People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

Mohamed Boudiaf University of M'sila

Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة المسيلة

كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Construction mécanique

Présenté par :

HENNI Abdenour & LAMARA Tariq

Thème

Action de la maintenance sur le schéma technologique de l'élément machine et sur les structures de (MEI)-M'sila

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BAKRI Badis	MCB	Président
BENGUESMIA Hani	MCA	Encadreur
MECHTA Ahlem	Doctorante	Co-encadreur
BECHANE Leila	MCB	Examinateur

Année Universitaire : 2022 / 2023

N° d'ordre : GM/……../2023

Remerciements

Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord à notre Dieu pour la santé et le courage qu'il m'a donnés pour terminer ce modeste travail.

Je remercie mes très chère parent qui se sont donnée beaucoup de peine dans la vie pour la réussite de leurs enfants, je souhaite de dieux les protège et donne la santé et la vigueur.

J'adresse mes remerciements à mes encadreurs Mr. Benguesmia Hani et mademoiselle Mechta Ahlem, pour ses remarques et conseils qu'ils m'aidé moi beaucoup dans ce travail.

Nos remerciements vont aussi au président du jury et aux membres du jury examinateurs qui nous fait l'honneur de participer au jury de ce travail.

Je remercie Au fond de cœur, tous les enseignants au sein de faculté de technologie en générale et spécialement les enseignants de département génie mécanique d'université de M'sila qui ont contribué à mon formation.

Je remercie toute ma famille (mes frère BENYAHIA et BACHIR et mes chères 3sœurs, les maris de mes sœurs)

Enfin, je remercie toute personne ayant contribué de près ou loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

ملخــص

لقد أصبح عمل الصيانة عاملاً أساسياً في القطاع الصناعي حاليا. إنه يتضمن فحصًا للمرافق ، ولكن أيضًا بيانات دقيقة عن حالة البنية التحتية والمعدات والآلات. تعتمد استمرارية الإنتاج على التنفيذ السليم لإدارة الصيانة. الهدف من هذه الأطروحة هو تقديم تحسينات على إجراءات الصيانة المطبقة في شركة MEI ، لقد قمنا بتوفير تخطيط الموارد وخفض الوقت لصالح الشركة والعميل. وبالتالي ، فإن هذه المساهمات تعزز موثوقية ومتانة وتوافر المعدات الصناعية، وأهمها المولد الكهربائي، مما يؤدي إلى مزايا اقتصادية كبيرة بفضل الحل الذي نقدمه ، من ناحية ومن ناحية أخرى لإجراء تحليل الدراسة. على عنصر آلة المولد لمجموعة الديزل. أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها أن أداة الصيانة تؤدي إلى نمو الإنتاجية أو انخفاضها.

الكلمــات المفتاحية: مساهمات تحسينية ، صيانة، معدات صناعية ، ورشة متنقلة، نمذجة ومحاكات.

Résume

L’action de la maintenance est devenue un facteur primordial dans le secteur industriel. Elle implique une inspection des installations, mais également des données précises sur l’état des infrastructures, de l’équipement et des machines. La continuité de la production est fonction de la bonne mise en œuvre de la gestion de maintenance. L'objectif de ce mémoire consiste à fournir des améliorations aux procédures appliquées de maintenance dans la société MEI, Nous avons fourni une planification des ressources et un temps réduit au profit de l'entreprise et du client. Ainsi, ces apports renforcent la fiabilité, la pérennité et la disponibilité des équipements industriels, dont le plus important est le groupe électrogène, ce qui entraîne des avantages économiques significatifs grâce à notre solution, d’une part et d’autre part faire une étude d’analyse sur l’élément machine alternateur du groupe diesel. Les résultats atteignent ont montré que l’outil maintenance entraîne la croissance de la productivité ou sa décroissance.

Mots clés : amélioration, maintenance, équipement industriel, atelier mobile, modélisation et simulation.

Sommaire

Sommaire

Sommaire ii
Liste des figures & tableaux viii
Liste des abréviations ix
Introduction générale 2

Chapitre I : Généralité sur la société (MEI)

I.1 Introduction 5
I.2 Présentation du groupe SONELGAZ 5
I.3 Présentation de la société (MEI / SPA) 8
I.3.1 Historique 9
I.3.2 Les infrastructures 10
I.3.3 Description de l'infrastructure 10
I.4 Les domaines d'activités 10
I.4.1Usinage Numérique 10
I.4.2Fonderie de précision 11
I.4.3 Fabrication Mécanique 11
I.5 Structure organisation MEI 12
I.6 Organigramme de (MEI) 13

Chapitre II : les services et les départements

II.1 Introduction 15
II.2 Direction commerciale 15
II.2.1 Service technico-commercial 15
II.2.1.1 Notre découvert dans ce service 15
II.2.2 Structure de la direction commerciale 16
II.3 Direction des activités Diesel 17
II.3.1 Service technique 17
II.3.2 Atelier DIESEL de M'SILA 18
II.3.3 Atelier DIESEL de TOUGOURT 18
II.3.4Atelier DIESEL de BECHAR 18
II.4 Direction des ateliers de fabrication mécanique 21
II.4.1Atelier mécanique 21
II.4.1.1Mécanique lourde 21
II.4.1.2Mécanique légère 22
II.4.2Traitement de surface (régulage) 22
II.4.3Chaudronnerie et soudure 25
II.4.4Structure de la direction des ateliers 27
II.5 Service étude techniques 27
II.5.1 Subdivision méthode et expertise 27
II.5.2 Subdivision lancement et ordonnancement 28

II.6Atelier Electrique 28
II.6.1Entretien, réparation et essais des transformateurs HTA/BT 28
II.6.2Entretien et réhabilitation des postes HTA/BT sur site 28
II.6.3Etude, installation et maintenance des systèmes de sécurité 29
II.6.4Traitement et régénération d'huile d'électrique 29
II.7 Fabrication de la pièce de rechange et des patries nobles des turbines 30
II.7.1 Usinage numérique (le nouvel atelier) 30
II.7.2 Cet atelier contient des moyens très importants 30
II.8 Fonderie de précision 31
II.9 Atelier plasma 31
II.10 Service contrôle qualité 32
II.11Quelques clients de MEI 33
II.12 Certification 33
II.13 Conclusion 34

Chapitre III : Etude numérique de l'élément machine alternateur et amélioration constructif de la maintenance (ENLMA et ACM)

III.1 Introduction 36
III.2 Amélioration constructif de la maintenance 36
III.2.1 Exigence technique 37
III.2.2 Exigence économique 37
III.2.3 Exigence organisationnelle et gestion 37
III.2.4 Principe de fonctionnement de l'atelier mobile 38
III.3 Technologie des Alternateur 40
III.4 Principe de fonctionnement de l'alternateur 42
III.5 Classification des machines synchrones: 42
III.5.1 Machines a pôles saillants 42
III.5.2 Machines a pôles lisses 43
III.6 Constitution de l'alternateur 44
III.6.1 Stator 44
III.6.2 Rotor 44
III.6.3 Différent type d'alternateur utilisé par Sonelgaz 44
III.7 Modélisation de la génératrice synchrone 46
III.7.1 Hypothèses 46
III.7.2 Mise en équations de la machine 46
III.7.3 Equations électriques 46
III.7.4 Equations magnétique 47
III.7.5 Equations mécanique 48
III.8 Transformation de Park 49
III.8.1 Equation des tensions dans le système biphasé (d, q) 50
III.8.2 Equation des flux au système biphasé (d, q) 51
III.8.3 Equations mécanique 52
III.9 Modélisation de l'alternateur fonctionnant a vide 52
III.9.1 Mise se forme matrice d'états 53
III.10 Modélisation de l'alternateur fonctionnant a charge 56

III.11 Conclusion **60**
Conclusion générale **62**
Références **64**
Annexe **66**

Liste des figures & tableaux

Liste des Figures

Chapitre I : Généralité sur la société (MEI)

Figure I.1 : La Société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE), **5**

Figure I.2 : La Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité (GRTE), **5**

Figure I.3 : La Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport Gaz (GRTG), **6**

Figure I.4 :L'Opérateur Système électrique (OS), chargée de la conduite du système Production / Transport de l'électricité, **6**

Figure I.5 : La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz d'Alger (SDA), **6**

Figure I.6 : La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz du Centre (SDC), **6**

Figure I.7: La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz de l'Est (SDE), **6**

Figure I.8: La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz de l'Ouest (SDO). **7**

Figure I.9: La Compagnie de l'Engineering de l'Electricité et du Gaz(CEEG), **7**

Figure I.10: La société de travaux d'électricité (KAHRIF) spa, **7**

Figure I.11: La Société des Travaux et Montage Électriques (KAHRAKIB), **7**

Figure I.12: La Société de Montage Industriel (Etterkib), **7**

Figure I.13: La société de réalisation d'infrastructures (Inerga), **8**

Figure I.14: L' Entreprise Nationale de Réalisation de Canalisations (Kanaghaz), **8**

Figure I.15: La société (MEI / SPA) **9**

Figure I.16: Commande numérique par ordinateur (CNC) **11**

Figure I.17:L'organisation MEI **12**

Figure I.18: Organigramme de (MEI) **13**

Chapitre II : Les services et les départements (MEI)

Figure II.1: La direction commerciale 15
Figure II.2: Structure de la direction commerciale 16
Figure II.3: Direction des activités DIESEL 17
Figure II.4: Banc d'essai des grands moteurs 20
Figure II.5: Chambre de commande 20
Figure II.6: Honeuse (Déglacement chemises) 20
Figure II.7: Rectifieuse vilebrequin RG 600 21
Figure II.8: Atelier mécanique lourde 21
Figure II.9: Atelier mécanique légère 22
Figure II.10: Fraiseuse aléseuse. 24
Figure II.11: Tour de 15 24
Figure II.12: Tour vertical 24
Figure II.13: Tour de 6m 25
Figure II.14: Rectifieuse vilebrequin RG 450 25
Figure II.15: Atelier Chaudronnerie et soudure. 26
Figure II.16: Structure de la direction des ateliers**.** 27
Figure II.17: Transformateur HTA. 28
Figure II.18: Atelier plasma 32
Figure II.19: Service contrôle qualité 32
igure II.20: Certificats ISO 9001/2000 34

Chapitre III : Etude numérique de l'élément machine alternateur et amélioration constructif de la maintenance (ENLMA et ACM)

Figure III.1 : Relations entre les différents sites de production et les ateliers de maintenance 40
Figure III.2 : Enroulements d'un rotor à pôles saillent. 43
Figure III.3 : Enroulements d'un rotor à pôles lisses. 43
Figure III.4 : Repère de Park de la machine synchrone. 49
Figure III.5: Repère de Park de la machine synchrone**.** 49

Figure III.6 : Schéma équivalent de l'alternateur. 52

Figure III.7 : Schéma bloc de l'alternateur à vide. 54

Figure III.6 : Résultats de simulation de la machine synchrone a pôles saillants a vide. 55

Figure III.9 : Schéma bloc de l'alternateur en charge. 57

Figure III.10 : Résultats de simulation de la machine synchrone a pôles saillants en charge. 59

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Équipement d'atelier Diesel 19

Tableau II.2 : Equipement d'atelier de fabrication mécanique 23

Tableau II.3 : équipement de Chaudronnerie 26

Tableau II.4 : équipement d'atelier Electrique. 30

Liste des abréviations

PV : Procès-verbal

RP : révision partielle

Ballons BP: modèle

RG: Révision général

MEI: maintenance des équipements industrielle

SONELGAZ: Société nationale de l'électricité et du gaz

SPE: La Société Algérienne de Production de l'Electricité

GRTE: La Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité

GRTG: La Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport Gaz

OS:L'Opérateur Système électrique

SDA: La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz d'Alger

SDC: La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz du Centre

SDE: La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz de l'Est

SDO: La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz de l'Ouest

CEEG: La Compagnie de l'Engineering de l'Electricité et du Gaz

KAHRIF: La société travaux de d'électricité

KAHRAKIB: La Société des Travaux et Montage Électriques

Etterkib: La Société de Montage Industriel

Inerga: La société de réalisation d'infrastructures

Kanaghaz: L'Entreprise Nationale de Réalisation de Canalisations

250MDA : 250 million de dinar algérien

EURL :Enterprise Unipersonnelle à Responsabilité Limité

ARMEL : nom d'une société

SKMK :Sharikat Khadamet Mouhaouil et Kahrabaia

SMQ : system management qualité

CNC:(Computer Numerical Control) Commande numérique par ordinateur

HTA: haute tension

BT: basse tension

APS: air plasma spraying

QSE: qualité-sécurité-environnement

HSE: health, safety and environment

HVOF: high velocity oxy fuel

L'ODS: ordre de service

DST: Directeur des services techniques

OT: ordre de travail

DT: demande de travail

CND: contrôle non destructif

AdM : atelier de maintenance

AdMl : atelier de maintenance Locale

AdMm : atelier de maintenance mobile

AdMc : atelier de maintenance centrale

SME : Système de Management Environnemental

ISO: International Organization for Standardization

SIBELEC: nom d'entreprise

E.GERENAV: entreprise de réparation navale

NAFTEC: nom d'entreprise

ANSALDO: société industrielle italienne

JEUMONT Electric : nom d'entreprise

ENIP: Entreprise nationale des industries pétrochimiques

ALGESCO: Algerian Engineering Services Company

FERTIAL: Société algérienne des engrais et fertilisants

SONATRACH : Société algérienne des hydrocarbures

ERCE. ERC. ERCO.ACC : groupement des cimenteries

ARCELOR MITTAL: nom d'entreprise

Ourhoud: nom d'organisation

ABB : modèle d'un robot

MMT: Machine de mesure tridimensionnelle

EDM : Electrical Discharge Machining

MT/BT :des réseaux de distribution

(CMI. MTU. MHI, GE, IMM, DEUTZ…): Les noms des moteurs

ECM: Equipements synchrones moteur

TIG: Tungsteninertgas

MIG: Metal Inert Gas

MAG: Metal Active Ga

Introduction Générale

Introduction générale

Dans le domaine de la maintenance, le développement de la technologie a contribué à l'amélioration de la situation des entreprises industrielles en termes de fiabilité et de réduction du nombre de procédures. Cette amélioration s'accompagne d'une bonne maîtrise des outils et équipements techniques et d'une demande de personnel de plus en plus spécialisé. Malgré la fiabilité atteinte, le "zéro panne" est impossible.

De ce fait, les industriels doivent à la fois produire et améliorer leurs outils de production et assurer la maintenance de leurs équipements en raison de nombreuses pannes. Ici, des solutions pratiques sont nécessaires. En effet, des solutions stratégiques, méthodiques et techniques sont nécessaires pour assurer la réparation rapide des équipements en panne. À cet égard, il est important d'adopter un critère d'efficacité pour ces méthodes, qui dépend de l'avantage financier ainsi que de la fiabilité et de la rapidité. Par conséquent, ces critères affectent les coûts de maintenance ainsi que la disponibilité et la productivité des sites des clients.

Dans le secteur industriel, les activités de maintenance étaient initialement considérées comme une sous-fonction de la production et leur rôle en tant qu'activité stratégique au sein de l'entreprise était rarement considéré. Celles-ci se limitaient à la maintenance et/ou au dépannage ou aux actions correctives après la découverte du défaut. L'objectif est de remettre rapidement le système en marche sans analyser au préalable les causes et les conséquences des défaillances[1]. Ces mesures de maintenance ad hoc peuvent être justifiées par des équipements plus complexes et le fait que la maintenance n'est pas prise en compte dès la conception. Cependant, sous l'effet conjugué de la crise économique et de la concurrence internationale, le développement de la fonction maintenance se poursuit, ce qui conduit à des limitations inévitables par rapport aux impératifs de réduction des coûts de production des biens et services [2].

Le début des années 1980 a été caractérisé par l'extraordinaire développement de la légalisation des activités caritatives et des budgets afférents. Un rôle clé dans ce développement a été l'émergence de méthodes liées à la fiabilité, en particulier la fiabilité, l'utilisabilité, la maintenabilité et la sécurité de l'information. Ces méthodes ont été utilisées dans certaines industries telles que les transports, la pétrochimie et les centrales nucléaires [3].

Par exemple, les raffineries ont des départements de production et de maintenance sont Les plus importantes en termes de personnel, chacune constituant environ 30 % de la main-d'œuvre totale [4].

Le travail est scindé en deux parties, l'un s'intéresse aux procédures adoptées de maintenance dans la sociétés de MEI, et les différents fonctionnalités des structures qui existe dans cette dernière et leurs contribution dans la maintenance, pendant notre visite dans les lieux de la sociétés ,et d'apporter des améliorations efficace à la maintenance, la deuxième partie est fondé sur une étude du comportement de la machine alternateur à vide et en charge , cette organe de machine est principale et qui joue un rôle important dans le groupe diesel.

Chapitre I, : Présente une généralité sur la société la Société de Maintenance des Equipements Industriels (MEI) de M'sila.

Chapitre II : Les services et les départements de la MEI Société de maintenance des équipements industriels sera présentées.

Chapitre III : On va présenter les deux partie essentiel, la première notre contribution dans la partie maintenance, la deuxième la modélisation et la simulation du alternateur. Nous allons aussi déterminer notre contribution dans ce domaine.

Finalement, une conclusion générale synthétisera les points les plus marquants de ce travail.

Chapitre I :

Généralité sur la société (MEI)



I.1 Introduction :

Ce chapitre parle un peu du groupe SONELGAZ car l'unité de maintenance des Equipements Industriels MEI lui est affiliée, et après on vient parler de l'entreprise qui présente nos travaux et leur historique.

