Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique

Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

Mohammed IDRISSI

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

Rénovation du système de régulation de la dragline 200 B2 par des variateurs de vitesse

Encadré par :

Pr Hassan EL MARKHI

Mr Khalil LAMGHARI (OCP KHOURIBGA)

Soutenu le 24 Juin 2014, devant le jury composé de :

Pr H. EL MARKHI	: Encadrant
Pr H. EL MOUSSAOUI	: Examinateur
Pr T. LAMHAMDI	: Examinateur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2013- 2014

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma mère et mon père : ce mémoire est le fruit de votre générosité, de votre soutien et de la confiance que vous avez toujours portée en moi. Que Dieu vous bénisse et vous accorde longue vie.

A mes frères, mes cousins et tous les membres de ma famille, pour leurs sacrifices.

A mes camarades-ingénieurs avec qui j'ai partagé la formation en ingénierie des Systèmes Electroniques et Télécommunications.

A toute personne qui m'a aidé de près ou de loin dans mon parcours.

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à représenter mes premiers mots de remerciements à mon encadrant et responsable de service IDK/C/E/M/E M. LAMGHARI Khalil qui m'a accueilli au sein de son service afin de me faire bénéficier des compétences de son personnel durant mon projet de fin d'études.

Je présente un remerciement bien distingué à mon encadrant universitaire M.EL MARKHI Hassan pour ses conseils durant la période de mon projet de fin d'études, et toute l'équipe pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, particulièrement tous les enseignements du département Génie électrique, ainsi que tous les intervenants professionnels responsables de la formation du cycle d'ingénieur d'état Systèmes Electroniques et Télécommunications.

Je remercier également tout le personnel du Département Maintenance et surtout du service électrique, pour le temps précieux qu'ils m'ont consacrés et les informations considérables qu'ils m'ont fournis et à tous ceux, qui ont contribué de près ou de loin, à la réussite de ce projet de fin d'études.

Résumé

Vu son rang de leader mondial, le groupe OCP investit dans les méthodes d'augmentation de la production, ce qui nécessite la mise en évidence de tous les moyens. La disponibilité des équipements fait partie des moyens les plus importants pour assurer une continuité de production. Ainsi, toute interruption dans le processus de production fait subir au groupe OCP des pertes très importantes.

Dans ce cadre, mon projet de fin d'études, au site d'extraction Sidi-Chennane, traite l'étude critique des performances d'une dragline de défruitage. Plus particulièrement le système de régulation. Il s'agit de mener une étude qualitative qui met en évidence la criticité du problème et ensuite en proposer des solutions adéquates.

La proposition de renouvellement du système de régulation par des variateurs de vitesse s'avère nettement rentable au groupe, vu la possibilité technique d'adaptation d'une part. Par ailleurs, la réduction importante du temps d'arrêt fait de cette solution un investissement récupérable en une courte durée.

Abstract

Being one of the strategic sectors of the country, the exploitation of phosphate requires the highlighting of all the means. The availability of equipment is a part of the most important means to ensure a continuity of production. Thus, any interruption in the production process subjects the OCP group of the very important losses.

Within this framework, my project treats the performances of a dragline excavator. More particularly, the regulation system. It is a question of conducting a qualitative study which highlights the criticality of the problem and then of suggesting appropriate solutions.

The proposal for a renewal of the regulation system by speed controllers seems definitely profitable, considering the technical possibility of adaptation. Moreover, the important reduction of the downtime makes this solution a recoverable investment in a short duration.

ملخص

باعتبارها واحدة من القطاعات الاستراتيجية في البلاد، يتطلب استغلال الفوسفاط تحديد كل الوسائل. ويعد توافر المعدات واحدة من أهم الطرق لضمان استمرارية الإنتاج. وبالتالي، فإن كل انقطاع ، يكبد مجموعة المكتب الشريف للفوسفاط خسائر كبيرة جدا مما يحتم ضرورة جاهزية هذه المعدات.

في هذا السياق، يتناول مشروع التخرج، الذي اشـــــتغلت عليه بموقع الاستخراج سيدي شنان التابع لمجموعة المكتب الشريف للفوسفاط ، دراسة نقدية لأداء الالة 200B2 وعلى الأخص نظام تحكمها، يتعلق الأمر بالقيام بدراسة كيفية ستسلط الضوء أكثر على مدى أهمية المشكلة ومن ثم اقتراح الحلول المناسبة لها.

وقد تبين أن تحديث نظام التحكم بواسطة مغيرات السرعة هو الاقتراح الملائم، و ذلك نظرا لإمكانية التكيف من الناحية التقنية. و فضلا عن ذلك، فإن تخفيض توقفات هذه الآلة يجعل هذا الحل ناجعا إضافة إلى كونه قابلا للاسترداد في مدة قصيرة.

Liste des Figures

Figure 1: Début des exploitations des phosphates en 1920 16
Figure 2 : organigramme de l'OCP 18
Figure 3 : Les étapes d'exploitation des phosphates 20
Figure 4 : Image de la dragline 200B 24
Figure 5 : Dessin de la dragline 200B 25
Figure 6 : Vue interne de la partie interne 26
Figure 7 : les Chenilles de la dragline 200B 27
Figure 8 : circuit de régulation de mouvement de levage 31
Figure 9 : Schéma représentatif de l'amplistat 32
Figure 10 : La caractéristique de B=f (H) 33
Figure 11 : Les enroulements de l'Amplistats 34
Figure 12 : les heures de marche de la machine 200B2 36
Figure 13 : Répartition des heures d'arrêts 38
Figure 14 : Subdivision des interventions électriques effectuées sur la machine 200B2 39
Figure 15 : Nombre cumulé de panne / organe 43
Figure 16 : graphe de la durée moyenne des pannes cumulées 43
Figure 17 : graphe analyse de Pareto caractérisant la disponibilité 44
Figure 18 : Les causes d'arrêt au niveau de l'armoire de régulation 45
Figure 19 : Répartition des causes d'arrêt pour le système de levage 46
Figure 20 : Répartition des causes d'arrêt pour le groupe 47
Figure 21 : Schéma synoptique de la solution proposée pour chaque mouvement 49
Figure 22 : étapes d'élaboration du budget 51
Figure 23 : Schéma synoptique de la solution 52
Figure 24 : Schéma synoptique de la solution 54
Figure 25 : Schéma synoptique de la solution proposée pour un mouvement 56
Figure 26 : Schéma de la structure proposée 61
Figure 27 : schéma synoptique d'un variateur de vitesse 62
Figure 28 : quadrants de fonctionnement 63
Figure 29 : convertisseur quatre quadrants 64
Figure 30 : quadrants de fonctionnement 64
Figure 31 : Principe de la rénovation de la régulation 67
Figure 32 : schéma bloc de la génératrice 68
Figure 33 : Schéma bloc du moteur 69
Figure 34 : Schéma bloc du groupe WL 70
Figure 35 : principe de régulation du mouvement Levage et drague 71
Figure 36 : Principe de régulation du mouvement orientation 71
Figure 37: modèle Simulink de la boucle WL 72
Figure 38 : réponse du système en boucle ouverte 72
Figure 39 : réponse du système en boucle fermé sans correction 73

Figure 40 : modèle Simulink de la boucle avec régulation 74
Figure 41 : réponse du système régulé 74
Figure 42 : Les quadrants de fonctionnement 76
Figure 43 : choix du variateur en armoire d'après le catalogue du constructeur [10] 78
Figure 44 : Armoire d'un variateur de vitesse de type SINAMICS DC MASTER 79
Figure 45 : schéma synoptique d'un mouvement 80
Figure 46 : Création d'un nouveau projet Figure 47 : Insertion du groupe d'entraînement 81
Figure 48 : Configuration d'un groupe d'entraînement 81
Figure 49 : Sélection de l'appareil 82
Figure 50 : Paramètres généraux de l'entrainement 82
Figure 51 : désactivation de l'excitation 83
Figure 52 : résumé des paramètres généraux 83
Figure 53 : transfert du projet 84
Figure 54 : le schéma régulation pour le mouvement levage 84
Figure 55 : les boucles de régulation 85
Figure 56 : Schéma simplifiée de la nouvelle installation 88

Liste des Tableaux :

Tableau 1 : Les caractéristiques des moteurs et des génératrices 29
Tableau 2 : Classification des heures d'arrêt en (H) 38
Tableau 3 : les coûts de maintenance générés par la machine 200B2 40
Tableau 4 : Récapitulatif des pannes de la machine 42
Tableau 5 : Tensions à vide et courants de calage des moteurs 50
Tableau 6 : Puissances des moteurs 50
Tableau 7 : Désignation des variateurs 50
Tableau 8 : Désignation des transformateurs 50
Tableau 9 : devis estimatif 51
Tableau 10 : Tensions et courants des inducteurs des génératrices 53
Tableau 11 : Désignation des variateurs 53
Tableau 12 : Devis estimatif 53
Tableau 13 : Devis estimatif 55
Tableau 14 : Désignation des variateurs pour les inducteurs des génératrices 56
Tableau 15 : Désignation des variateurs pour les inducteurs des moteurs. 56
Tableau 16 : devis estimatif 57
Tableau 17 : matrice de compatibilité 58
Tableau 18 : courants et tensions dans les inducteurs des génératrices 76
Tableau 19 : Liste du nouveau matériel à commander 89
Tableau 20 : les coûts de maintenance du au système de régulation 91
Tableau 21 : Détail estimatif 92

Liste des abréviations

AH : Anti-Hunt

BT : Base Tension

CE : Coût des Equipements

CI : Coût d'Investissement

CM : Coût de Maintenance

CMS : Contrôleur principale(Master switch)

CTP : Coût Total des Pertes

DPRF : Demande de Pièce de Rechange et Fourniture

DRC : Durée de Récupération du Capital

FA : Forward Amplistat

HAR : Heures d'Arrêts

HD : heures de disponibilité

HDT : heures de Disponibilité théoriques

MO :Main d'Ouvre

MT : Moyen Tension

OCP : Office Chérifien de Phosphate

PDR : Pièces de Rechange

PFD : Principe Fondamental de la Dynamique

PP : Pertes de Production

PSF : Poste Semi-Fixe

RA : Reverse Amplistat

RPM :Tours par Minutes

SCR: Silicon Controlled rectifier

WL : Ward-Leonard

Sommaire

Dédicace 2
Remerciements 3
Résumé 4
Abstract 5
ملخص 6
Liste des Figures 7
Liste des Tableaux : 8
Liste des abréviations 9
Introduction générale 14
Chapitre 1 : Présentation de l'organisme d'acuiel 15
I- Présentation du groupe O.C.P : 16
1- Introduction : 16
2- Historique : 16
3- Statut juridique de l'OCP : 17
4- Rôle et activités : 17
5- Filiales : 17
6- Organigramme de l'OCP : 18
II- Secteur Sidi Chennane : 19
1- Présentation du secteur : 19
2- Le Service Maintenance Electrique 19
3- Description du procédé d'extraction des phosphates : 20
4- Présentation des étapes d'exploitation des phosphates : 21
5- Sujet de projet 22
6- Cahier des Charges 22
Chapitre 2 : Présentation de la machine 200 B2 23
Introduction 24
I- Description de la machine 200B2 24
1- Présentation 24
2- Structure de la machine : 25

3- Alimentation de la machine : 27
II- Décomposition fonctionnelle de la 200B2 28
III- Etude du Système de régulation de la 200B 31
1- Principe de régulation 31
2- Principe de fonctionnement de l'Amplistat 32
Conclusion : 34
Chapitre 3 : Etude critique de la performance de la machine 35
Introduction 36
I- Analyse des heures d'arrêt de la Machine 200B2 36
1- Heures de marche 36
2- Calcul des heures d'arrêt : 37
3- Répartition des heures d'arrêt 37
II- Evaluation financières des heures d'arrêt de la machine 39
1- Coûts de maintenance 39
2- Pertes de production 40
III- Analyse des arrêts en sous systèmes 41
1- Les systèmes de la machine 200B2 41
2- Analyse PARETO des systèmes de la machine 200B2 41
1- Indicateur de fiabilité 42
2- Indicateur de la maintenabilité 43
3- Indicateur de disponibilité 43
4- Synthèse 44
II- Analyse des causes d'arrêt 44
1- Analyse des causes du système armoire de régulation 44
2- Analyse des causes du système de levage : 45
3- Analyse des causes de défaillance du groupe WL : 46
Conclusion : 47
Chapitre 4 : Scénarios proposés 48
Introduction 49
I- Solutions possibles 49
1- Remplacer le groupe Ward Leonard par un système statique 49
2- Garder le groupe Ward Leonard et remplacer l'armoire de régulation par un système numérique 52
3- Garder le groupe et remplacer l'armoire de régulation par 3 variateurs et l'excitatrice par un pont redresseur 54

4- Garder le groupe et remplacer l'armoire de régulation par 3 variateurs et alimenter les 3 inducteurs des moteurs par 3 variateurs 55
II- Comparaison entre les différentes solutions 57
Conclusion 58
Chapitre 5 : Etude de la solution adopté 59
Introduction 60
I- Description de la solution 60
II- Aspect théorique de la solution 61
1- Principe des variateurs de vitesse 61
2- Les quadrants de fonctionnement d'un MCC 62
3- Convertisseur quatre quadrants 63
4- La régulation 64
5- Inversion du sens de marche et freinage par récupération 65
6- Avantages de la régulation avec les variateurs de vitesse 66
III- Le nouveau Système de régulation 67
1- Présentation 67
2- Modélisation du système d'entrainement de la machine 67
IV- Choix du variateur de vitesse 75
1- Les Caractéristiques de la charge (les inducteurs des génératrices) 75
2- Définition des quadrants de fonctionnement 76
3- Caractéristiques générales des variateurs 76
4- Justification du choix : 77
5- Choix d'après le catalogue constructeur 77
6- Mise en armoire 78
7- L'alimentation des variateurs 4 quadrants 79
V- Mise en service du variateur de vitesse: 80
VI- Schéma final de la nouvelle installation 87
VII- Etude de la pièce de rechange du nouveau matériel 88
1- Procédure 88
2- Actions 88
VIII- La maintenance du nouveau matériel installé 89
IX- Etude budgétaires 90
1- Evaluation financières des heures d'arrêt de la Machine 90
2- Coûts de maintenance 90
3- Pertes de production 91

4- Estimation du budget de la solution 91
5- Le temps de récupération d'investissement 93
Conclusion : 94
Conclusion générale 95
Bibliographie 96
Web graphie 96
Annexe A **97**
Annexe B **102**
Annexe C **105**

Introduction générale

Dans le cadre de la concurrence mondiale, et la grande compétitivité dans le monde industriel, les entreprises sont appelées à améliorer la qualité de leurs produits et services, elles doivent adopter une politique qui tient compte de l'évolution économique et technologique actuelle.

Face à ses contraintes et afin de consolider son rang de leader, le groupe OCP entretient l'esprit d'innovation dans tous les domaines, tel que le domaine de production afin de résoudre les problèmes survenus lors du fonctionnement de l'un des équipements de production.

C'est dans cette perspective, qu'il m'a été proposé comme sujet de projet de fin d'études la rénovation du système de régulation de la dragline 200B2.

