déséquilibre des charges, aux pertes actives et réactives, au mauvais facteur de puissance etc.

Ces pertes sont évaluées en faisant la différence entre les injections et les soutirages entre les différents niveaux. Elles représentent 5% à 10% maxi (distribution) et 3% (transport) des pertes totales.

Des méthodes de prévision grâce à des simulations (load flow) permettent d'en assurer la maîtrise. Il est toutefois important de noter que les outils d'analyse et d'aide à la décision pour le transport et de distribution ne sont pas les mêmes tant les problèmes rencontrés à chaque niveau sont de nature différente. [11]

II.3.5.2. Les pertes non techniques

Les pertes non techniques représentent l'énergie consommée mais non enregistrée constitue la composante principale des pertes non techniques. S'il paraît aisé d'en estimer le niveau global par déduction des pertes globales ou de la différence entre l'énergie injectée au réseau de distribution et l'énergie effectivement facturée, les origines de ces pertes ne sont pas toujours évidentes et elles ne peuvent être mesurées précisément, il est estimé que dans certains pays en développement. [15]

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

Les pertes de nature non technique peuvent atteindre 50% de la quantité totale d'électricité injectée dans le réseau ! Des facteurs endogènes (mauvaise maîtrise de la facturation, agents malhonnêtes, etc.) et exogènes (utilisation frauduleuse de l'énergie, etc.) aux sociétés de distribution sont considérés. [11]

Tableau II.2 : Classification des pertes d'énergie électrique selon l'enregistrement.

Pertes d'énergie industrielles (Enregistrées)	
<p>❖ Pertes techniques :</p> <ul style="list-style-type: none">• Pertes de production enregistrées.• Pertes de transports et de distributions enregistrées.	<p>❖ Pertes non techniques :</p> <ul style="list-style-type: none">• Pertes de production non enregistrées• Pertes de transports et de distributions non enregistrées.

Aussi, les moyens de les combattre et les réduire sont à imaginer. Des mesures et des contrôles sur le terrain participent de ces moyens. Ce sont des opérations relativement difficiles et complexes qui nécessitent de l'organisation et de la méthode.

II.3.6. Les pertes industrielles

Il est établi, selon les experts de la banque mondiale, qu'il est trois fois moins coûteux d'économiser 1 KWh d'électricité en améliorant le rendement du réseau de distribution que d'investir dans un nouveau moyen de production de ce KWh.

Cette approche permet de prendre en compte, dans sa globalité, le problème de développement, d'exploitation et de gestion du réseau qu'il pose comme un problème typique de recherche opérationnelle dont la fonction-objectif de base, visant à minimiser les dépenses et la défaillance du système, fait apparaître la nécessité de réduire les pertes globales (pertes techniques et non techniques) pour atteindre l'optimum économique [11].

Ainsi, des économies de pertes sont recherchées tant au niveau du processus de planification (dimensionnement et choix des investissements par exemple) que de l'exploitation du système (dispatching économique, contrôle des installations, etc.) Les paramètres qui influent sur les pertes d'énergie électrique industrielle par tonne de minerai extrait (Ws) sont ainsi :

W_c : Représente la consommation mensuel d'énergie, KWh/mois ;

W_p : Représente la consommation planifiée, KWh/mois ;

Q_p : Représente la production planifiée, t/mois.

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

On écrit sous forme mathématique l'équation fonctionnelle des paramètres cités ci-dessus :

$$F(W_s, W_c, W_p, Q_p) = 0 \quad (\text{II.1})$$

Étant donné que l'expression mathématique de la variation des pertes industrielles par tonne de minerai extrait (W_s) en fonction de l'énergie consommée (W_c), de l'énergie planifiée (W_p) et de la production (Q_p) peut à présent s'écrire :

$$W_s = \frac{W_c - W_p}{Q_p} = \frac{W_c}{Q_p} - \frac{W_p}{Q_p} \quad , \text{ KWh/t} \quad (\text{II.2})$$

En analysant l'expression (2.2), la valeur du rapport $\left(\frac{W_p}{Q_p}\right)$ correspond bien à la consommation normative rapportée à l'unité de production, tant le rapport $\left(\frac{W_c}{Q_p}\right)$ correspond à la consommation réelle rapportée à l'unité de production et la différence de ces deux rapports représente le potentiel économique rapporté à l'unité de production.

Étant donné que la consommation (W_c) est fonction de la consommation utile (W_u) augmentée des pertes nominales (W_n) et des pertes supplémentaires (W_{sup}).

$$W_c = W_u + W_n + W_{sup} \quad , \text{ KWh} \quad (\text{II.3})$$

En remplaçant l'équation (2.3) dans l'expression (2.2), l'équation des pertes spécifiques prend la forme suivante :

$$W_s = \frac{W_u + W_n + W_{sup} - W_p}{Q_p} \quad , \text{ KWh/t} \quad (\text{II.4})$$

Donc, la minimisation des pertes spécifiques (W_s) peut se faire, non seulement en minimisant la consommation utile (W_u), mais aussi en minimisant les pertes nominales (W_n) et les pertes supplémentaires (W_{sup}). Tout en appliquant des mesures de l'économie en particulier sur l'accroissement de courant de charge, l'impédance du réseau et à la non réalisation de la production planifiée, que ce soit par les méthodes d'investigation sur les nouveaux modes opératoires où bien par l'application de ceux déjà connus, par les méthodes que nous avons bien expérimentées. [11]

Cependant, se sont les experts qui peuvent recommander aux technologues de réaliser des mesures de l'économie de façon meilleurs. Ces mesures peuvent se faire en améliorant les résultats par une meilleure efficacité de production et une consommation d'énergie plus faible, tout en maintenant une qualité du produit désirée.

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

Alors, le recours aux mesures de l'économie qui ramènent le procédé dans des conditions normales et de plus en plus proche des contraintes de procédé par des opérations de réglages où bien par des petites modifications, sont donc, ainsi, une orientation indispensable et leur domaine se révèle quasiment illimité. [15]

II.3.7. Coût des pertes de charge

Les pertes de charge annuelles d'un transformateur sont exprimées en kWh, et peuvent être évaluées à l'aide de la formule suivante :

$$E_{\text{pertes}} = (P_v + n_c^2 P_{cc}) D, \text{ kWh} \quad (\text{II.5})$$

Où :

P_v : Pertes de puissance dans le circuit magnétique au régime à vide, KW ;

P_{cc} : Pertes de puissance dans le circuit électrique au régime de court-circuit, KW ;

$D = 8760 \text{ h}$: Correspond au nombre d'heures dans une année,

n_c : Correspond à la charge moyenne du transformateur (S_c), divisée par la charge nominale (S_N) :

Le coût de ces pertes ($T_{CC\text{Pertes}}$), étalé dans le temps, doit être actualisé pour être ajouté au prix d'achat ($C_{CC\text{Achat}}$). Les formules suivantes permettent de calculer ces coûts :

$$T_{CC\text{Pertes}} = E_{\text{Pertes}} P_{UN} \frac{(1+h)^H - 1}{h} \quad (\text{II.6})$$

$$C_{CC\text{Achat}} = C_{NCAchat} (1+h)^{H-1} \quad (\text{II.7})$$

Où :

P_{UN} : Le coût moyen de l'énergie estimé pour chaque année, DA/KWh.

h : Le taux d'actualisation estimé, %.

H : La durée de vie estimée du transformateur, ans.

E_{pertes} : Les pertes d'énergie, kWh.

$C_{NCAchat}$: Le coût d'achat non capitalisé, DA.

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

II.3.8. Postes horaires appliqués en Algérie

Le nouveau système tarifaire introduit la notion de postes horaires qui opère une différenciation entre les différentes heures de la journée, en ce qui concerne la consommation d'électricité principalement pour l'entreprise : [16]

L'analyse économique de la production et de la distribution de l'électricité appartient à l'économie d'énergie et à l'économie publique. L. Monnier qui a consacré un ouvrage à la question de la tarification de l'électricité souligne qu'il s'agit d'économie d'électricité. Quels en sont les principaux éléments.

Ainsi, trois postes horaires ont été adoptés et définis sur la base de l'heure légale comme suit :

- **Les heures de pointé** : ce sont les heures de tous les jours de l'année de 17 heures à 21 heures. Dans la pratique, il s'agit des heures les plus chargées de la journée, c'est – à dire, les heures au cours desquelles la consommation électrique, au niveau national, est à son niveau maximum.
- **Les heures pleines** : ce sont les heures de tous les jours de l'année de 6 heures à 17 heures et de 21 heures à 22 h 30. Il s'agit de tranches horaires moyennement chargées.
- **Les heures creuses** : ce sont les heures de tous les jours de l'année de 22 h 30 à 6 heures. Il s'agit de tranches horaires les moins chargées.

Le tableau suivant (tableau II.3) représente les différentes tranches horaires à la cimenterie d'El Ma-Labioud Tébéssa, ainsi que leur répartition horaire :

Tableau II.3 : Répartition des tranches horaires

Répartition des tranches horaires	
Tranches Horaires	Répartition Horaire
Les heures de pointe	De 17h à 21h
Les heures pleines	De 06h à 17h et de 21h à 22:30h
Les heures creuses	De 22:30h à 06h

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

II.3.9. Description de la source d'alimentation électrique

La cimenterie d'El Ma-labiod Tébessa, reçoit deux lignes de haute tension (90 kv) de SONALGAZ (respectivement départ ANABIB et départ El Hammamet). En deux barres d'aluminium, qui sont protégées par deux disjoncteurs (HT) départ et arrivée, des sectionneurs contre les surcharges, les courts circuits et les fuites de courant à la terre. [2]

Ces lignes alimentent la sous-station principale. Cette sous-station est équipée par deux transformateurs de puissance 30MVA, dont l'un en service et l'autre en réserve.

- La protection du poste est assurée par : [17]
 - Relais Leuckholz pour l'alarme et le déclenchement.
 - Thermomètre.
 - Protection différentielle.
 - Niveau d'huile.

Les deux lignes sont accordées au jeu de barres côte haute tension des transformateurs (90 kv), à son tour le poste alimente les différents départ de moyenne tension de différents ateliers (5,5 kv) et chaque poste de différents ateliers alimente à son tour les différents consommateurs.

Durant cette période, les installations les plus puissantes fonctionnent avec une charge réduite donnent des pertes à vide relativement importantes. Ces pertes de puissance et d'énergie non désirées entraînent.

Dans tous les cas, un accroissement des dépenses superflues et aussi un accroissement des délais de recouvrement des investissements et par la suite une diminution des revenus.[18]

Le plus souvent les tensions normalisées 5.5KV et 0.38KV sont employées pour l'alimentation des moteurs électriques.

Tandis que les valeurs 0.22KV et 0.110KV sont recommandées pour l'éclairage et les instruments de mesure et de protection.

Le choix des tensions à l'intérieur du site dépend essentiellement :

- De l'étendu du site et de la répartition des puissances ;
- De l'existence ou non des récepteurs MT tels que moteurs, fours...

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

Vous trouverez ci-après schéma de distribution de l'énergie électrique de la cimenterie d'El Ma-Labioud Tébéssa :

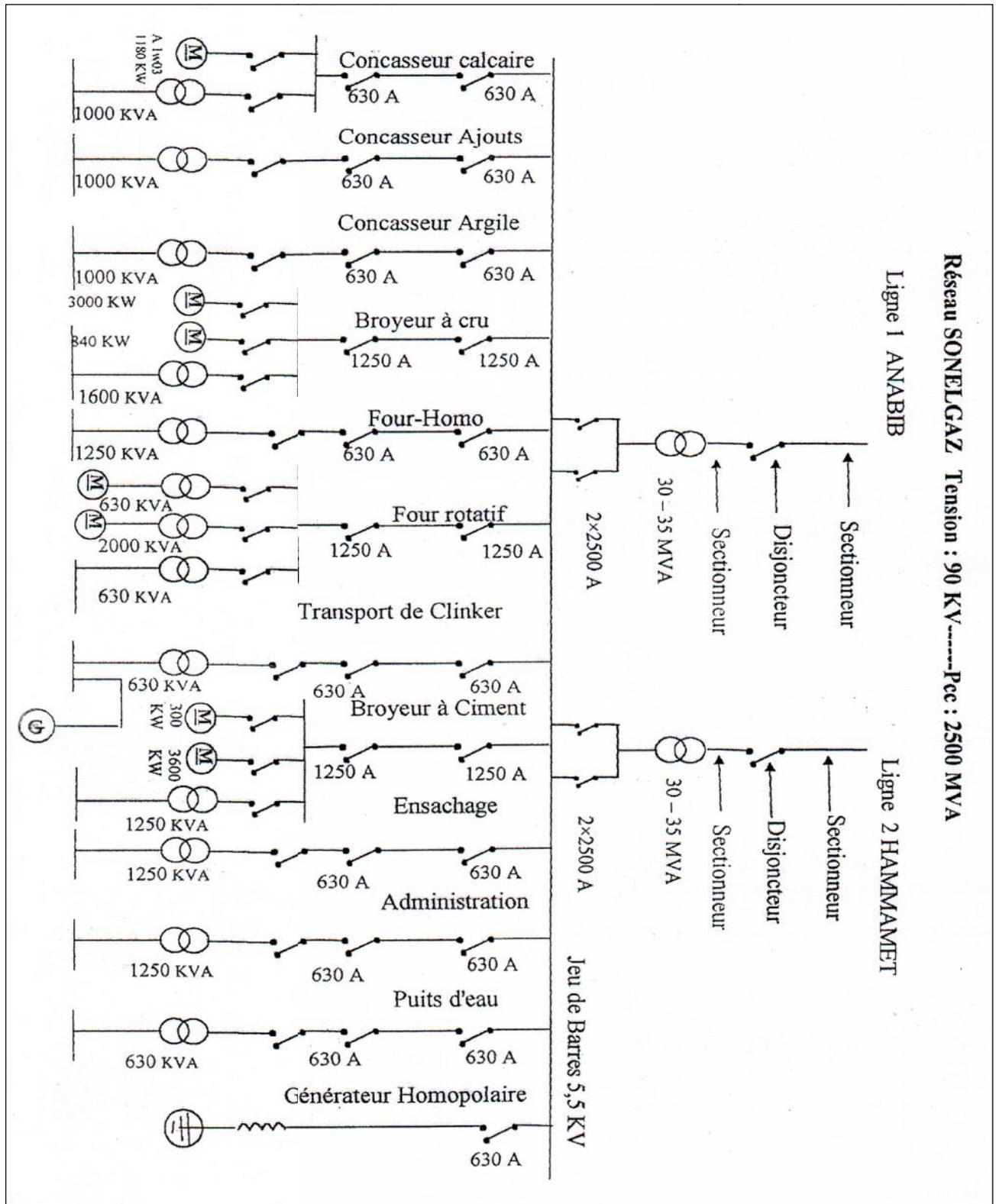


Figure II.1. : Distribution de l'énergie électrique de la cimenterie d'El Ma-labioud.

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

II.4. Détermination des charges électriques :

La charge électrique est caractérisée par la consommation de l'énergie active et réactive dans un atelier ou dans une entreprise par des équipements.

Pour déterminer les charges électriques de l'entreprise, il est nécessaire de partager les consommateurs selon la tension d'alimentation (moyen tension, basse tension), selon le régime de fonctionnement, selon leurs destinations et selon leurs dispositions...

Il existe plusieurs méthodes de calcul des charges électriques, parmi ces méthodes on distingue :

- Méthode de consommation spécifique.
- Méthode de facteur d'utilisation.
- Méthode de facteur de demande.

D'après la pratique, la méthode la plus utilisée dans l'industrie minière est celle de la méthode de facteur de demande car les calculs selon cette méthode sont basés sur l'utilisation de la puissance installée (nominal) et du facteur de demande.

Les paramètres qui caractérisent les charges électriques sont :

- La Puissance active.
- La Puissance réactive.
- La Puissance apparente.
- Le Facteur de puissance.

II.4.1. Calcul des charges électriques et facteur de puissance

a. Puissance active calculée :

$$P_{cal} = fd * \sum P_{ni} \quad , \quad Kw \quad (II.8)$$

Où :

P_{cal} : Puissance active calculée du groupe de consommateurs de mêmes type Kw.

Fd : Le facteur de demande.

On précise la valeur du facteur de demande :

$$fd = 0.43 + 0.57 * P_{max} / \sum P_{inom} \quad , \quad Si \quad n > 20 \quad (\text{nombre des consommateurs installés})$$

$$fd = 0.29 + 0.71 * P_{max} / \sum P_{inom} \quad , \quad Si \quad n < 20 \quad (\text{nombre des consommateurs installés})$$

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

Avec :

P_{\max} : la puissance du moteur le plus puissant (kw).

$\sum P_{\text{inom}}$: la puissance totale du groupe de consommateurs installés (kw).

P_{ni} : la puissance active nominale du consommateur (kw).

n : nombre des consommateurs.

b. Puissance réactive calculée :

$$Q_{\text{cal}} = P_{\text{cal}} * Tg \varnothing \quad , \quad Kvar \quad (II.9)$$

Où :

Q_{cal} : la puissance réactive calculée des groupes consommateurs de mêmes types (Kvar).

$Tg \varnothing$: correspond au facteur de puissance $\cos \varnothing$ du groupe de consommateurs uniformes.

c. La puissance active totale :

$$P_{\text{calt}} = K_{\text{div}} * P_{\text{cal}} \quad , \quad Kw \quad (II.10)$$

Où :

K_{div} : le nombre de diversité de maximum des charges électrique.

$$K_{\text{div}} = 0.85 \div 0.95.$$

n : nombre des consommateurs.

d. La puissance réactive totale :

$$Q_{\text{calt}} = Q_{\text{cal}} \quad , \quad Kvar \quad (II.11)$$

e. La puissance apparente totale :

$$S_{\text{calt}} = \sqrt{P_{\text{calt}}^2 + Q_{\text{calt}}^2} \quad , \quad Kva \quad (II.12)$$

Pour calculer des charges électrique de l'entreprise d'El-Ma-Labiod Tébessa, on utilise la méthode de facteur de demande.

Les résultats de calcul sont présentés dans le Tableau ci-dessus :

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

Tableau II.4 : Tableau des consommateurs électriques de la cimenterie d'El-Ma-Labioud Tébessa

Type de consommateur		Caractéristiques				Calcule		
		Cos Ø	Tg Ø	P _{ni}	Σ P _{ni} (kw)	Fd	P _{cal} (kw)	Q _{cal} (kva)
Broyeur cru	Moteur	0.65	1.16	3000	3000	0.8	2400	2784
	Moteur	0.65	1.16	840	840	0.8	672	779.52
	Transformateur	0.75	0.88	1200/1600	1200	0.7	840	739.2
Broyeur à ciment	Moteur	0.65	1.16	3600	3600	0.7	1880	3340.8
	Moteur	0.65	1.16	300	300	0.7	240	278.4
	Transformateur	0.75	0.88	937.5/1250	937.5	0.7	656.25	577.5
Concasseur de calcaire	Moteur	0.65	1.16	1180	1180	0.8	944	1095.04
	Transformateur	0.75	0.88	750/1000	750	0.7	525	462
Concasseur ajouts	Transformateur	0.75	0.88	750/1000	750	0.7	525	462
Concasseur argile	Transformateur	0.75	0.88	750/1000	750	0.7	525	462
Four rotatif	Transformateur	0.75	0.88	472.5/630	472.5	0.7	330.75	291.06
	Transformateur	0.75	0.88	1500/2000	1500	0.7	1050	924
	Transformateur	0.75	0.88	472.5/630	472.5	0.7	330.75	291.06
Transport clinker	Transformateur	0.75	0.88	472.5/630	472.5	0.8	378	332.64
Ensachage	Transformateur	0.75	0.88	937.5/1250	937.5	0.7	656.25	577.5
Administ- -ration	Transformateur	0.75	0.88	937.5/1250	937.5	0.7	303.125	618.75
Puits d'eaux	Transformateur	0.8	0.75	504/630	504	0.75	378	283.5
							=	=
							12634.13	14298.97

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

f. Calcul du facteur de puissance moyenne :

$$\cos \varnothing = P_{\text{calt}} / S_{\text{calt}} \quad (\text{II.13})$$

D'après le calcul, on a :

$$P_{\text{calt}} = 0.95 * 12634.13 = 12002.42 \text{ , kw}$$

$$S_{\text{calt}} = \sqrt{(12002.42)^2 + 14298.97} = 14003.015 \text{ , kva}$$

Donc :

$$\cos \varnothing = 12002.42 / 14003.015 = 0.86$$

$$\cos \varnothing = 0.86 < \cos \varnothing_n = 0.92$$

II.4.2. Compensation de l'énergie réactive

La valeur de la puissance réactive nécessaire de la batterie des condensateurs est déterminée par la formule suivant :

$$Q_{\text{comp}} = P_{\text{calt}} [\text{Tg } \varnothing - \text{Tg } \varnothing_n] \text{ , Kva} \quad (\text{II.14})$$

Où :

$\text{Tg } \varnothing_n$: La puissance normative de l'entreprise (pour les conditions algériennes l'entreprise de SONALGAZ limite $\cos \varnothing = 0.92$).