I.2 Présentation du groupe SONELGAZ :

SONELGAZ traverse depuis de nombreuses années une phase particulièrement importante de son histoire. Désormais, avec la loi n° 01.02 du 5 février 2002, la réorganisation de Sonelgaz est achevée et toutes les filiales sont créées.

Sonelgaz est aujourd'hui un groupe industriel composé de 39 filiales et 5 joint-ventures. Ainsi, ses filiales cœur de métier assurent la production, le transport et la distribution d'électricité ainsi que le transport et la distribution de gaz naturel par canalisations.

On compte :



Figure I.1 : La Société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE),[5]



Figure I.2 : La Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité (GRTE),[6]



Figure I.3 : La Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport Gaz (GRTG), [7].



Figure I.4 :L'Opérateur Système électrique (OS), chargée de la conduite du système Production / Transport de l'électricité,[8]



Figure I.5 : La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz d'Alger (SDA),[9]



Figure I.6 : La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz du Centre (SDC),[10]



Figure I.7: La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz de l'Est (SDE),[11]



Figure I.8: La Société Algérienne de Distribution de l'électricité et du gaz de l'Ouest (SDO).[12]

Grâce aux sociétés d'ingénierie du Groupe Sonelgaz ;



Figure I.9: La Compagnie de l'Engineering de l'Electricité et du Gaz(**CEEG),**[13]



Figure I.10: La société de travaux d'électricité **(KAHRIF)** spa,[14]



Figure I.11: La Société des Travaux et Montage Électriques **(KAHRAKIB),**[15]



Figure I.12: La Société de Montage Industriel**(Etterkib),**[15]



Figure I.13: La société de réalisation d'infrastructures**(Inerga),**[16]



Figure I.14:L' Entreprise Nationale de Réalisation de Canalisations **(Kanaghaz),**[17]

Elles sont spécialisées dans le domaine de la construction d'infrastructures énergétiques (ingénierie, montage industriel, construction de réseaux, etc.), l'Algérie dispose désormais des infrastructures électriques et gazières nécessaires Pour le développement.

Par ailleurs, la filiale d'activités auxiliaires est responsable des activités auxiliaires telles que la maintenance des équipements énergétiques, la distribution des équipements électriques et gaziers, le transport et la manutention spéciale, etc. Par ailleurs, Sonelgaz détient des participations dans des sociétés dont les activités sont liées au secteur de l'électricité et du gaz. Avec des salariés formés et qualifiés, le groupe occupe une position forte dans l'économie nationale et est chargé de fournir de l'électricité à plus de 6 millions de foyers et du gaz à 3 millions de foyers, soit. Près de 99 % de l'électricité et 52 % de la couverture géographique. Gaz perméabilité

I.3 Présentation de la société (MEI / SPA) :

La Société de Maintenance des Equipements Industriels (MEI/SPA) est une société anonyme au capital social de 400 000 000,00 DA. C'est une filiale des activités environnantes de SONELGAZ, située à 260 km au sud d'Alger. Il se compose d'un groupe d'ateliers dans tout le pays et d'équipes mobiles dans tout le pays. Personnel avec plus de 30 ans d'expérience.

Sa mission est de répondre aux besoins de l'industrie dans l'entretien et la réparation d'équipements de centrales électriques et d'équipements industriels, ainsi que dans la fabrication et la réparation de pièces de machines entrant dans son champ d'activité.



Figure I.15: La société (MEI / SPA)

I.3.1 Historique :

- 1984 : Création de l'atelier centralisé SONELGAZ[18],
- Le 29 décembre 1997 : dans le cadre de la mise en œuvre de la restructuration interne de l'EPIC SONELGAZ, MEI a été constituée[19],
- 2003 _Mise en place des statuts **:**avec un capital de 10 000 000.00 DA,
- 2004 _phase d'organisation et de grands projets[20] :
  - ❖ Mise en place d'organisation,
  - ❖ Augmentation du capital social à 250MDA,
  - ❖ Passage à la version 2008 de la certification 9001,[21]
- 2010_phase de développement :
  - ❖ Création d'une unité d'usinage numérique,
  - ❖ Fusion absorption de EURL ARMEL[22], avec augmentation du capital social à 400 000 000,00 DA,
  - ❖ Fusion absorption de SKMK, avec augmentation du capital social à 475 000 000,00 DA
- 2018_passagedu SMQ à la version 9001/2015[23] :
  - ❖ Actualisation de la stratégie avec restructuration organisationnelle

- Certification du processus de fabrication des premières pièces par General Electric.

I.3.2 Les infrastructures :

La société MEI/Spa est située à 6 km au nord-ouest de la ville de M'sila et bénéficie d'une infrastructure importante qui est exploitée en fermage auprès de la société mère Sonelgaz[30].

I.3.3 Description de l'infrastructure :

- Superficie totale du terrain : 84.665,35 m²
- Surface bâtie : 19.863,36 m²
- Surface nue : 35.599,99 m²
- Surface revêtue : 29.202,00 m²

Parmi leurs moyens matériels, ils disposent de cinq (5) ateliers pour les opérations d'usinage (tournage, fraisage et rectification), de chaudronnerie, de réparation de machines électriques tournantes (moteurs moyenne et basse tension et bobinages d'alternateur), d'équilibrage, de réparation diesel, etc. et de travaux métallurgiques. (Réglage des roulements et traitement de surface des métaux).

I.4 Les domaines d'activités [25] :

I.4.1 Usinage Numérique :

Comme dans de nombreuses industries, les avancées technologiques du siècle dernier ont complètement révolutionné la façon dont les pièces mécaniques sont usinées. L'usinage conventionnel, encore largement utilisé dans les ateliers d'usinage, a laissé une large part de marché à l'usinage numérique, également appelé usinage CNC (Commande numérique par ordinateur).

À la recherche des meilleures techniques dans la production de pièces métalliques, l'atelier Usinage (MEI) dispose d'équipements spécialisés et d'une équipe de mécaniciens expérimentés pour offrir des services d'usinage numérique à sa clientèle.



Figure I.16: Commande numérique par ordinateur (CNC)

I.4.2 Fonderie de précision :

Moules en métal ou en sable, modèles permanents ou perdus, pièces moulées en fer, en acier ou en alliage léger, tous les procédés de fonderie sont conçus pour livrer des pièces plus finies pour répondre à la course à la productivité et à la réduction de poids imposée par la concurrence économique.

I.4.3 Fabrication Mécanique :

La fabrication mécanique est une industrie qui emploie une main-d'œuvre diversifiée pour concevoir, fabriquer, personnaliser, réparer ou assembler de nombreuses pièces métalliques, outils, accessoires et produits. Les moteurs, les boîtes de vitesses, les pompes et les compresseurs sont des exemples de produits qui ont été développés par ex. construction, pâtes et papiers, exploitation minière et aérospatiale.

En plus de ses domaines d'activité, on a des autres domaines :

- Entretien, réparation et essais des transformateurs HTA/BT
- Entretien et Réhabilitation des Postes HTA/BT sur site
- Etudes, Installation et Maintenance des systèmes de sécurité électronique
- Inspection sur site de turbines à gaz, vapeur et diesel.
- Transformation de machines électriques tournantes moyenne et basse tension.
- Travaux mécaniques lourds (tournage, fraisage, meulage, etc.).
- Traitement thermique.

- Fabrication de chaudières (débris, ballons BP, alambics chauds, fabrication de moules de tuyères, réparation de vannes hydrauliques, fabrication de chicanes et réparation de cheminées de turbines à gaz.
- Reconditionnement de tous types de roulements..., réparation et revêtement de composants par projection plasma (APS et HVOF).

I.5 Structure organisation MEI :

La figure suivante présente la structure organisationnelle d'une organisation (MEI) est l'ensemble de ses règles de répartition de l'autorité, des tâches, de contrôle et de coordination. Elle est représentée visuellement par un organigramme.

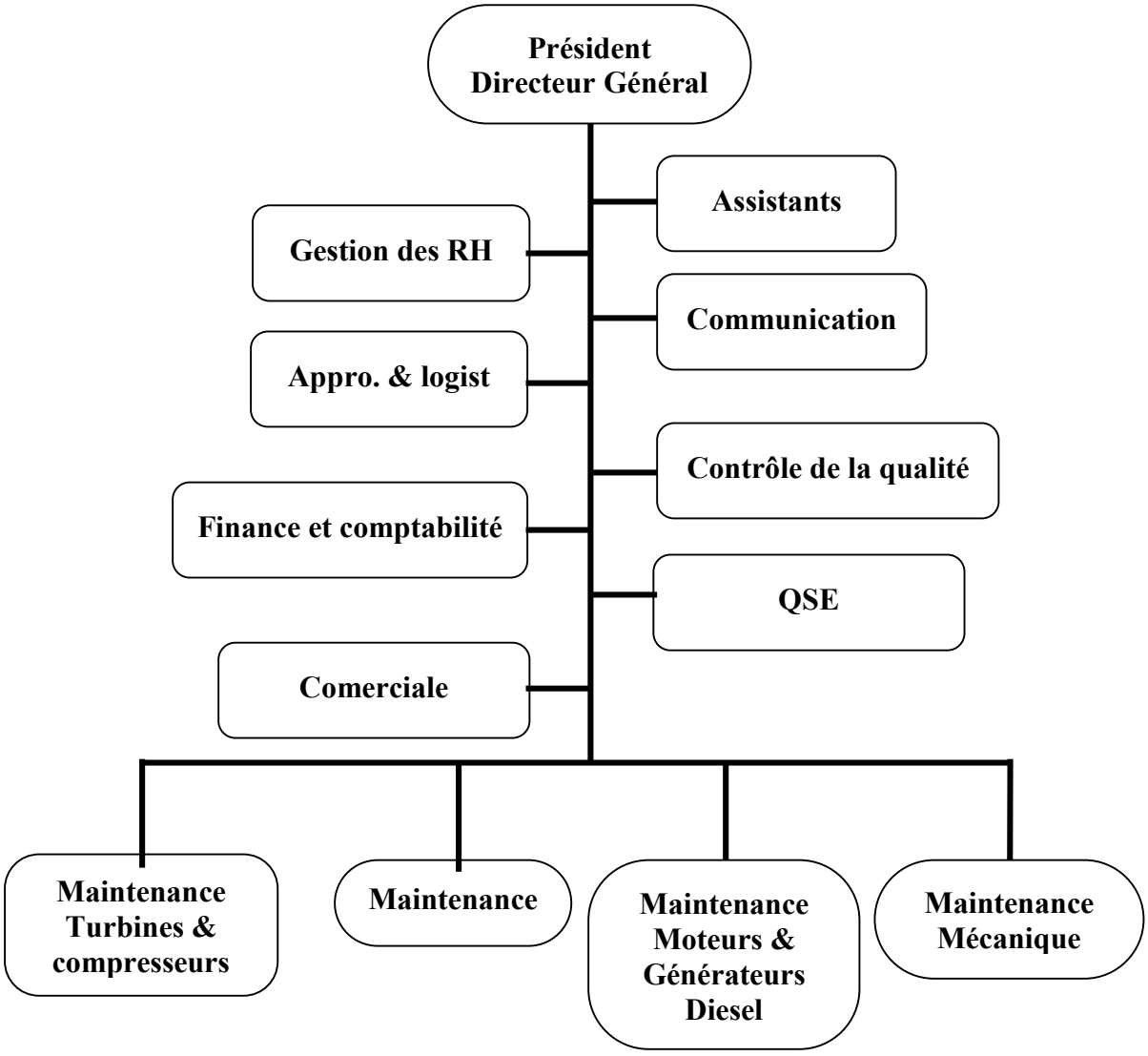


Figure I.17: L'organisation MEI

I.6 Organigramme de (MEI) :

On peut présenter les plus importantes structures de **MEI** par l'organigramme simplifié ci-dessous.

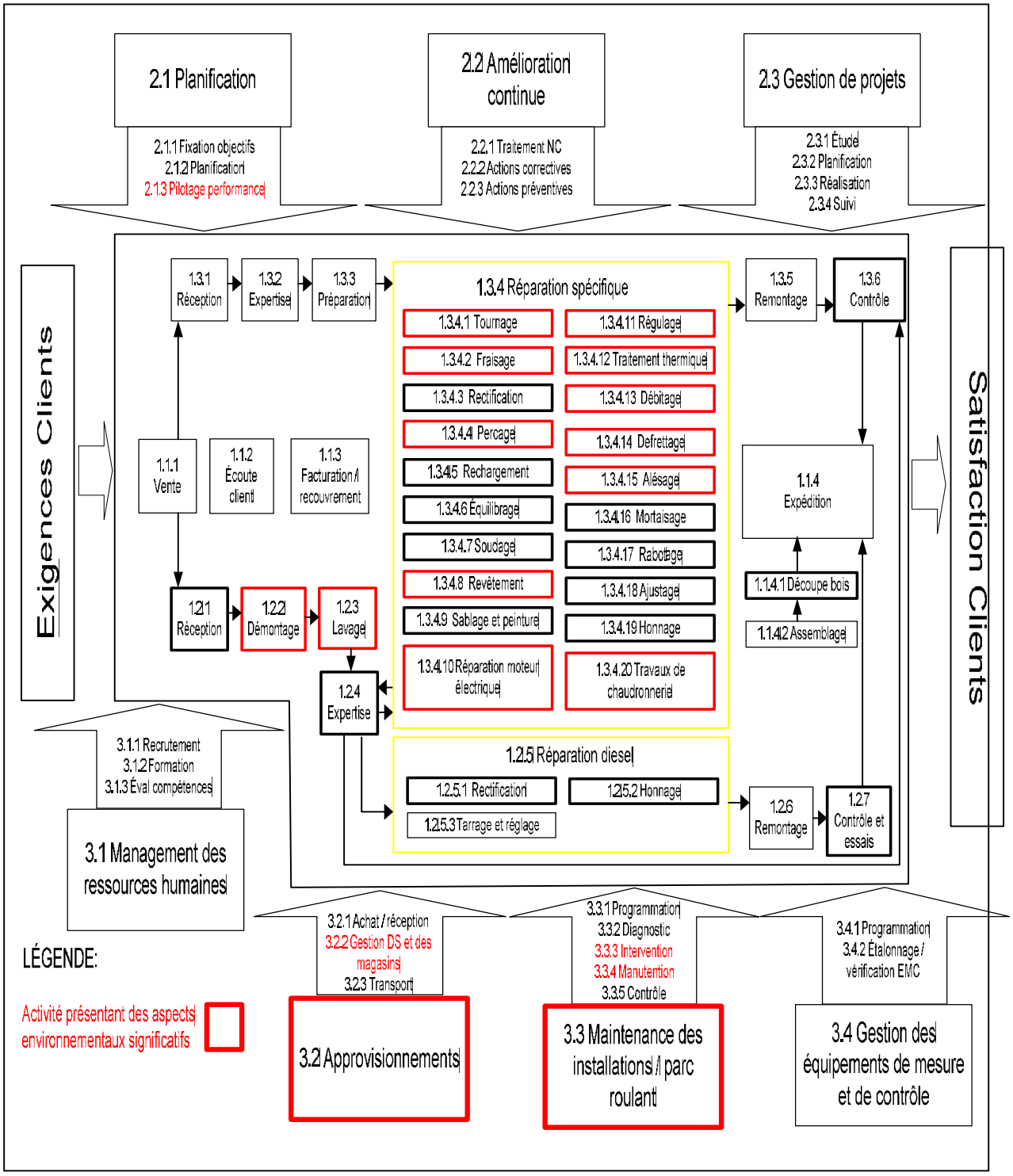


Figure I.18: Organigramme de (MEI)

Chapitre II :

Les services et les départements (MEI)



II.1 Introduction :

Chacun d'entre nous a déjà été confronté à, ou a entendu parler de services et de départements. Ces termes : service et département recouvrent des réalités organisationnelles qui servent à aider, à coordonner, à suivre les travaux dans la société MEI.

Dans ce chapitre on va parler beaucoup plus sur la structure et constitution de l'entreprise MEI et de ce qu'elle consiste en détaille. (Les différents départements et services)

II.2 La direction commerciale :

Le directeur commercial est le bras droit du directeur général : il élabore et supervise la stratégie commerciale de la société MEI.



Figure II.1: La direction commerciale

II.2.1 Service technico-commercial :

II.2.1.1 Notre découvert dans ce service :

Nous avons découvert :

- C'est quoi un technico-commercial.
- La relation avec les clients et leur type (groupe SONELGAZ, hors-groupe).

- Le code affaire avec des exemples.
- L'ODS (ordre de service) avec explication de chaque case (avec des exemples)
- Les mots clés dans le commercial (délais, couts, qualité) et relation entre eux.
- Le chiffre d'affaire (budget jusqu'au bilan d'affaire).
- Le PV d'entente client-fournisseur

II.2.2 Structure de la direction commerciale :

La tâche principale du service commercial est d'identifier et de satisfaire les besoins des clients grâce à une organisation adéquate et à un réseau de vente efficace. Elle doit définir la stratégie (avec le gérant) et mettre en œuvre les politiques de l'entreprise en matière commerciale, négocié avec les clients en fonction de leurs exigences.

La gestion commerciale est gérée pour s'assurer que tous les travaux effectués et livrés sont facturés régulièrement et dans les délais, que les factures sont correctement et complètement comptabilisées et que la situation des clients est systématiquement suivie.