Dans le 1er chapitre j'ai commencé par une présentation générale du groupe OCP et du service électrique SIDI CHENNANE. Quant au 2ème chapitre, j'ai donné une description de la machine afin de bien comprendre son principe de fonctionnement. Puis dans le 3ème chapitre j'ai établi une étude critique dont l'objectif est la détermination des systèmes défaillants responsables des arrêts de la machine. En suite, un ensemble de scénarios ont été proposés dans le 4ème chapitre tout en dégageant une solution que j'ai détaillée dans le chapitre qui suit. Le 5ème chapitre a fait l'objet d'une étude de la solution adoptée dont j'ai proposé de remplacer l'ancien système de régulation par des variateurs de vitesse. Dans cette partie, j'ai fait recours à une modélisation du système étudié, en choisissant le variateur de vitesse adéquat, puis j'ai détaillé le système en sous-ensembles en vue l'approvisionnement des pièces de rechange et enfin une étude budgétaire évaluant l'investissement était élaborée.

Chapitre 1 :

Présentation de L'organisme d'accueil

Ce Chapitre a pour objectif : la présentation du contexte générale du projet.

Nous commençons par une présentation générale du groupe OCP, tout en donnant une vue sur son organisation, son historique, ainsi que son secteur d'activité.

I- Présentation du groupe O.C.P :

1- Introduction :

L'exploitation des phosphates marocains est confiée, dans le cadre d'un monopole d'État, dès 1920 à l'Office Chérifien des Phosphates, devenu Groupe OCP en 1975 et Société Anonyme le 22 janvier 2008. L'activité d'extraction et de traitement a démarré à BOUJNIBA, dans la région de Khouribga le 1er mars 1921. En 1965, avec la mise en service de Maroc Chimie à Safi, le Groupe devient également exportateur de produits dérivés. En 1998, il franchit une nouvelle étape en lançant la fabrication et l'exportation d'acide phosphorique purifié.

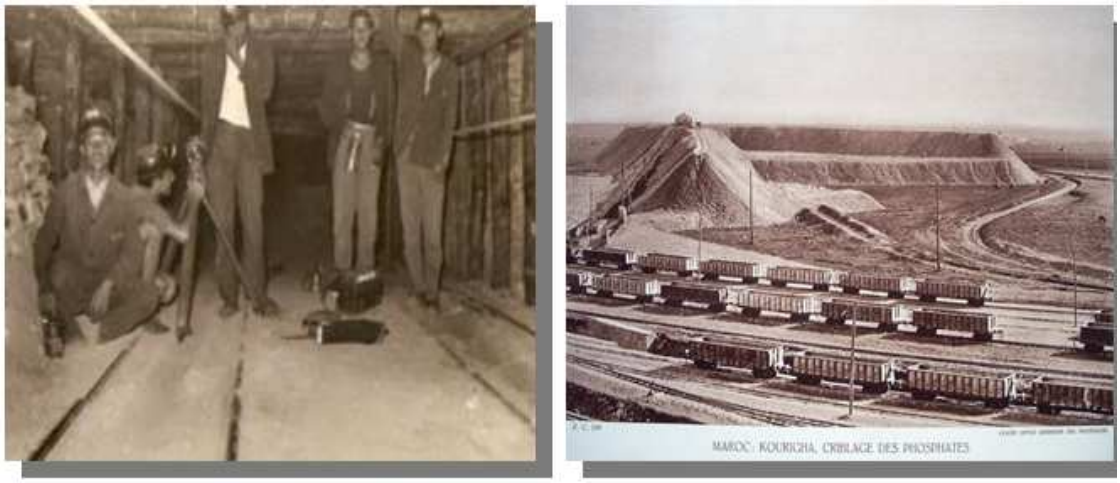


Figure 1: Début des exploitations des phosphates en 1920

2- Historique :

Le groupe Office Chérifien des Phosphates, fut crée par le Dahir du 07 août 1920 qui réservait à l'Etat du Maroc les droits de recherche, d'exploitation et de commercialisation du phosphate afin d'éviter que les richesses ne tombent aux mains des organismes privées.

La production géologique qui a commencé vers 1908, a relevé les premiers indices des phosphates au Maroc en 1921 dans la région d'Ouled Abdoun de Khouribga. L'exploitation effective du phosphate marocain fut entreprise à partir de février de la même année dans la région de Oued-Zem sur le gisement d'Ouled Abdoun.

La mise en exploitation d'un nouveau gisement à Youssoufia dans la région de Gant Our à 80 Km de Safi ou la teneur de phosphate est de 70 BPL est bien inférieur à celle du

phosphate de Khouribga mais elle reste supérieur à celle des gisements exploités dans les autres pays.

En 1929, les demandes du phosphate marocain ont connu un brusque abaissement à cause de la crise mondiale économique qui demeurât jusqu'à la seconde guerre mondiale. En effet en 1939 la guerre commença et les relations commerciales avec un grand nombre de pays furent rompues. Après, la restriction du secteur agricole des pays européens exige a des qualités croissantes d'engrais et les exploitations de l'OCP repartent en flèche.

3- Statut juridique de l'OCP :

L'OCP a été constitué sous forme d'un organisme d'état, mais étant donné le caractère de ses activités commerciales et industrielles.

L'OCP fonctionnant comme une société dont le seul actionnaire est l'Etat marocaine, est dirigé par le directeur général nommé par un Dahir. Le contrôle est exercé par un conseil d'administration qui représente l'intérêt de la Nation.

Le personnel OCP est régi par un statut du mineur du premier juillet 1964. Ce statut a été élaboré en conformité avec le Dahir 60-007 du 24 décembre 1960, portant le statut du personnel des entreprises minières. Les ingénieurs et assimilée (hors cadre) sont régis par un statut particulier. Les structures actuelles ont été définies par l'OS (Organisation Sociale) no 716 du premier janvier 1917.

4- Rôle et activités :

La mission du groupe OCP est centrée principalement sur la production, la valorisation des phosphates minéraux, la transformation chimique à travers des filiales intégrées et la commercialisation des produits phosphatés et leurs produits dérivés (acide phosphorique ou sous forme d'engrais)

5- Filiales :

Dans le but de répondre aux besoins d'étude et de présentations liées à l'exploitation et au développement, le groupe OCP dispose d'entités spécialisées notamment :

- ☞ CERPHOS (centre d'étude de recherche des phosphates minéraux), doté de laboratoire et d'études d'essais pilotes.
- ☞ FERTIMA : (société marocaine des fertilisants), opérant dans le secteur de

l'approvisionnement du pays en engrains du Maroc chimie et d'importations. Cette société est prévue d'être privatisée, déjà 30% de sa capitale sont introduit en bourse.

- MARPHOCEAN : entreprise maritime spécialisée en particuliers dans le transport de l'acide phosphorique.
- STAR : (société de transport d'affrètements réunis), travaillant dans le domaine du courtage des affrètements maritimes.
- SOTREG (société de transports régionaux), chargé du transport du personnel du groupe OCP.
- IPSE : institut de promotion socio-éducative.

6- Organigramme de l'OCP :

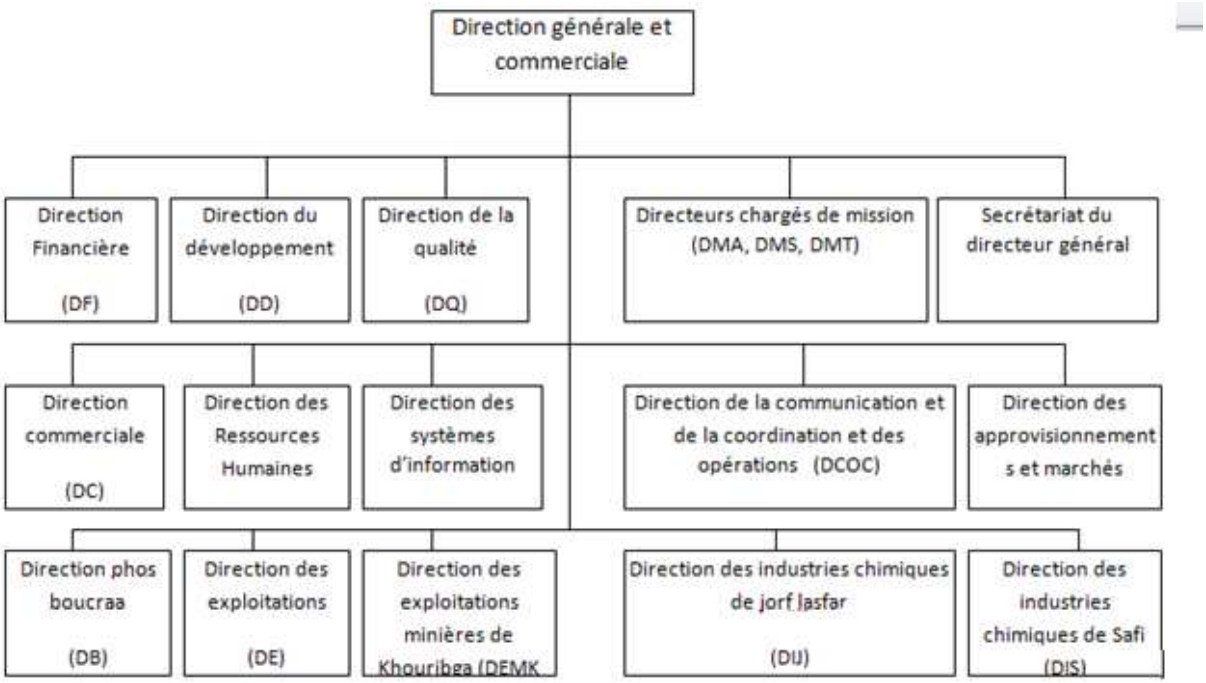


Figure 2 : organigramme de l'OCP

II- Secteur Sidi Chennane :

1- Présentation du secteur :

La région de SIDI CHENANE est dotée de plusieurs services codés de 330 à 339 comme suit:

- 330 : BDP (Bureau de Plan)
- 331 : Exploitation
- 332 : Installation fixes
- 335 : Atelier Mécanique (Maintenance Bulls et Camions)
- 336 : Service électrique
- 337 : Atelier Dragline (Maintenance Draglines et Sondeuses)
- 338 : Magasins
- 339 : Atelier de révision des sous-ensembles des draglines

Chacun de ces services a une mission bien déterminée dans le cycle de la production du phosphate.

2- Le Service Maintenance Electrique

La région de SIDI CHENNANE est subdivisée en plusieurs services nommés de 330 à 338. Le service électrique porte le code 336.

Le service électrique de secteur Sidi Chennane ou le service 336, auquel j'étais affecté pendant mon stage; il est dirigé par Mr. Khalil LAMGHARI qui est « l'ingénieur chef de service » assurant la coordination entre les différentes sections du service. Les sections du service électrique sont :

- **Section machines**

Cette section assure le dépannage, l'entretien, la révision et le suivi des pièces de rechange des machines draglines, pelles mécaniques et sondeuses 45R.

- **Section réseau**

Cette section assure le dépannage du réseau électrique, la révision du poste semi fixe et des cabines de protection, ainsi que la réparation des câbles de chantier et le suivie des lignes

aériennes 60KV et 5,5KV au chantier.

- **Section froid**

Cette section assure le dépannage, l'entretien de l'ensemble des climatiseurs et réfrigérateurs des machines, engins et bureaux du Secteur SIDI CHENNANE.

- **Section Engins**

Cette section assure le dépannage, l'entretien et l'inspection des camions, des bulls, de pelles hydrauliques et diverses au chantier et aux ateliers mécaniques du secteur SIDI CHENNANE.

- **Section Installation – Fixes**

Cette section est chargée du dépannage, de l'entretien et de la révision des installations de prétraitement des phosphates provenant de la zone d'exploitation de SIDI CHENNANE.

L'organigramme suivant illustre la hiérarchie du service et les différents postes octroyés:

3- Description du procédé d'extraction des phosphates :

La première phase dite « Exploitation à ciel ouvert » se fait par des engins et des machines haute performance, conçus pour des opérations très variées allant de l'aménagement des pistes et des plates-formes en passant par la foration, le sautage, le décapage...(figure 3).

Figure 3 : Les étapes d'exploitation des phosphates

4- Présentation des étapes d'exploitation des phosphates :

⇒ *La Foration :*

C'est l'exécution des trous plus au moins profonds selon le recouvrement à l'aide de machines de foration appelées sondeuses.

⇒ *Le sautage :*

C'est la fragmentation des terrains morts suivant une granulométrie bien voulue. Cette opération consiste à mettre l'explosif dans les trous de foration et procéder au tir. L'explosif utilisé dans les mines à ciel ouvert de Khouribga est l'ammonix composé de nitrate d'ammonium 94% et de fuel 6%. Le choix d'un tel explosif est justifié par le fait qu'il est :

- Insensible au choc.
- Economique.
- Facile à mettre en œuvre.

⇒ *Le décapage :*

C'est l'enlèvement des terrains morts pour accéder aux couches phosphatées au moyen des draglines. On distingue plusieurs modes de décapage suivant la hauteur des recouvrements :

- Haut recouvrement : décapage par draglines ;
- Bas recouvrement : décapage par bulldozers ;
- Impossibilité de cassement : chargement et transport.

⇒ *Le défruitage :*

C'est la récupération et chargement du fruit qui n'est que « les phosphates ». Les couches minces sont aménagées par les bulles puis chargées par des chargeuses, tandis que les couches épaisses sont chargées par les draglines.

⇒ *Le transport :*

C'est l'acheminement du phosphate jusqu'à la trémie de déversement constituant l'installation primaire d'épierrage. Il est assuré par des camions de capacité de 110 t à 170t.

⇒ *Le traitement :*

Le traitement du phosphate extrait, se fait dans la trémie. Il subit un enrichissement de façon à éliminer la gangue et réduire la teneur en certaines impuretés.

⇒ *Mise en stock :*

Avant de stocker le phosphate dans les parcs de stockage, on lui fait subir une opération d'épierrage et de criblage dans des trémies.

5- Sujet de projet

Amélioration de la performance d'une dragline de la division d'extraction des phosphates SIDI CHENNANE « Dragline 200B2».

6- Cahier des Charges

Le système de régulation de la dragline 200 B repose sur un groupe Ward Leonard et un panneau d'amplificateurs statiques. Dans un but de hausser la performance de cette machine en terme de rendement et d'heures de marche, aussi palier aux problèmes d'obsolescence de la PDR (notamment des AMPLISTATS) et les vibrations du groupe, il vous a été demandé de :

- Etude critique de la performance électrique de la 200 B
- Opportunité de migration vers un système de régulation statique (étude et proposition de solution)
- Approvisionnement en sous-système et pièces de rechange.
- Etude budgétaire

Chapitre 2 :

Présentation de la machine 200B2

Avant d'entamer l'étude technique, une présentation de la Dragline 200B2 permet de donner une vision sur les différentes parties de la machine et son rôle dans le processus d'extraction du Phosphate.

Introduction

Comme la dragline 200B2 est l'objet de notre projet de fin d'études, Dans ce chapitre nous allons présenter son fonctionnement, ses mouvements et son alimentation. Ensuite nous allons détailler la partie électrique à savoir le groupe Ward-Leonard et l'armoire de régulation tout en donnant une vue globale sur le principe de régulation des différents mouvements de la dragline 200B2.

I- Description de la machine 200B2

1- Présentation

La dragline 200B2 est une machine de type Bucyrus (fig.4), elle fonctionne en drague et elle est destinée pour le défruitage, elle utilise plusieurs mouvements qui sont assurés par des moteurs à courant continu, et contrôlés par une boucle de régulation de type Ward-Leonard pour la variation du couple et la vitesse et un amplistat pour la commande des gâchettes des thyristors [1].