• Numériquement nous auront :

$$Q_{\text{comp}} = 12002.42 (0.85 - 0.42) = 5161.04$$

$$Q_{\text{comp}} = 5161.04 \text{ Kva}$$

Alors :

La charge calculée des consommateurs est égale :

$$S' = \sqrt{(P_{\text{calt}} + \Delta P_{\text{Tr}})^2 + (Q_{\text{calt}} + \Delta Q_{\text{Tr}} - Q_{\text{comp}})^2} \text{ , Kva} \quad (\text{II.15})$$

Où :

- P_{Tr} : Les pertes de la puissance active , Kw

$$P_{\text{Tr}} = 0.02 * S_{\text{calt}} \text{ , kw}$$

$$P_{\text{Tr}} = 0.02 * 14003.015 = 280.06 \text{ kw.}$$

CHAPITRE II. Alimentation de l'entreprise en énergie électrique

- Q_{Tr} : Les pertes de la puissance réactive (k var) :

$$Q_{Tr} = 0.1 * S_{calt} \quad , \quad \text{kw}$$

$$Q_{Tr} = 0.1 * 14003.015 = 1400.30 \text{ k var}$$

- L'application numérique donne :

$$S' = \sqrt{(12002.42 + 280.06)^2 + (14298.97 + 1400.30 - 5161.04)^2} \quad , \text{Kva}$$

Alors :

$$S' = 16183.74 \text{ Kva}$$

II.4.3. Choix de la puissance du transformateur (Strc) :

$$\text{Strc} = K_{1-2} * S' / K_s \quad , \quad \text{Kva} \quad \quad \quad (\text{II.16})$$

Où :

K_{1-2} : coefficient tenant compte de la composant des consommateurs de la première et de la deuxième catégorie ($K_{1-2} = 0.8$).

K_s : facteur de surcharge admissibles du transformateur ($K_s = 1.1 \div 1.3$).

Application numérique est :

$$\text{Strc} = 0.8 * 16183.74 / 1.1 = 11770 \quad , \quad \text{Kva}$$

D'après les résultats on choisie le transformateur selon le catalogue ayant les caractéristiques suivantes :

Tableau II.5 : Caractéristique du transformateur recommandé.

Type	TMN16000-90/5.5 Kv
Puissance nominale	$S_n = 16000 \text{ KVA}$
Pertes à vide	$P_v = 25 \text{ Kw}$
Pertes en court-circuit	$P_{cc} = 120 \text{ Kw}$
Tension de court-circuit	$U_{cc} = 10.5\%$
Courant à vide	$I_o = 0.8 \text{ A}$

2.5. Conclusion :

L'énergie électrique est d'énergie la plus demandée au monde. La démarche maîtrise de l'énergie vise à mieux utiliser l'électricité consommée. L'objectif n'est pas de diminuer le confort des usagers mais de le maintenir au même niveau tout en économisant l'énergie.

Cela est possible par l'utilisation d'appareils moins consommateurs d'électricité, par une gestion rationnelle des équipements en place, et en agissant sur le comportement des usagers.

La démarche maîtrise de l'énergie permet de :

- Faire bénéficier aux consommateurs d'une diminution de leur facture d'électricité.
- Minimiser les impacts sur l'environnement en ne multipliant pas à l'excès les moyens de production, de transport et de distribution de l'électricité.
- Participer à une sensibilisation générale aux économies d'énergie.
- Optimiser les investissements publics liés à la distribution d'électricité pour faire face aux pointes de consommation.

Chapitre III

CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on a abordé l'organisation des moyens physiques sur la base de la production. Nous proposons une planification de production et consommation future qui permet au responsable de chaque atelier de gérer d'une manière efficace l'utilisation des équipements qui sont à sa disposition.

Enfin, après avoir décrit les moyens d'analyse d'un système de production, nous étudierons les méthodes de résolution qui permettent d'améliorer son implantation et, ce faisant, sa réactivité. Cette partie a pour objectif de situer le contexte général de la thèse, c'est à dire le domaine de la gestion de production et des systèmes de production.

III.2. La mission de la fonction production

A court terme : fournir un produit (sous contrainte de coûts, délais, qualité).

A long terme : c'est une arme stratégique.

Définit la production comme étant une transformation de ressources appartenant à un système productif et conduisant à la création de biens et de services. Les ressources peuvent être de quatre types : [19]

- Des équipements (machines, ...),
- Des hommes (opérateurs, ...),
- Des matières (matières premières et composants),
- Des informations techniques ou procédurales (gammes, nomenclatures, fiches opératoires, ...).

III.3. Le processus de production

III.3.1. Définition

Le système de production décrit l'ensemble du processus grâce auquel l'entreprise produit un bien ou un service apte à satisfaire une demande à l'aide de facteurs de production acquis sur le marché. [20]

Dans le cadre d'une entreprise, le système de production, outre sa finalité première qui est de produire un bien économique, cherche à satisfaire d'autres objectifs, L'efficacité d'un processus de production repose principalement sur quatre variables :

- a. Le coût :** Il ne s'agit pas seulement de cumuler les charges fournies par la comptabilité analytique mais d'intégrer également les autres composantes qui contribuent à créer la valeur ajoutée du produit.

CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment

- b. La qualité** : c'est une philosophie à partager par les employés de l'entreprise et non seulement par ceux rattachés au processus de production : suivi après-vente, satisfaction clientèle, fournisseurs...
- c. Le délai** : le challenge est de taille puisqu'il faut produire et livrer dans les meilleurs délais tout en respectant la contrainte financière liée aux stocks. Sont ainsi concernés la gestion des approvisionnements, le suivi informatisé des stocks, l'efficacité du cycle de production et de la chaîne logistique intégrée...
- d. Objectif de flexibilité** : le système productif doit être flexible soit pour pouvoir s'adapter aux variations de la demande, soit pour tenir compte de l'évolution de l'environnement simultanée de plusieurs types de produits différents en même temps.

III.3.2. Les principaux services opérationnels [20]

- a. Le service fabrication** : est en charge de la fabrication proprement dite des produits finaux de l'entreprise ce qui implique la gestion des quantités produites, de la qualité de la production et du respect des délais de fabrication prévus.
- b. Le service expédition** : a en charge la préparation des commandes et leur livraison au service de transport chargé de les livrer aux clients de l'entreprise. Ce service assure donc en outre la gestion des stocks de produits finis de l'entreprise.
- c. Le service manutention** : qui prend en charge l'organisation de la circulation des flux physiques au sein de l'entreprise entre les différents services ou ateliers entrant dans le processus de production.
- d. Le service outillage** : est chargé de gérer les stocks d'outils indispensables à la réalisation de la production qu'il faille les acheter ou qu'il faille les produire en interne.
- e. Le service entretien** : a pour mission de maintenir le bon fonctionnement de la chaîne de production soit en intervenant sur les pannes éventuelles, soit en assurant une maintenance permanente de l'outil de production.

III.3.3. Les principaux services fonctionnels

Ces services prennent en charge la préparation du travail (c'est-à-dire l'organisation du mode de production) et le contrôle du bon fonctionnement de la chaîne de production. [20]

Organisation de la production

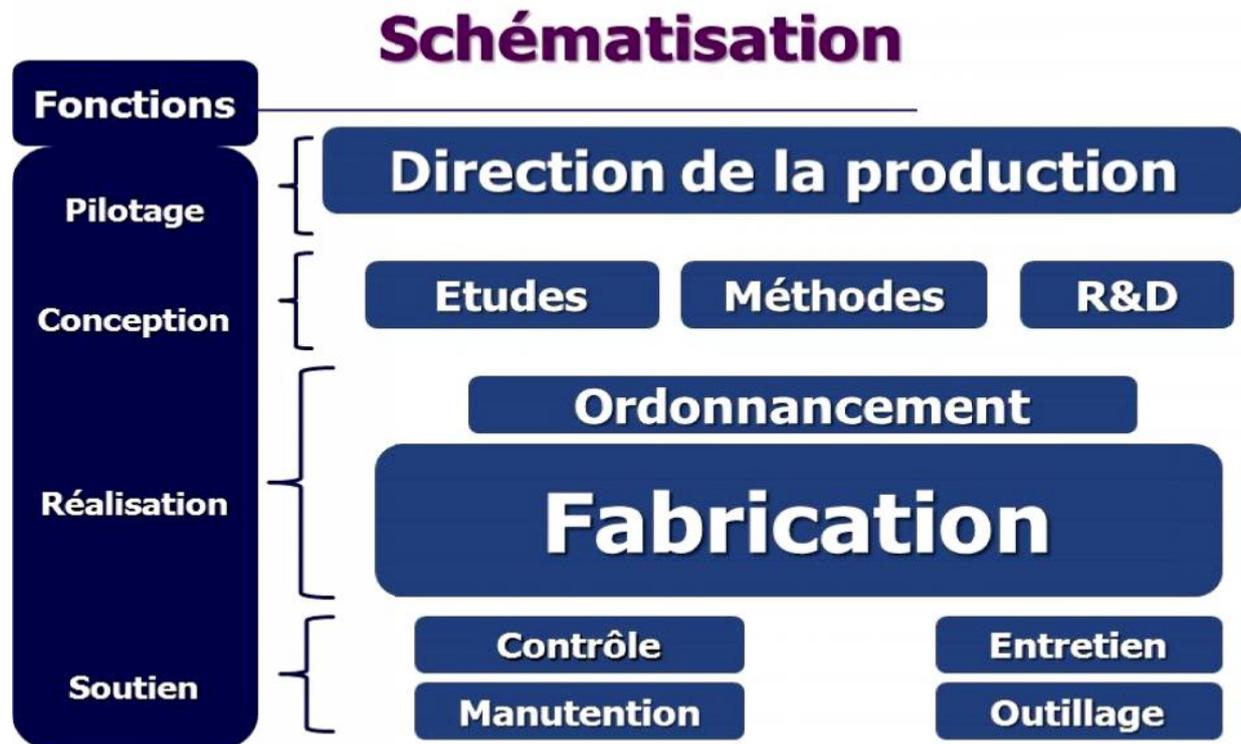


Figure III.1. Organisation de la production

- a. **Le bureau des études** : il conçoit les prototypes des produits réalisés par l'entreprise et en donne une définition complète qui permettra de mettre en place un processus de production standardisé notamment au niveau des pièces et composants utilisés. [20]
- b. **Le bureau des méthodes** : définit les méthodes de production qui vont être utilisées pour réaliser le produit proposé par le bureau des études dans le but de produire au moindre coût. Ce service décrit donc entre autre la succession des opérations à réaliser pour produire un bien, l'organisation de ces différentes phases de production dans le temps et dans l'espace,...
- c. **Le bureau d'ordonnancement** : assure le lancement proprement dit de la phase de production en cherchant à minimiser le délai global de production et ce, pour un coût global qu'il ne faut pas dépasser.
- d. **Le service de contrôle de la production** : se charge de vérifier que les services opérationnels remplissent bien leur mission dans les conditions définies par le bureau des méthodes que ce soit en terme de délai, de qualité, de rendement ou de coût de production.

CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment

La fonction de production repose en grande partie sur la manière dont va être conçue en interne l'organisation du mode de production. L'objectif de l'entreprise étant de produire à moindre coût, un certain nombre d'auteurs se sont interrogés sur la manière dont l'entreprise pouvait s'organiser pour rendre son organisation plus conforme à l'objectif d'efficacité et d'efficience. [20]

III.4. Gestion de la production de l'entreprise

III.4.1 Typologie de production

Chaque entreprise est unique de par son organisation et la spécificité des produits qu'elle fabrique. Cependant, on peut réaliser une classification des entreprises en fonction des critères suivants : [21]

- Quantités fabriquées et répétitivité ;
- Organisation des flux de production ;
- Relation avec les clients.

Ces critères ne sont bien sûr pas exhaustifs, mais ils permettent de bien cerner le type d'une entreprise. Une typologie de production est fondamentale, car elle conditionne le choix des méthodes de gestion de production qui sont le plus adaptées. Cette analyse est donc un préalable indispensable à tout projet de mise en place ou de restructuration d'une gestion de production. En fait, toute entreprise est une juxtaposition des différents types que nous décrirons et sera amenée à mettre en place divers modèles d'implantation pour les différents flux.

III.4.2. Classification en fonction de l'importance des séries et de la répétitivité

La première différence notable entre les entreprises a trait bien sûr à l'important des productions. Les quantités lancées peuvent être : [21]

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

Notons que les nombres liés notions de petit, moyen et grand sont sensiblement différents selon le produit concerné. Pour fixer les idées, indiquons un ordre de grandeur moyen : 100 pour les petites séries, 1 000 pour les moyennes séries et 100.000 pour les grands.

Pour chacune de ces quantités, les lancements peuvent être répétitifs ou non, ce qui agira également sur la typologie de l'entreprise.

CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment

III.4.3. Les types de production dérivée de la structure du produit [22]

- a. **La production dite convergente** : on parle de production convergente lorsque la fabrication du produit fini demande l'utilisation d'un nombre très élevé de composants. Il ne s'agit pas de la quantité, mais de références distinctes utilisées Ex : la production d'un avion.
- b. **La production dite divergente** : la production est dite divergente lorsqu'à partir d'une seule matière ou d'un nombre peu élevé de composants, on obtient ou trouve dans la chaîne de production un nombre de très varié de produits finis (peu de composants ou matières premières pour plusieurs différents produits finis).
- c. **La production dite rectiligne** : il y a un écart peu important entre le nombre de matières premières et le nombre de produits finis obtenus : plusieurs matières pour plusieurs produits.

III.4.4. Le choix du type de production dépend : [20]

- Du couple "Volume" (à produire) x "Taille" (du produit).
- Des quantités de biens ou services devant être produites: (unitaire, séries).
- La nature du processus de production : pilotage par l'aval (commandes client) ou par l'amont (planification: stocks produits finis).
- La nature de l'implantation de l'outillage : ateliers spécialisés, ateliers autonomes, lignes de fabrication...

III.4.5. Classification selon l'organisation du flux de production

On distingue trois grands types de production, sachant que l'on pourrait trouver de nombreux types intermédiaires : [21]

- Ñ production en continu ;
- Ñ production en discontinu ;
- Ñ production par projet.

a. Production en continu :

Une production en continu est retenue lorsqu'on traite des quantités importantes d'un produit ou d'une famille de produits. L'implantation est réalisée en ligne de production, ce qui rend le flux du produit linéaire. [21]

Dans ce type de production, les machines ou les installations sont dédiées au produit à fabriquer ce qui, en général, ne permet pas une grande flexibilité. De plus, afin d'éviter de créer des goulets d'étranglement et de fluidifier l'écoulement des produits, l'équilibrage de la production de chacune des machines doit être soigné.

CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment

Les industries pétrochimiques, les cimenteries, sont des exemples typiques de ce type d'entreprises. Mais on retrouve également la même organisation dans l'assemblage de produits réalisés en grandes séries, tels que la fabrication de roulements à billes de série ou la fabrication et le conditionnement du Coca-Cola...

En règle générale, ce type de production est accompagné d'une automatisation poussée des processus de production ainsi que des systèmes de manutention. Cette automatisation est rendue nécessaire par le besoin d'obtenir des coûts de revient bas, un niveau de qualité élevé et stable, de n'avoir que très peu d'en-cours et d'obtenir une circulation rapide des produits. Elle contraint à procéder à un entretien préventif des machines sous peine de risquer un arrêt total de l'atelier.

b. Production en discontinu :

Une production en discontinu est retenue lorsque l'on traite des quantités relativement faibles de nombreux produits variés, réalisés à partir d'un parc machine à vocation générale (exemple : tours, fraiseuses...).

L'implantation est réalisée par ateliers fonctionnels qui regroupent les machines en fonction de la tâche qu'elles exécutent (tournage, fraisage...). Le flux des produits est fonction de l'enchaînement des tâches à réaliser. On dit que l'on est en présence d'un atelier à tâches que nos collègues anglo-saxons nomment job-shop.

Dans ce type de production, les machines ou les installations sont capables de réaliser un grand nombre de travaux ; elles ne sont pas spécifiques à un produit, ce qui donne une grande flexibilité. Mais il est très difficile d'équilibrer les tâches dans une production en discontinu, ce qui génère en revanche des niveaux de stocks et d'en-cours élevés. [21] Les industries mécaniques et les entreprises de confection sont des entreprises de ce type.

c. Production par Projet

Dans le cas de la production par projet, le produit est unique. Des exemples en sont l'organisation des Jeux Olympiques ou la construction d'un barrage. Le processus de production y est unique et ne se renouvelle pas. Le principe d'une production par projet consiste donc à enchaîner toutes les opérations conduisant à l'aboutissement du projet, en minimisant les temps morts afin de livrer le produit avec un délai minimal ou au moment convenu.

Dans ce type de production, on ne peut pas stabiliser de façon formelle une production. Aussi, l'organisation doit être capable de prendre en compte de nombreuses et importantes perturbations extérieures, et de permettre des modifications. [21]

CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment

d. Comparaison type continu et discontinu

Chaque type de production possède ses avantages et ses inconvénients. Aussi est-il intéressant d'étudier conjointement les deux typologies : continue et discontinue.

On définit un indicateur – le ratio d'efficacité du processus – qui permet de déterminer le rapport entre le temps de présence d'un produit dans le système et le temps pendant lequel une valeur ajoutée a été apportée au produit.

Ratio d'efficacité du processus (parfois appelé ratio de tension des flux) :

On s'aperçoit qu'il vaut mieux avoir à gérer des processus continus plutôt que des processus discontinus. Ne peut-on pas transformer un processus discontinu en un processus continu ? On peut considérer que la technologie de groupe permet d'adopter cette démarche. En voici la démonstration : on recherche, par exemple, à l'intérieur d'un atelier de mécanique (organisation discontinue) toutes les pièces qui ont la même gamme (ou une gamme similaire).

III.4.6. Classification selon la relation avec le client

Dans la classification selon la relation avec le client, on distingue trois types de production et de vente : [21]

- vente sur stock ;
- production à la commande ;
- assemblage à la commande.

a. Vente sur stock :

Le client achète des produits existant dans le stock créé par l'entreprise. On retient ce type de production pour deux raisons principales :

Lorsque le délai de fabrication est supérieur au délai de livraison réclamé ou accepté par le client (poste de radio, vêtement de confection...). Il faut alors produire à l'avance pour satisfaire le client en s'appuyant sur des prévisions.

b. Production à la commande :

La production à la commande n'est commencée que si l'on dispose d'un engagement ferme du client. On évite alors (sauf cas d'annulation) le stock de produits finis. Ce type de production est préférable au type « vente sur stock », car il conduit à une diminution des stocks, donc des frais financiers.

Ainsi, on aura tout intérêt à choisir ce type de production lorsque cela sera possible, c'est-à-dire lorsque le délai de mise à disposition correspondant au délai de production est accepté par le client. Cette organisation est obligatoire pour les produits non standards.

c. Assemblage à la commande :

Ce type de production se situe entre les deux premiers. On fabrique sur stock des sous-ensembles standards. Ces sous-ensembles sont assemblés en fonction des commandes clients. Cette organisation permet de réduire de façon importante le délai entre la commande et la livraison d'un produit. En effet, le délai apparent est réduit à l'assemblage des sous-ensembles.

III.5. Les différentes organisations de la production [21]

III.5.1. Implantation en section en homogènes

C'est l'implantation que l'on rencontre le plus dans le cas des processus discontinus. Elle résulte de l'organisation taylorienne qui a prévalu dans nos sociétés pendant plusieurs décennies. On regroupe les machines ayant la même technique, ou les mêmes fonctions. Ainsi, dans un atelier de mécanique, on regroupe les fraiseuses, les tours, etc. [21]

On regroupe également les machines sur des critères de qualité (précision) ou de capacité. En règle générale, le montage y est nettement séparé de la fabrication, la réception des matières premières et des produits achetés y est centralisée en un lieu unique (ce qui est souvent justifié par un contrôle de réception).