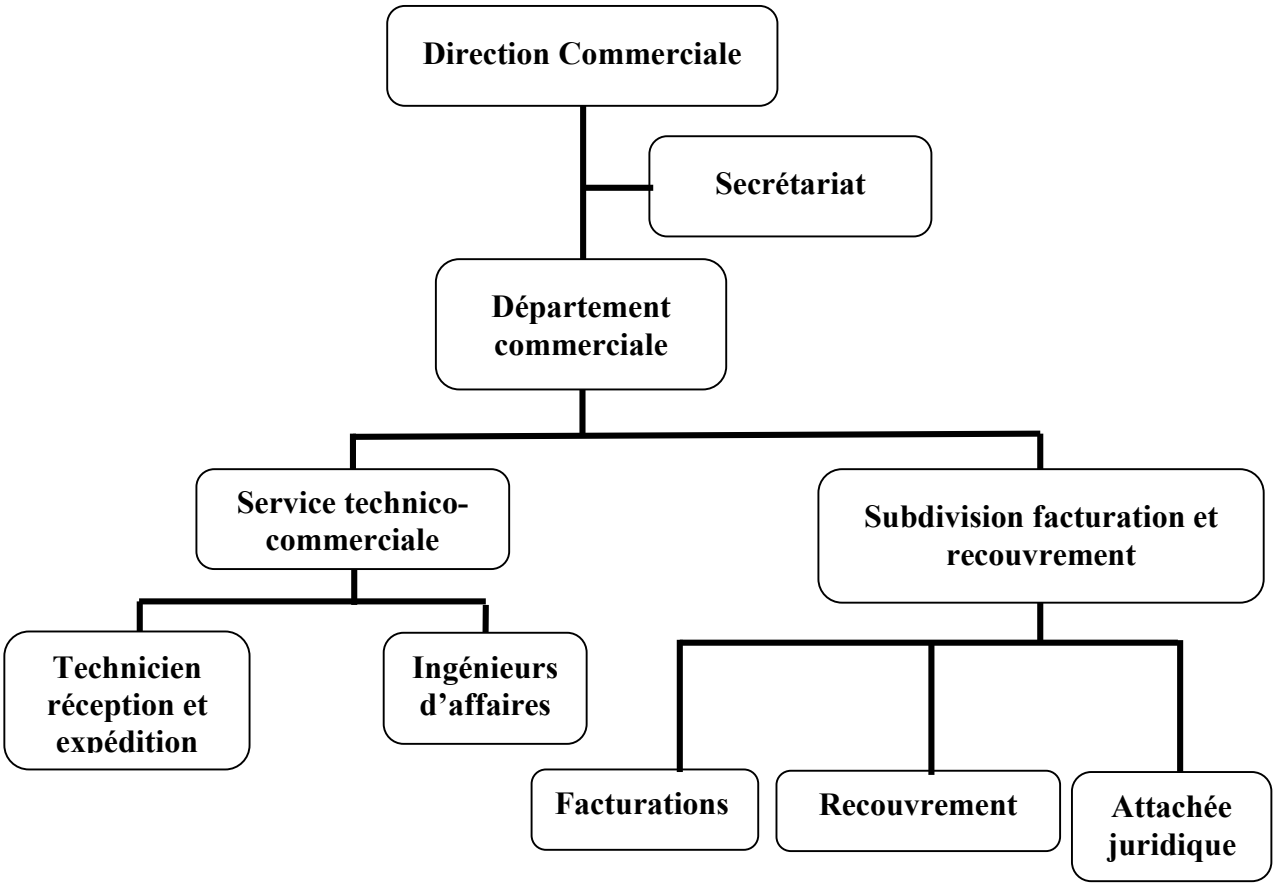


Figure II.2: Structure de la direction commerciale

II.3 Direction des activités DIESEL :

Un moteur Diesel fonctionne différemment d'un moteur à essence. Même si leurs principaux organes sont semblables et s'ils respectent le même cycle à quatre temps, un moteur diesel et un moteur à explosion présentent des différences sensibles, en particulier dans la façon dont le mélange carburé y est enflammé et dans la manière dont la puissance délivrée y est régulée. Parmi les objectifs soulignée par cette direction si la Maintenance et réparation Diesel



Figure II.3: Direction des activités DIESEL

II.3.1 Service technique :

Retrouvez toutes les informations pertinentes sur ce poste dans la fiche de poste de Responsable de service : salaire, formation, formation, rôle, fiche de poste de Responsable de service technique, caractéristiques et compétences requises pour exercer le métier de Responsable de service technique.

Le poste de directeur du service technique est attribué à l'industrie de la construction. Le responsable du service technique, également appelé responsable du service technique ou mainteneur d'infrastructure, est un professionnel qui organise, coordonne et dirige l'ensemble des services techniques d'une entreprise ou d'une personne privée ou publique.

Le directeur des services techniques (DST) gère et dirige les projets techniques de l'établissement dans et pour lequel il travaille.
Ses fonctions sont variées :

- La gestion et l'enregistrement des affaires.
- Les composent de dossier affaire (OT, DT, PV……).
- Les documents (bon d'achat, décharge……).
- Le rapport d'expertise.
- Le PV d'ouverture, PV de réception, PV de réception provisoire
- La planification de l'affaire.
- Feuille d'attachement.
- Rapport de diagnostic.

II.3.2 Atelier DIESEL de M'SILA :

C'est une direction très importante dans MEI. Elle contribue à environ 50% des revenus de l'entreprise, ce qui lui confère une position forte dans la gestion des ateliers. Les domaines fonctionnels de la gestion du diesel sont généralement :

- La rénovation des groupes électrogènes en ateliers par :
  - Révision générale (RG)
  - Révision partielle(RP)
- L'inspection des groupes diesel par l'intervention sur site.

En plus des ateliers de M'SILA, le MEI dispose de deux ateliers régionaux ;

II.3.3 Atelier DIESEL de TOUGOURT :

C'est un atelier de proximité, conçu pour palier à la maintenance des groupes électrogène diesel, du Sud-Est.

II.3.4 Atelier DIESEL de BECHAR :

C'est un atelier de proximité, conçu pour palier à la maintenance des groupes électrogène diesel, du Sud-Ouest. En plus d'être doté vireurs lui permettant de manipuler les groupes lors du démontage est aussi équipé de quatre ponts roulants respectivement de 40 tonnes et de 05 tonnes ainsi que de 03 poutres roulantes de 3 tonnes.

Un tour dans l'atelier afin de connaitre les déferrant stand :

- Stand. Lavage.
- Stand piston –bielles.
- Stand électrique.
- Stand turbo compresseur.
- Stand pompes à huile et pompes à eau.
- Stand injection.
- Les moteurs de groupe (CMI. MTU. MHI, GE, IMM,DEUTZ…)
- Dans le petite atelier Caterpillar : le model de groupe Caterpillar,le circuit admission et échappement, les circuits de refroidissement, le kit RG, et kit de sécurité
- Les majeures pannes de moteur ECM de moteur.
- Les capteurs, le package de groupe.

Tableaux II.1 : Équipement d'atelier Diesel

Atelier Diesel	
Équipement	**Équipement**
Compresseur fixe à moteur électrique	Plateforme d'essai
Etau limeur	Rectifieuse cylindrique
Gamme de manomètres étalons	Rectifieuse de soupapes et sièges
Honeuse (Déglacement chemises)	Rectifieuse plane
Karcher	Rectifieuse portative
Machine à découper les joints	Rectifieuse transportable
Touret à meule sur bâti	Rectifieuse vilebrequin RG 450
Tunnel de lavage	Rectifieuse vilebrequin RG 600
Cabine de lavage pièces mécanique	Touret à meule et à brosse sur bâti
Grue mobile	Touret à meule et lapidaire sur bâti
Chariot élévateur à moteur électrique	Machine à perforer les joints
Pont roulant 10 T	Presse oléo dynamique de 100 T
Pont roulant 40 T	Meuleuse
Remorque MAFI 40T	Meuleuse électrique
Réservoir d'eau de nettoyage cous.	Meuleuse pneumatique
Surfaceuse pneumatique	



Figure II.4: Banc d'essai des grands moteurs



Figure II.5: Chambre de commande



Figure II.6: Honeuse (Déglacement chemises)



Figure II.7: Rectifieuse vilebrequin RG 600

II.4 Direction des ateliers de fabrication mécanique :

II.4.1 Atelier mécanique :

Cet atelier divisé en deux chaines de réparation :

II.4.1.1 Mécanique lourde :

Cette chaine et pour les pièces des moteurs géants des grandes dimensions, il est composé avec des grandes machines comme le tour de 15 m et 6 m, le tour verticale, fraiseuse aléseuse, etc….



Figure II.8: Atelier mécanique lourde

II.4.1.2 Mécanique légère :

Cette chaine et pour les pièces des moteurs moins taille de la chaine précédant, est composé avec des petite machines comme le tour de 1.5 m et 3 m, fraiseuse, rectifieuse 3 m, etc…).

L'importance et la multitude des équipements utilisés et le savoir-faire du personnel permettent de répondre à tous les besoins en matière d'usinage et d'équilibre de pièces mécanique.



Figure II.9: Atelier mécanique légère

II.4.2 Traitement de surface (régulage) :

Cet atelier comprend deux chaines de réparation; mécanique lourde et mécanique légère. L'Atelier de traitement des surfaces est composé d'un four d'étamage, de préchauffage de fusion du régule et d'une machine à réguler par centrifugation.

Cet atelier répond aux besoins du régulage des coussinets des turboalternateurs des groupes turbines à gaz et turbines à vapeur de diamètre de 100 à 2000mm. Ainsi que des grands paliers des cimenteries allant jusqu'à 6500mm.

Tableau II.2 : Equipement d'atelier de fabrication mécanique

Fabrication mécanique	
Perceuse sensitive	Aléseuse fraiseuse
Perceuse sensitive sur bâti	Aléseuse transportable
Perceuse sur colonne	Appareil de tournage transportable
Perceuse taraudeuse sur colonne	Equilibreuse B140
Perceuse transportable	Equilibreuse B50
Rectifieuse portative	Equilibreuse SCHENK
Rectifieuse transportable	Fraiseuse à banc fixe
Rectifieuse vilebrequin RG 450	Fraiseuse aléseuse
Rectifieuse vilebrequin RG 600	Fraiseuse universelle
Table Trans. à mouvements croisés	Honeuse (Déglacement chemises)
Tour 1,250 M	Machine à souder les collecteurs
Tour à bois	Marbre de précision
Tour de 15 M	Machine d'affûtage d'outils de tour
Tour de 2 M	Machine de finition d'outils de tour
Tour de 3 M	Machine d'affûtage de forets
Tour de 6 M	Machine d'affûtage de fraises
Tour semi-automatique	Machine à équilibrer B140
Tour vertical	Machine à équilibrer B50
Touret à meule d'affûtage d'outils	Machine à équilibrer SCHENK
Chariot élévateur à moteur électrique	Perceuse radiale fixe
Pont roulant 5 T	Perceuse radiale transportable
Pont roulant 10 T	Mortaiseuse
Pont roulant 40 T	



Figure II.10: Fraiseuse aléseuse.

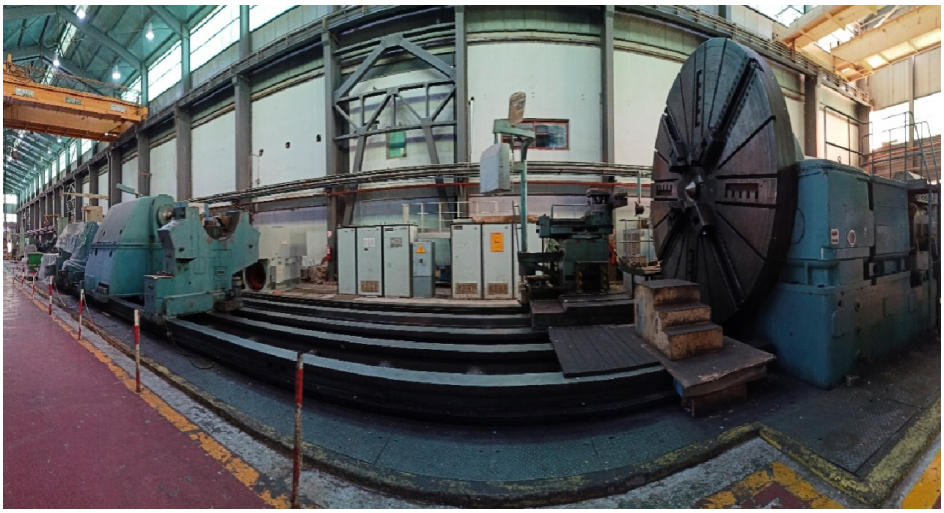


Figure II.11: Tour de 15



Figure II.12: Tour vertical



Figure II.13: Tour de 6m



Figure II.14: Rectifieuse vilebrequin RG 450

II.4.3 Chaudronnerie et soudure :

L'atelier de chaudronnerie et de soudage est destiné à la réparation des ensemble mécano soudés qui prend de charge tous les travaux de chaudronnerie et de soudage ;

- Soudage à l'arc électrique,
- Soudage par point résistance, [26]
- Soudage TIG,
- Soudage MIG-MAG,
- Soudage oxyacétylénique. [27]



Figure II.15: Atelier Chaudronnerie et soudure.

Tableau II.3 : équipement de Chaudronnerie

Quelque Equipement Chaudronnerie	
Chariot élévateur à moteur électrique	Poste de soudure rotatif à C.C
Pont roulant 5 T	Poste de soudure rotatif à C.C
Pont roulant 10 T	Poste de soudure rotatif à C.C
Pont roulant 40 T	Poste de soudure statique à C.C
Box de recharge. de roues PELTON	Poste de soudure TIG
Chalumeau oxycoupeur auto tracé à main	Poste de soudure TIG
Tronçonneuse rapide à disque abrasif	Presse oléo dynamique de 100 T
Surfaceuse pneumatique	Cintreuse de tube à main
Machine à perforer les joints	Cisaille grignoteuse
Stylo électrique pour marquage métaux	Cisaille guillotine
Pyromètre optique	Cisaille universelle
Cerceau pivotant diam 1000	Combinée à bois
Chalumeau brûleur - chauffe	Scie à ruban à travail horizontal
Chalumeau élect. soud. thermoplas.	Scie à ruban d'établi à bois
Chalumeau élect. soud. thermoplas.	Scie circulaire à bois
Chalumeau élect. soud. thermoplas.	Scie mécanique
Chalumeau soudeur	Meuleuse
Chargeur de batterie	Meuleuse électrique
Rouleuse de tôles et profilés	Meuleuse pneumatique

Rouleuse de tôles manuelle	Microscope d'atelier à forte lumineux.
Poste BF	Mortaiseuse
Oxycoupeur auto tracé à main	Poste de soudure MIG-MAG
Pirotome (Banc d'oxycoupage)	Poste de soudure par points
Poste BF mobile 120kw	Poste de soudure rotatif à C.C
Poste de soudure autogène	

II.4.4 Structure de la direction des ateliers :

La présente figure la structure de la direction des ateliers se compose toute les directions des ateliers existant de la MEI Société de maintenance des équipements industriels.

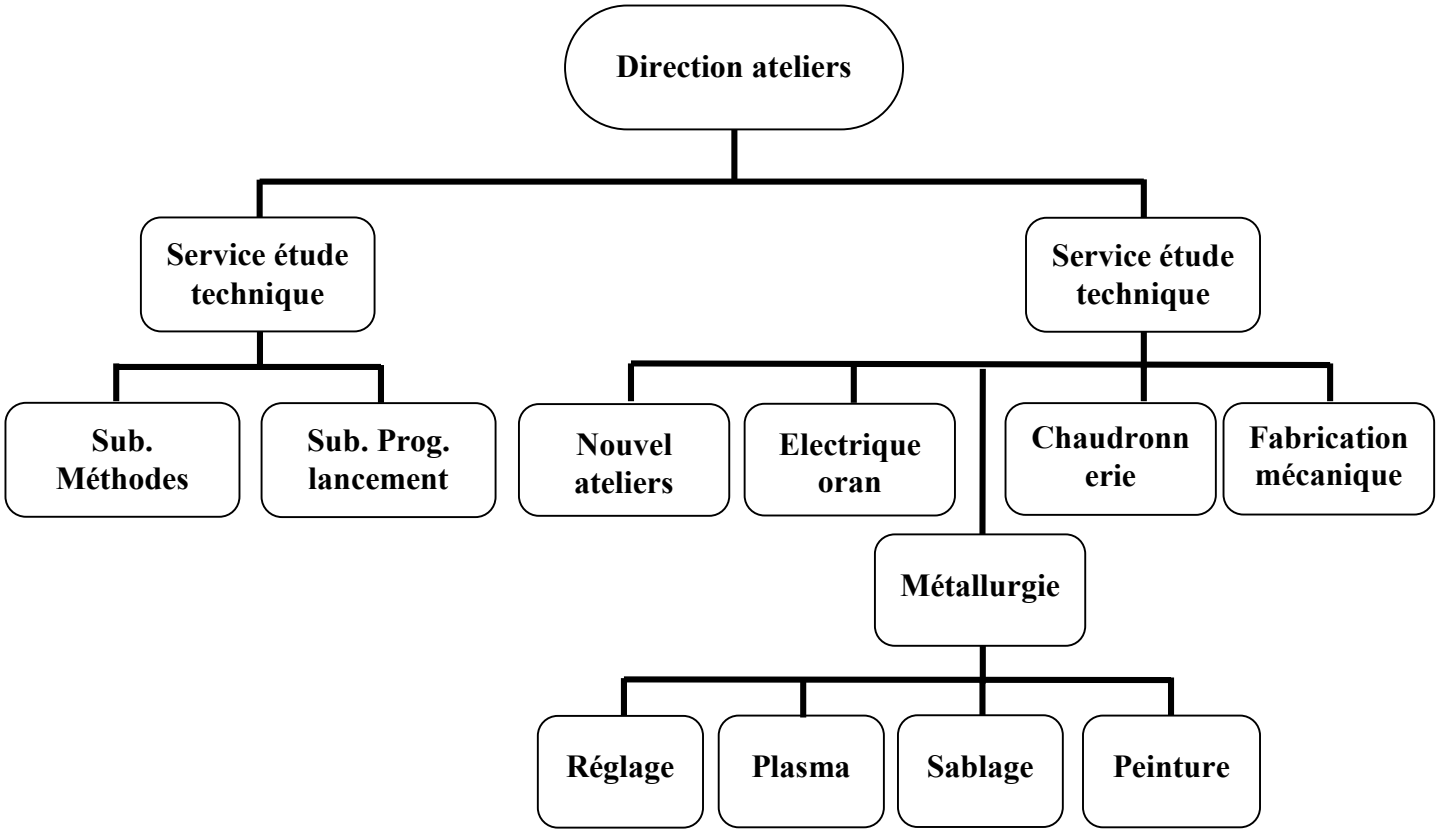


Figure II.16: Structure de la direction des ateliers**.**

II.5 Service étude techniques :

II.5.1 Subdivision méthode et expertise:

- La réception des ODS,
- La désignation de l'ingénieur,

- La gamme d'usinage (tournage, fraisage…).
- Les OT (ordre de travail) et le DT (demande de travail) et la déférence entre aux.
- L'étude faisabilité.
- Les dessins techniques.
- Les composent de dossier technique.