Figure 4 : Image de la dragline 200B

Cette machine utilise le Groupe Ward Leonard est dotée de quatre mouvements principaux :

- **Mouvement de levage :** permet le déplacement du godet du bas vers le haut (levage), ou du haut vers le bas (descente).Pour assurer ce mouvement la dragline dispose d'un moteur à courant continu appelé moteur de levage, qui entraine le treuil de levage.
- **Mouvement de drague :** assure le chargement du godet en creusant des couches des terrains morts .cette opération s'effectue à l'aide d'un moteur à courant continu, appelé de drague, qui entraine le treuil de drague. Le retrait et le drague du godet sont assurés par un moteur à courant continu qui entraîne le tambour par l'intermédiaire d'un réducteur.
- **Mouvement de l'orientation :** se fait par deux moteurs à courant continu, la partie supérieure de la machine pivote sur la partie fixe à l'aide d'une couronne.la rotation se fait dans les deux sens avec un angle de 360°. Ce mouvement permet le positionnement du godet pour le chargement ou le déchargement dans les différents points de la tranchée d'exploitation.
- **Mouvement de translation :** ce mouvement assure le déplacement de la machine sur des chenilles, il se fait par le même moteur de drague. Le transfert drague-translation se fait par un système mécanique hydraulique commandé éclectiquement.

2- Structure de la machine :

La machine 200B2 est composée de deux parties comme le montre la figure 5 :

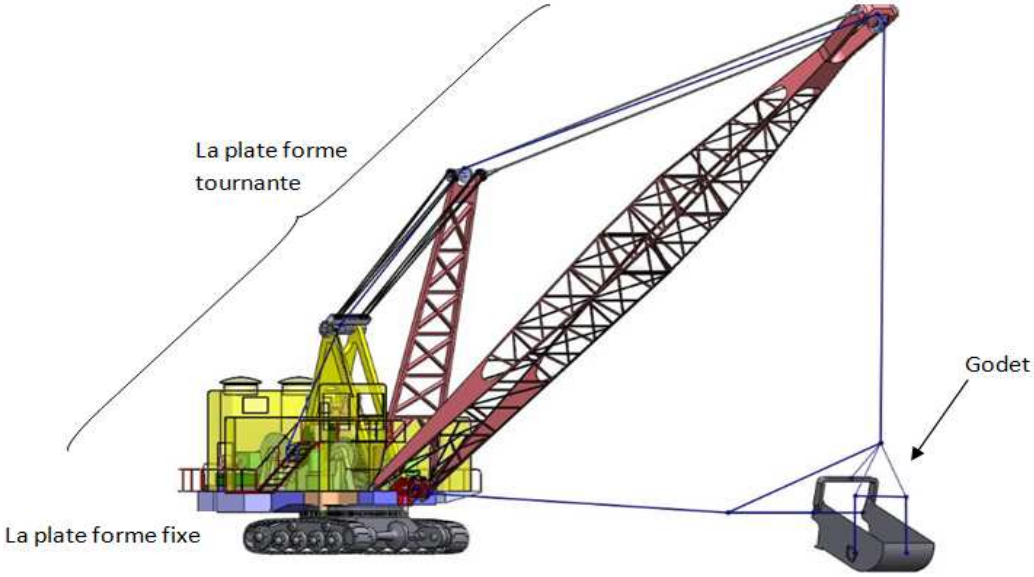


Figure 5 : Dessin de la dragline 200B

- **La superstructure (ou la plateforme tournante) :**

Elle peut pivoter d'un angle de 360° autour de l'axe de la machine. Elle comprend la salle de la machine où sont installés (fig. 6) :

- Les transformateurs ;
- Les armoires de commande ;
- L'armoire des auxiliaires ;
- Le groupe Ward léonard ;
- Les moteurs des mouvements ;
- Les auxiliaires assurant la ventilation, le pompage, etc.

Dans ce même compartiment, on trouve aussi les dispositifs de commande de l'éclairage intérieure et extérieure. La cabine de l'opérateur contient un superviseur, plusieurs panneaux de signalisation, deux manipulateurs (contrôleurs) pour piloter la machine.

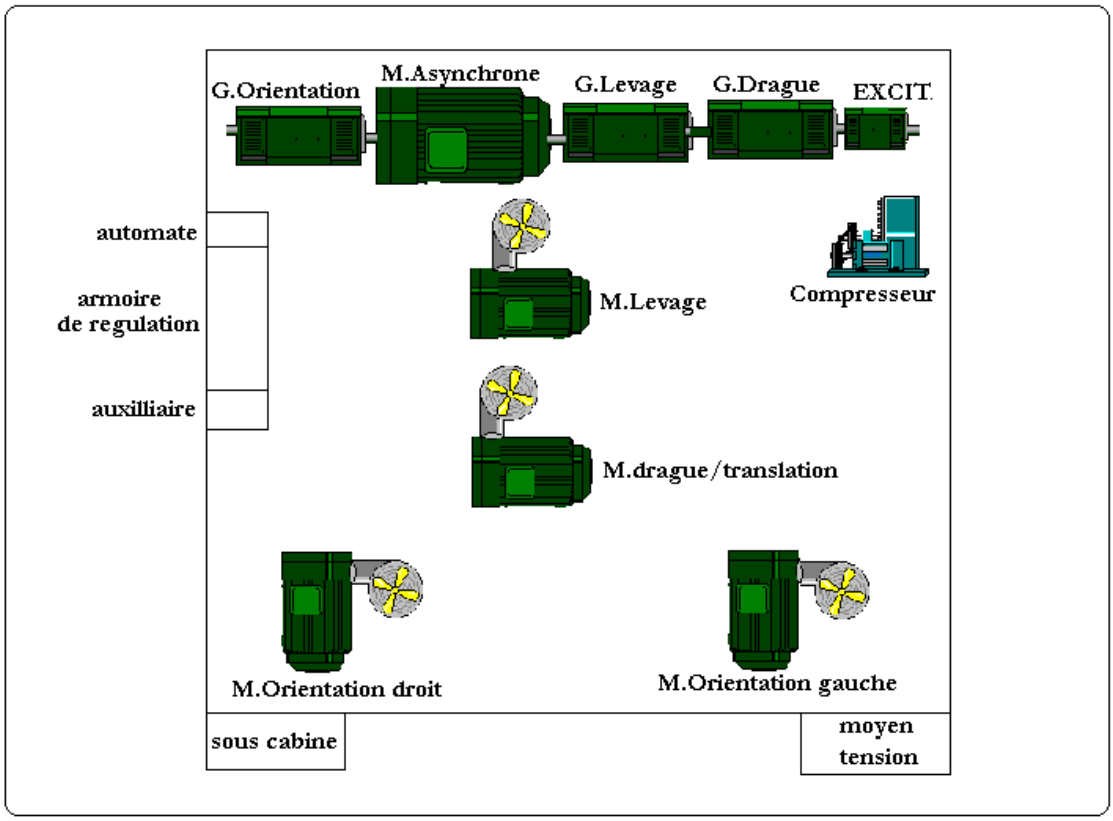


Figure 6 : Vue interne de la partie interne

- **L'infrastructure (plate forme fixe) :**

Elle supporte le poids de la plateforme tournante et assure la translation de la machine

sur des chenilles (fig.7) et son orientation par la couronne d'orientation.

Figure 7 : les Chenilles de la dragline 200B

3- Alimentation de la machine :

L'alimentation de la machine en énergie électrique est assurée par un poste semi fixe (PSF 60kV/5.5kV) sous la tension 5,5 kV.

Poste semi-fixe :

Le poste semi-fixe est un chariot mobile portant un transformateur avec son dispositif de protection et de mesure. Le transformateur du PSF a une puissance apparente de 2,5 MVA, trois départs et un système de refroidissement naturel assuré par des ailettes.

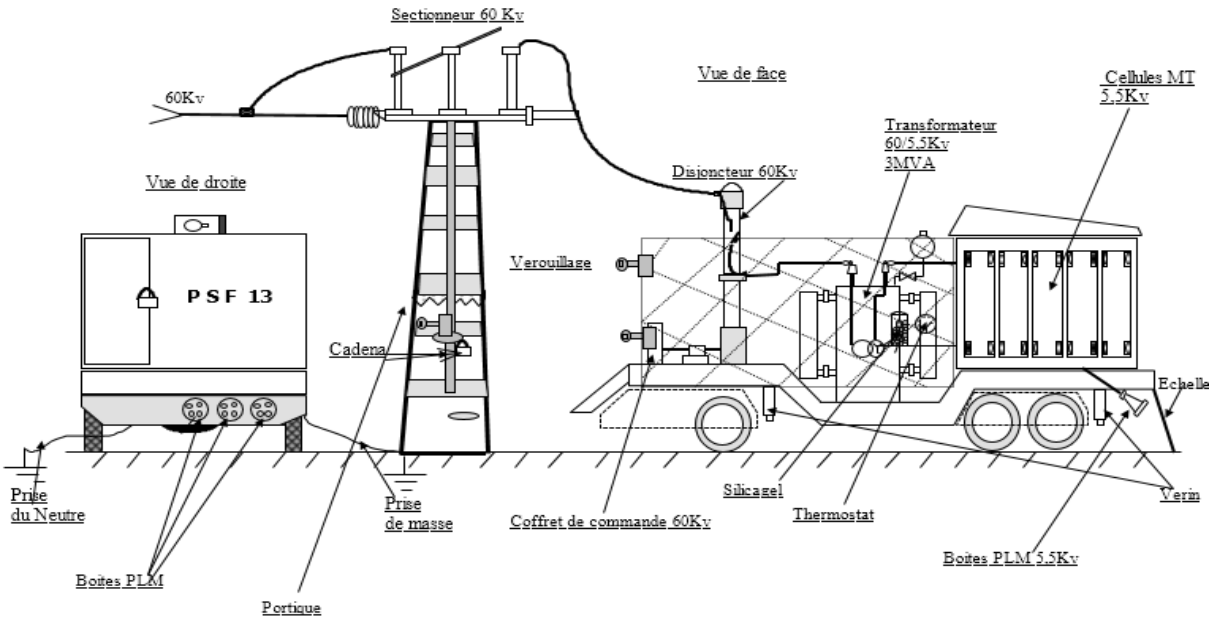


Figure 8 : Vue générale du PSF13

La liaison entre la machine et le PSF est assurée par un câble 2/0.

Câble 2/0 :

Le câble 2/0 est un câble tripolaire sec à champ radial isolé. Il comprend trois conducteurs de phase, deux fils de masse et un fil pilote non utilisé à la division.

II- Décomposition fonctionnelle de la 200B2

L'amélioration de la performance de la dragline 200B2, nécessite tout d'abord une bonne compréhension de ses systèmes fonctionnels. Dans ce sens la machine peut être subdivisée en 8 systèmes :

1- Groupe Ward Leonard

La machine 200B2 utilise le principe de fonctionnement du groupe Ward Leonard

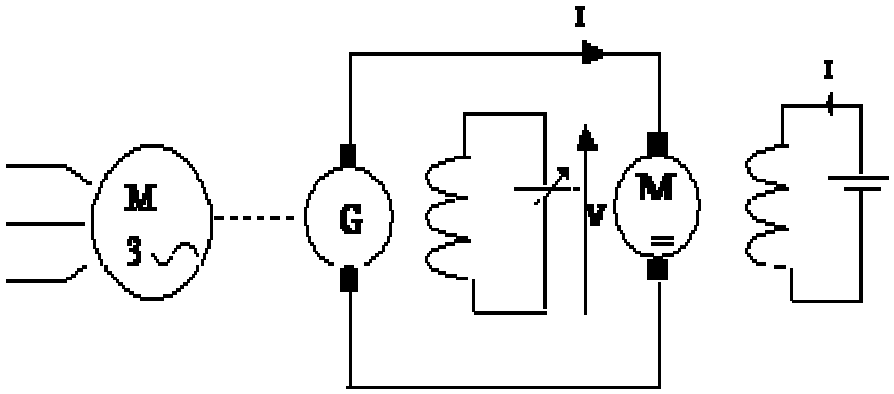


Figure 9 : Groupe Ward Leonard

Le Groupe Ward Leonard (fig.9) est un groupe composé d'un moteur asynchrone alimenté par une tension 5.5KV venant de la cellule MT de la machine qui entraine à une vitesse pratiquement constante trois génératrices à courant continu qui alimentent les moteurs à courant continu des mouvements (levage , drague , translation et orientation), et une excitatrice qui est chargé d'alimenter les inducteur de ces derniers.

Le tableau 1 indique les caractéristiques des moteurs et des génératrices du groupe Ward Leonard :

Désignation	Tension (V)	Courant (A)	Puissance	Vitesse (RPM)
Moteur Asynchrone	5500		600 HP	1500
Moteur Drague	475	1065	640 HP	820
Moteur Levage	475	1065	640 HP	820
Moteur orientation droit	475	225	130 HP	1125
Moteur orientation droit	475	225	130 HP	1125
Génératrice Drague	475	1065	506 KW	1500
Génératrice Levage	475	1065	506 KW	1500
Génératrice Orientation	475	1065	506 KW	1500
Excitatrice	125	200	25 KW	1500

Tableau 1 : Les caractéristiques des moteurs et des génératrices

2- Système de Levage

Les deux opérations « levage et descente » du godet permettant le chargement et déchargement sont effectuées par un ensemble de composants qui sont regroupés dans un système nommé le système de levage.

Les principaux sous organes de ce système sont :

- Le treuil : organe mécanique de forme cylindrique entrainé par un moteur à courant continu . Il dispose de deux sens de rotation, le 1er tend le câble et par conséquent effectuer l'opération de levage du godet et le 2ème le lâche pour effectuer la descente du godet ;
- Le réducteur : orange mécanique permettant de modifier le rapport de la vitesse entre son entrée qui est lié au moteur et sa sortie liée au treuil. Il dispose d'un facteur de réduction de vitesse, grâce à cette réduction on obtient en fin de compte un couple élevé qui nous permet de manipuler la charge efficacement ;
- Freins : dispositifs de freinage pneumatique ;
- Les câbles de manutention : sont des câbles spéciaux, permettant la transmission de mouvement entre le treuil et le godet ;
- Le moteur à courant continu : le système de levage contient 1 moteur à courant continu. Ce moteur assure la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique qui va permettre d'entrainer le treuil, ensuite tendre les câbles de

manutention et enfin effectuer le mouvement levage.

3- Système de drague

L'opération de drague a pour but le chargement du phosphate .Le système de drague comporte les mêmes organes que le système de levage. Les principaux organes sont :

- Le réducteur ;
- Le treuil;
- Les câbles de manutention;
- Le moteur à courant continu.

4- Système de translation

La dragline 200B2 est une machine qui se déplace via translation. Ce déplacement est assuré par deux grandes chenilles.

La translation et le drague ont le même moteur, le passage d'un mouvement vers un autre est assuré par un embrayage.

5- Système d'orientation

Le système d'orientation permet le déplacement horizontal de la machine. Lors qu'elle réalise le chargement d'une quantité du phosphate, elle effectue une orientation autour de sa base. Elle est composée essentiellement d'une couronne entrainé par deux moteurs à courant continu via des réducteurs.

6- Système d'alimentation

La 200B2 Le système d'alimentation interne se compose de :

- Circulaire ;
- Cellule MT : contenant les protections de la machine et les départs 5.5kV ;
- Les transformateurs MT/BT.