❖ Avantages principaux :

- Regroupement des métiers - les personnes travaillant dans un secteur sont des professionnels ce type de machine. Ils peuvent facilement passer d'une machine à l'autre.
- Flexibilité - l'implantation est indépendante des gammes de fabrication, il est donc possible de fabriquer tous les types de produits utilisant les moyens de l'atelier sans perturber davantage le flux.

❖ Inconvénients principaux :

- flux complexes – dans ce type d'implantation, les flux sont complexes avec de nombreux points de rebroussement, d'accumulation.
- en - cours importants - c'est la conséquence logique de la complexité des flux. Ils se transforment nécessairement en délais de production importants.

III.5.2. Implantation en lignes de fabrication

On trouve principalement ce type d'implantation dans les processus continus. Les machines sont placées en ligne dans l'ordre de la gamme de fabrication.

Ce type d'implantation possède les avantages suivants :

- pas de point de rebroussement.
- flux faciles à identifier.

CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment

Cependant, l'implantation étant spécialisée pour un produit ou une famille de produits, la flexibilité de ce type d'implantation est extrêmement limitée.

III.5.3. Implantation en cellules de fabrication :

Une implantation en cellule est constituée de petits ateliers de production spécialisés de façon à réaliser entièrement un ensemble de pièces. On appelle également ces cellules des îlots de production. C'est un compromis entre la ligne et l'implantation fonctionnelle. Ce type d'implantation permet de diminuer considérablement les stocks et le délai dans le cas des processus discontinus.

III.6. La Production antérieure de la cimenterie d'El-Ma-Labioud

La production antérieure de ciment est représentée dans le tableau 4.1. Ci-dessous : [03]

Tableau III.1. : La production antérieure de ciment.

	Production de ciment en Tonne				
	2015	2016	2017	2018	2019
Janvier	38 730	59 381	51 768	33 092	37 819
Février	43 724	35 819	46 414	24 363	34 768
Mars	53 136	*	29 131	39 559	43 779
Avril	45 720	34 732	*	34 587	31 855
Mai	55 782	60 525	55 127	24 852	39 740
Juin	58 656	53 811	60 076	29 362	23 584
Juillet	56 064	54 601	60 826	29 248	31 604
Août	41 407	54 901	60 985	29 670	24 077
Septembre	59 635	52 422	49 673	28 351	25 319
Octobre	46 907	57 246	47 000	43 553	44 074
Novembre	58 302	38 329	47 596	43 372	24 988
Décembre	55 984	60 933	54 420	53 010	29 413
Total	614 047	562 700	563 016	413 019	391 020

NB : * four en panne

CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment

- Représentation graphique de la production antérieure du tableau précédent :

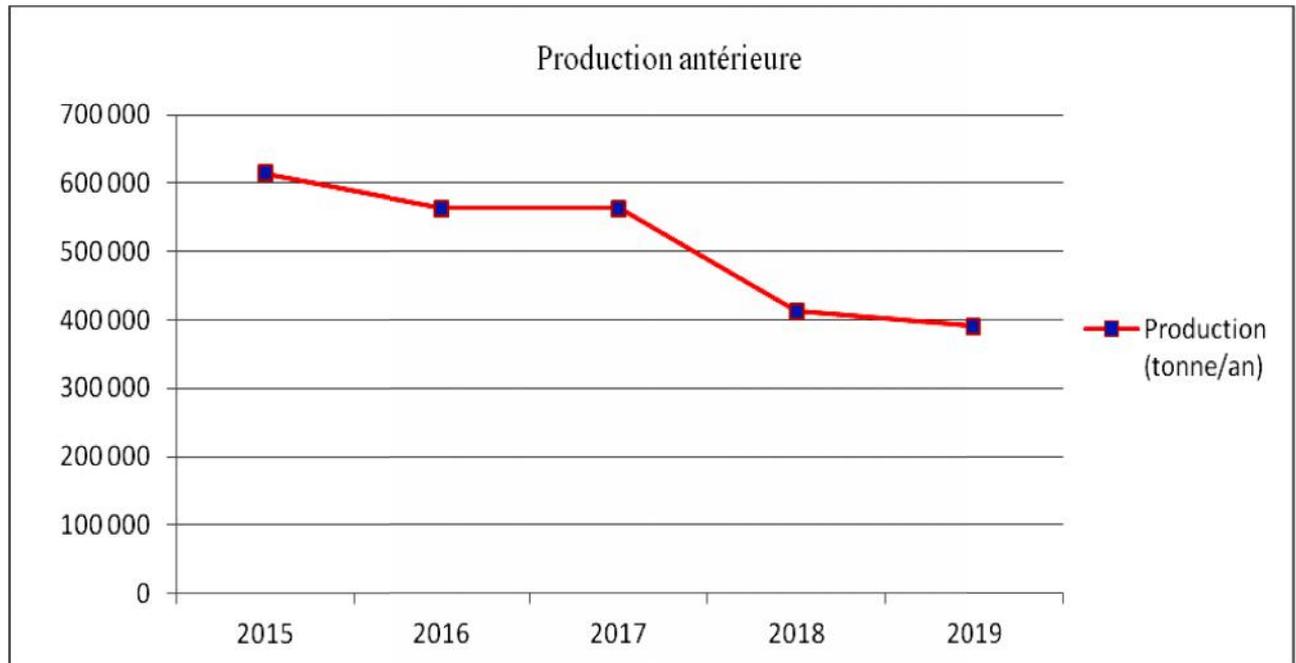


Figure III.2 : Représentation graphique de la production antérieure de ciment.

Interprétation du graphique : selon le graphique, on a remarqué une diminution de la production de ciment, notamment sur les années 2018 et 2019, par rapport à la demande de client sur la même période.

III.6.1. La méthode de prévision appliquée au sein de l'entreprise

III.6.1.1 Production sur commande

Cette situation semble être la plus favorable à l'entreprise car elle lui permet de produire uniquement sur commande, mais à condition que le délai du cycle (achat + fabrication + assemblage + livraison) soit inférieur ou égal au délai acceptable par le client. Dans certains cas où le délai de fabrication est trop long, il est possible d'anticiper l'achat et la fabrication des composants, et de procéder à l'assemblage dès que l'on a une commande ferme. Ceci implique aussi d'avoir de bonnes prévisions de ventes afin de ne pas constituer de stocks excessifs de composants.

En théorie, si la condition précédente est remplie (demandes des clients), aucun stock n'est nécessaire.

Le principal inconvénient de la production sur commande ou mixte est l'obligation d'avoir un système de production présentant le minimum d'aléas afin de ne pas perturber les délais. La prévision doit donc jouer un rôle très important.

CHAPITRE III. Production de l'entreprise en ciment

La méthode de prévision utilisée au sein de l'entreprise est la méthode qui est principalement basée sur les demandes des clients.

Tableau III.2. : Méthode de production de la cimenterie.

	2015	2016	2017	2018	2019
Quantité demandé tonne/an	720 000	650 300	610 500	580 600	520 000
Quantité livrée tonne/an	614 047	562 700	563 016	413 019	391 020

Comme le montre dans le tableau 4.2, le système de production peut rapidement s'avérer instable, si ce n'est chaotique quand les variations de la demande sont importantes. Mais comme le démontre, même avec une demande constante, le système a une forte probabilité de comportement chaotique !

III.7. Conclusion :

Dans ce chapitre on a constaté que la production en ciment n'est pas stable sur les files d'années de 2015 à 2019 et que la plus forte production s'observe en année 2015 d'une quantité de 614047 tonnes en comparant par rapport à la production de l'année 2019 qui est la plus faible d'une quantité de 391020 tonnes.

Cette diminution en production est due à la faible demande par les clients qui est liées à la stagnation des projets de construction.

Chapitre IV

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous avons présenté un projet scientifique ne peut se faire sans recours aux méthodes qui mettent en lumière les réalités du terrain. Inversement les méthodes, en tant que sources de recueil de données de terrain ne trouvent aucune consistance si ces données ne sont pas objectives par les aspects théoriques de la science. [23]

Une recherche s'effectue en plusieurs étapes et nécessite un découpage du travail dans le temps.

On aura tendance à repérer quatre phases de recherche :

- Construire l'objet d'étude.
- Elaboration de la problématique et des hypothèses.
- Observation et collecte des données.
- Traitement et interprétation des résultats.

La prévision peut être définie comme étant « une appréciation sur les valeurs futures d'une variable quantitative ». [23]

IV.2. Le principe de la prévision

- Rappeler la notion de prévision.
- Présenter brièvement les techniques de prévision les plus utilisées dans la pratique.
- Permettre aux apprenants de mieux saisir les différences, les points communs et les complémentarités entre la prévision et la prospective.

La séquence commence par une définition simple de la prévision. Un deuxième point traitera des méthodes classiques de la prévision. Ces méthodes sont regroupées sous forme de deux familles de méthodes :

- les méthodes de nature extrapolative.
- les méthodes de nature explicative.

Un dernier point présente les critères souvent utilisés pour comparer les prévisions obtenues par différentes méthodes et valider le choix d'une de ces méthodes.

Cette séquence est accompagnée d'une maquette de calcul sur Excel présentant une application illustrative des techniques de prévision et de leurs qualités sur des données réelles. C'est principalement dans le domaine économique qu'ont été généralisées les méthodes des prévisions que nous proposons. [24]

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

❖ Caractéristique des prévisions

- Les prévisions sont normalement fausses;
- une bonne prévision est plus qu'un chiffre;
- les prévisions agrégées sont normalement plus précises;
- plus l'horizon de prévision est long, moins les résultats sont précis;
- les prévisions doivent être utilisées en concordance avec les autres informations disponibles.

IV.3. Objectifs et contraintes de la prévision

Les prévisions à long terme (supérieures à trois ans) ont un rôle au niveau stratégique de l'entreprise : diversification, produits nouveaux, investissement ou désinvestissement en équipements. [21]

Les prévisions à moyen terme (de l'ordre de six mois à deux ans), les prévisions permettront de définir et maîtriser les capacités globales de production et d'approvisionnement. Il n'est pas question d'envisager la construction d'une usine mais l'acquisition d'une machine, l'embauche de personnel ou l'approvisionnement d'articles à long délai d'acquisition.

Les prévisions à court terme (jusqu'à six mois) serviront à l'activité opérationnelle de production : d'une part, approvisionnement et gestion des stocks, d'autre part, charge des ateliers et ordonnancement, correspondant à des ajustements des activités planifiées. Plus les prévisions concernent le court terme, plus elles sont fiables car elles se réfèrent à un futur proche. Au contraire, des prévisions à plus long terme seront plus incertaines. [25]

Remarquons immédiatement que la notion de court, moyen ou long terme dépend du type d'activité et des produits de l'entreprise ; ainsi les durées ne sont-elles citées qu'à titre d'exemple.

L'activité de prévision est le point de départ de la planification. Toute activité de production est fondée sur des commandes fermes et des prévisions de commandes. Le plus souvent, le second point est très majoritaire surtout lorsqu'on s'éloigne dans l'horizon de planification.

Pour l'entreprise, ces prévisions ont pour objet de définir ce qu'il faudra produire et quand il faudra le produire. Précisons que, dans un environnement instable – comme c'est le cas aujourd'hui –, la prévision est difficile. Toutefois, mieux vaut prévoir même avec incertitude que de ne pas le faire !

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

IV.4. Généralité sur les méthodes des prévisions

On distingue deux grand types des méthodes de prévision : les méthodes des qualitatives et les méthodes quantitatives. [21]

- Les techniques qualitatives font appel à une méthodologie non mathématique (mais elles peuvent impliquer des valeurs numérique).
- Les techniques quantitatives au contraire seront fondées sur des modèles mathématiques. De plus, ces techniques sont dites intrinsèques si les données manipulées sont celles du produit considéré. Elles sont extrinsèques s'il s'agit de données appartenant à des événements relatifs à l'article mais qui ne le concernent pas directement.

IV.4.1. Les méthodes qualitatives

Les méthodes qualitatives sont principalement utilisées pour la prévision à moyen ou long terme. Elles sont avant tout destinées à des décisions de mercatique avec des données provenant d'études de marché ou d'intentions d'achats à travers notamment l'interrogation et le traitement de prévisions du réseau de distribution. Il s'agit de techniques excellentes dans ce domaine.

La méthode de Delphes consiste à interroger des experts sur une question, et ce indépendamment les uns des autres afin d'éviter toute influence forte directe. Le coordinateur remet l'ensemble des réponses aux experts qui peuvent modifier et compléter leur proposition. Après deux ou trois cycles de ce type, on parvient à une proposition de consensus efficace, ou éventuellement à des divergences argumentées. Cette technique n'est pas adaptée à une prévision à court terme d'un article, mais au contraire à une décision de stratégie à long terme. [21]

IV.4.2. Les méthodes quantitatives

IV.4.2.1. Représentation graphique

C'est un préalable simple et explicite aux autres méthodes. Elle présente l'énorme avantage d'être très visuelle car d'un coup d'oeil elle permet de résumer la prévision et de mettre le bon sens en éveil. De plus, par extrapolation de la courbe des consommations passées, on peut obtenir une estimation de la demande à venir.

IV.4.2.2. Méthode de décomposition :

Le niveau de base de la demande est la moyenne de la série de données prévues à une date déterminée. C'est une loi stationnaire qui, selon les concepts introduits, sera complétée avec les éléments suivants :

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

- une tendance **T** donnant l'évolution à moyen terme de la demande ;
- des variations saisonnières **S** dues à des modifications périodiques de la demande liées à la nature du produit et à son utilisation ;
- des éléments résiduels **R** dus à de nombreuses causes autres que les précédentes (modifications climatiques inattendues, épidémies, grève, apparition d'un nouveau client sur le marché, mode...). [21]

La demande pour une période **n** peut alors s'exprimer sous deux formes :

- 1^{ère} forme additive de ces différents éléments est présentée de la manière suivante :

$$D_n = T_n + S_n + R_n ; \quad (\text{IV.1})$$

Où :

D_n : La demande pour la période n .

T_n : La tendance.

R_n : Des éléments résiduels.

- 2^{ème} forme multiplicative de ces éléments avec

$$D_n = T_n \times S_n \times R_n. \quad (\text{IV.2})$$

Nous avons choisi de développer ici la forme multiplicative qui est la plus fréquente.

❖ Estimation de la tendance **T**

On peut définir une droite de tendance par la méthode des moindres carrés. Cela consiste à retenir parmi toutes les droites du plan étudié celle qui minimise la somme des carrés des écarts des points observés à la droite. [21]

L'équation de cette droite, exprimant la demande D en fonction du numéro de la période n , est du type :

$$D = a \times n + b \quad (\text{IV.3})$$

Avec :

$$a = \frac{N \sum n D_n - \sum n \sum D_n}{N \sum n^2 - (\sum n)^2} \quad (\text{IV.4})$$

et :

$$b = \frac{\sum D_n}{N} - a \frac{\sum n}{N} \quad (\text{IV.5})$$

Où :

N : le nombre de périodes de l'historique des données.

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

❖ Estimation des variations saisonnières

Les variations saisonnières sont traduites par des coefficients représentant les écarts à la valeur de base. Les indices saisonniers représentent, pour chaque période élémentaire, le rapport entre la demande réelle constatée et une moyenne globale évaluée sur l'ensemble, correspondant à une valeur « désaisonnalisée ». [21]

❖ Éléments résiduels et prévision

$$D_n = T_n \times S_n \times R_n \quad (\text{IV.6})$$

Nous venons d'évaluer les termes T_n et S_n exprimant respectivement la tendance et la saisonnalité. R_n représente tout ce qui n'est pas pris en compte par ces deux facteurs. Il s'agit d'éléments aléatoires non identifiés et qui ne se reproduiront pas selon notre modèle. Nous sommes donc obligés de ne prendre pour prévision que le produit $T_n \times S_n$.

IV.4.3. Méthode de prévision dans les séries stationnaires

Une série stationnaire est une série dans laquelle chaque observation peut être représentée par une constante plus une fluctuation aléatoire : [24], [25]

$$D_t = \mu + \epsilon_t \quad (\text{IV.7})$$

où :

μ : représente une constante inconnue correspondant à la moyenne de la série,

et :

ϵ_t : l'erreur aléatoire possédant une moyenne nulle et une variance σ^2 .

Deux méthodes seront analysées :

- Moyennes mobiles.
- Lissage exponentiel.

IV.4.4. Méthode des moyennes mobiles

Une moyenne mobile d'ordre N est définie comme étant la moyenne arithmétique sur les N dernières observations. En méthodes prévisionnelles, cette moyenne devient la prochaine prévision. [24]

Mathématiquement :

$$F_t = (1/N) \sum_{i=t-N}^{i=t-1} D_i = \left(\frac{1}{N}\right) (D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-N}) \quad (\text{IV.8})$$

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

Avec :

F_t : la prévision effectuée à la période $t-1$ pour la période t .

La notation MA(N) sera utilisée pour indiquer une moyenne mobile effectuée sur les N dernières périodes.

Lorsque l'on veut ajuster la moyenne mobile en utilisant uniquement la dernière donnée calculée, on peut utiliser la fonction suivant : [24]

$$F_t = (1/N) \sum_{i=t-N+1}^{i=t} D_i = \left(\frac{1}{N}\right) [D_t + \sum_{i=t-N}^{i=t-1} D_i - D_{t-N}] \quad (\text{IV.9})$$

C'est-à-dire :

$$F_{t+1} = F_t + (1/N)[D_t - D_{t-N}] \quad (\text{IV.10})$$

Les moyennes mobiles sont à la base d'une méthode de prévision qui consiste à utiliser la moyenne des dernières observations disponibles comme prévision pour la date suivante. On parle alors de méthode de prévision par moyenne mobile.

IV.4.5. Méthodes de lissage exponentiel

C'est une méthode qui prend en compte la prévision de la période antérieure. À cette prévision, l'on augmente l'écart subit, pondéré d'un coefficient compris entre 0 et 1. Le choix de la valeur de α se fait par essais et erreurs. La valeur retenue est celle qui minimise l'erreur de prévision. [21]

IV.4.5.1 Lissage exponentiel simple

Cette méthode est probablement la plus connue pour la prévision de la demande des articles. La prévision pour la période n est celle de la période $n-1$ corrigée proportionnellement à l'écart $D_{n-1} - P_{n-1}$ entre la demande réelle et la prévision qui avait été fait pour la période précédente. [21], [26]

$$P_n = P_{n-1} + \alpha (D_{n-1} - P_{n-1}) \quad (\text{IV.11})$$

Où : α est un coefficient compris entre 0 et 1.

Si $\alpha = 0$, on considère que la prévision de n est la même que celle de $n-1$. Au contraire, si $\alpha = 1$, on prend comme prévision de la période n la demande réelle de la période $n-1$, en effet : [27]

$$P_n = P_{n-1} + D_{n-1} - P_{n-1} = D_{n-1} \quad (\text{IV.12})$$

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

Une valeur de α se rapprochant de 1 conduit donc à favoriser les demandes réelles récentes, comme cela sera illustrée dans le (tableau IV.1).

On peut montrer aisément que cette méthode implique les demandes réelles passées :

$$P_n = P_{n-1} + \alpha (D_{n-1} - P_{n-1}) = \alpha D_{n-1} + (1 - \alpha)P_{n-1} \quad (IV.13)$$

$$\text{Or : } P_{n-1} = P_{n-2} + \alpha (D_{n-2} - P_{n-2}) = \alpha D_{n-2} + (1 - \alpha)P_{n-2} \quad (IV.14)$$

$$\text{Donc : } P_n = \alpha D_{n-1} + (1 - \alpha)\alpha D_{n-2} + (1 - \alpha)^2 P_{n-2} \quad (IV.15)$$

de proche en proche on arrive à :

$$P_n = \alpha D_{n-1} + (1 - \alpha)\alpha D_{n-2} + (1 - \alpha)^2 \alpha D_{n-3} + \dots \quad (IV.16)$$

La méthode du lissage exponentiel effectue donc une moyenne mobile pondérée où les coefficients affectés aux données passées sont reliés par une loi de décroissance exponentielle. En pratique, la relation entre le coefficient α et une moyenne mobile à N périodes est approximativement donnée par $\alpha = 2/(N + 1)$. (Le tableau IV.1 rappelle les poids successifs attribués aux données et fournit ces poids pour trois valeurs caractéristiques du coefficient α).