II.5.2 Subdivision lancement et ordonnancement :

- La réception d'OT,
- La réception de gamme d'usinage (manutention, déréglage, sablage, régulage, tournage, fraisage, ajustage et contrôle de qualité),
- L'enregistrement,
- La planification des opérations (logiciel).
- Décortication de la gamme d'usinage (faire un OT pour chaque opération).
- La réception d'OT après exécution avec des attachements (agent/machine).

II.6 Atelier Electrique :

II.6.1 Entretien, réparation et essais des transformateurs HTA/BT :

Pour une meilleure proximité du client, l'activité réparation des transformateurs se déploie sur neuf sites de par le territoire national.



Figure II.17: Transformateur HTA.

- Diagnostic,
- Confection de bobines HTA/BT,
- Montage des transformateurs en kit,

- Entretien des transformateurs,
- Réhabilitation des transformateurs par le changement des colonnes,
- Etuvage et remplissage sous vide des transformateur HTA/BT,
- Essais des transformateurs HTA/BT.

II.6.2 Entretien et réhabilitation des postes HTA/BT sur site :

Entretien sue site des poste HTA/BT afin d'augmenter la fiabilité du matériel pour assurer une disponibilité continue des installations ainsi maintenance et réhabilitation des postes électriques MT/BT (remise en état).

II.6.3 Etude, installation et maintenance des systèmes de sécurité électronique :

Il s'intéresse essentiellement à l'analyse de la fiabilité qui est un concept très important dans l'étude de la sureté fonctionnement des systèmes

- Engineering des systèmes de sécurité électronique (vidéosurveillance, contrôle d'accès et anti-intrusion)
- Conception, développement et architecture réseau la plus adéquate de ces systèmes
- Réalisation des plans de localisation et d'implantation des équipements, des plans passage de câbles, de transmission de donné et câbles électriques.
- Installation, manutention et poste des équipements avec tirage de câbles et raccordement.
- Test et mise en service avec formation des utilisateurs et maintenance.

II.6.4 Traitement et régénération d'huile d'électrique :

Le traitement d'une huile consiste à purifier celle-ci en évaporant l'eau et les gaz dissous sous vide.

- Analyse chimique des huiles en laboratoire,
- Traitement chimique des huiles,
- Traitement physique des huiles,
- Traitement sur site des huiles de transformateur en service,
- Remplissage des transformateurs neufs sur site,
- Régénération des huiles,
- Achat et vente d'huile neuve.

Tableau II.4 : équipement d'atelier Electrique.

Quelque équipement pour atelier Electrique	
Surfaceuse pneumatique	Etuve de séchage (moteur électrique)
Chalumeau brûleur - chauffe	Tour de bobinage
Chalumeau élect. soud. thermoplas.	Cabine de lavage pièces mécanique
Chalumeau soudeur	Sableuse
Chargeur de batterie	Installation de peinture
Poste BF	Installation de sablage
Poste BF mobile 120kw	Chariot élévateur à moteur électrique
Cisaille grignoteuse	Pont roulant 5 T
Cisaille guillotine	Pont roulant 10 T
Cisaille universelle	Pont roulant 40 T
Combinée à bois	Remorque MAFI 40T
Meuleuse	Box de recharge. de roues PELTON
Appareil de mesure Electrique	Tronçonneuse rapide à disque abrasif

II.7 Fabrication de la pièce de rechange et des patries nobles des turbines :

II.7.1 Usinage numérique (le nouvel atelier) :

A partir de 2013, MEI s'est lancée dans l'usinage d'ailettes de 20 à 100 méga watts de puissance, destinées à équiper les turbines à gaz et à vapeur des centrales de production de l'électricité de la société de production de SONELGAZ, en important de la matière moulée ou 'casting'. Ce qui représenté, jusque-là 50% de la chaine de valeur de l'ailette.

II.7.2 Cet atelier contient des moyens très importants :

- Centres d'usinage : 04 machines à commande numérique (05 axes),
- Machine d'électroérosion (par fil) EDM.[28]
- Revêtement HVOF.[29]
- Réparation des ailettes.
- Machine d'électroérosion (par enfonçage) EDM.
- Machine de perçage électrochimique.

- Machine de mesure tridimensionnelle (MMT). [31]

II.8 Fonderie de précision :

Aussi, pour économiser sue les charges liées à l'importation de matière brute, et par la même, faire des économies en devises, MEI de par sa fonderie de précision aura complété son procès de fabrication de fabrication à 100%

Processus de fabrication de casting par fonderie à la cire perdue :

- Injection de cire,
- Contrôle de cire,
- Assemblage de grappe,
- Enrobage céramique,
- Renforcement de moule,
- DECIRAGE,
- Pré-cuisson,
- Isolation et renforcement du moule avec de la laine de verre,
- Préchauffage,
- Coulée,
- Découchage,
- Tronçonnage,
- Traitement thermique,
- Finition,
- Contrôle final.

II.9 Atelier plasma :

Cet atelier est destiné à la métallisation et à la caractérisation, pour la métallisation, en particulier le revêtement, les équipements tels que robot (ABB), torches à fil et à poudre, les fours sont très importants.



Figure II.18: Atelier plasma

II.10 Service contrôle qualité :

C'est une phase finale arbitraire d'une affaire, elle comporte différent contrôles :

- Contrôle CND (ressuage, test par ultrason, test magnétique),
- Géométrique,
- Dimensionnel,
- Dureté,
- Rugosité.



Figure II.19: Service contrôle qualité

II.11 Quelques clients de MEI :

Nos principaux clients sont, entre autres :

- **SONELGAZ :** Société algérienne de l'électricité et du gaz
- **SONATRACH :** Société algérienne des hydrocarbures
- **GROUPEMENTS DES CIMENTERIES** (ERCE . ERCC . ERCO .ACC)
- **ARCELOR MITTAL**
- **FERTIAL:** Société algérienne des engrais et fertilisants
- **ENIP:** Entreprise nationale des industries pétrochimiques
- **ALGESCO:** Filial GE OIL & gas
- **JEUMONT Electric**
- **ANSALDO Energia**
- **NAFTEC:** Société nationale de raffinage du pétrole.
- **ERENAV :** Enterprise de réparation navale.
- **Groupement SONATRACH/AGIP**
- **Organisation Ourhoud**
- **G.E ENERGIE**
- **SIBELEC**
- **ENTP :** Entreprise Nationale des Travaux aux Puits

II.12 Certification :

MEI/spa est certifié ISO 9001/2000 depuis mars 2000[24], le périmètre de certification a été élargi lors de la précédente revue de certification pour inclure :

- Maintenance de Turbomachines
- Maintenance des groupes électrogènes et équipements industriels
- Réparation de moteurs électriques (MT/BT)
- Réparation et fabrication d'échangeurs thermiques.

MEI/SPA s'engage à mettre en place un système de management intégré en mettant en place un SME (Système de Management Environnemental) conforme à la norme ISO 14001/2004[24]. L'audit de pré-certification sera réalisé en mai 2009. (Une copie des certificats ISO 9001/2000 est jointe).



Figure II.20: Certificats ISO 9001/2000

II.13. Conclusion

La communication n'est plus seulement un complément pour améliorer l'image de l'entreprise ou s'en vanter auprès des concurrents, mais elle est plutôt considérée comme un élément essentiel de sa planification stratégique. Ce chapitre, décrivent les départements et les services de MEI qui sont créés de manière à refléter leur hiérarchie organisationnelle.

Chapitre III :

Etude numérique de l'élément machine alternateur et amélioration constructif de la maintenance (ENLMA et ACM)



III.1 Introduction :

Nous avons constaté que la société MEI est complète en termes d'équipements et de machines, notamment en termes de machines synchrones (Alternateur) qui génèrent de l'électricité, mais nous avons trouvé des machines disponibles et également dans certains départements. Nous avons constaté qu'ils manquaient de personnel. De nombreux moteurs attendent d'être réparés en raison du manque d'espace pour loger tous les moteurs et pièces que le client souhaite réparer. Ce chapitre contient deux volets :

Le premier porte sur notre contribution a l'amélioration des procédures de maintenance dans la société MEI.

Deuxième volet s'intéresse principalement sur l'élément machine alternateur par une étude théorique et numérique en deux cas vide et en charge sous l'environnement Matlab.

III.2 Amélioration constructif de la maintenance

Pour voir une étude technico-économique je propose :

- Maximisé le nombre d'effectif dans les services nécessiteux, pour gagner du temps de travail.
- Agrandir l'espace avec de plus en plus de machines.
- Ou il y a une autre solution que nous préférons et vous conseille de faire pour améliorer les performances de l'entreprise.

Dans cette solution, nous étudions une entreprise constituée de plusieurs sites clients distribués géographiquement et possédant des machines complexes qui nécessite des techniciens spécialisés pour les diverses interventions de maintenance. Les équipements sont soumis à une maintenance préventive effectuée par un atelier mobile qui est en charge des visites régulières avec une politique de remplacement. Les équipements défaillants sont quant à eux réparés dans un atelier central de maintenance.

La réparation de certains équipements requiert des outils de maintenance assez lourds pour pouvoir les transporter jusqu'au site de production, ces outils sont spéciaux, précis et très coûteux. Les spécialistes du métier sont toujours à la recherche d'un système de maintenance adapté aux diverses machines de production. Dans cette partie de travail, nous proposons **un atelier mobile** qui répondre aux exigences de ces systèmes. Un système de maintenance doit satisfaire trois types d'exigences :

III.2.1 Exigence technique :

Elles concernent les fonctions de la maintenance. Il s'agit donc de:

- Remettre les machines en pannes en bon fonctionnement dans un délai optimal tout améliorant la qualité des interventions;
- Améliorer le niveau de retour d'eXpérience pour mettre à jour le plan de maintenance et aussi faciliter la mise en place de nouvelles techniques d'une manière active.

III.2.2 Exigence économique :

Ceux-ci concernent les frais de subsistance. D'autre part, le système proposé doit fournir un bon service de maintenance. D'autre part, il doit optimiser les ressources et maîtriser les coûts de maintenance. Cela ne peut être réalisé que par une logistique efficace. En effet, le coût de maintenance peut être reparti dans différents coûts:

- Coût de ressources humaines pour effectuer les opérations préventives.
- Coût de ressources matérielles (pièces de rechange et outillage nécessaires pour la remise en service d'un équipement.
- Coût de transport et manutention pour les diverses déplacement vers les sites demandeurs.
- Coût de retard dû à l'indisponibilité d'une des ressources.
- Autres coûts relatifs à la gestion et service de maintenance.

III.2.3 Exigence organisationnelle et gestion

Le système proposé doit gérer les ressources de maintenance (techniciens, pièces de rechange, etc.) et planifier/ordonnancer la maintenance de manière adéquate avec la production. Cela garantit un alignement complet entre les phases de production et de maintenance. Si vous pensez à la productivité et au temps, par exemple, retarder la procédure de maintenance peut entraîner des problèmes de sécurité des informations, ainsi qu'augmenter les coûts de maintenance.

Par conséquent, ce système de maintenance doit tenir compte de l'exécution des tâches techniques ainsi que des objectifs stratégiques et financiers.

Toutes ces exigences compliquent la tâche de la fonction maintenance. Cette

complexité augmente lorsque les objets clients n'ont pas les mêmes caractéristiques (équipements de maintenance, planning, nombre de travaux, etc.).

L'une des solutions mises en place par les entreprises est l'externalisation des services de maintenance. Cela permet à l'entreprise de se concentrer sur ses principales activités de production. Pour minimiser les coûts de maintenance, une classification des travaux de maintenance est créée, qui peut être utilisée pour distinguer les défauts que l'entreprise considère et les défauts réalisés par un sous-traitant. Veuillez noter que le temps de réparation de l'équipement (temps d'arrêt) effectué par le sous-traitant n'est pas contrôlable.

L'inconvénient est qu'en cas d'échec, le temps d'attente de l'intervention n'est pas négligeable, parfois même très long et donc coûteux. Cela dépend de divers paramètres comme la distance, la disponibilité des ressources nécessaires, etc.

En raison de la large gamme de machines, cela crée une grande quantité de ressources de maintenance. La réalisation de différentes prestations de maintenance serait très onéreuse, ce qui ne permet pas forcément d'optimiser les investissements et les coûts de maintenance. Pour résoudre ce problème, nous supposons initialement que le centre de service est spécialisé dans un type de pièces de rechange.

III.2.4 Principe de fonctionnement de l'atelier mobile :

En raison de la large gamme de machines, cela crée une grande quantité de ressources de maintenance. La réalisation de différentes prestations de maintenance serait très onéreuse, ce qui ne permet pas forcément d'optimiser les investissements et les coûts de maintenance. Pour résoudre ce problème, nous supposons initialement que le centre de service est spécialisé dans un type de pièces de rechange.

Dans ce contexte multi-sites, AdM doit assurer la maintenance des équipements provenant des différents sites clients. Pour réduire l'apparition de défauts, le lieu de travail doit gérer les ressources (opérateurs, outils et pièces de rechange), surveiller l'état des équipements à différents endroits en temps réel et planifier des actions préventives.

L'objectif est, d'une part, de maximiser la disponibilité des systèmes d'intervention en mettant en place une maintenance préventive par remplacement, et d'autre part, de minimiser les coûts de maintenance. Il est donc nécessaire d'optimiser les ressources de maintenance (ressources humaines et matérielles) et de mesurer correctement les stocks de

réserve.

Le dimensionnement des ressources concerne la gestion du personnel de maintenance ainsi que des outils et des pièces de rechange. Quant aux mesures préventives, il s'agit de définir un calendrier robuste qui permette de prendre le droit d'agir et de maintenir un bon niveau de sécurité.

La solution proposée repose principalement sur l'idée de regrouper tous les ateliers locaux de maintenance des sites de production en un seul atelier central. La relation entre les installations de production et le centre de maintenance central est gérée par un atelier de maintenance mobile, chargé de remplacer les pièces défectueuses par des pièces neuves/réparées.

Dans cette partie, les activités de l'Atelier de Maintenance (AdM) se retrouvent, donc réparties dans différentes structures:

- l'AdM Central (AdMc) qui réalise les réparations – maintenance corrective;
- l'AdM Mobile(AdMm) qui effectue des inspections et remplacement sur les différents sites de production.
- l'AdM Locale (AdMl) qui effectue les simples opérations de maintenance telles que les réglages et les remplacements mineures au niveau des sites clients.

La Figure III.1 représente le contexte de l'étude et met en évidence les relations Entre les différents sites.