7- Auxiliaires

La machine 200B2 dispose également d'autres équipements auxiliaires à savoir :

- Les soufflantes : chaque Moteur de mouvement est équipée d'une soufflante entrainée par un moteur asynchrone. Le rôle principal des soufflantes est le refroidissement des moteurs ;

- Le compresseur : génère l'air comprimé pour commander les freins des moteurs de mouvements ;
- Eclairage.

8- Armoire de régulation

L'armoire de régulation dans la 200B2 constitue d'un système responsable de la régulation via des amplificateurs statiques (Amplistat). Le principe de fonctionnement des Amplistat sera détaillé dans ce qui suit.

L'armoire de régulation se compose essentiellement de : Thyristors, Amplistats et ponts redresseurs.

III- Etude du Système de régulation de la 200B

1- Principe de régulation

Le moteur à courant continu de la boucle Ward Leonard est excité séparément par l'excitatrice, entrainée par le moteur du groupe W.L. La génératrice est excitée par les enroulements FA pour le sens direct et les enroulements RA pour le sens inverse. Un pont de Graetz à diode redresse la tension du réseau en tension continu et alimente à travers deux contacteurs statiques les deux enroulements de la génératrice du groupe Ward Léonard (fig.8).

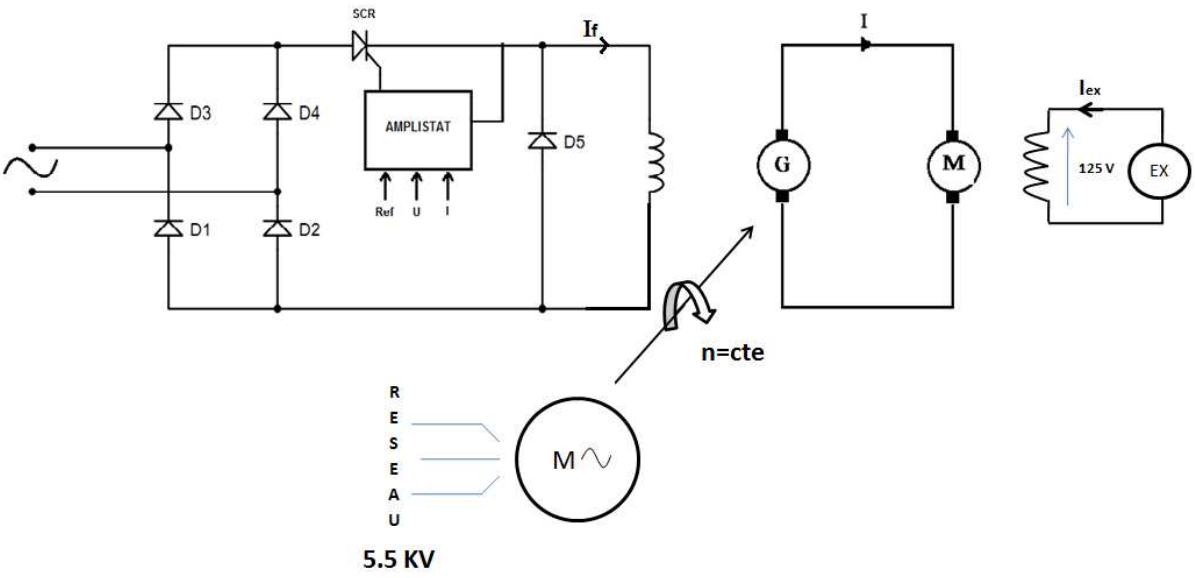


Figure 8 : circuit de régulation de mouvement de levage

Les SCR-F et SCR-R sont commandés par un circuit de synchronisation qui détermine le thyristor qui va conduire ainsi son angle de retard à l'amorçage. Ce circuit de synchronisation contient les enroulements FA (sens direct) et RA (sens inverse), donc deux Amplistat dont le débit dépend de la somme algébrique des ampères-tours de ces enroulements de contrôle, à savoir :

- La référence;
- La contre-réaction tension de l'induit du moteur ;
- La limitation du courant de l'induit du moteur ;
- La polarisation qui permet de réajuster la tension minimum aux bornes des champs de la génératrice quand la référence est nulle ;
- L'anti-Hunt qui palie aux variations brusques de la référence.

2- Principe de fonctionnement de l'Amplistat

C'est un amplificateur magnétique dont les enroulements de contrôle fixent la somme algébrique des courants dans ces enroulements principaux (FA, RA) de façon à magnétiser ou démagnétiser son circuit magnétique.

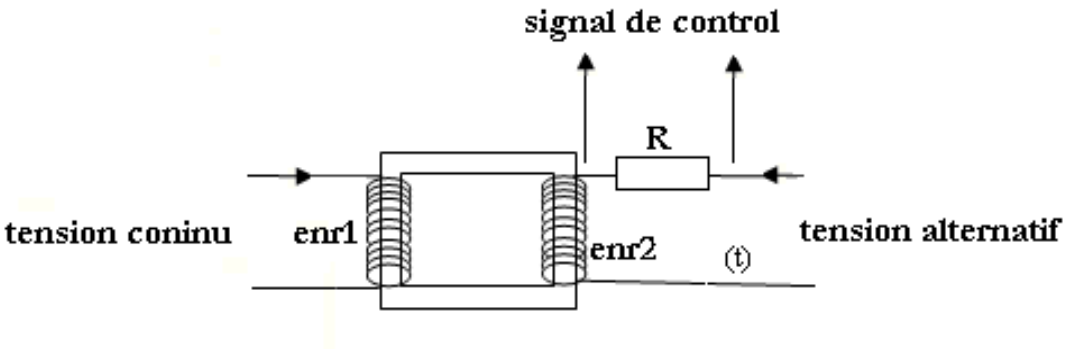


Figure 9 : Schéma représentatif de l'amplistat

- L'enroulement1 est l'enroulement de commande et l'enroulement 2 est l'enroulement de travail (fig.9).
- La résistance R schématise la charge à commander.

Le principe consiste à commander le circuit de travail grâce au courant continue du circuit de commande, et ce en magnétisent on démagnétisant le circuit magnétique. Ainsi une variation de sa perméabilité µ conduit à une variation de l'impédance de

l'enroulement de travail (fig.10).

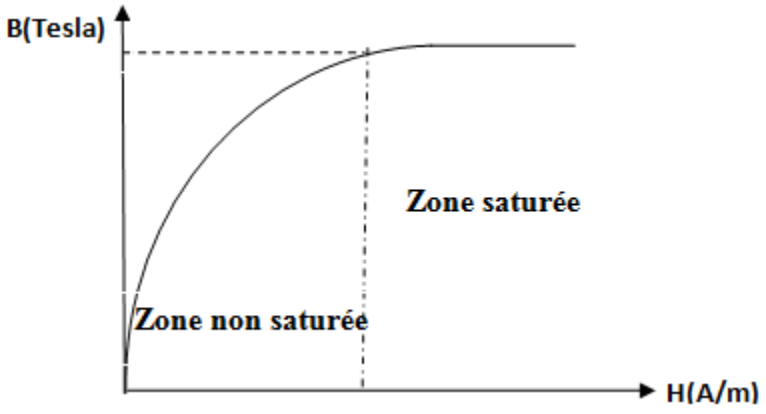


Figure 10 : La caractéristique de B=f (H)

$Zs=\sqrt{(Rch)^2+(Lw)^2}$ $\mu r=\Delta B/\Delta H$

$L=N^2/R=(N^2.S/L).\mu$ $L=K.\ \mu r$

- Dans la zone linéaire, µr a une valeur considerablement élevée alors Zs est égale à Lw donc la charge est sous alimenter ;pratiquement la tension à ses bornes est nulle ;
- Dans la zone saturée ,µr a une valeur plus faible (puisque H est plus elevée) donc le circuit magnétique est plus magnetisé alors Zs est egale à Rch , ce qui implique que la tension alternative se trouve totalement aux bornes de la charge.

En réalité, la commande est constituée de plusieurs enroulements dont chacun présente une fonction bien definie : régulation de tension, limiation de courant, polarisation, référence et anti HUNT (fig.11) .

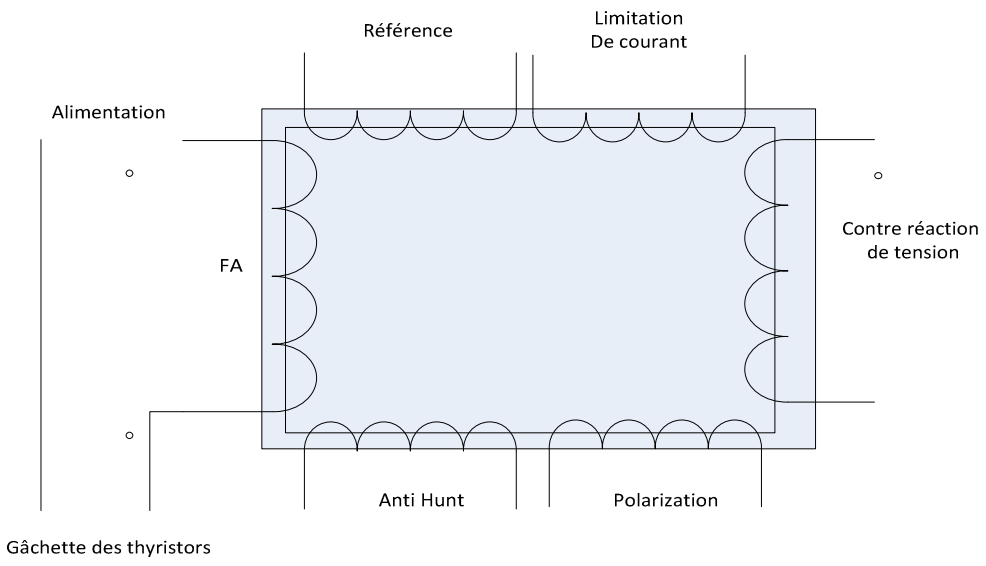


Figure 11 : Les enroulements de l'Amplistats

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la machine 200B2, en indiquant d'une façon générale le rôle et l'emplacement des équipements ainsi que son alimentation et en expliquant le principe du système de régulation actuel. En plus, nous avons fait recours à une décomposition en sous-systèmes sur lesquels nous allons travailler dans le chapitre suivant qui fera l'objet d'une étude critique de la performance de la machine.

Chapitre 3 :

Etude critique de la performance de la machine 200B2

Ce chapitre explicitera, les heures et les fréquences des arrêts liés à la dragline 200B2, ainsi que les coûts totaux générés par l'indisponibilité de la 200B2.

Et grâce à l'application des méthodes d'analyse de la maintenance, nous allons extraire le système critique, sur lequel nous allons renforcer nos efforts à fin de l'améliorer.

Introduction

Afin d'établir une critique de la performance de la dragline 200B2 qui constitue un élément essentiel dans le système de production, nous avons décidé d'analyser les pannes électriques existant, en ce qui concerne le taux de disponibilité machine et le nombre de pannes.

La maintenance consiste à ne pas traiter tous les problèmes sur un même pied d'égalité, il faut donc déceler les problèmes les plus importants qui valent la peine d'être abordés.

En se basant sur l'historique de production durant les 13 derniers mois, notre analyse s'appuie sur le principe de Pareto, afin de cibler les causes de défaillances et de pouvoir prendre les décisions adéquates.

I- Analyse des heures d'arrêt de la Machine 200B2

1- Heures de marche

D'après l'historique [3] livré par le service maintenance pendant la période (du Janvier 2013 jusqu'à Janvier 2014), les heures de disponibilités réelles de la machine sont présentées sur le diagramme suivant :

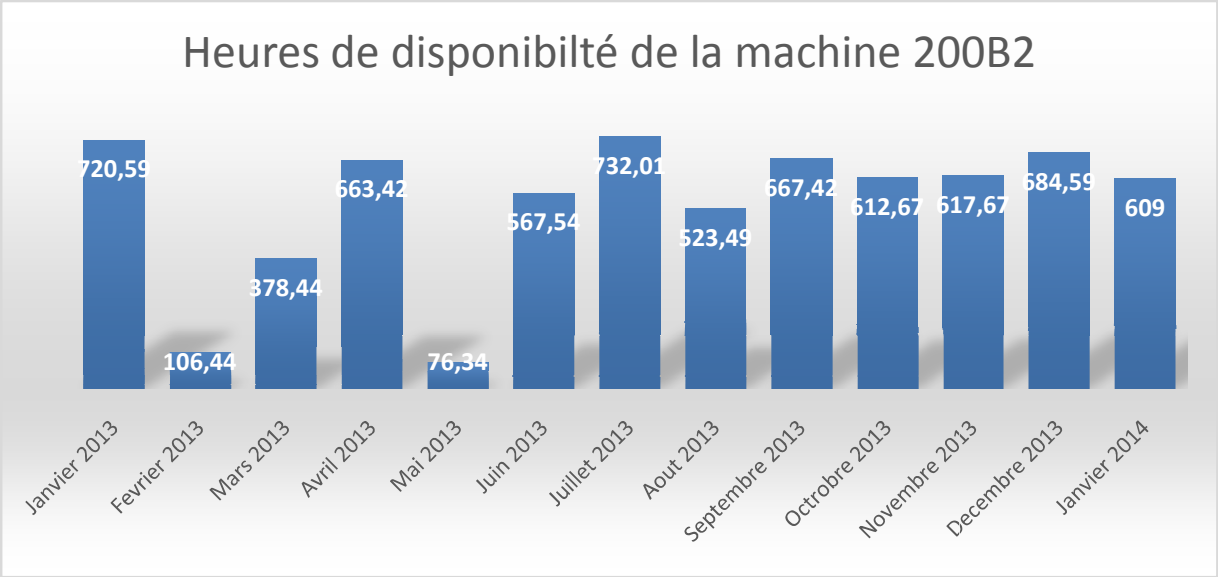


Figure 12 : les heures de marche de la machine 200B2

L'histogramme des heures de disponibilité de la machine en fonction des mois de la

période étudiée, montre que la totalité des mois n'ont pas atteint le seuil théorique mensuel des heures de marche (744 pour les mois qui contient 31 jours et 720 pour les mois qui contient 30 jours). D'où la nécessité de la justification du temps perdu, dans lequel la machine n'a pas fonctionné. Pour cet objectif nous devons tout d'abord calculer les heures d'arrêt de la machine.

2- Calcul des heures d'arrêt :

Pour calculer les heures d'arrêts dues à la maintenance de la machine 200B2 nous avons les données suivantes :

- La somme des heures de disponibilité de la machine pendant la période étudiée est :

HD = 6959.5 H

- La somme des heures de disponibilité théoriques pour la même période est :

HDT = 9504 H

D'où les heures d'arrêts cumulés liés au service de la maintenance pour la période étudiée sont :

HAR= HDT-HD

HAR=9504-6959.5

HAR = 2544.5 H

3- Répartition des heures d'arrêt

Cette somme d'heure d'arrêt dû à la maintenance est répartie entre deux services :

- **Les arrêts électriques :** sont les pannes ou les entretiens dus à un problème électrique quelconque (coupure de courant, déclenchement d'un moteur asynchrone, génératrice…);
- **Les arrêts mécaniques :** sont les pannes ou les entretiens dus à un problème mécanique quelconque (coupure de la chaine de transmission mécanique, réparation du treuil, godet…).