Tableau IV.1 : Décroissance des poids pour différents valeurs de

Période	n	n - 1	n - 2	n - 3	n - 4
Pois		$(1 - \alpha)$	$(1 - \alpha)^2$	$(1 - \alpha)^3$	$(1 - \alpha)^4$
$\alpha = 0.9$	0.9	0.09	0.009	0.0009	0.00009
$\alpha = 0.3$	0.3	0.21	0.147	0.1029	0.07203
$\alpha = 0.1$	0.1	0.009	0.081	0.0729	0.06561

Le coefficient α est défini empiriquement ou d'une manière plus scientifique par la méthode des moindres carrés. Sa valeur permet de régler la sensibilité du système.

IV.4.5.2. Lissages exponentiels multiples

La méthode du lissage exponentiel peut être employée avec deux coefficients α et β si la demande est à tendance (lissage exponentiel double). Nous appellerons tendance instantanée la variation de prévision d'une période à la suivante : [21]

$$t_n = P_n - P_{n-1} \quad (IV.17)$$

On effectue alors un lissage exponentiel de la tendance :

$$T_n = \beta t_n + (1 - \beta)T_{n-1} \quad (IV.18)$$

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

Nous n'entrerons pas plus dans le détail du lissage exponentiel double et nous demanderons au lecteur d'admettre que la prévision corrigée s'exprime par :

$$P'_n = P_n + \frac{1+\alpha}{2\alpha} T_n \quad (\text{IV.19})$$

Il est également possible d'effectuer un lissage exponentiel des coefficients saisonniers en introduisant un coefficient β . Le lissage exponentiel comporte alors trois coefficients α , β et γ . Il est ainsi appelé lissage exponentiel triple. [28]

Là encore, les modèles employés sont faciles à mettre en oeuvre sur ordinateur et peu coûteux. Ils nécessitent, comme les précédents, de disposer de données historiques suffisamment étoffées.

IV.4.5.3. Méthode du double lissage exponentiel de Holt-Winters

La méthode de Holt est basée sur le double lissage pour l'évaluation des séries temporelles avec composantes de tendance. Deux équations sont nécessaires : [24]

$$S_t = D_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + G_{t-1}) \quad (\text{IV.20})$$

$$G_t = \alpha(S_t - S_{t-1}) + (1 - \alpha)G_{t-1} \quad (\text{IV.21})$$

Où :

S_t : est la valeur de l'ordonnée à l'origine au temps t ,

G_t : est la valeur de la pente au temps t ,

La valeur de la prévision $F_{t,t+}$ sera donnée par :

$$F_{t,t+} = S_t + G_t \quad (\text{IV.22})$$

IV.4.6. Méthode d'analyse de la tendance

Régression linéaire

La régression linéaire est une méthode permettant d'analyser un ensemble de données et d'en extraire la tendance sous forme d'équation du premier degré. [24]

Soit $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ un ensemble de n paires de données liées à un phénomène particulier, avec y_i la valeur observée de Y lorsque x_i est la valeur observée de X :

Si l'on réfère à Y comme étant la variable dépendant de X , alors, \hat{y} sera la valeur prévue de Y et sera déterminée par l'équation:

$$\hat{y} = a + bX \quad (\text{IV.23})$$

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

Les valeurs de a et b seront déterminées comme étant les valeurs minimisant la somme des carrés des distances entre la droite de régression et les données.

Soit D_1, D_2, \dots, D_n la valeur de la demande aux temps $1, 2, \dots, n$, il peut être démontré que les valeurs de a et b minimisant l'erreur sont données par les équations:

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (\text{IV.24})$$

et

$$a = D - b(n-1)/2 \quad (\text{IV.25})$$

où

$$S_{xy} = n \sum_{i=1}^n iD_i - \frac{n(n+1)}{2} \sum_{i=1}^n D_i \quad (\text{IV.26})$$

et

$$S_{xx} = \frac{n^2(n+1)(2n+1)}{6} - \frac{n^2(n+1)^2}{4} \quad (\text{IV.27})$$

IV.4.7. Séries saisonnières

Une série saisonnière est une série dont le patron se répète toutes les n périodes durant un certain nombre de périodes :

Facteurs saisonnières

La méthode la plus connue pour faire des prédictions en tenant compte de l'effet saisonnier est d'évaluer les facteurs multiplicateurs de chacune des saisons et de pondérer la tendance en fonction de ces facteurs. [24]

Soit C_t un ensemble de multiplicateur tel que : $1 \leq t \leq N$

et que :

$$\sum C_t = N \quad (\text{IV.28})$$

Le multiplicateur C_t représente la quantité moyenne dont il faut multiplier la demande de la t ième période pour l'accroître ou la réduire de manière à tenir compte de l'effet saisonnier

CHAPITRE IV. Les méthodes de recherche de prévision.

Étapes :

- Dégager la tendance: calculer à l'aide de méthodes linéaires la tendance des ventes;
- Calculer l'indice de chacune des périodes (mois, saisons,...) en utilisant le quotient des ventes réelles sur la valeur estimée par la tendance;
- Regrouper les indices saisonniers des mêmes périodes et en faire une moyenne, si le nombre de données le permet, utiliser une moyenne modifiée;
- Rectifier les valeurs estimées de la tendance en les multipliant par les indices calculés.

IV.5. Conclusion :

Dans cette partie de travail on a essayé de présenter les différentes méthodes de prévision. Les méthodes classiques sont rapides et peu coûteuses. Elles donnent des informations intéressantes à court terme mais moins fiables dès qu'on s'éloigne dans le temps. Les modèles plus complexes et plus récents sont beaucoup plus coûteux mais fournissent en général des prévisions valables à long terme. Il reste du ressort de chaque entreprise de choisir la méthode qui lui conviendra en fonction de l'objectif fixé.

Tous les modèles de prévision évoqués ont été intégrés à des logiciels. Certains progiciels comportent plusieurs méthodes et proposent même un choix à l'utilisateur s'il le désire. On remarque que toutefois qu'il est indispensable de bien connaître les problèmes de la prévision de la production et consommation de l'entreprise future.

Chapitre V

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

V.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons examiné les méthodes de prévision selon le domaine d'utilisation, et nous avons pu ressortir la méthode la plus simple et rapide pour provisionner la production et la consommation future de la cimenterie de El-Ma-Labiod Tébessa, où les conditions d'application sont favorables. Cette méthode dénommée « méthode de lissage exponentiel ».

Sur la base des informations fournies par l'entreprise, en particulier le département de production, nous atteindrons les résultats requis dans ce chapitre.

V.2. Domaines et contraintes d'utilisation

En gestion de production les prévisions utiles pour :

- Le calcul des besoins externes à fin d'affiner les données du programme directeur.
- L'évaluation des charges des postes de travail.
- La gestion des stocks afin de définir les règles de gestion : quand et de combien approvisionner ?

D'une façon générale, une prévision est l'interprétation d'un historique, lequel est constitué par une série d'observations effectuées à dates fixes et classées chronologiquement.

On parle de séries temporelles ou chroniques. Ces observations portent le plus souvent sur des commandes ou de produit. Elles sont exprimées en quantités, en volumes, en longueurs, en poids.

Les exemples qui suivent sont des applications des prévisions :

- Exemple de prévision.
- Choisir une méthode de prévision.
- Relever la production antérieure.
- Déterminer le type de production.
- Appliquer la méthode de prévision

V.3. Méthodes des prévisions

Parmi toutes les méthodes de prévision possibles, nous suggérons les méthodes suivantes :

- Méthode de la moyenne mobile.
- Méthode de lissage exponentiel.
- Méthode d'analyse de tendance.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Il existe d'autres approches telles que la méthode de Delphi, Holt-Winters, les filtres adaptatifs, la modélisation linéaire..., plus fréquemment que pour les problèmes de production.

L'entreprise veut déterminer la part de sa production relative au vent du ciment pour les années prochaines afin d'en réorganiser la gestion (flux, capacités, régime, d'approvisionnement).

V.3.1. Choix de la méthode de prévision

On a retenu la méthode de lissage exponentiel car elle nous donne des résultats rapides et simple a utilisée et elle ne nécessite pas la conservation d'historique.

V.4. Détermination des prévisions de la production

On a utilisé la méthode de lissage exponentiel, les résultats sont ainsi :

a. Relever de la production antérieure

Nous sommes au début de l'année **2020** le relevé de production réelle pour les cinq dernières années de commercialisation est comme suit :

Voici les relevés annuels de la production de ciment entre **2015** et **2019** :

Tableau V.1 : Relever de la production annuel de ciment.

Période en année <i>i</i>	Quantité réelle tonne/an <i>R_i</i>	Notation (<i>R_i</i>)
2015	614 047	R_{15}
2016	562 700	R_{16}
2017	563 016	R_{17}
2018	413 019	R_{18}
2019	391 020	R_{19}

où :

i : Représente l'année

R_i : Production réelle du l'année.

P_i : Prévision faite à la fin du l'année (**i-1**) pour l'année **i**.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

b. Résultats obtenus, en utilisant la méthode de lissage, sous forme de tableaux

Tableau V.2 : Statistiques descriptives (Production en tonne/an).

Variable	Production en tonne
Observations	5
Observation avec données manquantes	0
Observation sans données manquantes	5
Minimum	391 020,000
Maximum	614 047,000
Moyenne	508 760,400
Ecart-type	99959,537

Tableau V.3 : Coefficients d'ajustement (Production en tonne).

Statistique	Valeur
Observation	5
DDL	4
SCE	65895315063,031
MCE	16473828765,758
RMCE	128350,414
MAPE	25 891
MPE	-25 891
MAE	110699,726
R ²	

Tableau V.4 : Paramètres du modèle (Production en tonne).

Statistique	Paramètre
Alpha	0.2
S1	614 047

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Tableau V.5 : Série avant et après lissage (Production en tonne).

Période	Production en tonne	Exponentiel production en tonne	Résidus
2015	614 047,000		
2016	562 700,000	614 047,000	53939,500
2017	563 016,000	603777,600	43467,600
2018	413 019,000	595625,280	115222,920
2019	391 020,000	538196,000	114177,336

c. Résultats obtenus, en utilisant la méthode de lissage, sous forme graphique

Représentation graphique des prévisions de la production :

Voici la représentation graphique du tableau précédent (tableau V.5.) :

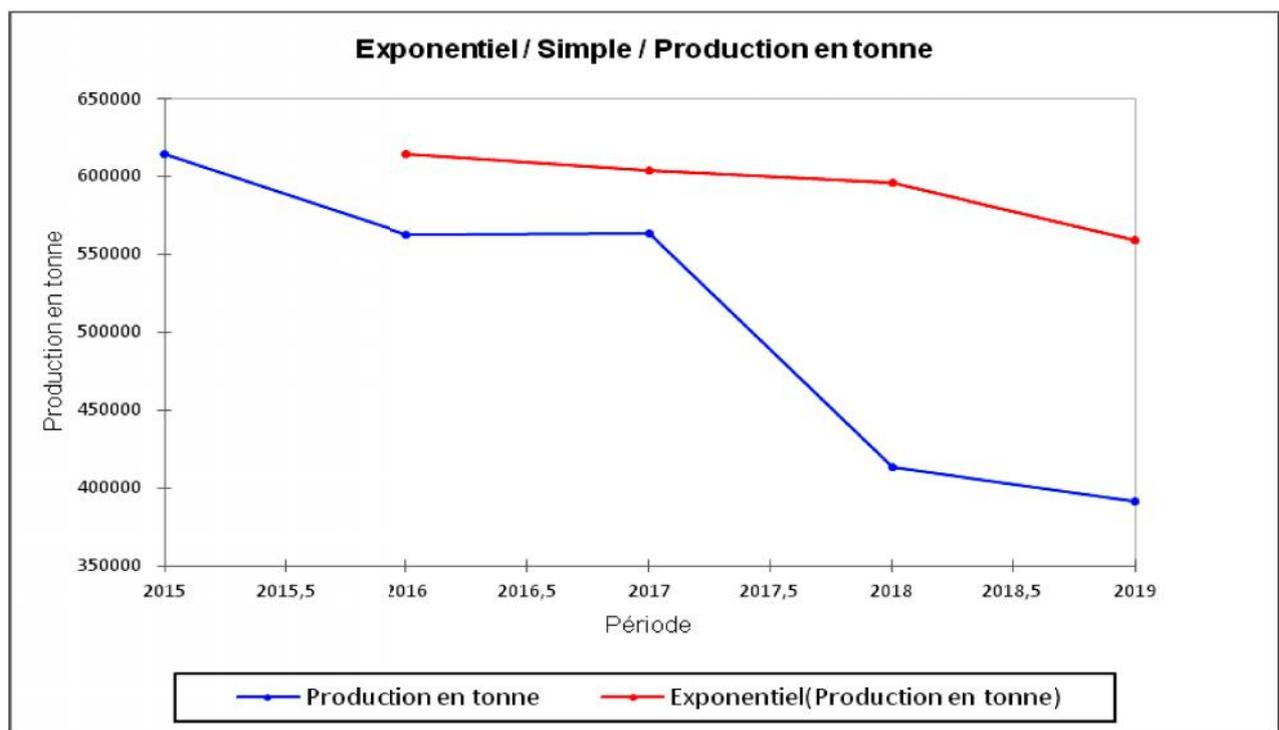


Figure V.1 : Représentation graphique des prévisions de la production

Interprétation graphique :

Selon le graphique (figure V.1), nous avons remarqué une diminution de la production de ciment, surtout les deux dernières années. Par rapport des prévisions de la production pour la même période.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

d. Application de la méthode de lissage exponentiel sous forme analytique

Dans la description suivante nous allons simuler l'écoulement du temps. Ainsi au début du raisonnement, nous serons fin 2019 ; et nous finirons en 2020. De plus, on différencie le débit et la fin de chaque année.

- Prévision, établie fin 2019, pour l'année 2020.

Prévision pour l'année 2020 :

$$P_{19} = \frac{R_{15} + R_{16} + R_{17} + R_{18}}{4} \quad (V.1)$$

$$P_{19} = \frac{614\,047 + 562\,700 + 563\,016 + 413\,019}{4} = 538\,169 \text{ tonne/an}$$

Alors : $P_{19} = 538\,196 \text{ tonne/an}$

- Prévision, établie fin 2019, pour l'année 2020.

Nous nous considérons maintenant fin 2019 et nous allons établir la prévision pour l'année 2020. Les seules données qui nous sont nécessaire sont :

- La prévision établie fin 2018 pour l'année 2019 : $P_{19} = 538\,196 \text{ Tonne/an}$.
- La production réelle du l'année 2019 qui vient de tomber :
 $R_{19} = 391\,020 \text{ Tonne/an}$

La formule de calcule de la prévision est la suivante :

$$P(i+1) = P(i) + E \quad (V.2)$$

Avec : $E = R(i) - P(i) \quad (V.3)$

D'où : $P(i+1) = P(i) + (R(i) - P(i)) \quad (V.4)$

Dans laquelle :

$P(i+1)$: prévision de production pour l'année (i+1) établie à fin du l'année (i).

$P(i)$: prévision de production pour l'année (i) établie à la fin du l'année (i-1).

$R(i)$: production réelle pour l'année (i).

: coefficient de lissage pouvant varier entre -1 et 1 mais généralement choisi entre 0,1 et 0,3.

$$\text{Prévision pour l'année 2020 : } P_{20} = P_{19} + \alpha * (R_{19} - P_{19}) \quad (V.5)$$

Avec : $P_{19} = 538\,196 \text{ tonne/an}$.
 $R_{19} = 391\,020 \text{ Tonne/an}$.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

On peut retenir pour la valeur moyenne 0.2 qui sont souvent utilisée.

$$\begin{aligned} P_{20} &= 538\,196 + 0.2 \cdot (391\,020 - 538\,196) \\ &= 538\,196 - 29\,435 \\ &= 508\,761 \text{ Tonne/an} \end{aligned}$$

Alors :

$$P_{20} = 508\,761 \text{ Tonne/an.}$$

Tableau V.6 : Prévision de la production future.

Période (i)	Production réelle en tonne $R(i)$	Prévision de production (Exponentiel) $P(i+1)$
2015	614 047,000	
2016	562 700,000	614 047,000
2017	563 016,000	603 777,600
2018	413 019,000	595 625,280
2019	391 020,000	559 104,024
2020		508 761,000

Représentation graphique des prévisions de la production future :

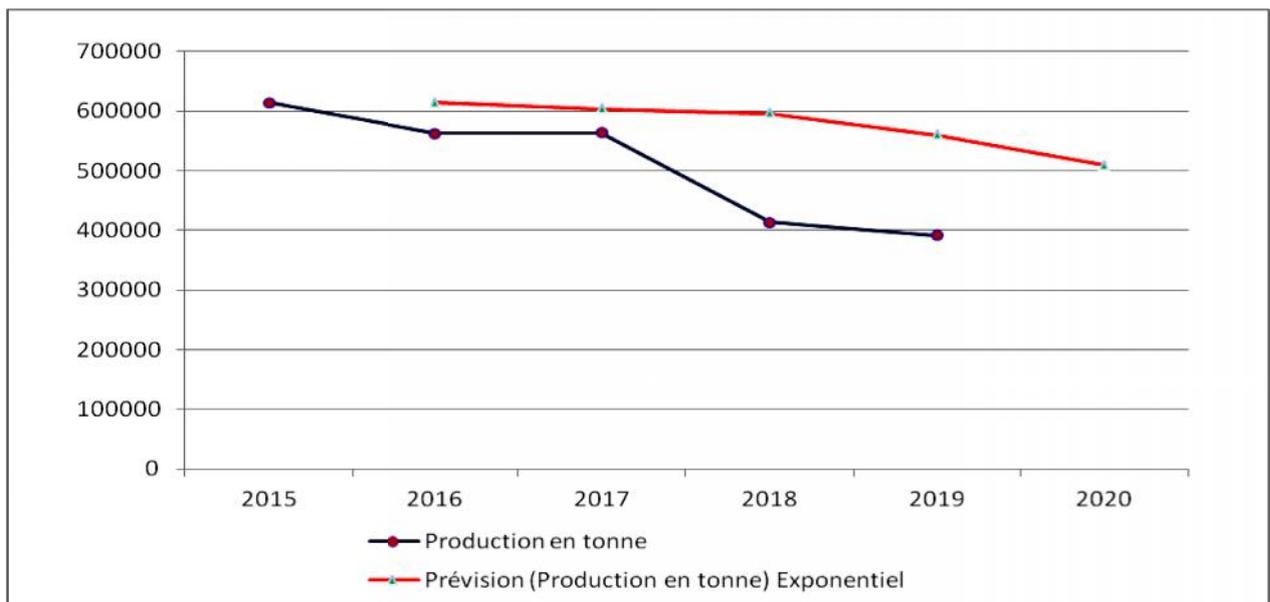


Figure V.2 : Représentation graphique des prévisions de la production future.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Interprétation graphique :

Selon le graphique (Figure V.2) on a remarqué des différentes prévisions comparées à la production réelle doit permettre au gestionnaire d'affiner la valeur du coefficient de lissage .

L'efficacité de la méthode de lissage dépend bien entendu du choix de la valeur du coefficient de lissage . Cette valeur pourra évoluer dans le temps.

Il suffit de se rappeler que plus est grand, plus on privilégie les derniers résultats et que l'influence des résultats antérieurs décroît exponentiellement avec leurs éloignement de la date considérée, d'où le nom de la méthode de lissage.

V.5. Détermination des prévisions de la consommation en énergie électrique

On a utilisé la méthode de lissage exponentiel, les résultats sont ainsi :

a. Relevé de la consommation en énergie électrique antérieure

Nous sommes au début de l'année 2020 le relevé de la consommation réelle en énergie électrique pour les cinq dernières années est comme suit :

Voici les relevés annuels de la consommation en énergie électrique entre 2015 et 2019 :

Tableau V.7 : Relever de la Consommation annuels en énergie électrique.

Période en année <i>i</i>	Consommation KWh <i>Ri</i>	Notation (<i>Ri</i>)
2015	71 069 300	R15
2016	63 378 900	R16
2017	60 657 200	R17
2018	64 968 286	R18
2019	52 253 000	R19

Où :

i : Représente l'année

Ri : La consommation réelle en énergie électrique.