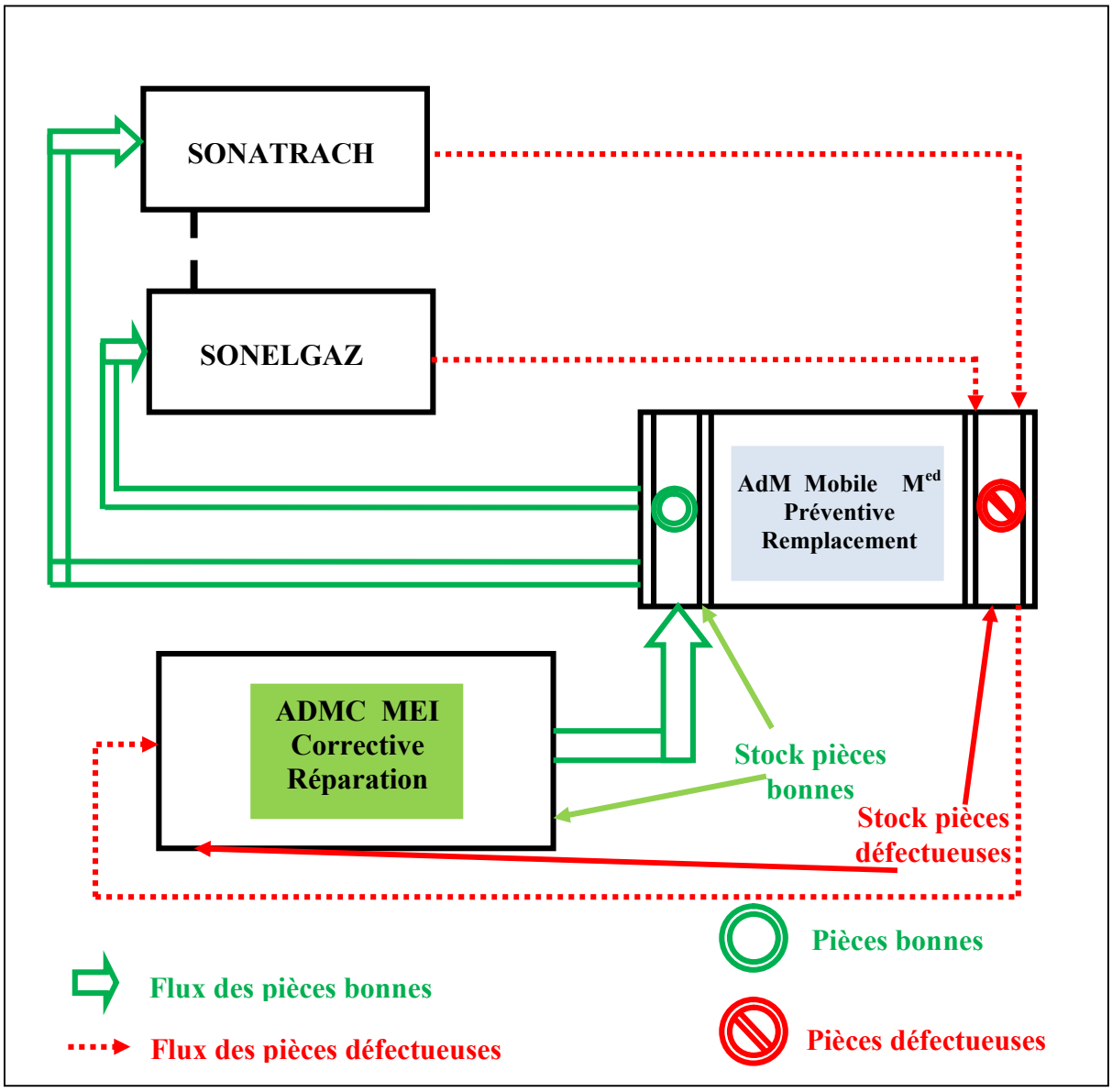


Figure III.1 : Relations entre les différents sites de production et les ateliers de maintenance

III.3 Technologie des Alternateur

Les alternateurs utilisent différents principes et technologies pour convertir l'énergie mécanique en énergie électrique. Voici quelques-unes des technologies d'alternateur les plus courantes :

- Alternateurs à aimants permanents : Ces alternateurs utilisent des aimants permanents au lieu d'électroaimants pour générer un champ magnétique. Cela réduit la résistance électrique, améliore l'efficacité globale de l'alternateur et réduit la chaleur générée.
- Alternateurs à induction : Ces alternateurs utilisent le principe de l'induction électromagnétique pour générer de l'électricité. Un rotor tournant produit un champ magnétique

variable qui induit un courant électrique dans les bobines du stator. Les alternateurs à induction sont couramment utilisés dans les centrales électriques et les éoliennes.

- Alternateurs synchrones : Les alternateurs synchrones sont conçus pour maintenir une fréquence et une tension constantes en synchronisation avec le réseau électrique auquel ils sont connectés. Ils sont utilisés dans les centrales électriques conventionnelles et les grands générateurs industriels.
- Alternateurs à double flux : Ces alternateurs utilisent deux systèmes de bobinage pour augmenter l'efficacité de conversion. Ils sont couramment utilisés dans les applications de production d'énergie éolienne et hydroélectrique.
- Alternateurs à double rotor : Les alternateurs à double rotor sont équipés de deux rotors superposés avec des enroulements distincts. Cela permet une meilleure répartition du flux magnétique et une efficacité accrue. Ces alternateurs sont souvent utilisés dans les turbines à gaz et les éoliennes de grande puissance.
- Alternateurs à haut rendement : Les alternateurs à haut rendement sont conçus pour réduire les pertes électriques et maximiser l'efficacité de conversion. Ils utilisent des matériaux spéciaux et des techniques de conception avancées pour minimiser les pertes par courants de Foucault et par hystérésis.
- Alternateurs à entraînement direct : Ces alternateurs sont directement couplés à un moteur, éliminant ainsi le besoin de courroie ou de poulie pour la transmission de puissance. Cela réduit les pertes mécaniques et améliore l'efficacité globale.

Ces technologies d'alternateur sont utilisées dans différents domaines, tels que les automobiles, les générateurs industriels, les éoliennes, les centrales électriques et bien d'autres. Chaque technologie a ses avantages et est adaptée à des applications spécifiques en fonction des exigences de puissance, de rendement et de contrôle.

La technologie des alternateurs est un domaine qui concerne la production d'électricité à partir de mouvement mécanique. Les alternateurs sont des dispositifs électromécaniques qui convertissent l'énergie mécanique en énergie électrique sous forme de courant alternatif (AC).

L'énergie électrique est généralement produite par des machines synchrones (Alternateur). Ce dernier est caractérisé par la vitesse de l'arbre de sortie de chaque machine correspondant à la vitesse du champ tournant. [32]

Pour réaliser un tel mouvement, un couple mécanique est appliqué à l'arbre d'une alternateur à partir d'une source d'énergie primaire, telle qu'une énergie hydraulique, nucléaire

ou chimique, via une interconnexion mécanique telle qu'une turbine. Le champ magnétique du rotor est généralement généré par un circuit d'excitation fonctionnant en courant continu.[32]

Les alternateurs jouent un rôle très important dans les phénomènes dynamiques et la qualité globale de l'alimentation électrique. Par conséquent, nous devons développer un modèle pratique et réaliste d'une machine synchrone. [32]

Les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique tournant à la pulsation, et réciproquement (rotor au lieu de stator): $\Omega_s = \frac{\omega}{p}$ ou $n_s = \frac{f}{p}$

Ωs : Vitesse de rotation du champ tournant en rad.s^{-1}

ω : Pulsation des courants alternatifs en rad.s^{-1} $\omega = 2.\pi.f$

n_s : Vitesse de rotation du champ tournant en tr.s^{-1}

f :Fréquence des courants alternatifs en Hz

p : Nombre de paires de pôles.

III.4 Principe de fonctionnement de l'alternateur :

Un aimant ou un électroaimant tourne à l'intérieur d'une spire. La variation de flux agissant sur cette spire y crée une force Électromotrice induite $e = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$ [33]

*e:*force electro-motrice f.e.m (V), Θ *:* le flux magnétique (Wb), *t*:le temps (s)

La variation est maximale lors de l'inversion du flux dans la spire. La forme de cette f.e.m (*e*) se rapproche d'une sinusoïde. Si nous plaçons trois spires décalées dans l'espace de 120°, nous obtenons **un système de tensions triphasées**. [33]

III.5 Classification des machines synchrones:

Les alternateurs peuvent être classés selon le type utilisé pour fabriquer le rotor. Cependant, quel que soit le type utilisé, la vitesse est constante (n_s = constante).

III.5.1 Machines a pôles saillants:

Il utilise une pièce polaire sur une culasse avec un enroulement d'excitation constitué d'une bobine. Ce type de machine est utilisé dans les centrales hydroélectriques, le rotor a ***2p*** pôles et sa vitesse est calculée par la formule: $n_s=60*f/p$ [tr/mn]. [34]

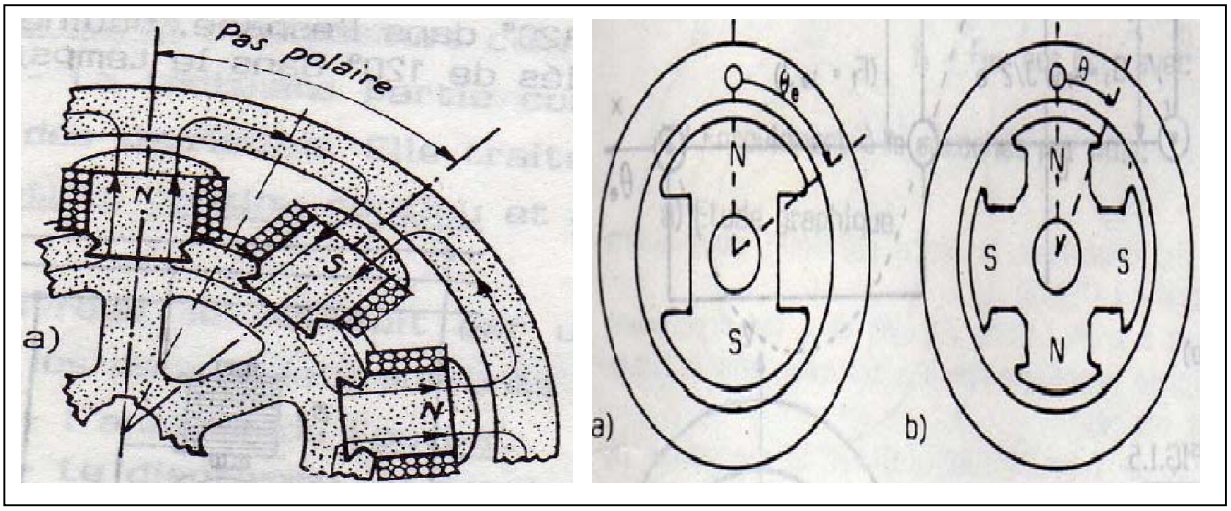


Figure III.2 : Enroulements d'un rotor à pôles saillent.

III.5.2 Machines a pôles lisses :

Contrairement aux modèles précédents (pole saillants), ces machines ont un entrefer constant et les enroulements d'excitation sont placés dans des fentes longitudinales usinées dans des cylindres en acier massif. Le rotor peut comprendre plusieurs fentes, c'est-à-dire que les bobines peuvent être logées dans plusieurs fentes. [34]

Comme ce type de machine est principalement utilisé à grande vitesse, il possède 3, 2 ou 1 paires de pôles. Ces machines nécessitent des moteurs d'entraînement à grande vitesse. Cela est nécessaire, par exemple, pour les turbines à vapeur des centrales thermiques. Un tel générateur est appelé turbo-alternateur.[34]

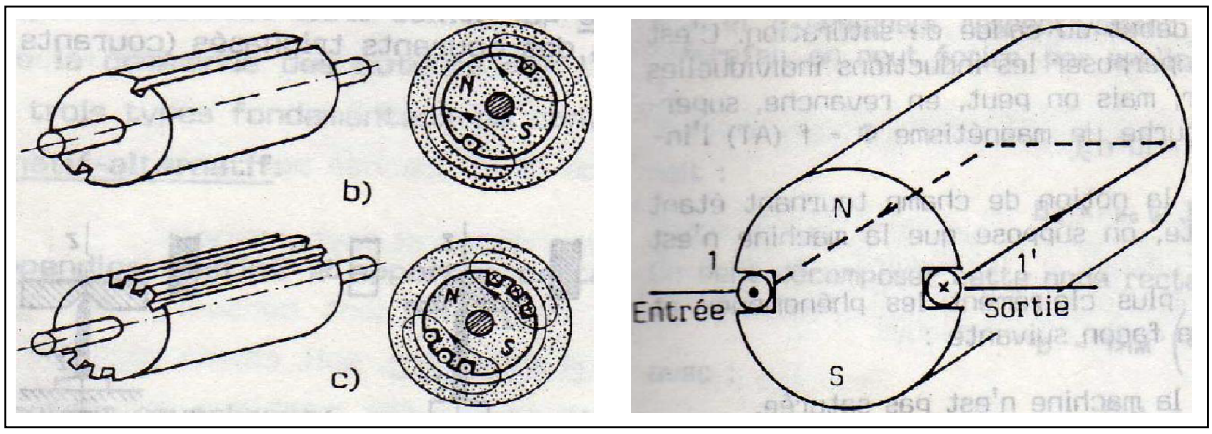


Figure III.3 : Enroulements d'un rotor à pôles lisses.

III.6 Constitution de l'alternateur:

Un alternateur est une machine synchrone qui comporte un inducteur (rotor) et un induit (Stator).[34]

III.6.1 Stator:

Les stators sont toujours soigneusement feuilleté et constitués d'anneaux (coronne) de disques en acier doux isolés les uns des autres avec de la peinture (vernis). [34]

La couronne du stator à la même longueur axiale que les pièces polaires, elle porte des encoches dans lesquels loge l'enroulement d'induit. [34]

III.6.2 Rotor:

Le rotor peut avoir des pôles lisses ou des pôles saillants. Dans le premier cas le nombre de pôles est réduit (2 ou 4). Dans le second cas, le nombre peut être très grand. [3] Le circuit magnétique est fermé par le stator. Sa forme a été choisie pour raccourcir la longueur des lignes de champ magnétique et éviter les fuites magnétiques. Le champ magnétique étant fixe par rapport au rotor, il n'y a pas de pertes par courants de Foucault dans le rotor. Ainsi, un rotor à pôles lisses est toujours solide. Après avoir quitté la fonderie sous la forme d'un cylindre, des rainures y sont pratiquées pour accueillir les conducteurs des enroulements. Les rotors à pôles saillants, en revanche, sont généralement laminés pour faciliter la construction. [3]

III.6.3 Différent type d'alternateur utilisé par Sonelgaz

- **Groupes électrogènes diesel, avec moteur MTU Série TX**

Les groupes électrogènes diesel de la série TX sont équipés de moteurs MTU.

Gamme de puissance 710kVA-3300kVA

- Intégrant des moteurs diesel allemands MTU ;
- Capables de fonctionner à des altitudes extrêmement élevées, jusqu'à 3000 mètres, sans aucune perte de puissance ;
- Adoptant un système à rampe classique de haute pression, système d'injection de carburant à commande électronique avec suralimentation et technologies de refroidissement perfectionnées, garantissant un rendement énergétique remarquable tout en respectant les exigences en matière d'émissions.

Caractéristiques de l'alternateur

- L'alternateur de conception efficace convertit l'énergie mécanique de la turbine à eau, de la turbine à vapeur ou du moteur à combustion interne en énergie électrique sous forme de courant alternatif.
- L'alternateur fonctionne sur le principe de l'induction électromagnétique et de la force électromagnétique. Il fait appel à une puissance de rotation externe afin de générer un courant électrique induit dans le matériau conducteur par le biais de la méthode d'induction électromagnétique.

Alternateur SACM.

Le turboalternateur SACM est un équipement utilisé dans les centrales électriques pour la production d'électricité. SACM est l'acronyme de Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, une ancienne entreprise française spécialisée dans la fabrication de moteurs et de générateurs.

Un turboalternateur est un dispositif qui combine un turbocompresseur et un générateur électrique. Le turbocompresseur est entraîné par un fluide en mouvement, généralement de la vapeur ou des gaz provenant d'une turbine à gaz, d'une turbine à vapeur ou d'un moteur à combustion interne. L'énergie mécanique du fluide en mouvement est convertie en énergie électrique par le générateur.

Le turboalternateur est principalement utilisé dans les centrales électriques à cycle combiné, où la chaleur résiduelle d'une turbine à gaz est utilisée pour produire de la vapeur, qui alimente ensuite une turbine à vapeur entraînant le turboalternateur. Cela permet d'exploiter plus efficacement l'énergie thermique et d'augmenter le rendement global de la centrale électrique.

Les turboalternateurs peuvent également être utilisés dans d'autres applications industrielles nécessitant une conversion d'énergie mécanique en énergie électrique, comme les installations de cogénération et les installations de production d'énergie renouvelable.

Il convient de noter que les spécifications exactes, les performances et les caractéristiques techniques d'un turboalternateur SACM spécifique peuvent varier en fonction du modèle et de l'application spécifique.[33]

III.7 Modélisation de la génératrice synchrone

La modélisation de l'alternateur est destinée à la fois aux concepteurs et aux ingénieurs en automatisation. Elle permet d'une part l'observation et l'analyse de différentes évolutions de grandeurs électriques, et d'autre part, l'élaboration de lois de commande.

III.7.1 Hypothèses :

Pour pouvoir développer le modèle électrique équivalent de la machine, il est nécessaire de faire certaines hypothèses. Ces hypothèses classiques sont les suivantes :

♦ Machine à pôle saillant.

- On considère une distribution sinusoïdale des forces magnétomotrices d'entrefer créées par les bobinages statoriques et rotoriques.
- On néglige les phénomènes de saturation et d'hystérésis magnétique.
- On néglige les pertes dans le fer de la machine.
- On néglige l'effet de peau (en particulier dans les barres du rotor).
- On néglige l'effet de la température sur la valeur des résistances.

III.7.2 Mise en équations de la machine :

On distingue trois types d'équations qui définissent internement le comportement de la machine à savoir :

1) - Les équations électriques.

2) - Les équations magnétiques.

3) - Les équations mécaniques.