Le tableau 2 et Le graphe de la figure13 montrent la répartition des heures d'arrêts sur ces deux différents services :

Type d'arrêt	Heures d'arrêt	%
Arrêts mécaniques	2162.8	85%
Arrêts électriques	381.7	15%
Total	2544.5	

Tableau 2 : Classification des heures d'arrêt en (H)

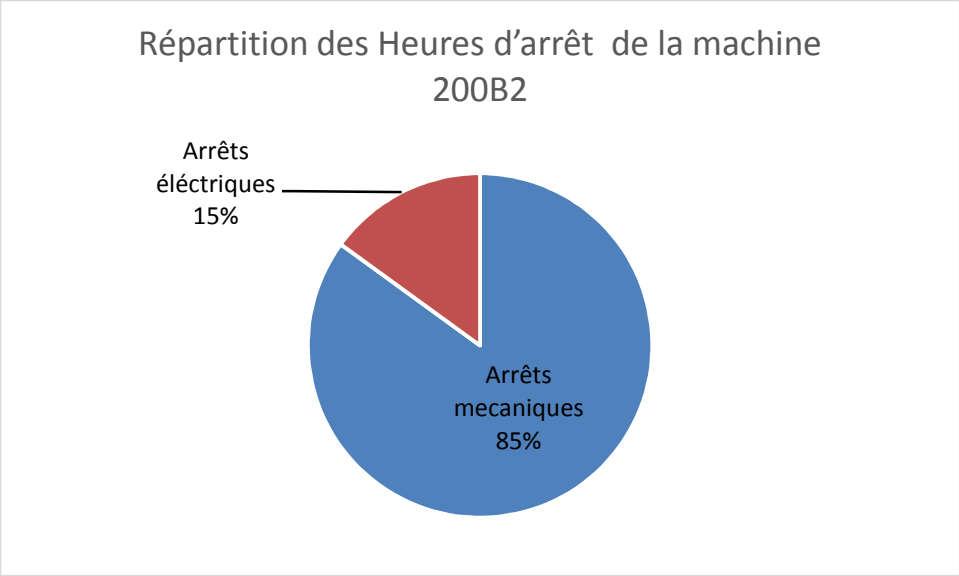


Figure 13 : Répartition des heures d'arrêts

L'analyse des heures d'arrêt montre que les arrêts liés aux services maintenance Mécanique représentent 85% des pannes totales de la machine, suivis des arrêtes liés aux services électriques 15%.

Les heures d'arrêts liés aux services maintenance se subdivise en de 2 éléments : les pannes et les entretiens.

- **Les Pannes:** la panne est définit par « l'altération ou cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise » selon la **norme AFNOR X 60-010** [4] ;
- **Les Entretiens : (**Composante préventive de la maintenance) Ensemble des travaux

ayant pour but de maintenir en état initial des équipements existants, sans changer leur usage ou leur fonction. L'entretien limite le risque de défaillance ou l'apparition des pannes.

La figure 14 représente les types des interventions électriques effectués sur la 200B2:

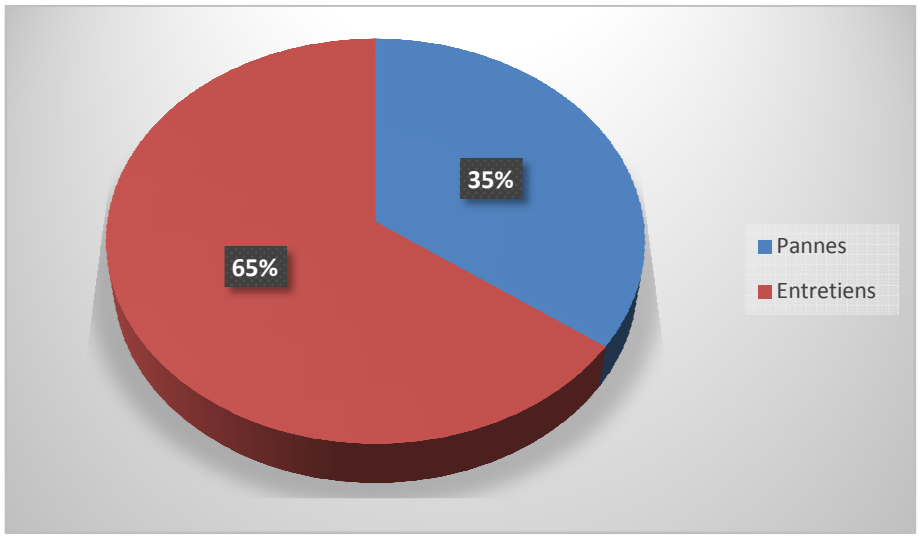


Figure 14 : Subdivision des interventions électriques effectuées sur la machine 200B2

Puisque les entretiens sont planifiés, et exigés par la politique de maintenance de l'entreprise, nous allons concentrer nos efforts sur les pannes qui perturbent le fonctionnement de la machine afin de les diminuer et agir sur les organes qui demandent plus de temps de maintenance.

II- Evaluation financières des heures d'arrêt de la machine

Puisque la machine 200 B2 , destinée pour le défruitage, elle joue un rôle primordial dans le processus d'extraction des phosphates, chaque défaillance constitue un coincement au niveau de la chaine de production. Et par conséquent des pertes financière liées à l'indisponibilité de la machine qui s'additionnent aux coûts investis pour son remise en état.

Donc le coût global des heures d'arrêt de cette machine est subdivisé en coût directe (coûts de la maintenance) et les coûts indirects (pertes au niveau de production).

1- Coûts de maintenance

Le cout de maintenance [5] de la machine se constitue des coûts liés :

- Main d'œuvre : se constitue principalement des coûts des personnels engagés à régler la panne et les charges d'atelier. Le coût moyen de main d'œuvre par heure est : **MO = 1016 Dh/H ;**
- Pièces de rechanges : Le coût moyen des pièces de rechange électriques est : **PDR = 522 Dh/H ;**
- Equipements : Les prix des équipements loués ou sou traités. Le cout moyen des équipements est : **CE =13 Dh/H.**

D'où le coût total de la maintenance générée par la machine 200B2 durant la période étudiée du 01/01/2013 au 31/01/2014) est détaillé dans le tableau suivant :

	Coût moyen /H en Dh	**Coût total durant la période étudiée en Dh**
Pièces de rechange	522	1328229
Main d'œuvre	1016	2585212
Equipements	13	33078.5
Total		3946519.5

Tableau 3 : les coûts de maintenance générés par la machine 200B2

2- Pertes de production

Les conséquences des heures d'arrêts de la machine au niveau de la production sont:

- ✓ Pertes d'une heure de production [6] : **PP**=3825Dh/H ;
- ✓ Pertes total de production annuelle dans la période étudiée est : **PP=9732712.5 Dh.**

En total le coût global de perte généré par la machine 200B2 se constitue de la somme des coûts de maintenance et les pertes de production :

Coût total = Coût de maintenance + pertes de production

D'où :

Coût total = 13679232 Dh

L'importance de ce montant, constitue un facteur essentiel qui pousse à rechercher des solutions adéquates afin d'améliorer la disponibilité de la machine et par conséquent

la minimisation de ce montant à travers la minimisation des temps d'arrêt.

III- Analyse des arrêts en sous systèmes

1- Les systèmes de la machine 200B2

Les systèmes assurent le fonctionnement de la machine 200B2 sont :

- Le groupe Ward Leonard;
- Alimentation de la machine;
- Auxiliaires;
- Armoire de régulation ;
- Système levage;
- Système drague;
- Système translation;
- Système orientation.

Pour détecter le système critique nous allons appliquer la méthode de PARETO sur les systèmes de la machine 200B2.

2- Analyse PARETO des systèmes de la machine 200B2

La méthode d'analyse PARETO [7], permettra de mettre en évidence les systèmes les plus critiques sur lesquels il faut concentrer les efforts et les interventions.

Pour réaliser cette analyse il faut :

Déterminer le cadre d'étude et ses limites :

Objectif de l'analyse :

- classifier les systèmes fonctionnelles de la machine 200B2 afin d'extraire le système critique qui cause la majorité des pannes ;
- Nature des éléments à classer : les systèmes de la machine 200B2 ;
- Critère de classement : fréquence d'arrêt et durée d'arrêt ;
- Période représentative : du 01-01-2013 au 31-01-2014.

Construire les courbes de PARETO :

Le groupe de travail ,composé essentiellement de techniciens et conducteurs de

machines du service électrique sous l'encadrement du chef d'atelier de la section machine ,élabore d'une manière réglementaire le rapport journalier de la maintenance qui est nécessaire pour faire l'inventaire des pannes signalées sur la machine 200B2 pour mettre en évidence les éléments les plus importants sur lesquels on doit concentrer en priorité les efforts d'amélioration.

Le tableau ci-dessous (tab.4) représente un récapulatif des pannes de la machine dont nous allons besoin pour la construction des courbes.

Système	Fréquence de panne	Durée moyenne de panne (h)	Durée total des pannes (h)
Armoire de régulation	15	2.65	39.75
Levage	12	2.79	33.48
Groupe W.L	6	5.93	35.58
Auxiliaires	3	2.15	6.45
Alimentation	2	3.05	6.1
Drague	2	2.7	5.4
Orientation	1	3.08	3.08
Translation	1	0.66	0.66

Tableau 4 : Récapitulatif des pannes de la machine

Pour sélectionner les Composantes qui présentent le plus d'avaries, nous les avons classé par ordre d'importance du point de vue du nombre de pannes (indicateur de fiabilité), du temps moyen de la panne (indicateur de maintenabilité) et du temps total d'arrêt (indicateur de disponibilité).

Le but de cette approche est d'analyser la performance de la machine (nombre de pannes, temps moyen de réparation et donc du temps total d'arrêt), ce qui nous donne une idée sur la disponibilité de la machine et augmente la quantité produite.

Dans ce cas, la méthode de Pareto nous a été un outil très utile et efficace.

1- Indicateur de fiabilité

Dans ce paragraphe, nous allons s'intéresser à la fiabilité (fig.15), caractérisé par le nombre de panne/Organe.

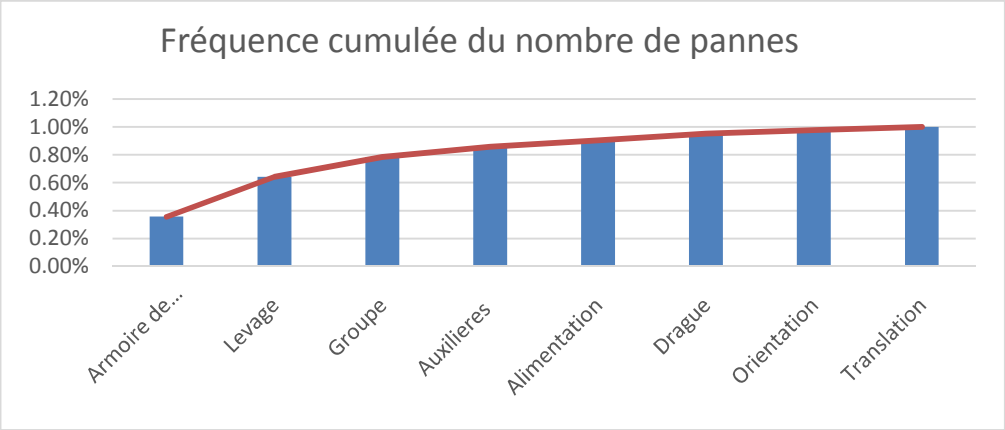


Figure 15 : Nombre cumulé de panne / organe

L'armoire de régulation, le système de levage et le groupe totalisent presque 80% du nombre des pannes. C'est au niveau de ces systèmes qu'il faudra agir pour la fiabilité.

2- Indicateur de la maintenabilité

La maintenabilité est caractérisé par la durée moyenne de panne/machine (fig.16).

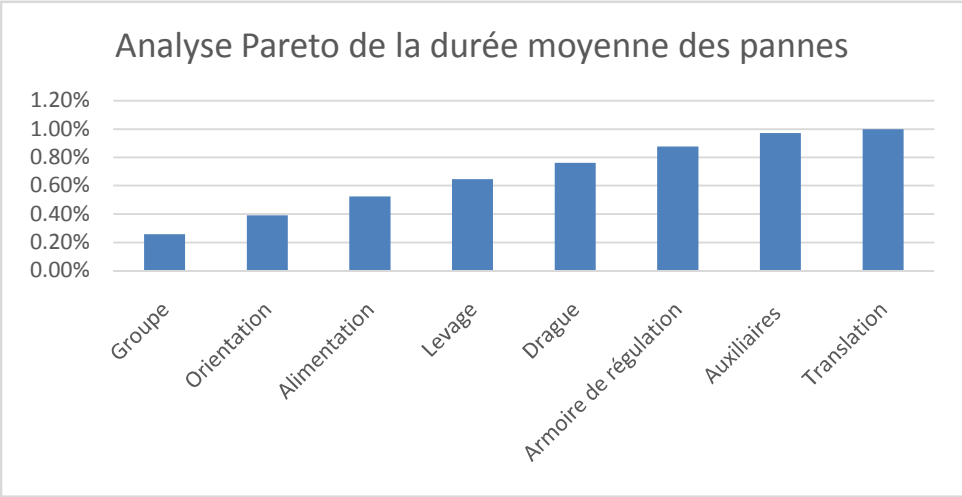


Figure 16 : graphe de la durée moyenne des pannes cumulées

La courbe évolue graduellement et présente une légère convexité. Dans ce cas de figure on ne peut pas juger quant à l'organe le plus critique.

3- Indicateur de disponibilité

La disponibilité est caractérisé dans ce paragraphe par la durée de panne /organe (fig.17).

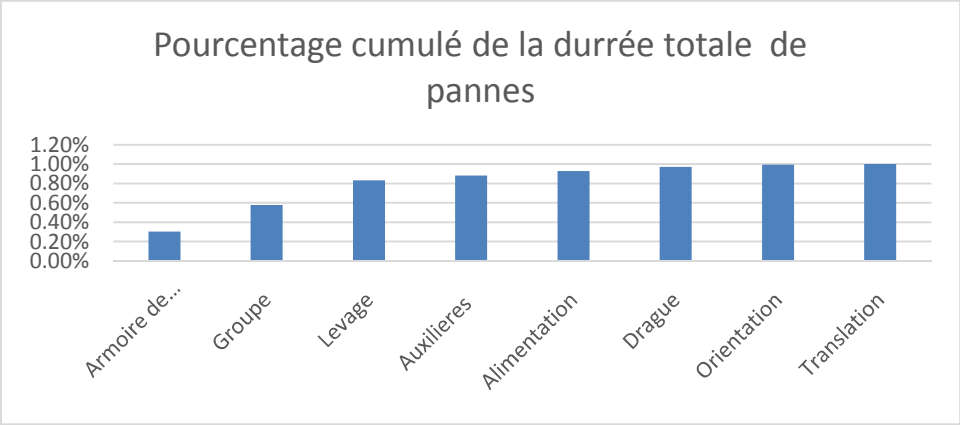


Figure 17 : graphe analyse de Pareto caractérisant la disponibilité

L'armoire de régulation, le système de levage et le groupe seulement totalisent plus de 80%, donc ce sont ces systèmes qui sont les plus critiques, et sur lesquels il faut agir pour améliorer la disponibilité de la machine.

4- Synthèse

Cette étude nous a permis de mettre en évidence le caractère multicritères du diagramme de Pareto, ainsi nous constatons que selon le critère adopté, les priorités d'action différente :

- ✓ Au niveau de la fiabilité, c'est l'armoire de régulation, système de levage et le groupe;
- ✓ Au niveau de la maintenabilité, la discrimination est moins prononcée;
- ✓ Au niveau de la disponibilité, c'est le groupe et le système de levage et l'armoire de régulation;

L'étape suivante fera sujet des causes des arrêts de ces systèmes.