Pi : Prévision faite à la fin de l'année (**i-1**) pour l'année **i**.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

b. Résultats obtenus, en utilisant la méthode de lissage, sous forme de tableaux

Tableau V.8 : Statistiques descriptives (Consommation KWh).

Variable	Consommation KWh
Observations	5
Observation avec données manquantes	0
Observation sans données manquantes	5
Minimum	52 253 000,000
Maximum	71 069 300,000
Moyenne	62 465 337,200
Ecart-type	6 868 200,579

Tableau V.9 : Coefficients d'ajustement (Consommation KWh).

Statistique	Valeur
Observation	5
DDL	4
SCE	369040790741400,000
MCE	92260197685350,000
RMCE	9605217,212
MAPE	14 915
MPE	-14 915
MAE	8574585,000
R ²	

Tableau V.10 : Paramètres du modèle (Consommation KWh).

Statistique	Paramètre
Alpha	0,2
S1	71069 300

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Tableau V.11 : Série avant et après lissage (Consommation KWh).

Période	Consommation KWh	Exponentiel Consommation KWh	Résidus
2015	71069300,000		
2016	63378900,000	71069300,000	-7690400,000
2017	60657200,000	69531220,000	-8874020,000
2018	64968286,000	67756416,000	-2788130,000
2019	52253000,000	67198790,000	-14945790,000

c. Résultats obtenus, en utilisant la méthode de lissage, sous forme graphique

Représentation graphique de prévision de la consommation en énergie électrique :

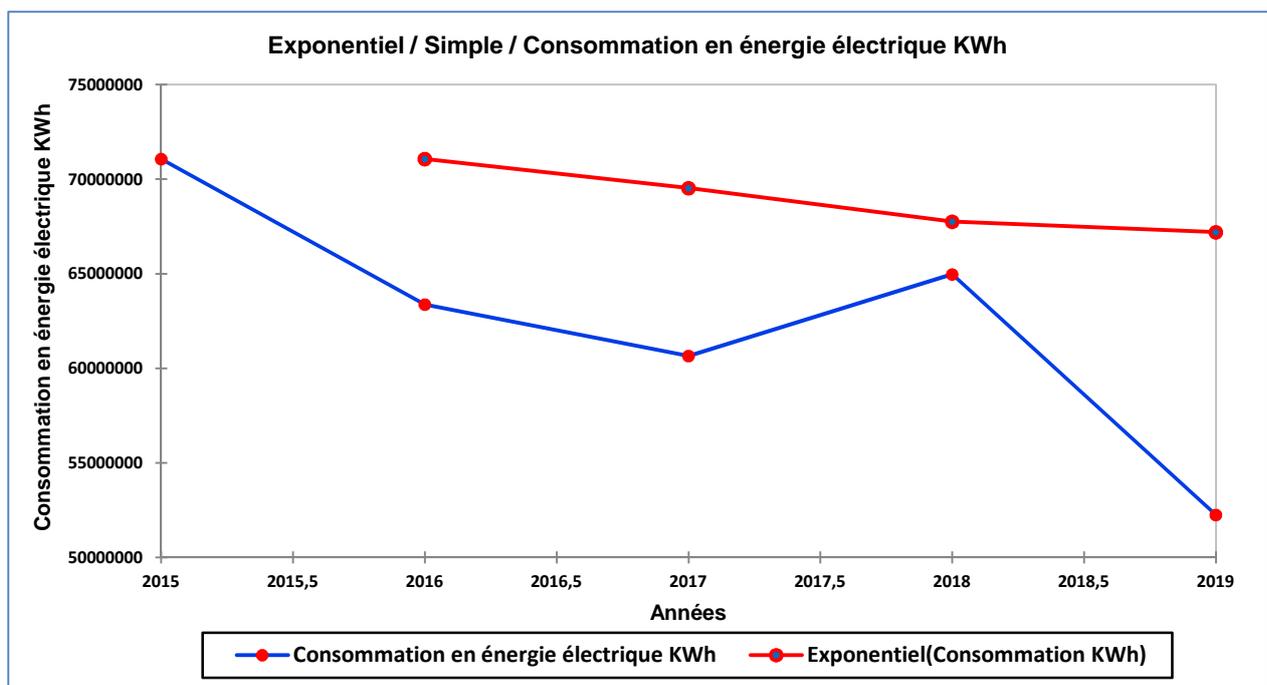


Figure V.3 : Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique.

Interprétation graphique :

Selon le graphique (figure V.3), nous avons remarqué une diminution de la consommation en énergie électrique, surtout dans l'année 2019. Par rapport des prévisions de la consommation en énergie électrique pour la même période.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

d. Application de la méthode de lissage exponentiel sous forme analytique

Dans la description suivante nous allons simuler l'écoulement du temps. Ainsi au début du raisonnement, nous serons fin 2019 ; et nous finirons en 2020. De plus, il faut bien différencier le débit et la fin de chaque année.

- Prévision, établie fin 2019, pour l'année 2020.

Prévision pour l'année 2020 :

$$P_{19} = \frac{R_{15}+R_{16}+R_{17}+R_{18}}{4} \quad (\text{V.6})$$

$$P_{19} = \frac{71\,069\,300+63\,378\,900+60\,657\,200+64\,968\,286}{4}$$

Alors : $P_{19} = 65\,018\,421,5$ KWh.

- Prévision, établie fin 2019, pour l'année 2020.

La prévision établie fin 2018 pour l'année 2019 : $P_{19} = 65\,018\,421,5$ KW/h.

- La consommation réelle en énergie électrique du l'année 2019 qui vient de tomber
 $R_{19} = 52\,253\,000$ KW/h.

La formule de calcule de la prévision est la suivante :

$$P(i+1) = P(i) + E \quad (\text{V.7})$$

Avec : $E = R(i) - P(i) \quad (\text{V.8})$

D'où $P(i+1) = p(i) + (R(i) - P(i)) \quad (\text{V.9})$

Dans laquelle :

$P(i+1)$: prévision de consommation de l'énergie électrique pour l'année (i+1) établie à fin du l'année (i).

$P(i)$: prévision de consommation de l'énergie électrique pour l'année (i) établie à la fin du l'année (i-1).

$R(i)$: consommation de l'énergie électrique réelle pour l'année (i).

: coefficient de lissage pouvant varier entre -1 et 1 mais généralement choisi entre 0,1 et 0,3.

Prévision pour l'année 2020 : $P_{20} = P_{19} + \alpha * (R_{19} - P_{19}) \quad (\text{V.10})$

Avec : $P_{19} = 65\,018\,421,5$ KWh.

$R_{19} = 52\,253\,000$ KWh.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

On peut retenir pour la valeur moyenne 0.2 qui sont souvent utilisée.

$$P_{20} = 65\,018\,421,5 + 0.2 \cdot (52\,253\,000 - 65\,018\,421,5)$$

$$P_{20} = 65\,018\,421,5 - 2\,553\,084,3 = 62\,465\,337,2 \text{ KWh}$$

Alors : $P_{20} = 62\,465\,337,2 \text{ KWh}$.

Tableau V.12 : Prévision de la consommation en énergie électrique.

Période (i)	Consommation KWh réelle R(i)	Prévision de la consommation KWh (Exponentiel) P(i+1)
2015	71 069 300,00	
2016	63 378 900,00	71 069 300,00
2017	60 657 200,00	69 531 220,00
2018	64 968 286,00	67 756 416,00
2019	52 253 000,00	67 198 790,00
2020		62 465 337,20

Représentation graphique des prévisions de consommation en énergie électrique

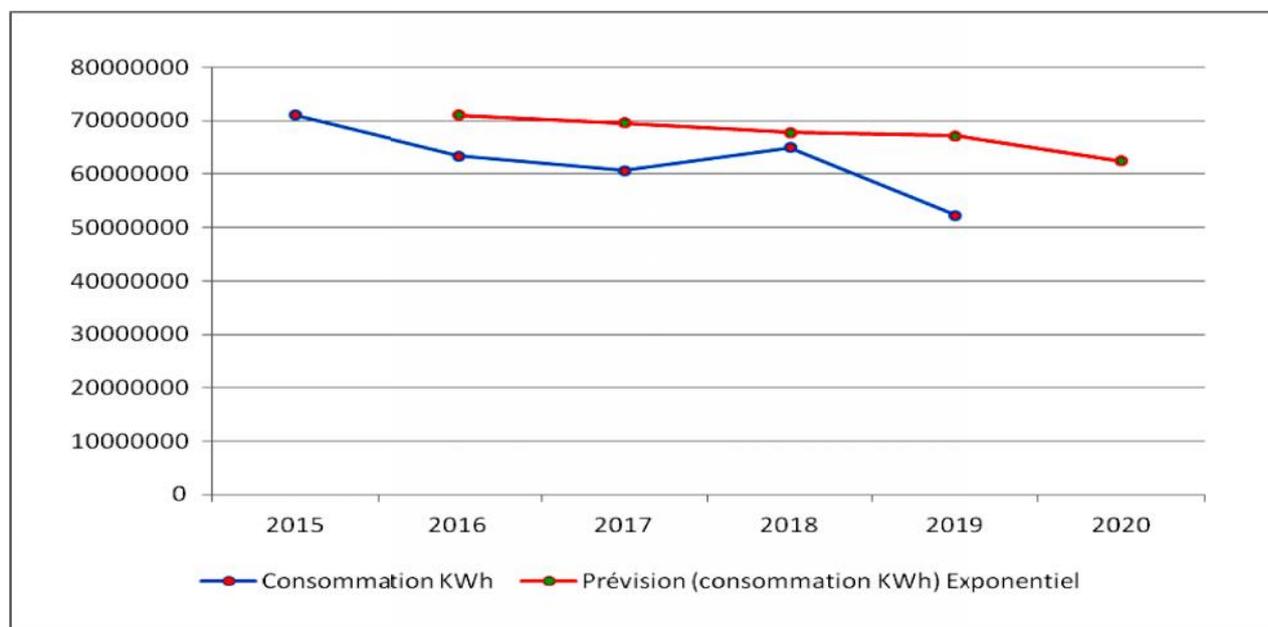


Figure V.4 : Représentation graphique de prévision de la consommation en énergie électrique future.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Interprétation graphique :

Selon le graphique (figure V.4), on a remarqué des différentes prévisions comparées à la consommation en énergie électrique réelle doit permettre au gestionnaire d'affiner la valeur du coefficient de lissage . L'efficacité de la méthode de lissage exponentiel dépend bien entendu du choix de la valeur du coefficient . Cette valeur pourra évoluer dans le temps. Il existe des méthodes pour déterminer la valeur du coefficient. Mais seule la pratique permettra de l'adapter au cas à traiter. Il suffit de se rappeler que plus est grand, plus on privilégie les derniers résultats et que l'influence des résultats antérieurs décroît exponentiellement avec leurs éloignement de la date considérée, d'où le nom de la méthode de lissage exponentiel.

V.6. Détermination de la consommation spécifique en énergie électrique (CSEE)

V.6.1. Définition de la CSEE

La CSEE est le rapport entre la consommation de l'énergie électrique et la quantité de production de ciment durant les années antérieures. Sont unité est le KWh/t.

V.6.2. Calculs du rapport de la CSEE

A) Le calcul de la CSEE réelle peut être déterminé selon la formule suivante :

$$\text{CSEE} = \frac{\text{Energie électrique consommée (KWh)}}{\text{Production t}}, (\text{KWh/t}) \quad (\text{V. 11})$$

Le tableau suivant, représente la production du ciment, l'énergie électrique consommée et le rapport CSEE de la cimenterie durant les années 2015 au 2019 :

Tableau V.13 : Relevé de la production de ciment, l'énergie électrique consommée, et le rapport CSEE.

Années	Production (tonne/an)	Energie électrique Consommée (KWh)	CSEE en (KWh/t)
2015	614 047	71 069 300	115.74
2016	562 700	63 378 900	112.64
2017	563 016	60 657 200	107.74
2018	413 019	64 968 286	157.30
2019	391 020	52 253 000	133.64
Total	2 543 802	312 326 686	122.78

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Remarque :

On à constaté que la consommation spécifique de la tonne de ciment en énergie électrique de la cimenterie d'El-Ma-Labiod Tébessa qui est d'une valeur moyenne 122.78 kwh/t. cette consommation est proche à celle de la cimenterie d'Ain-Touta qui est d'une valeur moyenne 118.96 kwh/t. [14]

Le diagramme suivant (figure V.5) comportera l'évolution de la CSEE annuelle de la cimenterie durant les années calculée précédemment :

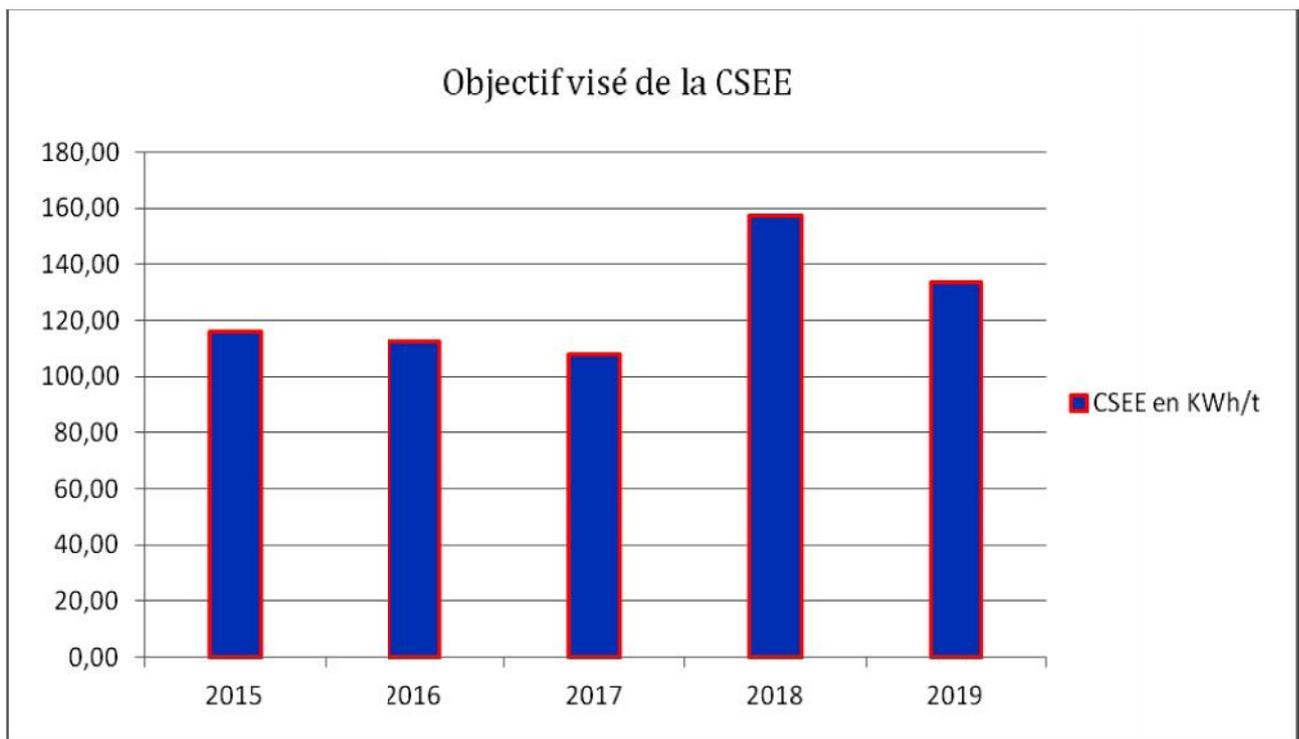


Figure V.5 : Diagramme d'évolution de la CSEE annuelle de la cimenterie durant les années calculée précédemment.

Interprétation du diagramme :

Le diagramme ci-dessus (figure V.5) représente les fluctuations de la CSEE annuelle calculée de la cimenterie durant les années antérieure. L'objectif visé c'est de réduire au maximum la CSEE.

Pour réaliser cet objectif, on procède à l'exploitation rationnelle des équipements, en évitant les marches à vide qui entraîne l'augmentation de la consommation d'énergie et une faible production.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

a. Représentation graphique de la production de ciment des années antérieures

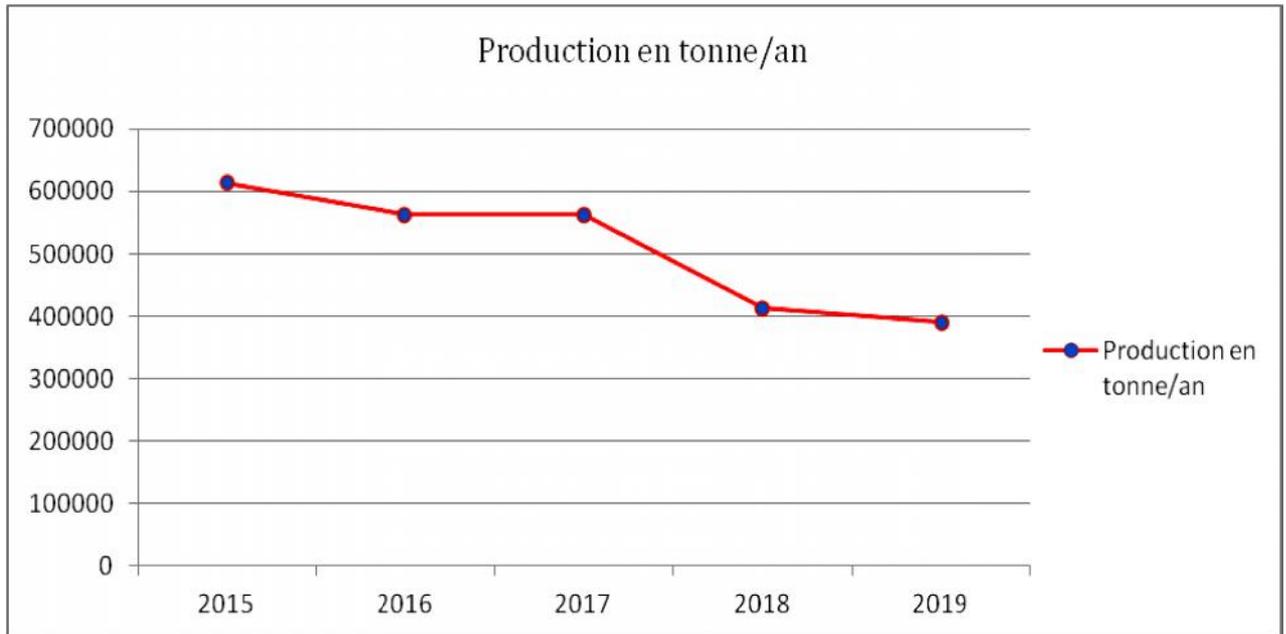


Figure V.6. : Représentation graphique de la production de ciment des années antérieures.

b. Représentation graphique de la consommation en énergie électrique de les années antérieures.

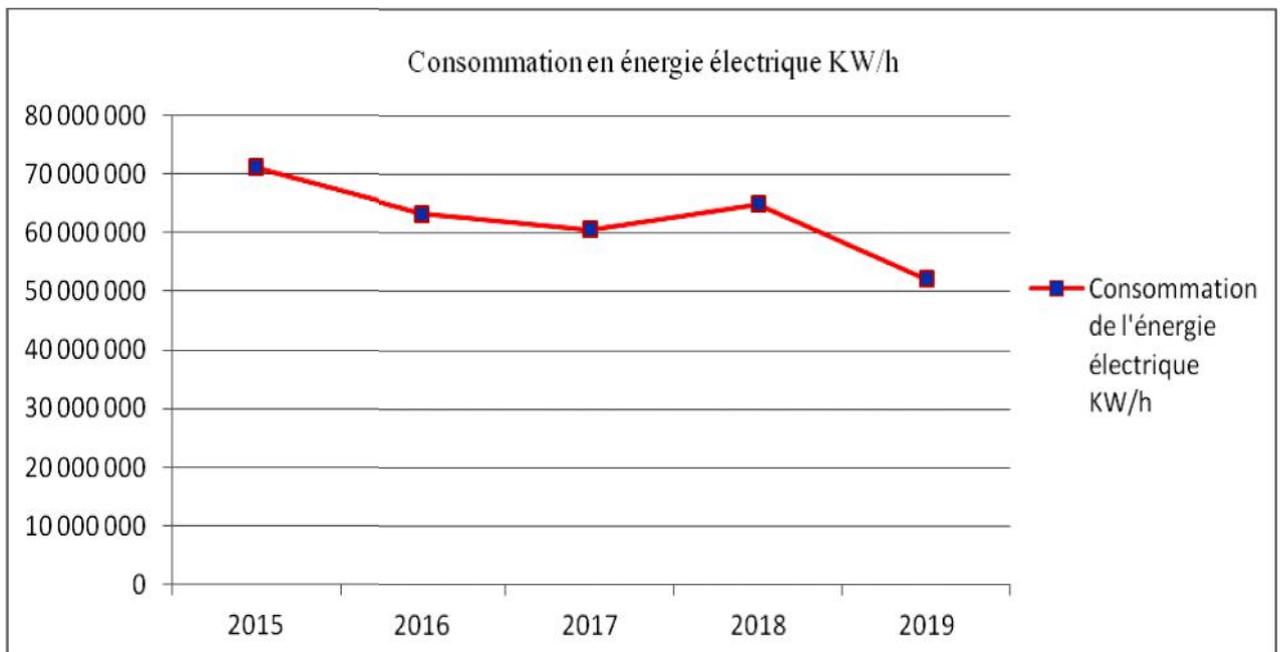


Figure V.7. : Représentation graphique de la consommation en énergie électrique durant les années antérieures.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

c. Représentation graphique d'évolution de la CSEE annuelle de la cimenterie durant les années calculée précédemment.