III.7.3 Equations électriques :

➢ Le stator :

$$V_a = -R_s\ I_a - \frac{d\varphi_a}{dt}$$

$$V_b = -R_s\ I_b - \frac{d\varphi_b}{dt}$$

$$V_c = -R_s\ I_c - \frac{d\varphi_c}{dt}$$

Ces équations peuvent être exprimées sous forme matricielle comme suit :

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_s & 0 & 0 \\ 0 & -R_s & 0 \\ 0 & 0 & -R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} - \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_a \\ \varphi_b \\ \varphi_c \end{bmatrix}.$$

Avec:

R_s (Ω) : Résistance équivalente d'enroulements statoriques.

$[i_a,i_b,i_c]$: Courant statoriques.

$\varphi a,\varphi b,\varphi c$: Les flux produits par les phases statorique respectivement a, b, c.

$V_a, V_b,$ Et V_c: Tensions générées.

- Le rotor : La génératrice synchrone est sans amortisseur c'est-à-dire :$V_{Kd} = V_{Kq} = 0$

$$V_f = R_f I_f + \frac{d\varphi_f}{dt}$$
$$0 = R_D I_D + \frac{d\varphi_D}{dt}$$
$$0 = R_Q I_Q + \frac{d\varphi_Q}{dt}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} v_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_f & 0 & 0 \\ 0 & R_D & 0 \\ 0 & 0 & R_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_f \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix} - \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_f \\ \varphi_D \\ \varphi_Q \end{bmatrix}.$$

Avec:

R_f (Ω) : Résistance de l'inducteur.

$[i_D,i_f,i_Q]$: Les Courants rotoriques.

V_f : Tension rotorique.

$\varphi a,\varphi b,\varphi c$: Les flux rotorique.

R_D, R_Q : Résistances de l'amortisseur d'axes d et q. (dans ce cas c'est nulle).

III.7.4 Equations magnétique :

Puisque la machine est non saturée et équilibrée les flux sont lies aux courants par :

$$\left[\varphi_{DfQ}\right] = \left[M_{sr}\right]_t \left[i_{abc}\right] + \left[L_r\right]\left[i_{DfQ}\right]$$

$$\left[\varphi_{DfQ}\right]=\left[M_{sr}\right]_t\left[i_{abc}\right]+\left[L_r\right]\left[i_{DfQ}\right]$$

Avec :

$$[Ls]=\begin{pmatrix} L_D & L_{Df} & L_{DQ} \\ L_{fD} & L_f & L_{fQ} \\ L_{QD} & L_{Qf} & L_Q \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad [Msr]=\begin{pmatrix} M_{aD} & M_{bf} & M_{cQ} \\ M_{bD} & M_{bf} & M_{bQ} \\ M_{cD} & M_{cf} & M_{cQ} \end{pmatrix}$$

$$[Lr]=\begin{pmatrix} L_D & L_{Df} & L_{DQ} \\ L_{fD} & L_f & L_{fQ} \\ L_{QD} & L_{Qf} & L_Q \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad [Msr]_t=\begin{pmatrix} M_{Da} & M_{Db} & M_{Dc} \\ M_{fa} & M_{fb} & M_{fc} \\ M_{Qa} & M_{Qb} & M_{Qc} \end{pmatrix}$$

Avec:

$[L_s]$: Matrice d'inductances propre statoriques.

$[M_{sr}]$: Matrice de la mutuelle statoriques.

$[Lr]$: Matrice d'inductance propre rotorique.

$[M_{sr}]_t$: Matrice de la mutuelle rotorique.

L_d (H) : inductance équivalente d'induit sur l'axe d.

L_q (H) : inductance équivalente de l'induit sur l'axe q.

L_f(H) : Inductance de l'inducteur.

Pour un réseau symétrique :

$$L_a=L_b=L_c=L_s\,M_{af}=M_f\cos(\theta)\;;\; M_{bf}=M_f\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right);\; M_{cf}=M_f\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right)$$

III.7.5 Equations mécanique :

L'équation mécanique de la génératrice est donnée par :

$$Cm-Ce=J\frac{d\omega_r}{dt}$$

Avec $\omega_r=\dfrac{d\theta}{dt}$

$\theta=\omega t$ Est la vitesse angulaire de l'axe d.

J : inertie du rotor.

ω_r : vitesse de rotation de la machine.

C_e : couple électromagnétique (résistant).

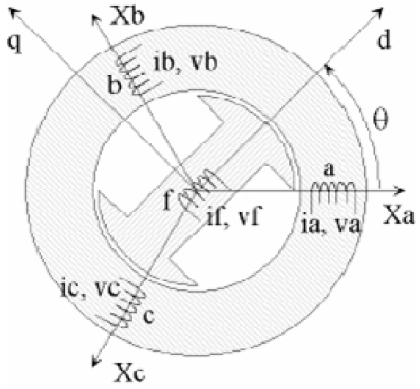
C_m : couple moteur.

III.8 Transformation de Park :

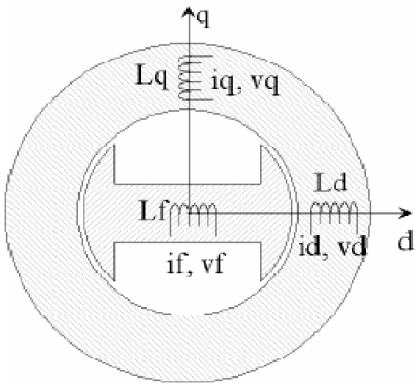
Dans la machine idéale, le stator est muni de trois enroulements repérés a, b et c, décalés de 120 degrés. Le rotor comporte un certain nombre d'enroulements, répartis sur deux axes: l'axe-d, (axe direct) qui coïncide avec celui de l'enroulement d'excitation et l'axe-q (axe quadratique) situé en quadrature avance par rapport à l'axe direct.

Pour supprimer la non-linéarité entre les grandeurs du stator et celles du rotor, les enroulements de la machine doivent être ordonnés selon deux axes perpendiculaires, chaque machine est modélisée dans sa référence locale (d-q) tournant avec son rotor. Pour formaliser le couplage entre les équations du système et établir les équations décrivant le comportement du système global, toutes les tensions et tous les courants doivent être représentés dans une seule référence commune à toutes les machines. Généralement, une référence tournant à la vitesse synchrone sert de référence commune. Une telle approche peut être réalisée par la transformation de Park.

Cette transformation permet donc de passer des valeurs des courants, des tensions et des flux des trois bobines du stator (repère as, bs, cs) ainsi que celle du rotor (repère ar, br, cr) dans un repère lié au champ tournant (repère dq).[32-34]



FigureIII.4 : Repère de Park de la machine synchrone**.**



FigureIII.5: Repère de Park de la machine synchrone**.**

La projection dans un repère lié au rotor permet de définir une machine diphasée équivalente à la machine triphasée, les enroulements étant disposés sur deux axes orthogonaux, comme le montre la figure III.4 et 5.

Matrice de Park : D'où les transformations inverses sont :

$$A=\frac{2}{3}\begin{pmatrix}\cos\theta & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{4\pi}{3})\\ \sin(\theta) & \sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{4\pi}{3})\\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2}\end{pmatrix} \quad \text{Donc : } A^{-1}=\begin{pmatrix}\cos\theta & \sin(\theta) & 1\\ \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & 1\\ \cos(\theta-\frac{4\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{4\pi}{3}) & 1\end{pmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}v_d\\ v_q\\ v_0\end{bmatrix}=\frac{2}{3}\begin{pmatrix}\cos\theta & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{4\pi}{3})\\ \sin(\theta) & \sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{4\pi}{3})\\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2}\end{pmatrix}\begin{bmatrix}v_a\\ v_b\\ v_c\end{bmatrix}\Rightarrow\begin{bmatrix}v_a\\ v_b\\ v_c\end{bmatrix}=\begin{pmatrix}\cos\theta & \sin(\theta) & 1\\ \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & 1\\ \cos(\theta-\frac{4\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{4\pi}{3}) & 1\end{pmatrix}\begin{bmatrix}v_d\\ v_q\\ v_0\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}i_d\\ i_q\\ i_0\end{bmatrix}=\frac{2}{3}\begin{pmatrix}\cos\theta & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{4\pi}{3})\\ \sin(\theta) & \sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{4\pi}{3})\\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2}\end{pmatrix}\begin{bmatrix}i_a\\ i_b\\ i_c\end{bmatrix}\Rightarrow\begin{bmatrix}i_a\\ i_b\\ i_c\end{bmatrix}=\begin{pmatrix}\cos\theta & \sin(\theta) & 1\\ \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & 1\\ \cos(\theta-\frac{4\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{4\pi}{3}) & 1\end{pmatrix}\begin{bmatrix}i_d\\ i_q\\ i_0\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}\varphi_d\\ \varphi_q\\ \varphi_0\end{bmatrix}=\frac{2}{3}\begin{pmatrix}\cos\theta & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta-\frac{4\pi}{3})\\ \sin(\theta) & \sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{4\pi}{3})\\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2}\end{pmatrix}\begin{bmatrix}\varphi_a\\ \varphi_b\\ \varphi_c\end{bmatrix}\Rightarrow\begin{bmatrix}\varphi_a\\ \varphi_b\\ \varphi_c\end{bmatrix}=\begin{pmatrix}\cos\theta & \sin(\theta) & 1\\ \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & 1\\ \cos(\theta-\frac{4\pi}{3}) & \sin(\theta-\frac{4\pi}{3}) & 1\end{pmatrix}\begin{bmatrix}\varphi_d\\ \varphi_q\\ \varphi_0\end{bmatrix}$$

III.8.1 Equation des tensions dans le système biphasé (d, q):

Dans un système biphasé (d, q), les tensions sont généralement représentées en utilisant les coordonnées d'un système de référence :

$$V_{DQ0}=A\,V_{abc}$$

$$V_{DQ0}=-A\frac{d\varphi_{abc}}{dt}-ARI_{abc}$$

$$V_{DQ0}=-AA^{-1}\frac{d\varphi_{DQ0}}{dt}-A\frac{d}{dt}A^{-1}\varphi_{DQ0}-AA^{-1}RI_{DQ0}$$

Où : $AA^{-1} = I$ I : Matrice unitaire. Et : $A\frac{d}{dt}A^{-1} = \frac{d\theta}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

Ce qui donne le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} V_d = -R_a i_d - \frac{d}{dt}\varphi_d - \varphi_q \omega_r \\ V_q = -R_a i_q - \frac{d}{dt}\varphi_q + \varphi_d \omega_r \\ V_o = -R_a i_o - \frac{d}{di}\varphi_o \end{cases}$$

III.8.2 Equation des flux au système biphasé (d, q):

En appliquant la transformation de Park à la matrice des flux statoriques il vient :

$$\begin{pmatrix} \varphi_d \\ \varphi_q \\ \varphi_o \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} \varphi_a \\ \varphi_b \\ \varphi_c \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \varphi_d \\ \varphi_q \\ \varphi_o \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} + A \begin{pmatrix} M_{aD} & M_{af} & M_{aQ} \\ M_{bD} & M_{bf} & M_{bQ} \\ M_{cD} & M_{cf} & M_{cQ} \end{pmatrix}$$

Après développement :

$$\begin{pmatrix} \varphi_d \\ \varphi_q \\ \varphi_o \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} L_d & 0 & 0 \\ 0 & L_q & 0 \\ 0 & 0 & L_o \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} M_{Da} & M_{fa} & 0 \\ 0 & 0 & M_{Qa} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_D \\ i_f \\ i_Q \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \varphi_D \\ \varphi_f \\ \varphi_Q \end{pmatrix} = \frac{3}{2} \begin{pmatrix} M_{Da} & 0 & 0 \\ M_{fa} & 0 & 0 \\ 0 & M_{Qa} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L_D & L_{Df} & 0 \\ L_{fD} & L_f & 0 \\ 0 & 0 & L_Q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_D \\ i_f \\ i_Q \end{pmatrix}$$

Les équations du flux d'axe directe (d) et en quadratique (q) s'écrivent comme suit :

$$\begin{cases} \varphi_d = L_d i_d + M_{Da} i_D + M_{fa} i_f \\ \varphi_q = L_q i_q + M_{Qa} i_Q \\ \varphi_o = L_o i_o \end{cases} \quad \text{Et:} \quad \begin{cases} \varphi_D = \frac{3}{2} M_{Da} i_d + L_D i_D + M_{Df} i_f \\ \varphi_f = \frac{3}{2} M_{fa} i_d + L_{fD} i_D + L_f i_f \\ \varphi_Q = \frac{3}{2} M_{Qa} i_q + L_Q i_q \end{cases}$$

III.8.3 Equations mécanique:

La puissance électrique instantanée aux bornes de la machine synchrone est :

$$P_e = V_a i_a + V_b i_b + V_c i_c$$

En utilisant la transformation de Park il vient :

$$P_e = \frac{3}{2}\left(V_d i_d + V_q i_q + 2V_o i_o\right)$$

$$P_e = -\frac{3}{2}\left(i_d \frac{d\varphi_d}{dt} + i_q \frac{d\varphi_q}{dt} + 2i_o \frac{d\varphi_o}{dt}\right) + \frac{3}{2}(\varphi_d i_q - \varphi_q i_d)\omega_r - \frac{3}{2}R_a\left(i_d^2 + i_q^2 + 2i_o^2\right)$$

- La 1ere parenthèse représente l'énergie magnétique emmagasinée.
- La 2eme parenthèse représente la puissance mécanique transformée en puissance électrique.
- La 3eme parenthèse représente les pertes Joule dans l'induit.

Alors on a :

$$C_e = \frac{3}{2}\left(\Phi_d i_q - \Phi_q i_q\right)\omega_r$$

Modèle équivalent de l'alternateur:

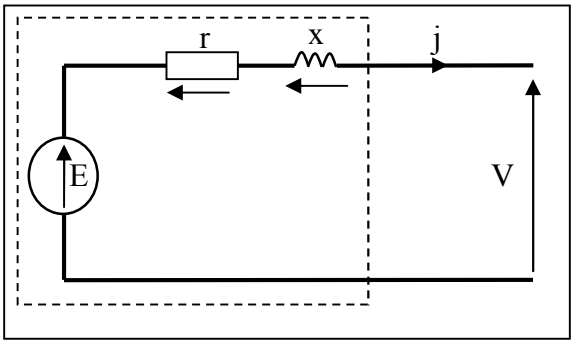


Figure III.6 : Schéma équivalent de l'alternateur.

E : F.é.m. à vide (V).

V : Tension aux bornes d'un enroulement de la machine (V).

r : Résistance de l'enroulement (Ohm).

X=jlω : Réactance synchrone (Ohm).

III.9 Modélisation de l'alternateur fonctionnant a vide:

A partir du modèle de la machine synchrone a rotor bobiné généralisé dans le référentiel rotorique, on peut écrire:

$$\begin{cases} -U_{ds} = R_s \cdot I_{ds} + \dfrac{d\varphi_{ds}}{dt} - \omega \cdot \varphi_{qs} \\ -U_{qs} = R_s \cdot I_{qs} + \dfrac{d\varphi_{qs}}{dt} + \omega \cdot \varphi_{ds} \\ U_f = R_f \cdot I_f + \dfrac{d\varphi_f}{dt} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \varphi_{ds} = L_s \cdot I_{ds} + M \cdot I_f \\ \varphi_{qs} = L_s \cdot I_{qs} \\ \varphi_f = L_f \cdot I_f + M \cdot I_{ds} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -U_{ds} = R_s \cdot I_{ds} + \dfrac{d(L_s \cdot I_{ds} + M \cdot I_f)}{dt} - \omega \cdot L_s \cdot I_{qs} \\ -U_{qs} = R_s \cdot I_{qs} + \dfrac{d(L_s \cdot I_{qs})}{dt} + \omega \cdot (L_s \cdot I_{ds} + M \cdot I_f) \\ U_f = R_f \cdot I_f + \dfrac{d(L_f \cdot I_f + M \cdot I_{ds})}{dt} \end{cases}$$

Mise sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} -U_{ds} \\ -U_{qs} \\ U_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M_{fd} \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M_{fd} & 0 & L_f \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_s & -\omega_r \cdot L_{qs} & 0 \\ \omega_r \cdot L_{ds} & R_s & \omega_r \cdot M_{fd} \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix}$$

III.9.1 Mise se forme matrice d'états:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M & 0 & L_f \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} R_s & -\omega \cdot L_{qs} & 0 \\ \omega \cdot L_{ds} & R_s & \omega \cdot M \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M & 0 & L_f \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -U_{ds} \\ -U_{qs} \\ U_f \end{bmatrix}$$

A vide, les courants des phases statorique sont nuls (i_{sd}=i_{sq}=0), alors les systèmes devient:

$$\begin{cases} -U_{ds} = M_{fd} \cdot \dfrac{dI_f}{dt} \\ -U_{qs} = \omega_r \cdot M_{fd} \cdot I_f \\ U_f = R_f \cdot I_f + L_f \cdot \dfrac{dI_f}{dt} \end{cases}$$

Il ne reste donc qu'une seule équation différentielle représentant l'état de la machine synchrone fonctionnant à vide:

$$\frac{dI_f}{dt} = -\frac{R_f}{L_f} \cdot I_f + \frac{U_f}{L_f}$$

La figure III.7 représente le schéma bloc de la génératrice synchrone à pôles saillants a vide:

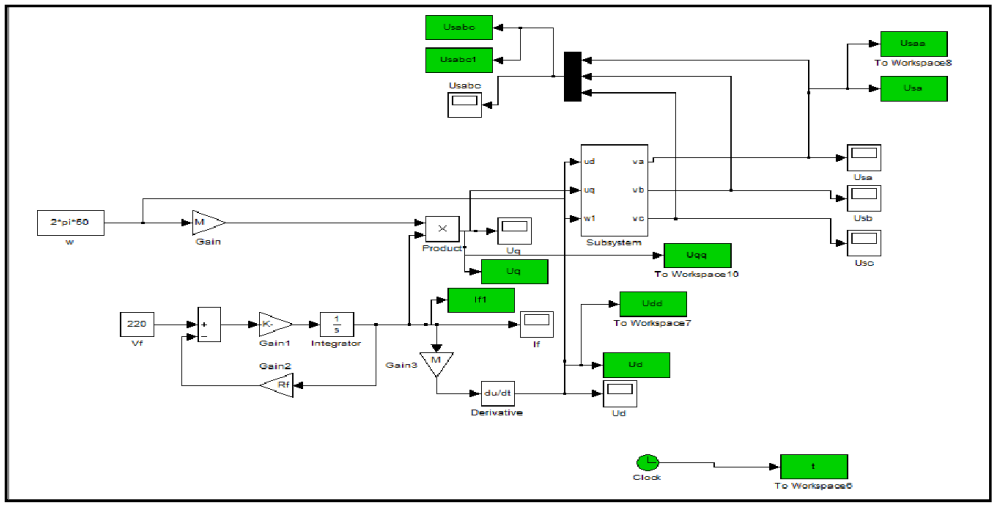
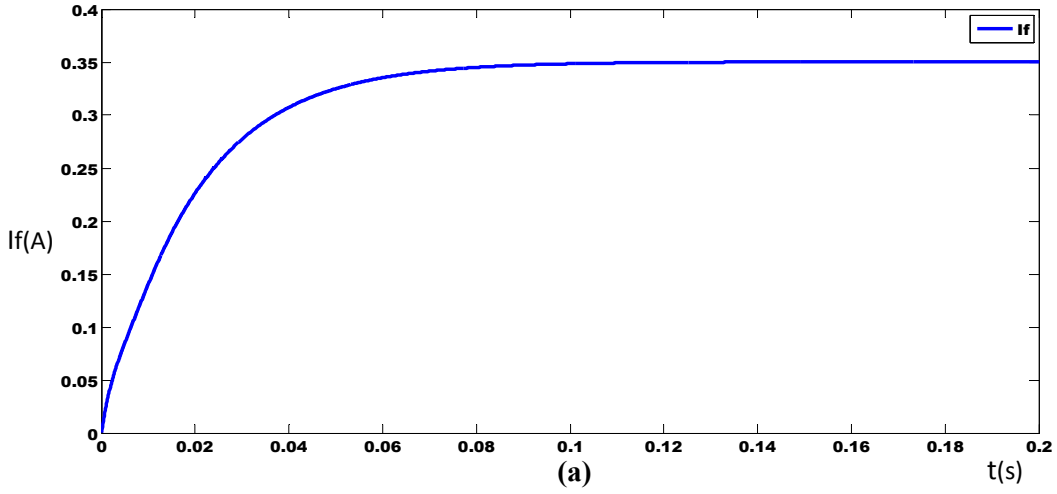
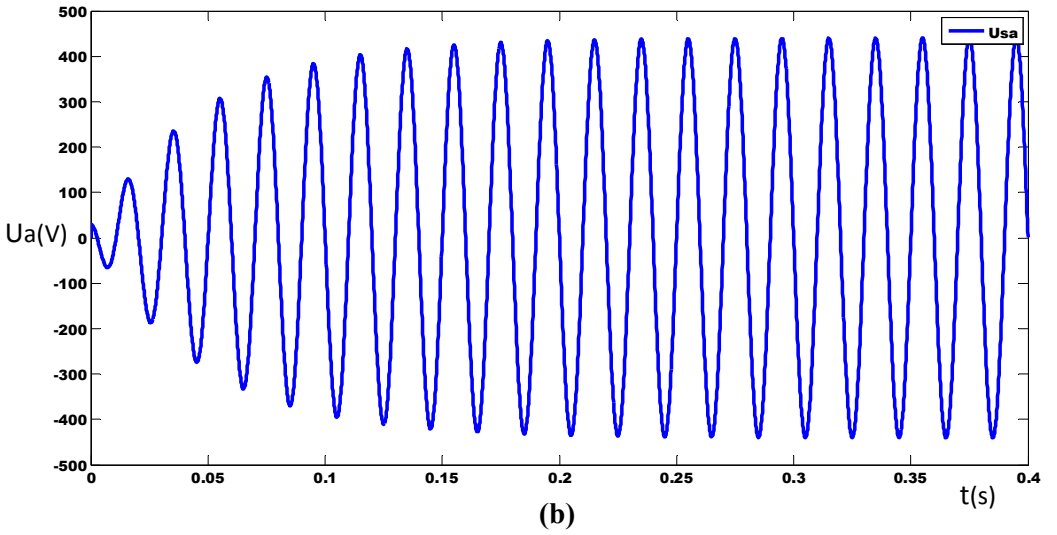


Figure III.7 : Schéma bloc de l'alternateur à vide.

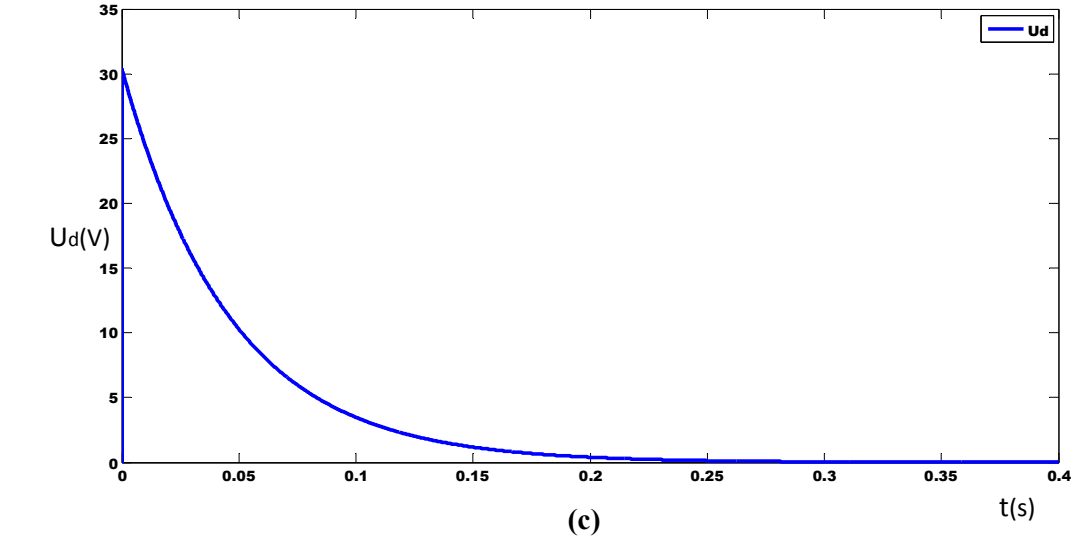
La figure III 8 (a,b,c,d et e) représentent Les résultats de simulationsd'If, Ua, Ud, Uq, Usabc respectivement:



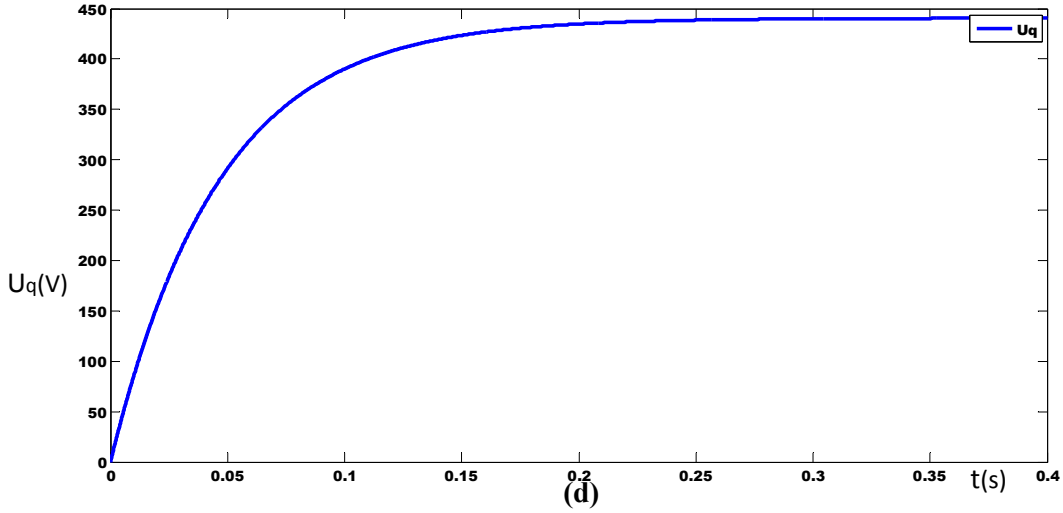
(a)



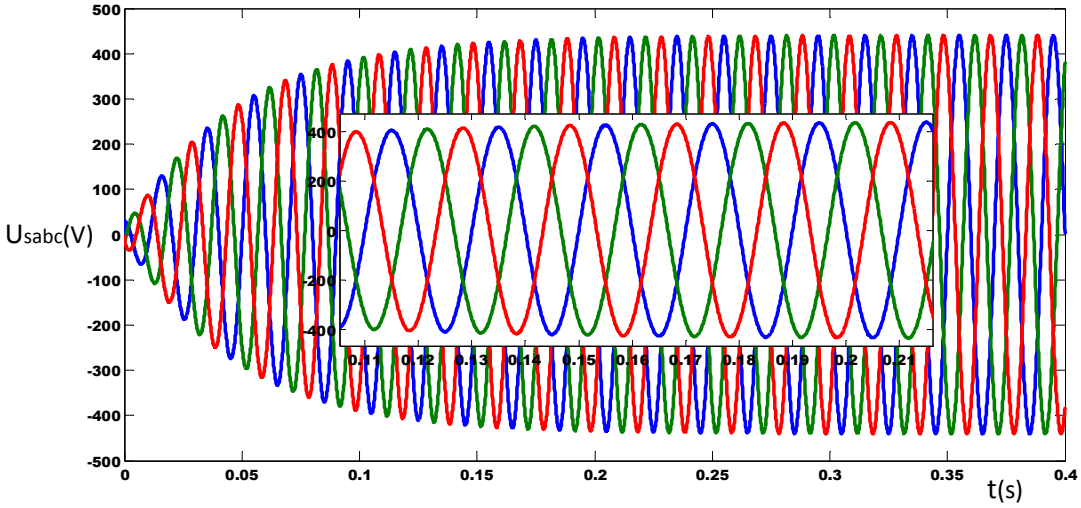
(b)



(c)



(d)



(e)

Figure III.6 : Résultats de simulation de la machine synchrone a pôles saillants a vide.

Les résultats de simulations présentes par la figure III.7 montrent:

- Pour une vitesse constante ω_r=157 rad/s, le courant d'excitation s'établit à 0.35A âpres 0.3s.

- On remarque que la tension U_{sd}, âpres un pic de 30 V, chute pour s annuler a t=1 s; alors Qu'à l'instant t=0.3 s, U_{sq} atteint une valeur établie de 440 V.
- Les trois tensions sont sinusoïdal Us_{abc}.

La modélisation permet de guider les développements par une quantification des phénomènes.

Les formes des tensions obtenues aux bornes de l'alternateur sont sinusoïdales car les f.é.m engendrées par le champ rotoriques est sinusoïdal.

Ce que nous pouvons constater d'après l'allure de l'excitation c'est qu'elle augmente jusqu'elle atteint une valeur bien défini c'est pour compenser les pertes a vide seulement, puisque la machine fonctionne a vide les courants sont nulles.

III.10 Modélisation de l'alternateur fonctionnant a charge:

L'alternateur alimente une charge mixte R-L avec une tension d'excitation constante supposée : Uex=220 (volt).

Le système sera :

$$\begin{bmatrix} -U_{ds} \\ -U_{qs} \\ U_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M & 0 & Lf \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_s & -\omega \cdot L_{qs} & 0 \\ \omega \cdot L_{ds} & R_s & \omega \cdot M \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix}$$

Avec :

$$\begin{cases} U_{ds} = R_{ch} \cdot I_{ds} + L_{ch} \cdot \dfrac{d I_{ds}}{d t} \\ U_{qs} = R_{ch} \cdot I_{qs} + L_{ch} \cdot \dfrac{d I_{qs}}{d t} \end{cases}$$

Le système devient :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (L_{ds}+L_{ch}) & 0 & M \\ 0 & (L_{qs}+L_{ch}) & 0 \\ M & 0 & Lf \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (R_s+R_{ch}) & -\omega \cdot L_{qs} & 0 \\ \omega \cdot L_{ds} & (R_s+R_{ch}) & \omega \cdot M \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix}$$

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M & 0 & Lf \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} R_s & -\omega \cdot L_{qs} & 0 \\ \omega \cdot L_{ds} & R_s & \omega \cdot M \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M & 0 & Lf \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -U_{ds} \\ -U_{qs} \\ U_f \end{bmatrix}$$

Le système d'équation peut se mètre sous forme :

$$\frac{d}{d\,t}[X] = [L]^{-1} \cdot [Z] \cdot [X] + [L]^{-1} \cdot [U]$$

$$\left[\dot{X}\right] = [A] \cdot [X] + [B] \cdot [U]$$

Equation du mouvement :

$$Cem - Cr = J \cdot \frac{d\omega_m}{dt}$$

$$Cem = \tfrac{3}{2} \cdot P\left[L_d \cdot I_d \cdot I_q - \left(L_q I_q + M_f I_f\right) \cdot I_d\right]$$

La figure III.9 représente le schéma bloc de la génératrice synchrone à pôles saillants en charge:

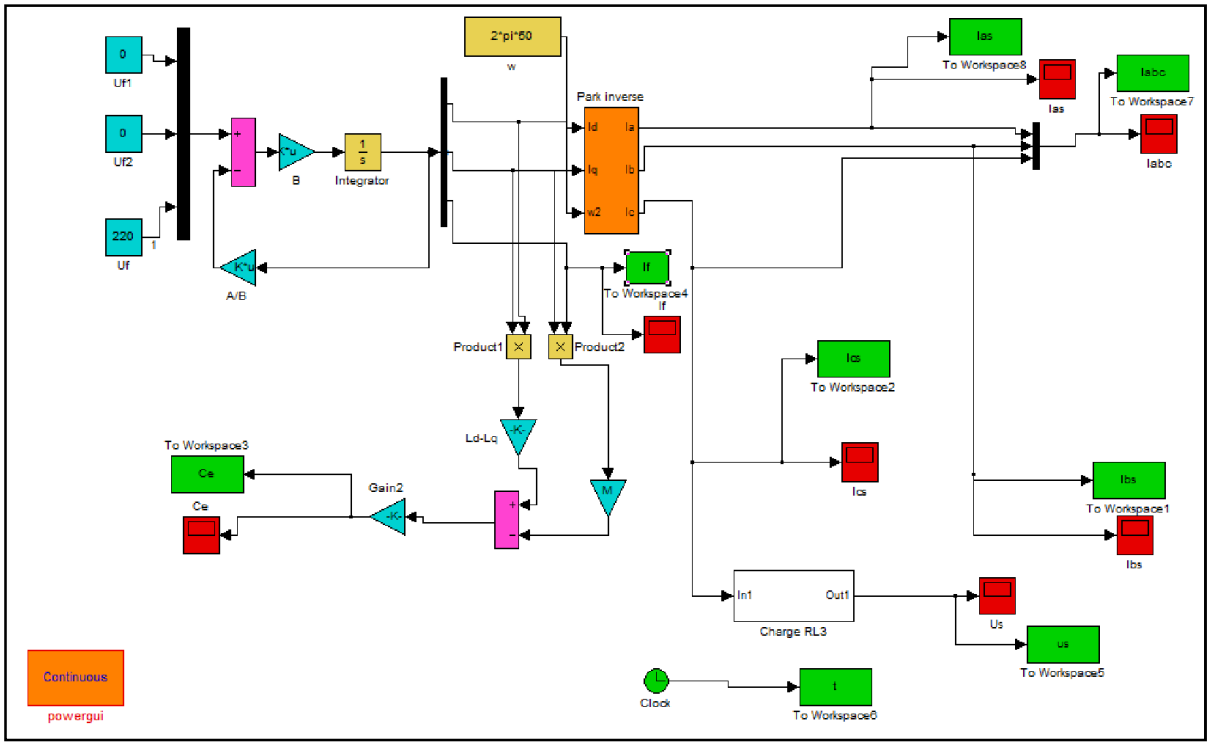
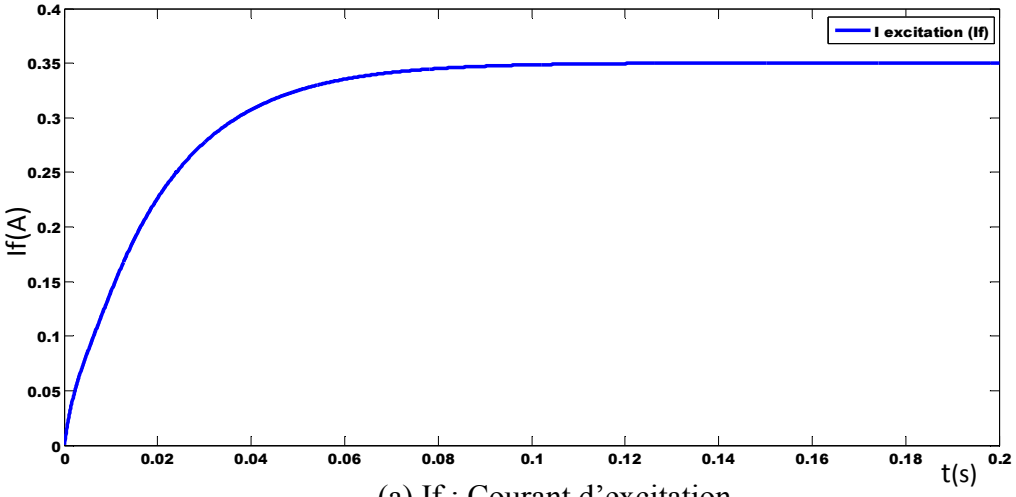
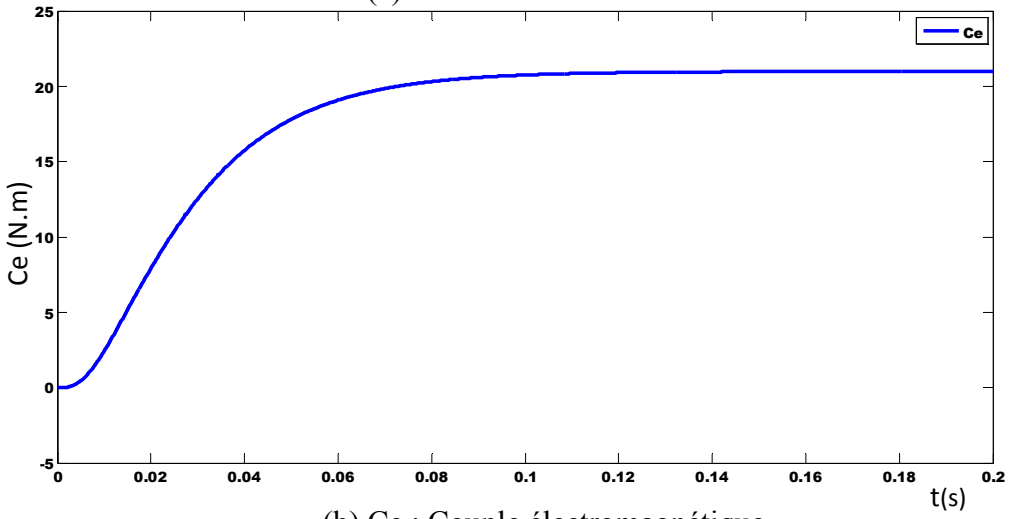


Figure III.9 : Schéma bloc de l'alternateur en charge.