II- Analyse des causes d'arrêt

Dans cette partie, nous allons expliciter les causes d'arrêt des systèmes critiques de la machine : l'armoire de régulation, système de levage et le groupe Ward-Leonard.

1- Analyse des causes du système armoire de régulation

Les causes de défaillance dans l'armoire de régulation, d'après les travaux effectués lors des arrêts de la machine [8] sont multiples à savoir la dégradation des thyristors et des diodes de puissance, les courts-circuits, les défauts de masse, la dégradation des composantes

de protections, etc.

La figure suivante (fig.18) présente les majeures causes d'arrêt de la machine dû à l'armoire de régulation.

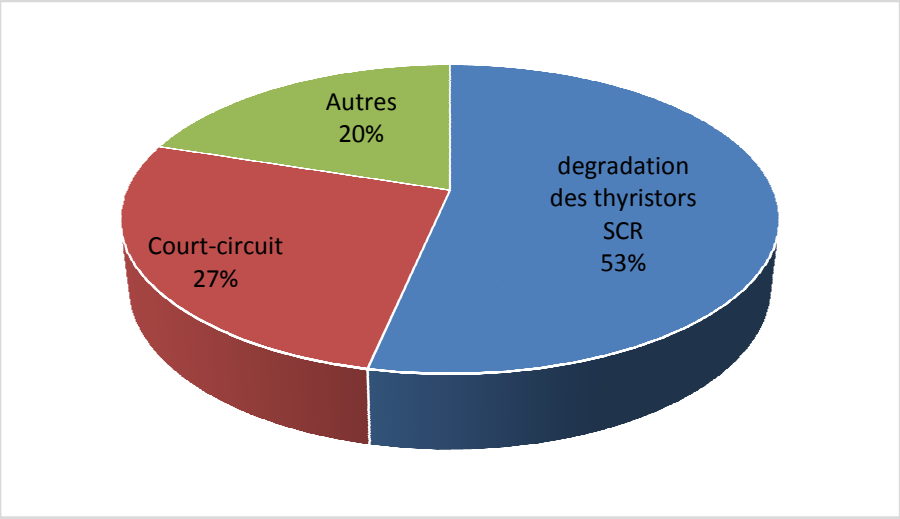


Figure 18 : Les causes d'arrêt au niveau de l'armoire de régulation

Nous constatons que la cause de défaillance principale au niveau de l'armoire de régulation, est la dégradation des thyristors de puissances et ceci est dû à leur vieillissement, et aussi au circuit de commande.

2- Analyse des causes du système de levage :

Les défaillances les plus remarquables au niveau du système de levage sont : manque mouvement, présence d'étincelles sur le moteur de levage, dégagement de la fumée, soufflante en défaut, etc [8]. La figure suivante (fig.19) présente les causes de ces défaillances.

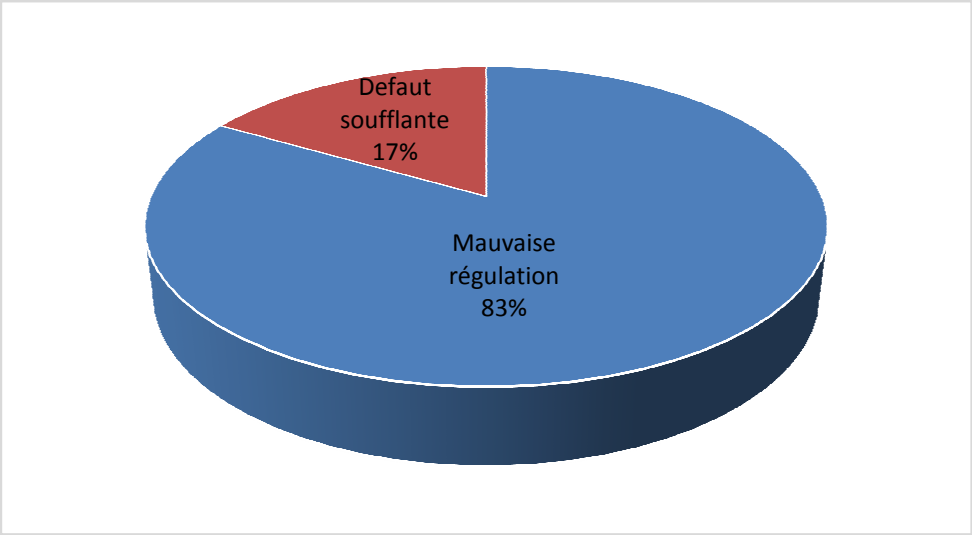


Figure 19 : Répartition des causes d'arrêt pour le système de levage

Nous constatons que la cause majeure de tous les arrêts du système de levage est la mauvaise régulation qui engendre des défaillances telles que la surcharge du moteur.

La régulation des mouvements de la machines repose sur le panneau déjà vue précédemment et qui présente plusieurs avaries .Ainsi, afin d'améliorer la régulation de la machine, nous allons agir sur le système de régulation.

3- Analyse des causes de défaillance du groupe WL :

Les défaillances les plus remarquables au niveau du groupe sont : déclenchement du groupe, Bruit anormale, défaut de masse, etc [8]. La figure suivante (fig.20) représente les causes de ces défaillances.

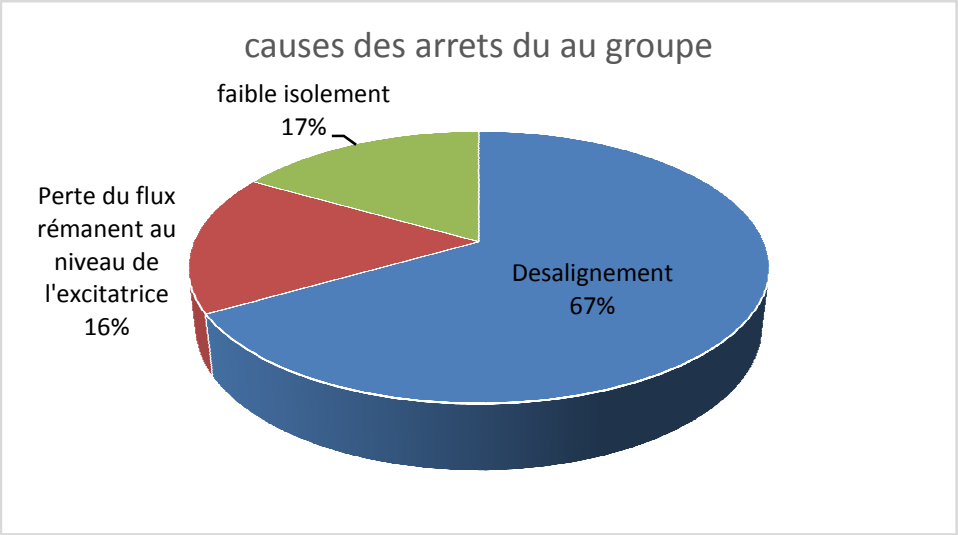


Figure 20 : Répartition des causes d'arrêt pour le groupe

Il s'avère que la plupart des arrêts du groupe sont dus au désalignement de l'arbre. Alors, il faut penser à des solutions pour remédier au problème des longs arrêts de la machine causés par le groupe et son entretien pénible.

Conclusion :

D'après l'étude critique de la machine et l'analyse des systèmes critiques au niveau de la maintenabilité, la fiabilité et la disponibilité, nous pouvons conclure que :

- Les coûts directs et indirects de maintenance sont importants.
- Les arrêts du aux systèmes de régulation sont répétitifs.
- La fiabilité de l'armoire de régulation est médiocre.

Par conséquent, il est inévitable de substituer le système actuel par un nouveau système de régulation plus performant et plus fiable.

Plusieurs Scénario de solution s'affichent, le chapitre suivant fera objet de ces solutions et présentera une étude comparative entre eux afin de dégager celle la plus performante et la plus convenable.

Chapitre 4 :

Scénarios proposés

Ce chapitre traitera les solutions proposées, pour la modernisation du système de régulation de la dragline 200B2.

Ensuite une comparaison entre les différentes solutions sera élaborée afin de dégager la solution adéquate que nous allons détailler dans le chapitre qui suit.

Introduction

Le système de régulation actuel présente plusieurs disfonctionnements techniques qui dégradent le rendement de la machine et réduit son taux de disponibilité .

Ces inconvénients mènent à de graves conséquences au niveau financier se traduisant par l'augmentation des coûts directs et indirects de maintenance . De ce fait nous avons pensé à plusieurs solutions possibles pour répondre à la problématique dégagée. Pour chaque solution nous allons citer le matériel dont nous aurons besoin, le coût estimatif, les avantages et les inconvénients de chacune. Ainsi d'après une étude comparative, nous allons fixer une solution que nous allons détailler dans le chapitre suivant.

I- Solutions possibles

1- Remplacer le groupe Ward Leonard par un système statique

Cette solution consiste à enlever le groupe Ward Leonard et les panneaux de régulation et de les remplacer par un système statique assurant une alimentation variable en courant continu des induits des moteurs de mouvements ainsi que leur excitation (fig.21), ce système doit être doté d'une régulation performante. Les variateurs de vitesse à courant continu assurent toutes ces fonctionnalités.

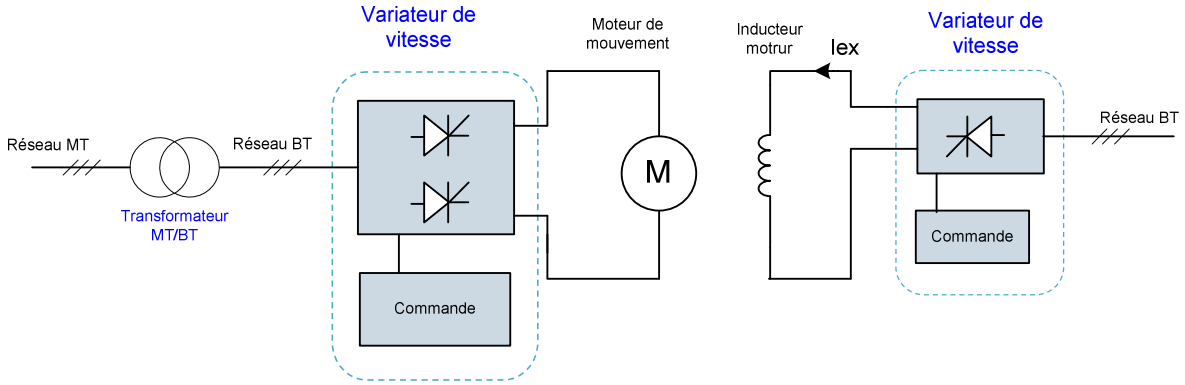


Figure 21 : Schéma synoptique de la solution proposée pour chaque mouvement

1.1- Matériel nécessaire

Le choix du variateur de vitesse va prendre en considération les caractéristiques des induits des moteurs des mouvements, leurs essais (tab.5) et les puissances des moteurs (tab.6) :

	Nominal		Au calage		A vide	
Mouvement	U (V)	I (A)	U	I (A)	U (V)	I
Levage	475	1065		2400	580	
Drague	475	1065		2400	580	
Orientation	475	225		380	580	

Tableau 5 : Tensions à vide et courants de calage des moteurs

Puissance des moteurs :

Mouvements	**Nombre**	**Puissance (KW)**
Levage	1	477.44
Drague	1	477.44
Orientation	2	96.98

Tableau 6 : Puissances des moteurs

Pour cette solution, nous aurons besoin de 3 variateurs de vitesse à courant continu puissants en armoire (tab.7) et 3 transformateurs MT/BT (tab.8) plus l'appareillage de protection (sectionneurs, disjoncteurs, fusibles) et les câbles.

Mouvements	**Tension de sortie (V)**	**Courant de sortie (A)**	**Puissance (KW)**
Levage	580	2400	500
Drague	580	2400	500
Orientation	580	760	200

Tableau 7 : Désignation des variateurs

Transformateurs	**Puissance (KVA)**
Levage	550
Drague	550
Orientation	220

Tableau 8 : Désignation des transformateurs

1.2- Coût estimatif

Pour déterminer le budget de cette solution nous avons opté pour la méthode suivante :

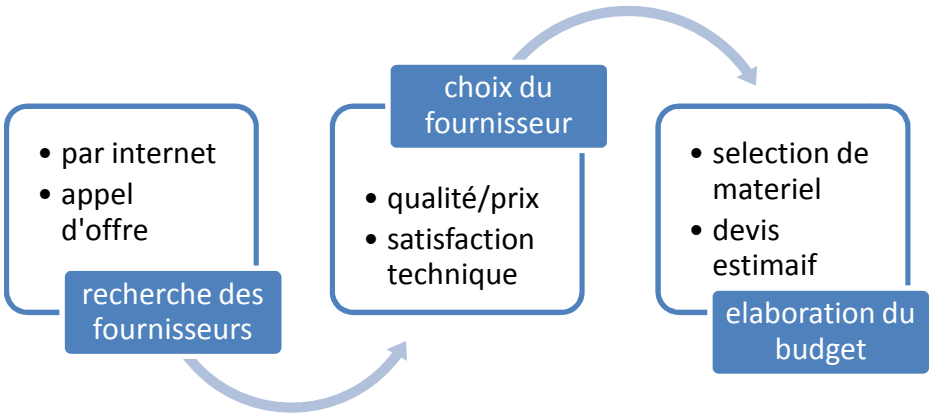


Figure 22 : étapes d'élaboration du budget

Pour les variateurs de vitesses, nous avons contacté les fournisseurs suivants : ABB, SIEMNENS et Allen Bradley afin d'avoir une approche au niveau du coût/qualité et des performances requises.

Ainsi, vue sa réponse à notre cahier de charge et le rapport qualité prix, Le Sinamics DC Master de Siemens était notre choix comme variateur de vitesse.

Pour les transformateurs, nous avons contacté plusieurs fournisseurs pour savoir un prix moyen, parmi ces fournisseurs : ABB, Nexans, Siemens etc.

Nous allons suivre la même méthode dans toutes les solutions et même dans l'étude financière de la solution adoptée.

Les coûts moyens [9] du nouveau matériel à installer est comme suit :

	Le prix unitaire en Dh	**La quantité**	**Le prix total en Dh**
Armoire variateur de vitesse (levage et drague)	496 620	2	993 240
Armoire variateur de vitesse (orientation)	217 620	1	217 620
Transformateur	500 000	3	1 500 000
Fusibles+sectionneurs +disjoncteurs +câbles	60 000		60 000
Coût total			2 770 860

Tableau 9 : devis estimatif

1.3- Avantages

- ✓ Régulation performante.
- ✓ Réduire le temps de maintenance.
- ✓ Réduction des temps d'arrêt.

1.4- Inconvénients

- ✓ Coût élevé.
- ✓ Difficulté d'installation.
- ✓ Problème de l'espace dans la machine.

2- Garder le groupe Ward Leonard et remplacer l'armoire de régulation par un système numérique

2.1- Description de la solution

Cette solution consiste à garder le groupe W.L et remplacer l'armoire de régulation par un système numérique qui va assurer une alimentation variable en courant continu des inducteurs des génératrices (fig.23).