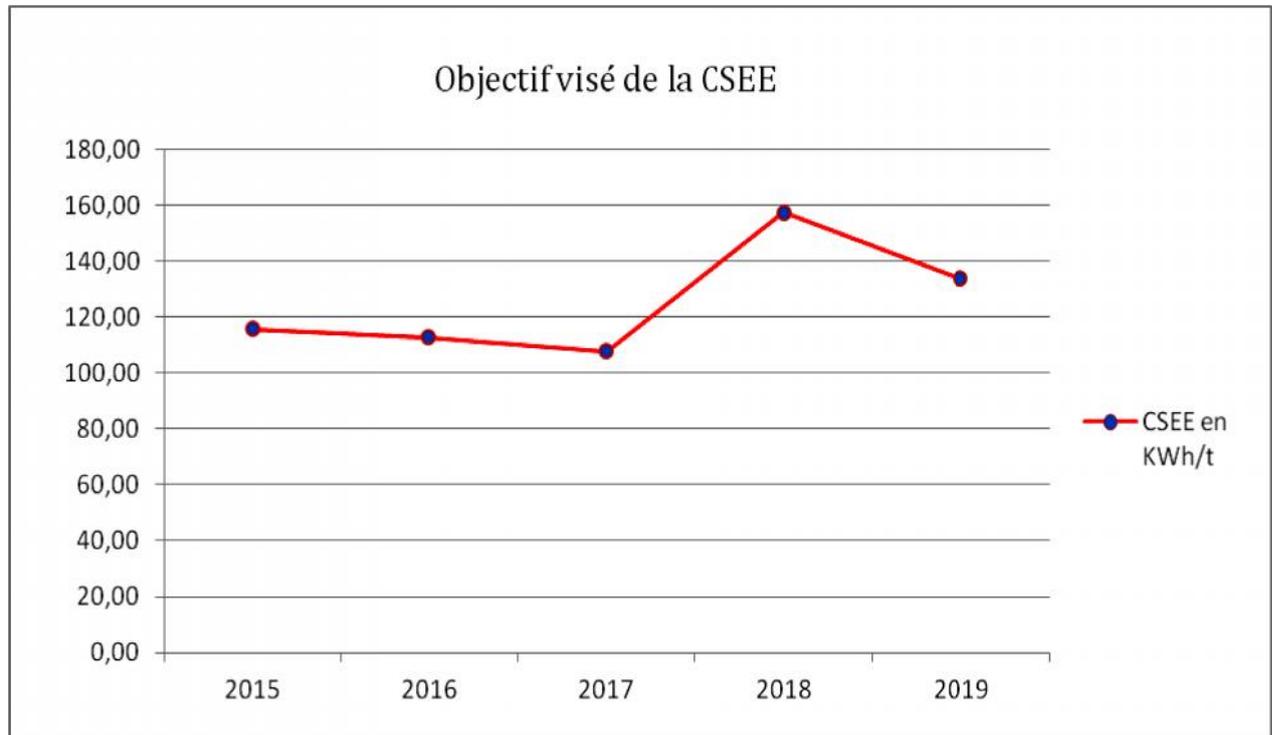


Figure V.8. : Représentation graphique d'évolution de la CSEE annuelle de la cimenterie durant les années calculée précédemment.

Interprétation graphique :

Par comparaison, la consommation spécifique en énergie électrique de l'année 2017 est moins élevée d'une valeur 107.73 kwh/t par rapport à celle de l'année 2018 d'une valeur 157.3 kwh/t.

Donc le cout de la tonne de ciment de l'année 2018 revient plus cher à cause des pertes en énergie électrique qui sont élevées et du régime de fonctionnement des installations de production.

Nous avons appliqué la méthode de lissage exponentiel, Les résultats obtenu sont satisfaisants pour l'entreprise envisagé surtout dans les cas ou cherche les prévisions à court ou moyenne termes,

Tout en supposant que la future ressemblera au passé de plus on peut savoir les résultats dans un délai très court.

Ces résultats constituent pour l'entreprise un élément de la prise de décision.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

V.7. Etude du cas production-consommation du broyeur ciment

Les étapes du processus de fabrication du ciment sont très énergivores, en particulier le broyage du ciment qui représente 40% de l'énergie électrique consommée dans une cimenterie.

Afin d'assurer une bonne gestion de l'énergie électrique consommée par le broyeur ciment, il est nécessaire d'effectuer une étude énergétique basée sur des données, que pendant sur les quatre premier mois de l'année 2020.

V.7.1. Caractéristique techniques des équipements installés :

Parmi les consommateurs les plus importants de l'entreprise, on a choisi le broyeur ciment :

Caractéristique techniques du broyeur ciment :

Tableau V.14 : Caractéristiques techniques du broyeur ciment

Débit nominale	150 t/h
Longueur	10 m
Diamètre	5 m
Humidité de sortie	0.8 %
Longueur utile 1 ^{er} compartiment	5.05 m
Longueur utile 2 ^{ème} compartiment	5.754 m
1 ^{er} compartiment : blindage à revenue à :	6 % Cr
2 ^{ème} compartiment : blindage classant à :	8 % Cr
Taux de remplissage	28 %
1 ^{er} compartiment (charge et boulet)	111 t
2 ^{ème} compartiment (charge et boulet)	129 t
Puissance de moteur	3600 KW
Vitesse de rotation	15 tr/min

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

V.7.2. Détermination des prévisions de la production et consommation en énergie électrique du broyeur ciment

V.7.2.1. Détermination des prévisions de la production du broyeur ciment pour l'année 2020 :

On a retenu la méthode de lissage exponentiel car elle nous donne des résultats rapides et simple a utilisée et elle ne nécessite pas la conservation d'historique.

On à utilisé la méthode de lissage exponentiel, les résultats sont ainsi :

a. Relever de la production du broyeur cru antérieure

Relever de la production annuelle du broyeur ciment :

Voici les relevés annuels de la production du broyeur ciment durant des années antérieures :

Tableau V.15 : Relever de la production annuelle du broyeur ciment.

Période en année <i>i</i>	Quantité réelle tonne/an <i>R_i</i>	Notation (<i>R_i</i>)
2015	614 047	R15
2016	562 700	R16
2017	563 016	R17
2018	413 019	R18
2019	391 020	R19

où :

i : Représente l'année.

R_i : production réelle du broyeur ciment de l'année.

P_i : prévision faite à la fin de l'année (**i-1**) pour l'année **i**.

Remarque :

La production de ciment de l'entreprise durant les années antérieures, est la même que celle du broyeur ciment de la même période, donc les résultats obtenus précédemment sont les mêmes.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

b. Résultats obtenus, en utilisant la méthode de lissage exponentiel, sous forme de tableaux

- Statistiques descriptives (production du broyeur ciment tonne/an) (voire de tableau V.2)
- Coefficient d'ajustement (production du broyeur ciment tonne/an) (voire de tableau V.3)
- Paramètres du modèle (production du broyeur ciment tonne/an) (voire de tableau V.4)
- Série avant et après lissage (production du broyeur ciment tonne/an) (voire de tableau V.5)

c. Résultats obtenus, en utilisant la méthode de lissage exponentiel, sous forme graphique

- Représentation graphique des prévisions de la production future du broyeur ciment méthode de lissage exponentiel (voire la figure V.1)

d. Application de la méthode de lissage exponentiel sous forme analytique

- Prévision de la production du broyeur ciment pour l'année 2020 (voire de tableau V.6)

V.7.2.2. Détermination des prévisions de la production du broyeur ciment pour l'année 2021 :

Par hypothèse on à la production réelle des mois suivant :

Tableau V.16 : Relever de la production mensuelle du broyeur ciment

Période en mois i (2020)	Production réelle R_i tonne/mois	Notation (R_i)
Janvier	38 421	R1
Février	36 714	R2
Mars	41 283	R3
Avril	35 175	R4

Où :

i : Représente mois (2020).

R_i : production réelle du mois.

P_i : prévision faite à la fin du mois ($i-1$) pour le mois i .

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

$$\text{Valeur moyenne réelle} = \left(\frac{R1+R2+R3+R4}{4} \right) * 12 - R20 \quad (\text{V.12})$$

Alors :

$$R20 = \left(\frac{38421+36714+41283+35175}{4} \right) * 12 = 454\,779 \text{ tonne/an}$$

Donc : $R20 = 454\,779$ tonne/an

$P20 = 508\,761$ tonne/an

L a formule de calcule de la prévision est la suivante :

$$P(i+1) = P(i) + E \quad (\text{V.13})$$

$$\text{Avec : } E = R(i) - P(i) \quad (\text{V.14})$$

$$\text{D'où } P(i+1) = p(i) + (R(i) - P(i)) \quad (\text{V.15})$$

Dans laquelle :

$P(i+1)$: prévision de la production du broyeur ciment pour le mois (i+1) établie à fin du mois (i).

$P(i)$: prévision de la production du broyeur ciment pour le mois (i) établie à la fin du mois (i-1).

$R(i)$: production du broyeur ciment réelle pour le mois (i).

: coefficient de lissage pouvant varier entre -1 et 1 mais généralement choisi entre 0,1 et 0,3.

$$\text{Prévision pour l'année 2021 : } P21 = P20 + * (R20 - P20) \quad (\text{V.16})$$

Avec : $R20 = 454\,779$ tonne/an

$P20 = 508\,761$ tonne/an

On peut retenir pour la valeur moyenne 0.2 qui sont souvent utilisée :

$$\begin{aligned} P21 &= 508\,761 + 0.2 * (454\,776 - 508\,761) \\ &= 508\,761 - 10\,797 = 497\,964 \text{ tonne/an} \end{aligned}$$

Alors : $P21 = 497\,964$ tonne/an.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Tableau V.17 : Prévisions de la production du broyeur ciment future

Période (i)	Production réelle du broyeur ciment tonne/an (Ri)	Prévision de la production du broyeur ciment tonne/an (Exponentiel) P(i+1)
2015	614 047,000	
2016	562 700,000	614 047,000
2017	563 016,000	603 777,600
2018	413 019,000	595 625,280
2019	391 020,000	559 104,024
2020	454 779.000	508 761,000
2021		497 964,000

Représentation graphique des prévisions de la production future du broyeur ciment.

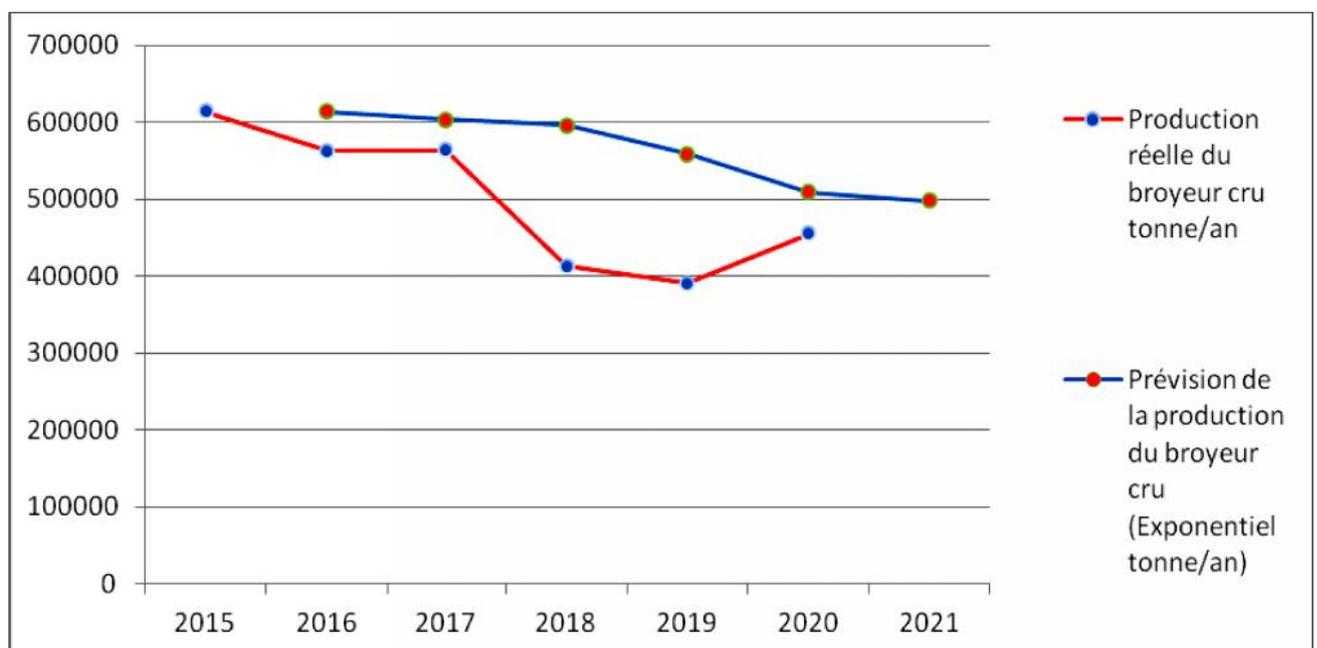


Figure V.9 : Représentation graphique des prévisions de la production future du broyeur ciment.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Interprétation graphique :

Selon le graphique (figure V.9), on a remarqué des différentes prévisions comparées à la production réelle de l'entreprise, doit permettre au gestionnaire d'affiner la valeur du coefficient de lissage . L'efficacité de la méthode de lissage exponentiel dépend bien entendu du choix de la valeur du coefficient de lissage . Cette valeur pourra évoluer dans le temps.

V.7.2.3. Détermination des prévisions de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment pour l'année 2020

On a utilisé la méthode de lissage exponentiel, les résultats sont ainsi :

a. Relevé de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment

Le relevé de la consommation réelle en énergie électrique du broyeur ciment pour les années antérieure est comme suit :

Tableau V.18 : La Consommation annuels en énergie électrique du broyeur ciment.

Période en année i	Consommation KWh du broyeur ciment Ri	Notation (Ri)
2015	28 427 720	R15
2016	25 351 560	R16
2017	24 262 880	R17
2018	25 987 314.4	R18
2019	20 901 200	R19

où :

i : Représente l'année.

Ri : La consommation réelle en énergie électrique du broyeur ciment de l'année.

Pi : prévision faite à la fine du l'année (**i-1**) pour l'année **i**.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

b. Résultats obtenus, en utilisant la méthode de lissage exponentiel, sous forme de tableau

Tableau V.19 : Statistiques descriptives (Consommation KWh du broyeur ciment).

Variable	Consommation KWh
Observations	5
Observation avec données manquantes	0
Observation sans données manquantes	5
Minimum	20901200,000
Maximum	28427720,000
Moyenne	24986134,880
Ecart-type	2747280,232

Tableau V.20 : Coefficients d'ajustement (Consommation KWh du broyeur ciment).

Statistique	Valeur
Observation	5
DDL	4
SCE	59046526518624,100
MCE	14761631629656,000
RMCE	3842086,885
MAPE	14 915
MPE	-14 915
MAE	3429834,000
R ²	

Tableau V.21 : Paramètres du modèle (Consommation KWh du broyeur ciment).

Statistique	Paramètre
Alpha	0,2
S1	28427720

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Tableau V.22: Série avant et après lissage (Consommation KWh du broyeur ciment).

Période	Consommation KWh du Broyeur ciment	Exponentiel Consommation KWh	Résidus
2015	28427720,000		
2016	25351560,000	28427720,000	-3076160,000
2017	24262880,000	27812488,000	-3549608,000
2018	25987314,400	27102566,400	-1115252,000
2019	20901200,000	26879516,000	-5978316,000

c. Résultats obtenus, en utilisant la méthode de lissage exponentiel, sous forme graphique

Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment du tableau précédent :

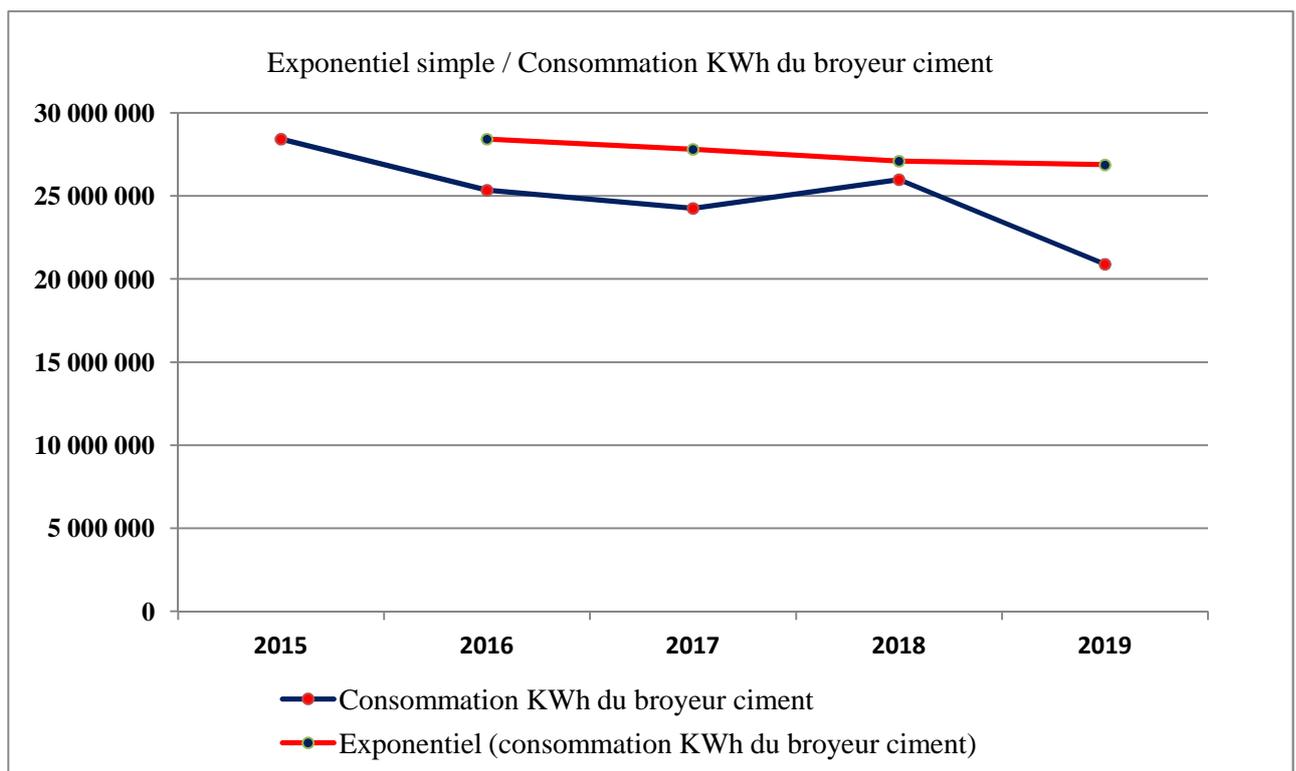


Figure V.10 : Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

d. Application de la méthode de lissage exponentiel sous forme analytique

Prévision, établie fin 2019, pour l'année 2020.