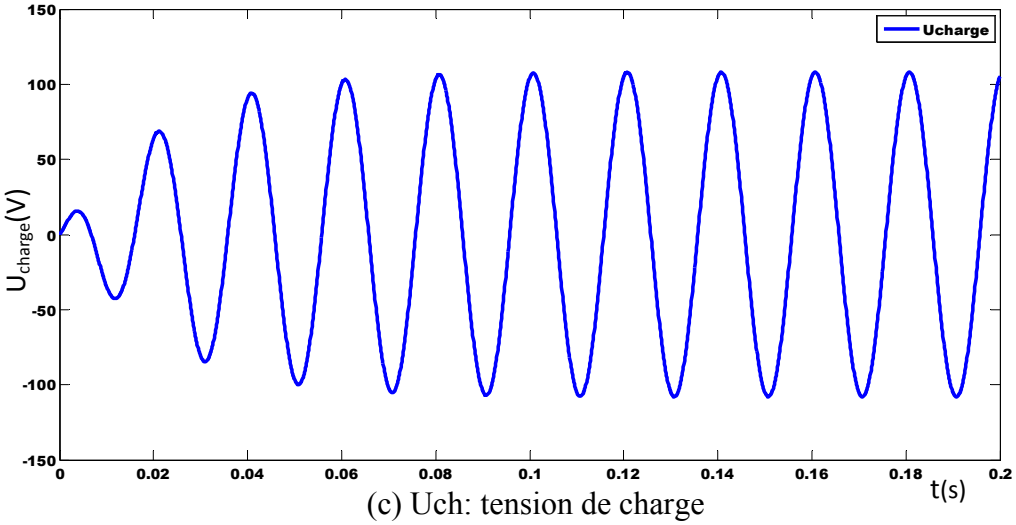
Apres l'exécution, la figure III 10 (a,b,c,d et e) représentent Les résultats de simulations d'If, Ce, U_{charge}, Isa, Isabc respectivement:



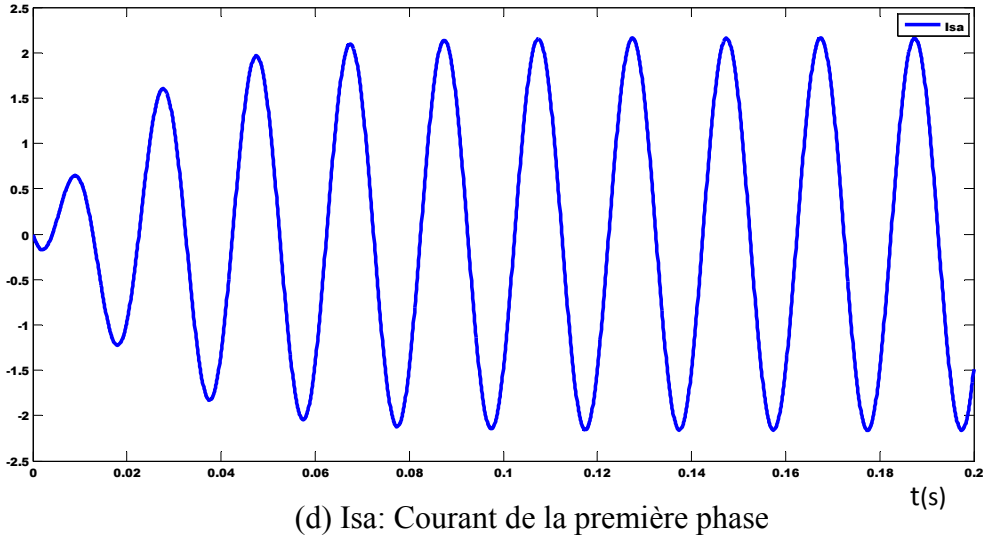
(a) If : Courant d'excitation



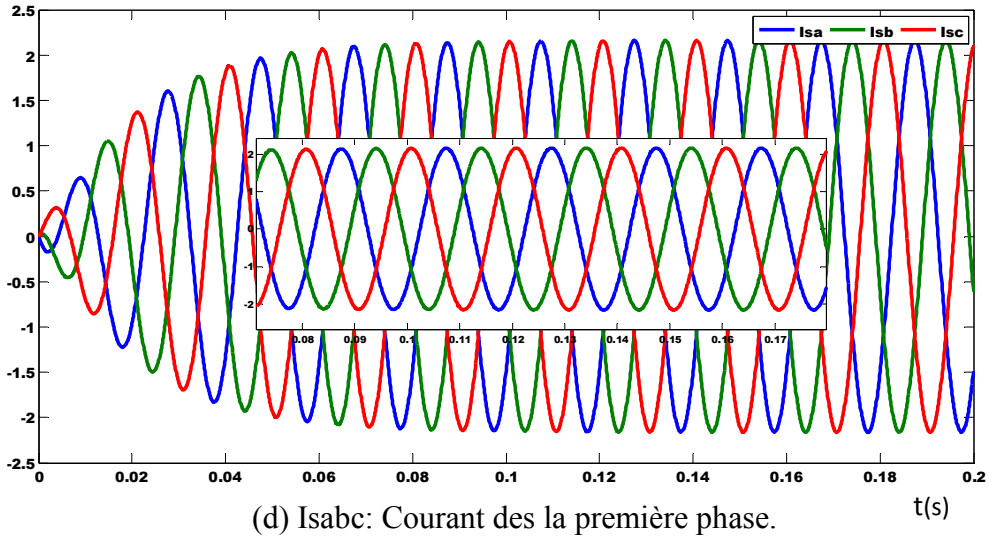
(b) Ce : Couple électromagnétique



(c) Uch: tension de charge



(d) Isa: Courant de la première phase



(d) Isabc: Courant des la première phase.

Figure III.10 : Résultats de simulation de la machine synchrone a pôles saillants en charge.

Les résultats de simulations présentes par la figure III.10 montrent: (l'alternateur en charge)

Dans le fonctionnement en charge et dans un fonctionnement normal les tensions et les courants obtenus sont sinusoïdaux, mais l'amplitude des tensions est diminué. Quand l'alternateur débite un courant I, il faut pour maintenir constante la tension U entre ses bornes, lui fournir par l'excitation, un supplément de force magnétomotrice parce ce que trois phénomènes entre en jeu dans ce cas :

- La chute tension par résistance RI dans l'enroulement d'induit.
- La réaction d'induit.

III.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une solution pour la maintenance a travers la création une atelier mobile pour des raison technico-économique. Deuxiement nous avons extrait le modèle mathématique adéquat à l'alternateur. Le modèle extrait est un système triphasé, pour transformer ce dernier à un système biphasé, nous avons utilisé la matrice de Park, cette transformation est pour le but de simplifier ce modèle. Il a été validé par des testes de simulation pour étudier le comportement du alternateur.

:

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le but de ce travail est d'améliorer les procédures de maintenance appliquées au MEI. Nous avons fourni une planification des ressources et des économies de temps au profit de l'entreprise et de leurs clients. Ces apports renforcent donc la fiabilité, la pérennité et la disponibilité des installations industrielles, où les groupes électrogènes sont d'une importance primordiale, avec des retombées économiques importantes, grâce d'une part à nos solutions et d'autre part à la mise en œuvre d'analyses de recherche apportées. Sur les éléments générateurs du groupe diesel.

Les contributions apportées à l'amélioration du schéma technologique de maintenance des différents mécanismes au niveau de la MEI sont fondamentales pour assurer la fiabilité, la durabilité et la disponibilité des équipements industriels. Grâce à cette amélioration, les entreprises peuvent bénéficier d'une maintenance plus rapide, d'une meilleure utilisation des ressources, ce qui se traduit par des avantages économiques significatifs.

Cependant, il est important de noter que la modélisation du générateur synchrone est basée sur des hypothèses et des approximations simplificatrices, qu'elles peuvent entraîner les différences entre prédictions théoriques et résultats réels. En effet, il est important de valider les modèles avec des expériences de données afin d'en garantir l'exactitude.

Ainsi la modélisation permet de guider les développements par une quantification des phénomènes. En outre elle est d’un apport précieux en permettant d’une part de restituer une image de ce que l’on peut observer expérimentalement et d’autre part de prévoir des comportements de la machine plus varient que ceux de l’observation expérimentale.

Notre solution représente une solution pratique et efficace pour répondre aux besoins de maintenance et de réparation sur site. Ils offrent de nombreux avantages, tant pour les entreprises que pour les clients et d'une optimisation des ressources, ce qui contribue à leur succès et à leur compétitivité sur le marché.

Références

Références

[1] Alhouaij, A.A. and Z. Simeu-Abazi. Modélisation modulaire des activités de maintenance dans une structure Multi-sites. in MOSIM Modélisation, Optimisation et Simulation des Systèmes. 2008. TEC-Lavoisier.

[2] Abbou, R., Contribution à la mise en oeuvre d'une maintenance centralisée: conception et optimisation d'un atelier de maintenance. 2003, Université Joseph-Fourier-Grenoble I.

[3] Simeu-Abazi, Z.J.M.d.h.à.d.d.r., Institut National Polytechnique de Grenoble, Sur la sûreté de fonctionnement des systèmes de production. 1998.

[4] Dekker, R.J.R.e. and s. safety, Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. 1996. 51(3): p. 229-240.

[5] Ouchalal, H. and S. Ouamar, La ressource humaine comme source d'émergence de la recherche et développement dans l'entreprise publique industrielle algérienne. Revue tadamsa d'unegmu, 2022. 2(2): p. 103-114.

[6] MOUHOUS, Y. and F. DEBBI, Méthodologie de diagnostic de défaillances des transformateurs de puissances au niveau de la GRTE. 2019, universite d'Akli mohand oulhadj-bouira.

[7] BENAISSA, K.B. and N. BENALI, AMDEC Sécurité Poste de détente GRTG. 2020, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-.

[8] ZERKOUT, I. and K. CHABOU, Investigation sur les pannes dans un réseau électrique lors de l'injection dse énergies renouvelables (photovoltaïque). 2019, Mr. Z. SARI.

[9] Kahina, L.S., Comptabilité de la Société de Distribution d'électricité et du gaz d'Alger.

[10] Kahina, L.S. and C. Tahar, Le Recrutement et le développement des Compétences dans la Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz Centre-Etude de cas–la Direction de Distribution d'EL HARRACH-Recruitment and skills development in the Electricity and Gas Distribution Company-Case study-EL HARRACH Distribution Department. Revue Cahiers Economiques, 2019. 10(01): p. 589-598.

[11] Hadjbia, G.A. and D. Abdelkader, La concession de la distribution de l'électricité et du gaz en Algérie: Mise en œuvre et évolution. Revue Algérienne d'Economie de gestion Vol, 2019. 13(02).

[12] Amari, S.E.S. and A. Mokhefi, L'entreprise Publique Algérienne Entre la logique de poste et la logique de compétence Cas de la SONELGAZ. 2016.

[13] LAHBIB, M., M. BILLAH, and M. BOUSSAID, Etude de performance d'une éolienne dans un milieu saharien en particulier station éolienne de Kabertene. 2016, Université Ahmed Draia-ADRAR.

[14] The role of ethical leadership in enhancing organizational trust-case study: Company of electrification works (Kahrif)«Touggourt».

[15] وسيلة, الطاقة الكهربائية في الجزائر: محاولة التوقع بالإنتاج دراسة حالة الشركة الوطنية للكهرباء و الغاز. 2018.

[16] Nasser, M., L'adéquation de la modélisation gaussienne avec la réalité observée en finance Cas d'entreprise INERGA.

[17] Ourrad, R. and K. Mouffok, Audit du processus de sous-traitance de la procédure de la radiographie et performance de l'entreprise. Cas de KANAGHAZ, Boumerdes. 2021, Université Mouloud Mammeri.

[18] Bouyacoub, A.J.L.C.d.C., Activité économique et taille des entreprises. 1987(12): p. 63-93.
[19] SOUADIA, H., Influences des traitements thermiques sur l'évolution de la microstructure des superalliages à base de Nickel riche en Cobalt: cas des turbines à gaz. 2016, Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie. Amar Laskri. Annaba.
[20] Ouchalal, H., H. Khelfaoui, and Y.J.L.i.d.l.s.a.d. Ferfera, expériences maghrébines, ADEES, Publisud, Situation de la R&D en l'industrie algérienne le cas de trois entreprises publiques. 2006: p. 105-122.
[21] Cortés, M.A., et al., Impact of implementing ISO 9001: 2008 standard on the Spanish Renal Research Network biobank sample transfer process. Nefrología (English Edition), 2014. 34(5): p. 552-560.
[22] del Bove, M.C., Recension Géraldine Gadbin-George, Anne Brunon-Ernst, Armelle Sabatier, Suhasini Vincent, Justin Beplate, Glossaire de droit anglais, méthode, traduction et approche comparative. ASp-La revue du GERAS, 2014.
[23] Suiveur, U. and M.I. CLAUDE, De l'ISO 9001: 2008 à la version 2015: démarche de transition.
[24] BEN DJAAFER, A., Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique. 2013, Université Mohamed Boudiaf-M'Sila.
[25] https://www.mei.dz/
[26] Soudage par résistance : Soudage par points | Techniques de l'Ingénieur (techniques-ingenieur.fr)
[27] Microsoft Word - soudage oa rempli PDF.doc (umc.edu.dz)
[28] L'Électroérosion, C'est quoi et comment ça marche ? | DassaultSystèmes® (3ds.com)
[29] Procédé HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) - APS Coatings (aps-coatings.com)
[30] https://www.mei.dz/
[31] Qu'est-ce qu'une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT) ? | Solutions de scan professionnelles | Artec3D
[32] H. Alkhatib «Étude de la stabilité aux petites perturbations dans les grands réseaux électriques: Optimisation de la régulation par une méthode met heuristique: Modèle du générateur» Thèse de Doctorat de l'Université Paul Cézanne Aix Marseille III, France 2008.
[33] A-Ciney «Cours d'électricité: Machine Synchrone: Alternateur» Ingénieur Industriel en électromécanique, Ingénieur Européen et Master en sciences de l'ingénieur industriel.2010.
[34] Bendaoud «Course Théories des machines synchrones- Alternateur», département de Génie électrique, Université de Sidi Bel Abbés, 2013.

Annexe

Annexe

```
% Paramètre de la machine Henni & Lamara

Rs=9.9; Lf=29; Ld=0.74; Lq=0.1818; Rf=628; Rch=50; Lch=0.0006; M=4.003;
p=4; j=0.001;f=50;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Identification des paramétres
%syms Ld Lch M Lq Lf;
%syms Rs Rch Rf;
%syms L1 B R1 R2 w A A1 L;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
L=[Ld+Lch 0 M; 0 Lq+Lch 0; M 0 Lf];
L1=inv(L);R1=[Rs+Rch 0 0; 0 Rs+Rch 0; 0 0 Rf];
R2=[0 -Lq 0; Ld 0 M; 0 0 0];
w=3000;ws=3000*pi/30;
%Les Matrices d'état
%Matrice A
AA=R1+R2*ws;
A=AA*L1;
%Matrice B
 B=L1;
 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```