En effet, le système de régulation de la dragline 200B2 repose sur un panneau d'Amplistat déjà détaillé dans le chapitre II, à part le problème des arrêts répétitifs dû à la régulation, il y a le problème de l'obsolescence de la pièce de rechange des modules Firing Circuit Module FCM qui sont abandonnés en fabrication d'où la nécessité de trouver un alternatif pour ce système. La nouvelle génération des variateurs de vitesse à courant continu offre cette possibilité.

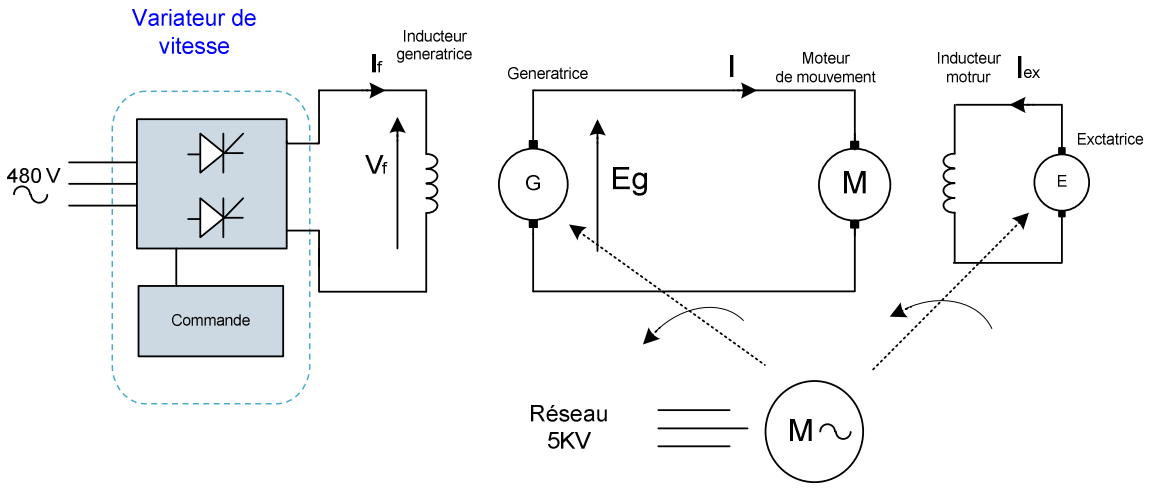


Figure 23 : Schéma synoptique de la solution

2.2- Matériel nécessaire

La réalisation de cette solution nécessite comme nouveau matériel : trois variateurs de vitesse plus les câbles de connexion.

Le choix du variateur de vitesse va prendre en considération les caractéristiques des moteurs des mouvements, et leurs essais (tab.10).

Mouvement	Umax inducteur (V)	Imax Inducteur (A)	Essai
Levage	57	53	A vide
		19	Au calage
Drague	57	56	A vide
		19	Au calage
Orientation	52	46	A vide
		10	Au calage

Tableau 10 : Tensions et courants des inducteurs des génératrices

Ainsi on aura besoin de 3 variateurs en armoires de caractéristiques (tab.11) :

Mouvements	Tension de sortie (V)	Courant de sortie (A)	Puissance(KW)
Levage	60	60	180
Drague	60	60	180
Orientation	60	60	180

Tableau 11 : Désignation des variateurs

2.3- Coût estimatif

Les coûts moyens [9] du nouveau matériel à installer est comme suit (tab.12) :

	Le prix unitaire en Dh	La quantité	Le prix total en Dh
Armoire variateur de vitesse Régulation (drague et levage)	74 810	2	149620
Armoire variateur de vitesse Régulation (orientation)	74 810	1	74 810
Coût total	224430		

Tableau 12 : Devis estimatif

2.4- Avantages

- ✓ Régulation performante.
- ✓ Coût faible.
- ✓ Réduction des temps d'arrêt.
- ✓ Facile à installer.

2.5- Inconvénients

- ✓ Ne pas combler aux lacunes du groupe W.L.

3- Garder le groupe et remplacer l'armoire de régulation par 3 variateurs et l'excitatrice par un pont redresseur

3.1- Description de la solution

Cette solution consiste à remplacer le système de régulation existant à base d'amplificateurs statique et le remplacer par un nouveau système de régulation à savoir les variateurs de vitesse comme pour la 2ème solution et en plus remplacer l'excitatrice attachée au groupe alimentant les inducteurs des moteurs et le circuit continu par une alimentation statique représenté par un pont redresseur (fig.24).

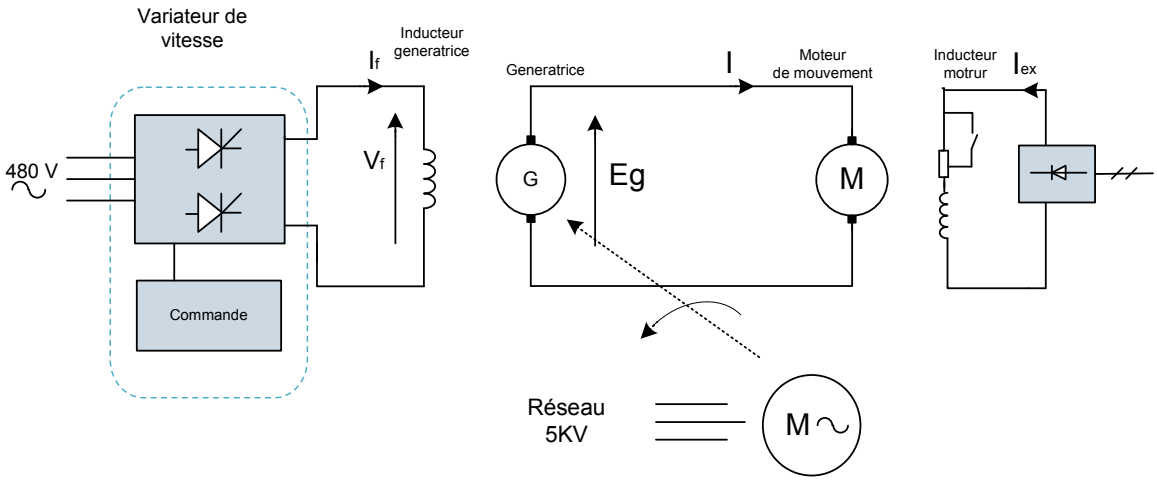


Figure 24 : Schéma synoptique de la solution

3.2- Matériel nécessaire

Le matériel que nécessite cette solution sera le même que la solution précédente au niveau des variateurs de vitesse plus le pont redresseur et son alimentation à savoir un

transformateur d'une puissance de 25 KVA en plus de ces protections (fusibles) et les câbles.

3.3- Coût estimatif

Les coûts moyens [9] du nouveau matériel à installer est comme suit (tab.13) :

	Le prix unitaire en Dh	La quantité	Le prix total en Dh
Armoire variateur de vitesse Régulation	74 810 DH	3	224 430
Pont de redressement	20000	1	20 000
Transformateur	30 000	1	30 000
Fusibles et câbles	10000		10000
Coût total	284430		

Tableau 13 : Devis estimatif

3.4- Avantages

- ✓ Régulation performante.
- ✓ Coût pas trop élevé.
- ✓ Remédier aux problèmes dus à l'excitatrice.
- ✓ Réduire temps d'arrêt.

3.5- Inconvénients

- ✓ Maintenance du groupe.
- ✓ Ne pas combler aux lacunes du groupe W.L.
- ✓ Difficulté d'installation

4- Garder le groupe et remplacer l'armoire de régulation par 3 variateurs et alimenter les 3 inducteurs des moteurs par 3 variateurs

Dans cette solution, nous proposons de garder le groupe Ward Leonard et d'enlever les panneaux de régulation ainsi que l'excitatrice en les remplaçant par 6 variateurs de vitesse DC au total.

Pour les 3 panneaux de régulation , chacun va être remplacé par un variateur de vitesse qui va attaquer l'inducteur de la génératrice en agissant sur son courant d'excitation et par la suite faire varier la vitesse du moteur correspondant .

L'excitation des moteurs va être assurée par 3 variateurs de vitesse, et comme amélioration apportée par cette solution, le circuit assurant le renforcement du champ sera enlevé et cette opération sera assurée par le variateur lui-même de manière linéaire afin de permettre un contrôle souple des moteurs (fig.25).

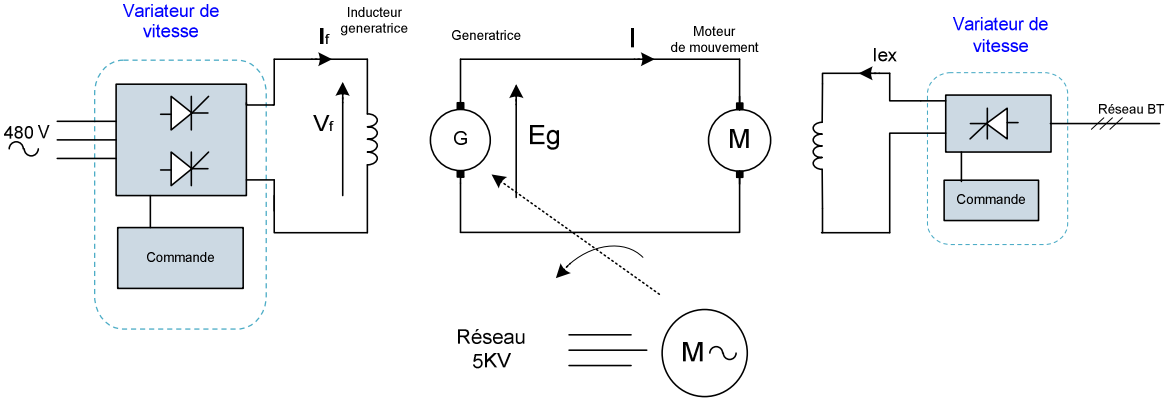


Figure 25 : Schéma synoptique de la solution proposée pour un mouvement

4.1- Matériel nécessaire

Pour cette solution, on aura besoin de 6 variateurs de vitesse, un transformateur d'une puissance de 25 KVA en plus la protection du transformateur (fusibles) et câbles.

Le tableau 14 présente les caractéristiques techniques pour les variateurs alimentant les inducteurs des génératrices :

Mouvements	Tension de sortie (V)	Courant de sortie (A)	Puissance
Levage	60	60	180 KW
Drague	60	60	180 KW
Orientation	60	60	180 KW

Tableau 14 : Désignation des variateurs pour les inducteurs des génératrices

Le tableau 15 présente les caractéristiques techniques pour les variateurs alimentant les inducteurs des moteurs :

Mouvements	Tension de sortie (V)	Courant de sortie (A)	Puissance
Levage	125	40	5 KW
Drague	125	40	5 KW
Orientation	125	40	5 KW

Tableau 15 : Désignation des variateurs pour les inducteurs des moteurs.

4.2- Coût estimatif

Le coût estimatif [9] du nouveau matériel à installer est donné dans le tableau 16 :

	Le prix unitaire en Dh	La quantité	Le prix total en Dh
Armoire variateur de vitesse pour génératrice	74 810 DH	3	224430
Armoire variateur de vitesse pour moteur	74 810 DH	3	224430
Transformateur	30 000 DH	1	30 000
Fusibles et câbles	10 000		10 000
Coût total	488 860		

Tableau 16 : devis estimatif

4.3- Avantages

- ✓ Régulation performante.
- ✓ Remédier aux problèmes dus à l'excitatrice.
- ✓ Réduction du temps d'arrêt.

4.4- Inconvénients

- ✓ Maintenance du groupe.
- ✓ Ne pas combler aux lacunes du groupe W.L.
- ✓ Coût un peu élevé.
- ✓ Difficulté d'installation.

II- Comparaison entre les différentes solutions

Dans cette partie nous allons faire une comparaison entre les différentes solutions, pour la prise de décision nous allons faire appel à l'outil qui permet le choix entre plusieurs propositions en tenant compte de plusieurs caractéristiques c'est la matrice de compatibilité.

Les critères à prendre en considérations sont (tab.17) :

- ✓ Performance ;
- ✓ Temps d'arrêts ;
- ✓ Coûts ;

- ✓ Maintenance ;
- ✓ Difficulté d'installation.

Critères	Solution1	Solution2	Solution3	Solution4
Performance	+	+	+	+
Temps d'arrêt	+	+	+	+
Coût	-	+	+	-
Maintenance	+	-	-	-
Difficulté d'installation	-	+	-	-
Total	3	4	3	2

Tableau 17 : matrice de compatibilité

+ : signifie que la solution répond au critère

- : signifie que la solution est incompatible avec le critère

Conclusion

Ainsi, d'après cette étude comparative, il nous s'avère que la 2ème solution est la plus convenable suite à ses avantages par rapport aux autres scénarios.

De ce fait, le chapitre suivant fera l'objet d'une étude détaillée de la solution adoptée à savoir le remplacement de l'armoire de régulation de la 200B2 par des variateurs de vitesse.

Chapitre 5 :

Etude de la Solution adopté

Ce chapitre traitera la rénovation du système de régulation de la machine 200B2, suites à l'étude précédentes, nous proposons de remplacer l'armoire de régulation par des variateurs de vitesses.

Notre étude commencera par une modélisation du système d'entrainement de la machine, suivi d'un choix adéquats de matériels et sa mise en service et en fin une étude financière du projet sera établie.

Introduction

Pour démarrer les moteurs électriques et contrôler leur vitesse, les variateurs mécaniques et les groupes tournants (Ward Leonard en particulier) ont été les premières solutions; puis les variateurs électroniques se sont imposés dans l'industrie comme la solution moderne, économique, fiable et sans entretien.

Le système de régulation de la dragline 200B2 repose sur le groupe Ward-Leonard et le panneau d'amplificateur statique. Ce système de contrôle a été largement utilisé dans les usines et plusieurs industries et présente de médiocre performance au niveau de la régulation et aussi au niveau de la consommation. De plus, ses pièces de rechange sont abandonnées de fabrication.

Dans ce chapitre, nous allons faire une étude détaillée de la solution qui consiste à remplacer l'armoire de régulation par des variateurs de vitesse à courant continu. En passant par une modélisation du système en vue de sa commande puis le choix convenable des variateurs de vitesse pour la commande des génératrices et par la suite un détail budgétaire du projet sera élaboré.

I- Description de la solution

La solution que nous avons adoptée consiste à remplacer l'armoire de régulation par des variateurs de vitesse qui vont alimenter les inducteurs des génératrices.

Donc pour chaque mouvement nous allons alimenter l'inducteur de la génératrice à travers le variateur de vitesse quatre quadrants comme illustre la figure 26, afin d'obtenir une tension variable au niveau de l'induit de la génératrice, ce dernier va débiter un courant variable dans l'induit de moteur selon la variation de la charge et dans les deux sens de rotation.