Prévision pour l'année 2020 :

$$P_{19} = \frac{R_{15} + R_{16} + R_{17} + R_{18}}{4} \quad (\text{V.17})$$

$$P_{19} = \frac{28\,427\,720 + 25\,351\,560 + 24\,262\,880 + 25\,987\,314.4}{4}$$

$$P_{19} = 26\,007\,368.60 \text{ KWh.}$$

Alors : $P_{19} = 26\,007\,368.60 \text{ KWh.}$

- Prévision, établie fin 2019, pour l'année 2020.

Nous nous considérons maintenant fin 2019 et nous allons établir la prévision pour l'année 2020. Les seules données qui nous sont nécessaire sont :

- La prévision établie fin 2018 pour l'année 2019 : $P_{19} = 26\,007\,368.4 \text{ KWh.}$
- La consommation de l'énergie électrique réelle du broyeur cru de l'année 2019 qui vient de tomber:

$$R_{19} = 20\,901\,200 \text{ KW/h.}$$

La formule de calcule de la prévision est la suivante :

$$P(i+1) = P(i) + E \quad (\text{V.18})$$

$$\text{Avec : } E = R(i) - P(i) \quad (\text{V.19})$$

$$\text{D'où } P(i+1) = p(i) + (R(i) - P(i)) \quad (\text{V.20})$$

Dans laquelle :

$P(i+1)$: prévision de consommation de l'énergie électrique pour l'année (i+1) établie à fin du l'année (i).

$P(i)$: prévision de consommation de l'énergie électrique pour l'année (i) établie à la fin du l'année (i-1).

$R(i)$: consommation de l'énergie électrique réelle pour l'année (i).

: coefficient de lissage pouvant varier entre -1 et 1 mais généralement choisi entre 0,1 et 0,3.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

- **Prévision pour l'année 2020 :**

$$P_{20} = P_{19} + \alpha * (R_{19} - P_{19}) \quad (V.21)$$

Avec :

$$P_{19} = 26\,007\,368.4 \text{ KWh.}$$

$$R_{19} = 20\,901\,200 \text{ KWh.}$$

On peut retenir pour α la valeur moyenne 0.2 qui sont souvent utilisée.

$$P_{20} = 26\,007\,368.4 + 0.2*(20\,901\,200 - 26\,007\,368.4)$$

$$= 26\,007\,368.4 - 1\,021\,233.68$$

$$= 24\,986\,134.72 \text{ KWh}$$

Alors :

$$P_{20} = 24\,986\,134.72 \text{ KWh.}$$

Le tableau suivant montre prévisions de la consommation futur en énergie électrique du broyeur ciment :

Tableau V.23 : Prévision de la consommation futur en énergie électrique du broyeur ciment.

Période	Consommation réelle KW/h	Prévision de consommation KW/h (Exponentiel)
2015	28 427 720.00	
2016	25 351 560.00	28 427 720.00
2017	24 262 880.00	27 812 488.00
2018	25 987 314.40	27 102 566.00
2019	20 901 200.00	26 879 516.00
2020		24 986 134.72

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique future du broyeur ciment :

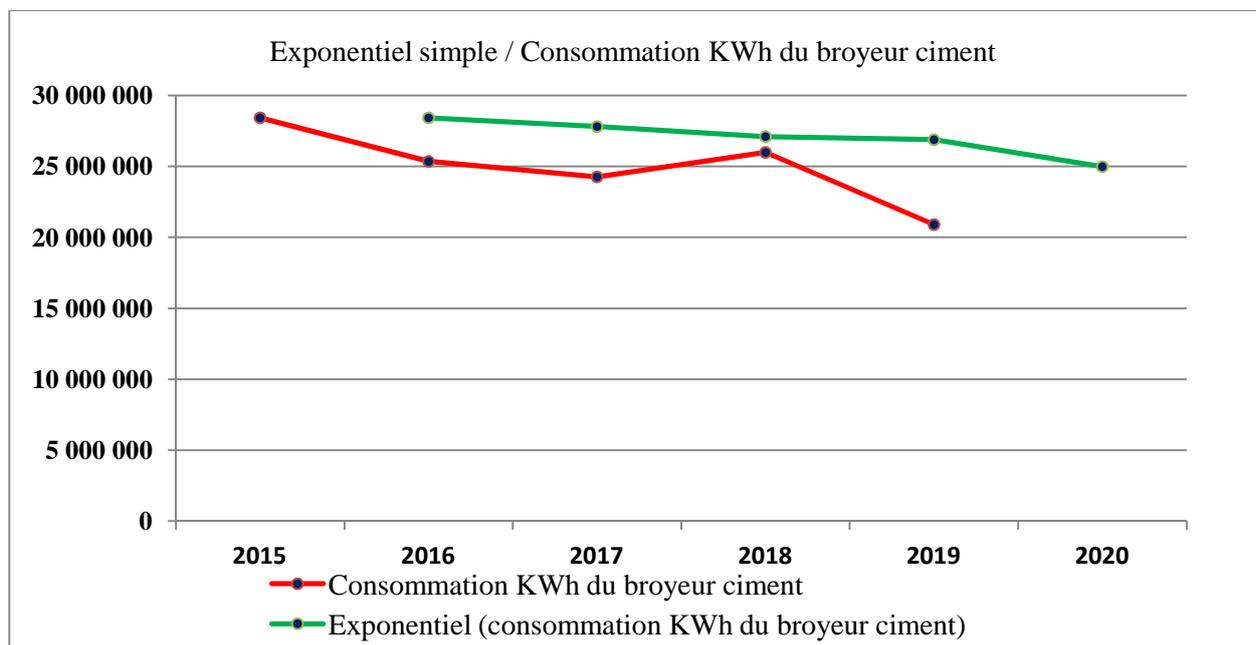


Figure V.11 : Prévision de consommation en énergie électrique du broyeur ciment

V.7.2.4. Détermination des prévisions de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment pour l'année 2021

Par hypothèse on a la consommation en énergie électrique réelle des mois suivant :

Tableau V.24 : Relevé de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment

Période en mois I (2020)	Consommation réelle Ri KWh	Notation (Ri)
Janvier	1 529 325	R1
Février	1 503 714	R2
Mars	1 614 020	R3
Avril	1 593 653	R4

où :

i : Représente du mois.

Ri : consommation réelle du mois.

Pi : prévision faite à la fin du mois (i-1) pour mois i.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Prévision pour l'année 2021 :

$$\text{Valeur moyenne réelle} = \left(\frac{R1+R2+R3+R4}{4} \right) * 12 = R20 \quad (\text{V.22})$$

Alors :

$$R20 = \left(\frac{1529325+1503714+1614020+1593653}{4} \right) * 12$$

Donc : $R20 = 18\,722\,136$ KWh.

$$P20 = 24\,986\,134.72 \text{ KWh}$$

La formule de calcul de la prévision est la suivante :

$$P(i+1) = P(i) + E \quad (\text{V.23})$$

$$\text{Avec : } E = R(i) - P(i) \quad (\text{V.24})$$

$$\text{D'où } P(i+1) = P(i) + (R(i) - P(i)) \quad (\text{V.25})$$

Dans laquelle :

$P(i+1)$: prévisions de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment pour le mois (i+1) établie à fin du mois (i).

$P(i)$: prévision de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment pour le mois (i) établie à la fin du mois (i-1).

$R(i)$: la consommation en énergie électrique du broyeur ciment pour le mois (i).

: coefficient de lissage pouvant varier entre -1 et 1 mais généralement choisi entre 0,1 et 0,3.

$$\text{Prévision pour l'année 2021 : } P21 = P20 + 0.2 * (R20 - P20) \quad (\text{V.26})$$

$$\text{Avec : } R20 = 18\,722\,136 \text{ KWh.}$$

$$P20 = 24\,986\,134.72 \text{ KWh.}$$

On peut retenir pour α la valeur moyenne 0.2 qui sont souvent utilisée :

$$P21 = 24\,986\,134.72 + 0.2 * (18\,722\,136 - 24\,986\,134.72)$$

$$\text{Alors : } P21 = 23\,733\,335 \text{ KWh.}$$

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Tableau V.25 : Prévision de la consommation en énergie électrique future du broyeur ciment.

Période (i)	Consommation réelle du broyeur ciment KWh (Ri)	Prévision de la consommation du broyeur ciment KWh (Exponentiel) P(i+1)
2015	28 427 720.00	
2016	25 351 560.00	28 427 720.00
2017	24 262 880.00	27 812 488.00
2018	25 987 314.40	27 102 566.00
2019	20 901 200.00	26 879 516.00
2020	18 722 136,00	24 986 134.72
2021		23 733 335,00

Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique future du broyeur ciment.

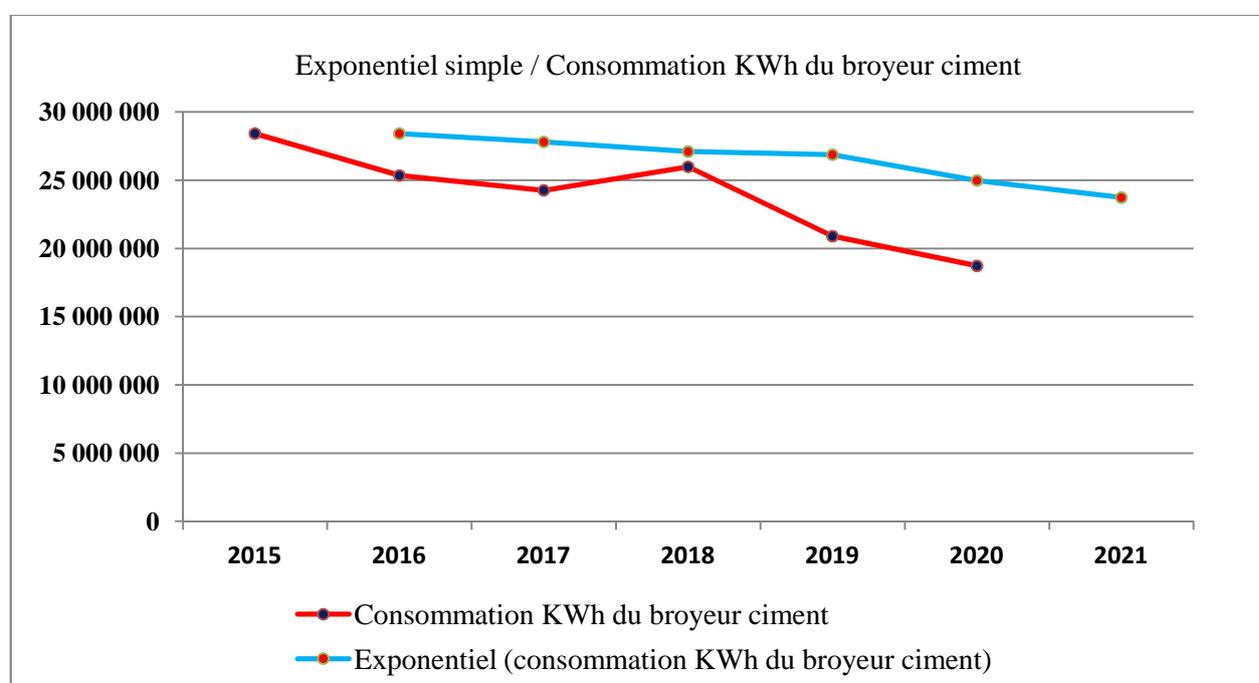


Figure V.12 : Représentation graphique des prévisions de la consommation en énergie électrique future du broyeur ciment.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

V.8. Etude de la consommation spécifique en énergie électrique du broyeur ciment

La consommation spécifique en énergie électrique (CSEE) est le rapport entre l'énergie électrique consommée par le broyeur ciment et la quantité de ciment produit, Sont unité est le KWh/t.

A) la CSEE réelle est déterminé selon la formule suivante :

$$\text{CSEE réelle} = \frac{\text{Energie électrique consommée (KWh)}}{\text{Production (t)}} , \text{ (KWh/t)} \quad (\text{V.27})$$

Le tableau suivant (tableau 7.13) représente la production du ciment, l'énergie électrique consommée et la CSEE du broyeur ciment durant les années antérieures :

Tableau V.26 : Relevé de la production, l'énergie électrique consommée et de la CSEE du broyeur ciment durant les années antérieures :

Années	Production du broyeur ciment en tonne	Energie électrique consommée du broyeur ciment (KWh)	CSEE en (KWh/t)
2015	614 047	28 427 720	46.30
2016	562 700	25 351 560	45.05
2017	563 016	24 262 880	43.09
2018	413 019	25 987 314.4	62.92
2019	391 020	20 901 200	53.45
Total	2 543 802	124 930 674.4	49.11

La CSEE du broyeur ciment durant les années antérieures, pour une quantité de ciment produite de 2 543 802 t est alors :

$$\text{CSEE réelle} = 124\,930\,674.4 \text{ KWh} / 2\,543\,802 \text{ t} = 49.11 \text{ KWh/t}$$

Alors : CSEE réelle = 49.11 KWh/t.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

Le diagramme suivant comportera l'évolution de la CSEE réelle du broyeur ciment durant les années antérieures calculée précédemment :

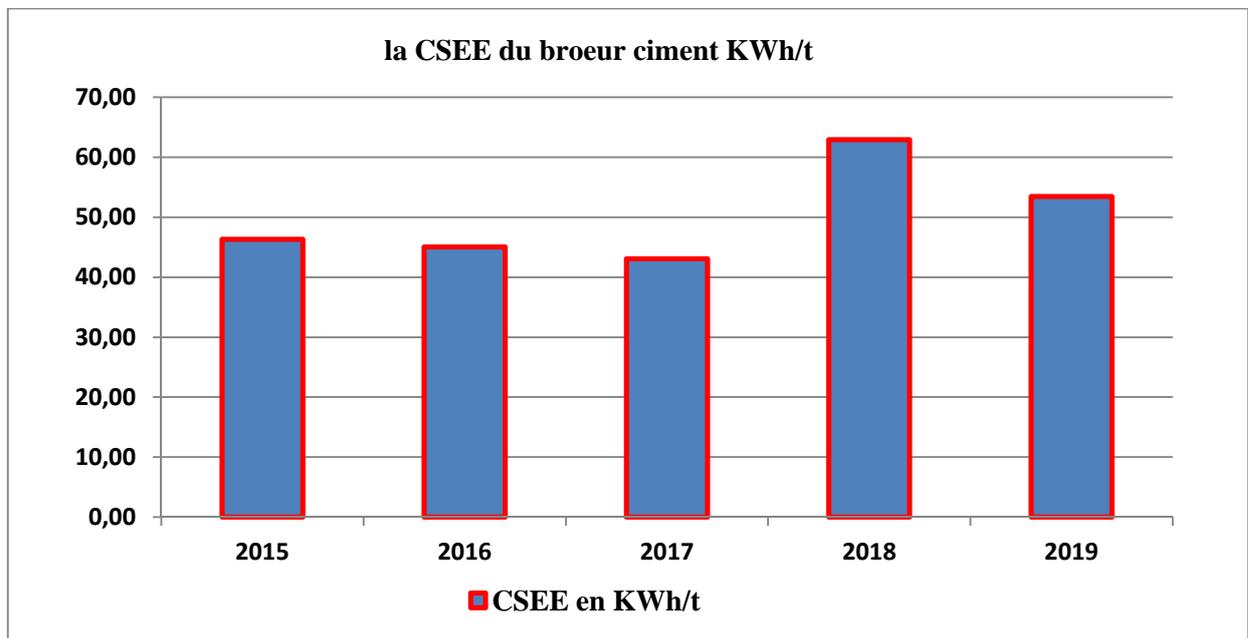


Figure V.13 : Diagramme d'évolution de la CSEE réelle du broyeur ciment durant les années antérieures.

a. Représentation graphique de la production de ciment des années antérieures

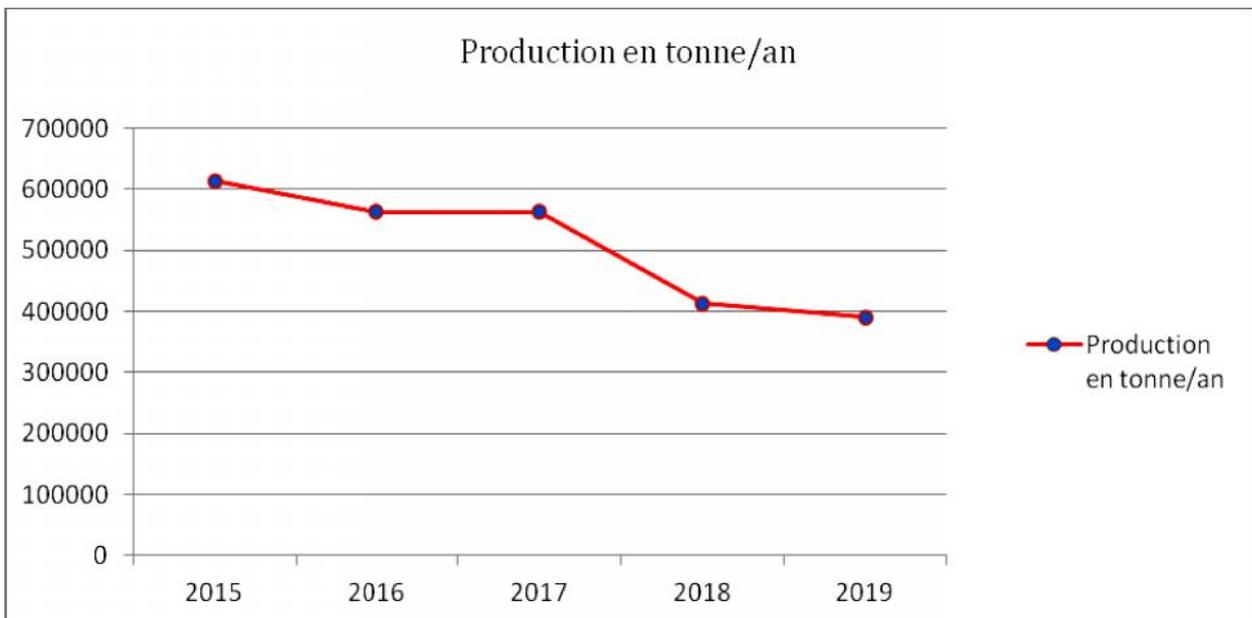


Figure V.14 : Représentation graphique de la production de ciment du broyeur ciment durant les années antérieures.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

- b. Représentation graphique de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment durant les années antérieures

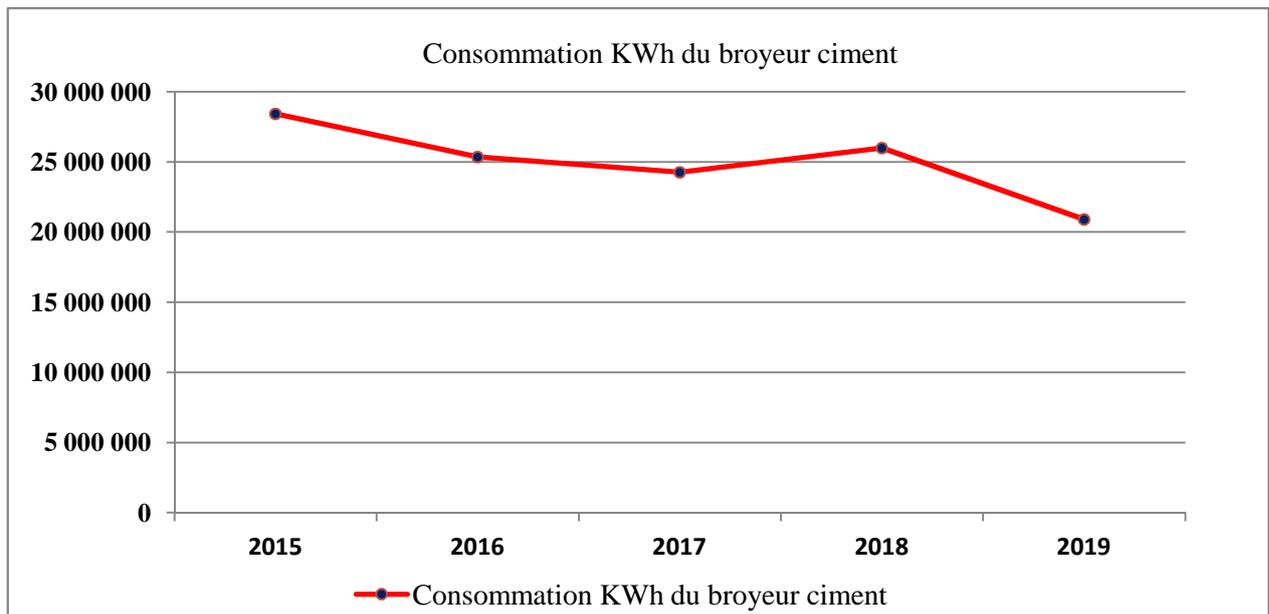


Figure V.15 : Représentation graphique de la consommation en énergie électrique du broyeur ciment durant les années antérieures

- c. Représentation graphique d'évolution de la CSEE annuelle de la cimenterie durant les années calculée précédemment

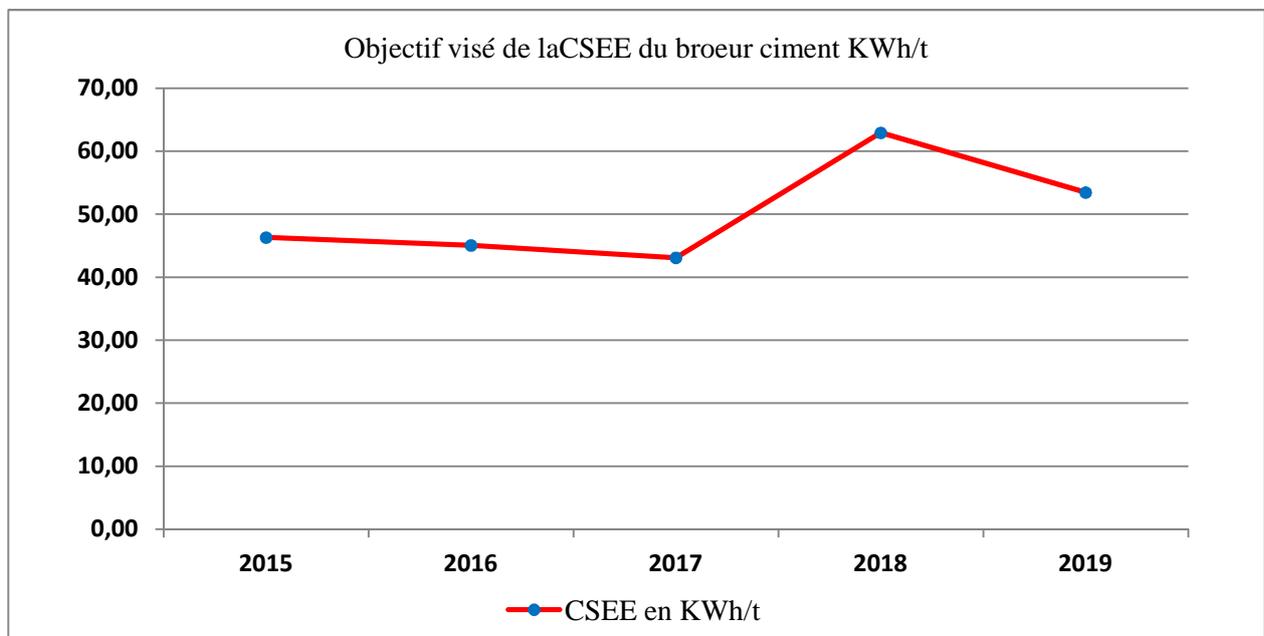


Figure V.16 : Représentation graphique d'évolution de la CSEE annuelle de la cimenterie durant les années calculée précédemment.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

B) la CSEE nominale est déterminé selon la formule suivante :

$$\text{CSEE nominale} = \frac{P_n * T \text{ (KWh)}}{Pr_n \text{ (t)}} , \text{ (KWh/t)} \quad (\text{V.28})$$

Ou :

P_n : Puissance nominale du broyeur ciment, KW

T : Temps de l'année, h

Avec : **T** = 8760 heures.

Pr_n : capacité nominale du broyeur ciment, tonne/h

$$\text{CSEE nominale} = \frac{3600 * 8760}{150 * 8760} = 24 \text{ KWh/t}$$

Alors : la CSEE nominale = 24 Kwh/t

V.9. Prévision de la consommation spécifique en énergie électrique du broyeur ciment pour l'année 2020

a. La CSEE réelle pour l'année 2020 :

$$\text{CSEE réelle} = \frac{\text{Consommation en énergie électrique(KWh)}}{\text{Production (t)}} , \text{ (Wh/t)} \quad (\text{V.29})$$

$$\text{CSEE réelle} = \frac{18\,722\,136 \text{ (KWh)}}{454\,779 \text{ (t)}} = 41.17 \text{ KWh/t}$$

Alors : CSEE réelle = 41.17 KWh/t.

b. La prévision de la CSEE pour l'année 2020 :

$$\text{PCSEE} = \frac{\text{Consommation en énergie électrique(KWh)}}{\text{Production (t)}} , \text{ (KWh/t)} \quad (\text{V.30})$$

$$\text{PCSEE} = \frac{24\,986\,134.72 \text{ (KWh)}}{508\,761 \text{ (t)}} = 49.12 \text{ KWh/t.}$$

Alors : PCSEE pour l'année 2020 = 49.12 KWh/t.

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

V.10. Prévision de la consommation spécifique en énergie électrique du broyeur ciment pour l'année 2021

PCSEE₂₁ : prévision de la consommation spécifique en énergie électrique du broyeur ciment pour l'année 2021.

$$PCSEE_{21} = \frac{\text{Consommation en énergie électrique(KWh)}}{\text{Production (t)}} , \text{ (KWh/t)} \quad (\text{V.31})$$

$$PCSEE_{21} = \frac{23\,733\,335 \text{ (KWh)}}{497\,964 \text{ (t)}} = 47.66 \text{ KWh/t.}$$

Alors : PCSEE₂₁ = 47.66 KWh/t

L'économie qu'on peut réaliser par tonne de ciment broyé si on respecte le régime nominale est :

$$E_{21} = PCSEE_{21} - CSEE_{\text{nominal}} \quad (\text{V.32})$$

$$E_{21} = 47.66 - 24 = 23.66 \text{ KWh/t.}$$

Alors : E₂₁ = 23.66 KWh/t

L'économie réalisée en pourcent est :

$$E_{21\%} = (PCSEE_{21} - CSEE_{\text{nominal}}) / PCSEE_{21} , \% \quad (\text{V.33})$$

$$E_{21\%} = ((47.66 - 24) / 47.66) 100 \% = 50 \%$$

Alors : E_{21%} = 50 %

Donc :

L'économie réalisée en pourcent est de l'ordre de : E_{21%} = 50 %

CHAPITRE V. Analyses de prévision de la production-consommation.

V.11. Conclusion

Plusieurs facteurs perturbent le fonctionnement normal du broyeur ciment, et par conséquent, causent une surconsommation d'énergie électrique au niveau de ce dernier. Pour cela, toute proposition ou solution ne doit être prise en considération qu'après une analyse bien détaillée des causes qui provoquent.

Après analyse bien détaillée sur l'énergie spécifique réelle du broyeur ciment durant les années antérieures dont les valeurs sont ainsi :

- L'année 2015 CSEEr = 46.30 KWh/t
- L'année 2016 CSEEr = 45.05 KWh/t
- L'année 2017 CSEEr = 43.09 KWh/t
- L'année 2018 CSEEr = 62.92 KWh/t
- L'année 2019 CSEEr = 47.66 KWh/t
- L'année 2020 CSEEr = 41.17 KWh/t

Les résultats de la prévision obtenue pour l'année 2021 $PCSEE_{21}$ sont :

- L'économie de l'énergie spécifique, qu'on en peut réaliser est de l'ordre de:
 $PCSEE_{21} = 23.66 \text{ kwh/t}$
- L'économie réalisée en pourcent est de l'ordre de : $E_{21\%} = 50 \%$

On à remarqué par comparaison, qu'il y ait une surconsommation spécifique durant les années antérieures, par rapport à la consommation spécifique nominale qui est de l'ordre de $CSEE_{\text{nominal}} = 24 \text{ KWh/t}$. le but principal est de rechercher comment réduire la consommation spécifique jusqu'à la valeur normative. En agissant sur l'utilisation rationnelle du broyeur ciment, en évitant la marche à vide, c'est-à-dire en se délimité le fonctionnement du broyeur dans le régime nominale.



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'efficacité de la méthode de lissage exponentiel dépend bien entendu du choix de la valeur du coefficient de lissage . Cette valeur pourra évoluer dans le temps. Il existe des méthodes pour déterminer la valeur du coefficient. Mais seule la pratique permettra de l'adapter au cas à traiter.

Il suffit de se rappeler que plus est grand, plus on privilégie les derniers résultats et que l'influence des résultats antérieurs décroît exponentiellement avec leur éloignement de la date considérée, d'où le nom de la méthode.

Sont satisfaisants pour l'entreprise envisagé surtout dans le cas ou on cherche les prévisions à court et moyenne terme tout en supposant que le future ressemblera au passé de plus on peut savoir les résultats dans un délai très court. Ces résultats constituent pour l'entreprise un élément de la prise de décision.

Les méthodes de prévision présentées dans notre travail, supposent que le futur ressemblera au passé, or, nous savons bien que, dans la conjoncture actuelle, les changements sont de plus en plus brutaux, les évolutions de plus en plus rapides.

Dans le cas de prévision de la consommation ou de production à court et moyen termes, on utilise ces méthodes avec précaution. Pour le long terme, les résultats obtenus sont des éventualités qui ne constituent qu'un élément de la prise de décision.

Parmi les méthodes de prévision présentées dans notre travail, la régression multiple est plus apte alimenter une discussion intéressante. Il ne faut pas négliger pour autant les moyennes mobiles la décomposition saisonnière. On a retenue celle de lissage exponentielle.

Les résultats obtenus en utilisant la méthode de prévision :

1. L'analyse du problème en détail de la consommation spécifique au niveau du broyeur cru, montre que ce dernier est un point déterminant de l'économie d'énergie électrique. Pour minimiser les pertes d'énergie ou de production, il faut qu'en travail au régime nominal.

Pour cela en évitant la marche à vide du broyeur et en le fonctionnant à plein charge pour atteindre la norme de consommation qui est de l'ordre de $CSEE_{\text{nominal}} = 24 \text{ KWh/t}$.

Conclusion générale

2. Les résultats de la prévision obtenue pour l'année 2021 PCSEE₂₁ sont :

- L'économie de l'énergie spécifique, qu'on en peut réaliser est de l'ordre de: $PCSEE_{21} = 29.45 \text{ kwh/t}$
- L'économie réalisée en pourcent est de l'ordre de : $E_{21\%} = 55.09 \%$

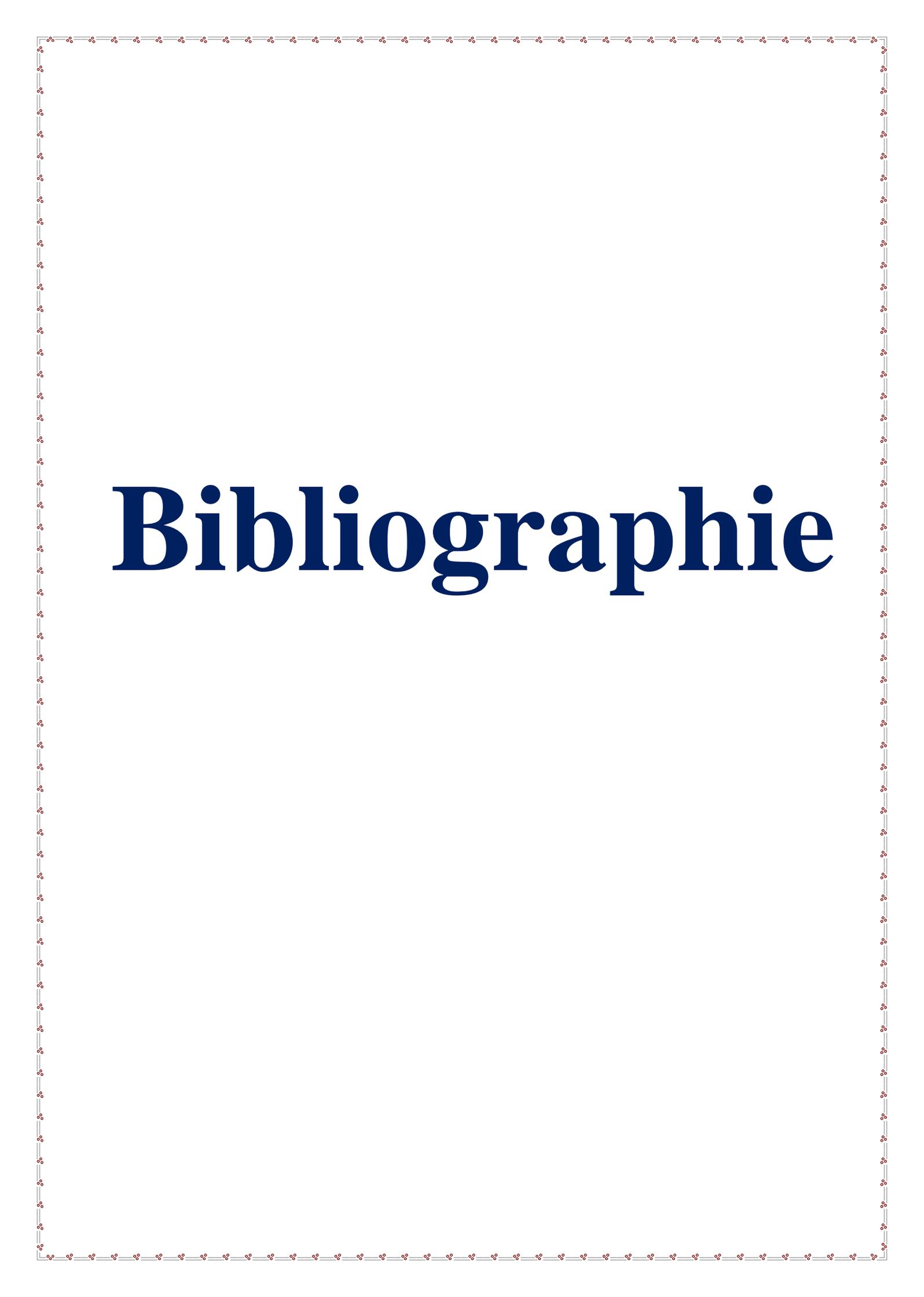
On a remarqué par comparaison, qu'il y ait une surconsommation spécifique durant les années antérieures, par rapport à la consommation spécifique nominale qui est de l'ordre de $CSEE_{\text{nominal}} = 24 \text{ KWh/t}$.

Le but principal est de rechercher comment réduire la consommation spécifique jusqu'à la valeur normative.

En agissant sur l'utilisation rationnelle du broyeur cru, en évitant la marche à vide, c'est-à-dire en se délimité le fonctionnement du broyeur dans le régime nominale.

3. Pour une meilleure réduction de la consommation de l'énergie électrique, il est recommandé de systématiser les actions suivantes :

- Optimiser les paramètres des équipements de production installés par des opérations régulières de diagnostic des ateliers de concassage, de broyage cru, de cuisson, de filtration et de broyage ciment.
- Contrôler périodiquement le respect des paramètres principaux des équipements.
- Procéder à la réalisation périodique de bilans matière et énergétique des principaux ateliers de la cimenterie.
- Réduire au minimum les consommations aux heures de point (plan de délestage).
- Reporter le maximum de consommations sur les heures de nuit creuses et sur les heures pleines (le prix étant plus modéré qu'à la pointe).
- Elaborer des programmes d'audits énergétique approfondis afin de localiser et d'identifier les différentes anomalies au niveau de la chaîne technologique.



Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Rapport de la cimenterie d'El-Ma-labiod Tébessa, 2018.
- [2] Documentation de la cimenterie d'El-Ma-labiod Tébessa, 2013.
- [3] Rapport de la cimenterie d'El-Ma-labiod Tébessa, 2019.
- [4] Raoul.P, l'industrie cimentière française, et la réduction des émissions de CO₂.
- [5] info CETIM, <http://www.cetim-dz.com/bul/bulletin%2004.pdf>.
- [6] Rapport de la cimenterie d'El-Ma-labiod Tébessa, 2017.
- [7] Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie. Le diagnostic énergétique d'une cimenterie, fiche technique prisme n° 1.
- [8] Analyse comparative de la consommation d'énergie dans l'industrie canadienne du ciment. ISBN 978-1-100-50372-1 No de cat. M144-213-2009.
- [9] Principes généraux de ventilation - Brochure – INRS, Institut national de recherche et de sécurité. ED 695, guide pratique de ventilation.
- [10] ABB Suisse SA, CH-5405 Baden 5 Dättwil. Solutions pour améliorer la performance des procédés cimentiers.
- [11] M.KARA., Optimisation de la consommation de l'énergie électrique dans les éléments du système d'alimentation (conduit la cimenterie de AIN-TOUTA), Thèse DOCTORAT 2007.
- [12] Guide de la réduction des pertes non techniques dans les systèmes électriques de distribution. Management stories no 15. Électricité de France, 1996.
- [13] D.HARERIMANA, Optimisation du réseau électrique pour réduire les pertes techniques du réseau électrique 2013.
- [14] Les pertes techniques dans les réseaux de transport et de distribution de l'électricité. La planification énergétique sectorielle Fiche n°8.
- [15] Guide. Organisation international de la francophonie, le contrôle des pertes non technique d'électricité.
- [16] BOUYACOUB.D, Tarification et consommation industrielle d'électricité en Algérie, Thèse DOCTORAT 2016/2017.

Bibliographie

- [17] IEPF. Les entreprises de services éconergétiques. Cahier prisme n° 6, 2001.
- [18] Catalogue, ‘‘Distribution électrique’’, Schneider électrique, 2002.
- [19] Introduction sur la production industrielle.
- [20] Philippe.N, Organisation des Processus de la Production.
- [21] Alain.C et all, Gestion de production, 4^{ième} édition 75240 paris cedex 05, 1989, 1994, 1995, 2003. ISBN : 2-7081-2986-4.
- [22] Comptabilité de Gestion Pr. Zoubida SAMLAL-Doctorante en Risk Management MBA, Chapitre 3 & 4 la production et les coûts.
- [23] Steven.Ch and Raymond.C, Numerical methods for Enginners, 8th Edition ISBN10: 1260232077, ISBN13: 9781260232073.
- [24] Steven.N, Production et Opérations Analysis, 4^{ième} édition, McGraw-Hill Irwin 2001.
- [25] S.DAN-TATA, Organisation et gestion de la production industrielle. Projet de Fin d’étude, SENEGAL 1992.
- [26] Y. Pimor, et M. Fender, Logistique (production, Distribution, Soutien. Paris 1998. ISBN 978-2-10-053561-3.
- [27] B.Coutrot et all, les méthodes de prévision. Coll. que sais-je N° 2157, PUF,1984.
- [28] V. Giard, gestion de la production, Economica, 1988.

:

القيمة	مستقبلية	تساهم	الرئيسية	ويعتمد	الإنتاجية
لتلبية احتياجات	تحقيق أهدافها	مقياس نجاحها	الاقتصادية	وقدرتها الإنتاجية،	لمواردها
	أرباحها،	هو	سيما المستهلك		ها.
والاستهلاك في	()	أهم التقنيات الكمية وهي تقنية		هذا
			الماء لبيض .		

Résumé :

Les méthodes de prévision est l'un des principaux facteurs qui contribuent à la construction d'une précieuse future institution de meilleur pour les entreprises à caractère productif, et le succès de l'institution économique dépend de la mesure de son succès dans la réalisation de ses objectifs et de l'utilisation optimale de ses ressources limitées et de sa capacité de production, en particulier le consommateur, qui fait partie de ses bénéfices, afin de répondre aux besoins de ses clients.

De cette logique, nous avons appliqué l'une des techniques quantitatives les plus importantes, qui est la technique de prévision (lissage exponentiel) de la production et de la consommation futures de la cimenterie d'El-Ma-Labioud Tébessa

Abstract :

Forecasting methods is one of the main factors contributing to building a valuable future better institution for productive enterprises, and the success of the economic institution depends on the measure of its success in achieving its objectives and the optimal use of its limited resources and production capacity, in particular the consumer, which is part of its profits, in order to meet the needs of its customers.

From this logic, we applied one of the most important quantitative techniques, which is the forecasting technique (exponential smoothing) of the future production and consumption of the cement plant of El-Ma-Labioud Tébessa.