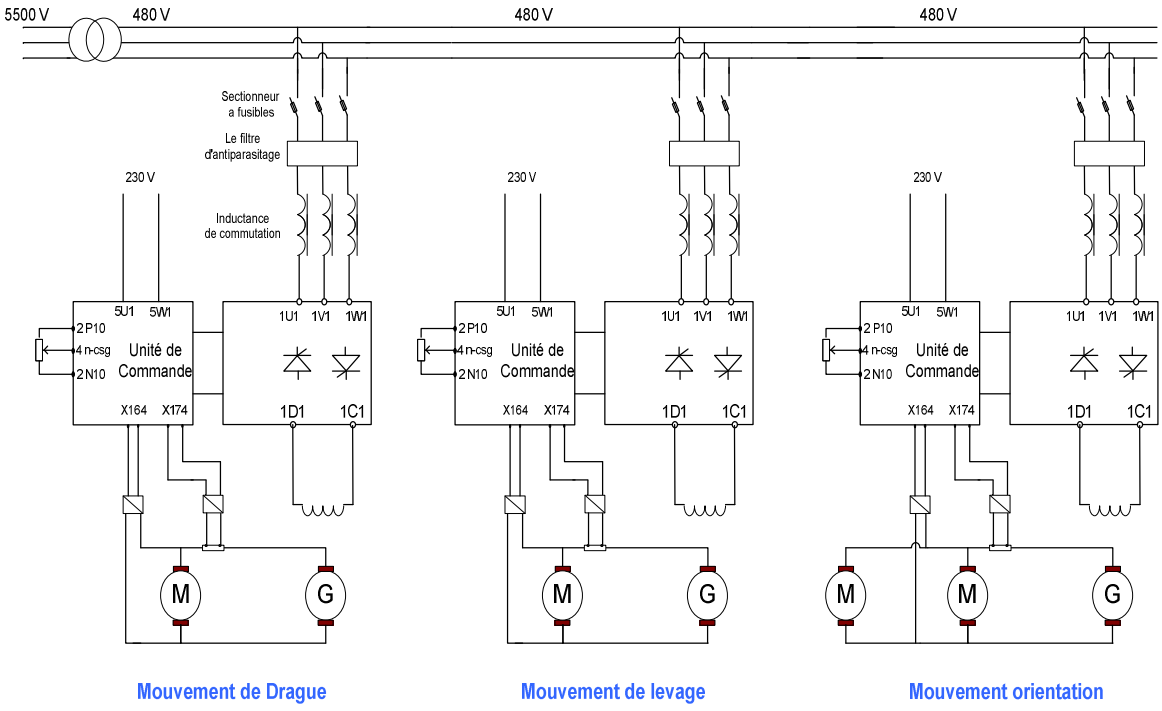


Figure 26 : Schéma de la structure proposée

II- Aspect théorique de la solution

1- Principe des variateurs de vitesse

Les variateurs de vitesse électronique sont alimentés sous une tension fixe à partir du réseau alternatif et fournissent au moteur une tension continue variable. Un pont de diodes ou un pont à thyristors, en général monophasé, permet l'alimentation du circuit d'excitation. Le circuit de puissance est un redresseur. La tension à délivrer devant être variable, ce redresseur doit être du type contrôlé, c'est-à-dire comporter des composants de puissance dont la conduction peut être commandée (thyristors).

Le variateur de vitesse est constitué généralement d'un module de contrôle et de puissance comme la montre la figure 27.

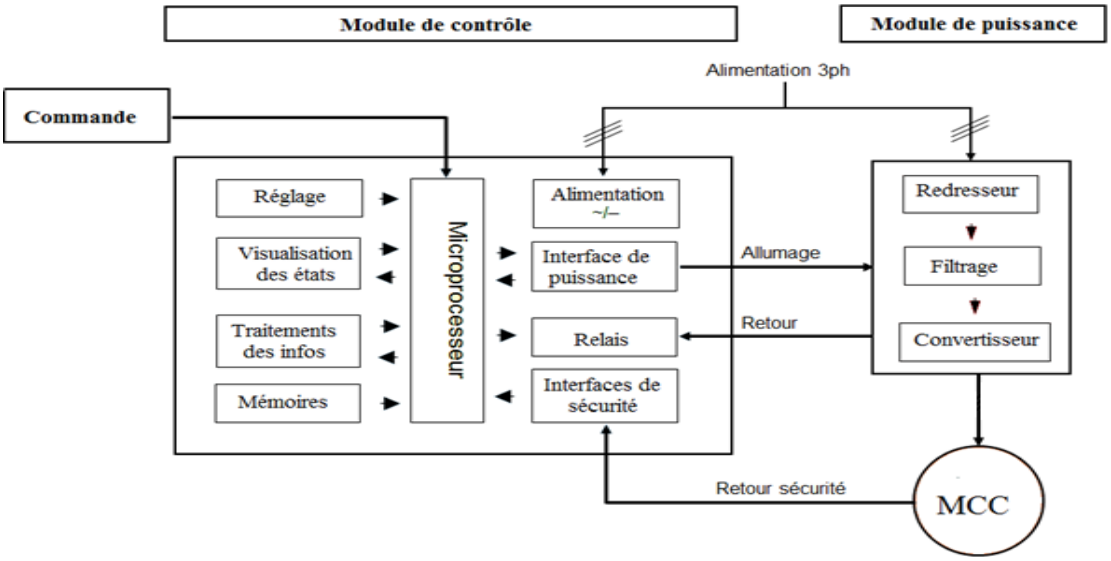


Figure 27 : schéma synoptique d'un variateur de vitesse

L'étage de puissance permettant d'alimenter un mcc à partir d'un réseau électrique alternatif est constitué d'un redresseur (conversion alternatif/continu), un filtre composé de condensateurs et un convertisseur (conversion continu/continu).

2- Les quadrants de fonctionnement d'un MCC

Tout moteur à courant continu possède quatre modes de fonctionnement:

- Il peut accélérer dans une direction, freiné dans cette direction.
- Il accélère dans le sens opposé ou freiner dans se sens.

Exemple d'analogie: mouvement de levage d'une charge

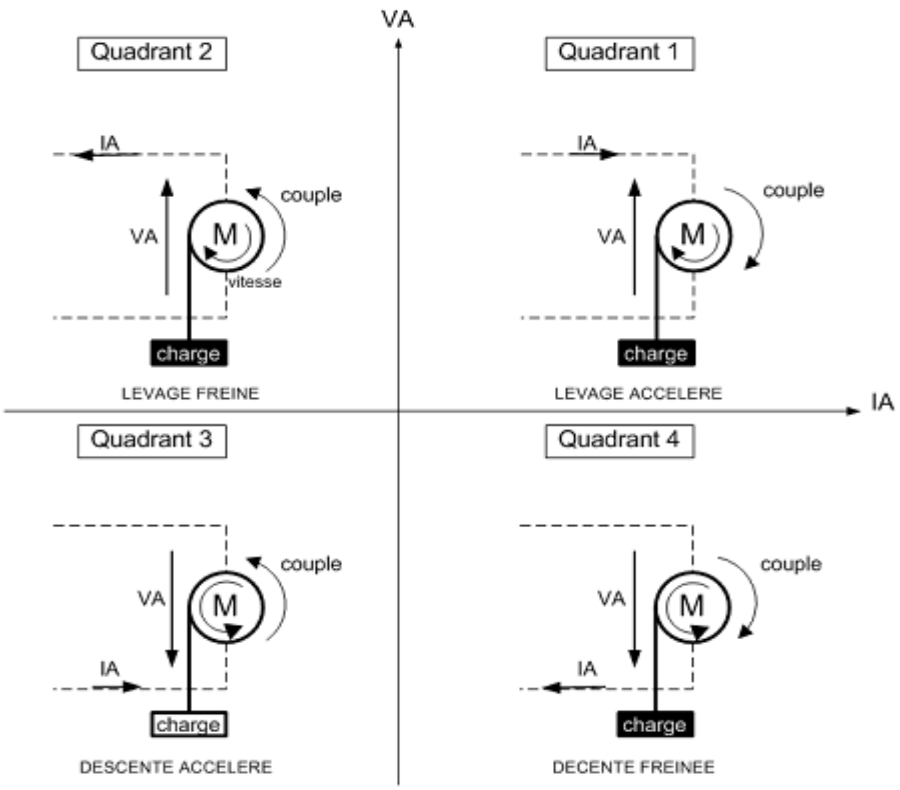


Figure 28 : quadrants de fonctionnement

Interprétations:

- **Premier quadrant** : Le moteur fonctionne dans le sens direct. Le couple et la vitesse sont positifs.
- **Deuxième quadrant** : Le moteur fonctionne en sens inverse (vitesse négative) et le couple est positif (période de freinage ou récupération)
- **Troisième quadrant** : Le moteur fonctionne en sens inverse et le couple est négatif.
- **Quatrième quadrant** : Le couple est négatif et la vitesse est positive (période de freinage ou récupération).

3- Convertisseur quatre quadrants

On peut réaliser un système d'entraînement pouvant fonctionner dans les 4 quadrants en utilisant un seul convertisseur. Cependant, on doit alors permuter les connexions de l'induit ou du champ shunt.

Pour éviter ce problème on utilise plutôt deux convertisseurs connectés en antiparallèle comme ci illustré dans la figure suivante. Dans ce cas, les convertisseurs fonctionnent à tour

de rôle en redresseur ou en onduleur.

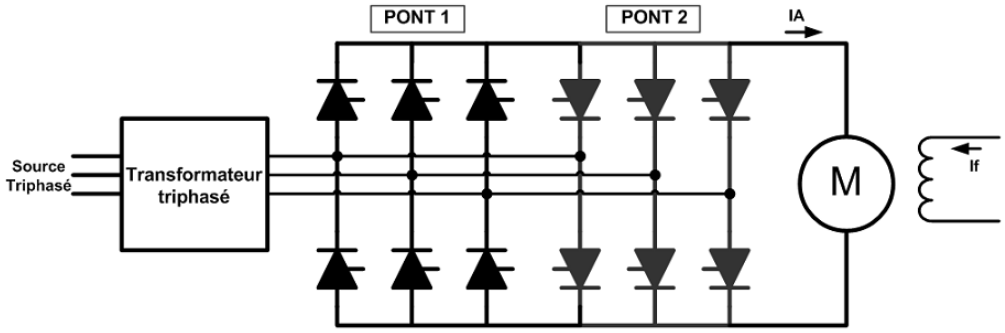


Figure 29 : convertisseur quatre quadrants

Principe de fonctionnement :

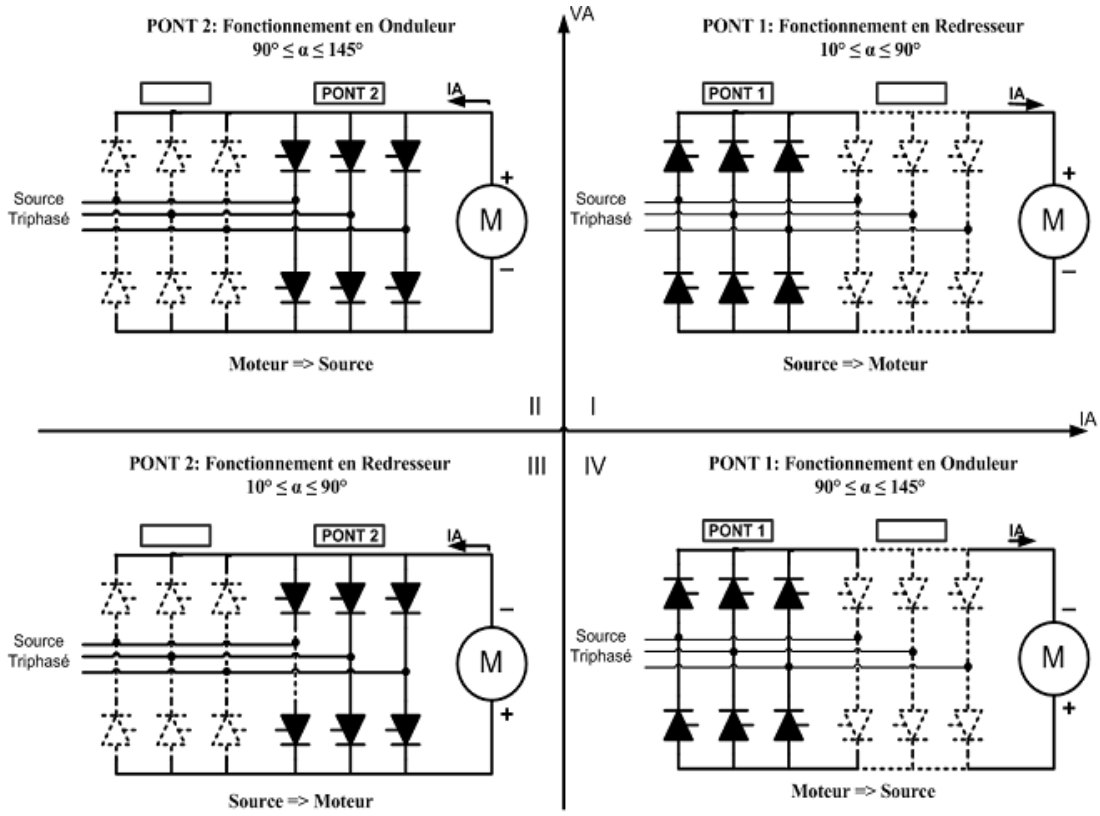


Figure 30 : quadrants de fonctionnement

4- La régulation

La régulation consiste à maintenir avec précision la vitesse à la valeur imposée en dépit des perturbations (variation du couple résistant, de la tension d'alimentation, de la

température).

Toutefois, lors des accélérations ou en cas de surcharge, l'intensité du courant ne doit pas atteindre une valeur dangereuse pour le moteur ou le dispositif d'alimentation. Une boucle de régulation interne au variateur maintient le courant à une valeur acceptable. Cette limite est accessible pour permettre l'ajustement en fonction des caractéristiques du moteur.

La vitesse de consigne est fixée par un signal, analogique ou numérique transmis par l'intermédiaire d'un bus de terrain ou par tout autre dispositif qui délivre une tension image de cette vitesse désirée. La référence peut être fixe ou variable au cours du cycle.

Des rampes d'accélération et de décélération réglables appliquent de façon progressive la tension de référence correspondante à la vitesse désirée, I 'évolution de cette rampe peut suivre toutes les formes désirées. Le réglage des rampes définit la durée de l'accélération et du ralentissement.

En boucle fermée, la vitesse réelle est mesurée en permanence par une dynamo tachymétrique ou un générateur d'impulsions et comparée à la référence. Si un écart est constaté, l'électronique de contrôle réalise une correction de la vitesse. La gamme de vitesse s'étend de quelques tours par minute jusqu'à la vitesse maximale.

Cette régulation peut également être effectuée à partir de la mesure de la tension du moteur en tenant compte du courant qui le traverse. Les performances sont dans ce cas sensiblement inférieures, à la fois en gamme de vitesse et en précision (quelques % entre marche à vide et marche en charge).

5- Inversion du sens de marche et freinage par récupération

Pour inverser le sens de marche, il faut inverser la tension d'induit. Ce peut être réalisé à l'aide de contacteurs (cette solution est maintenant obsolète) ou en statique par inversion de la polarité de sortie du variateur de vitesse ou de la polarité du courant d'excitation.Cette dernière solution est peu usitée en raison de la constante de temps de l'inducteur.

Lorsqu'un freinage contrôlé est désiré ou que la nature de la charge l'impose (couple entraînant), il faut renvoyer l'énergie au réseau. Pendant le freinage, le variateur fonctionne en onduleur, en d'autres termes la puissance qui transite est négative. Les variateurs capables d'effectuer ces deux fonctionnements (inversion et freinage par récupération d'énergie) sont

dotés de deux ponts connectés en antiparallèle. Chacun de ces ponts permet d'inverser la tension et le courant ainsi que le signe de l'énergie qui circule entre le réseau et la charge.

6- Avantages de la régulation avec les variateurs de vitesse

Amélioration du rendement

La régulation avec les variateurs de vitesse permet un contrôle précis et intelligent des paramètres électriques courant et tension. En effet, il assure un fonctionnement de la machine en plein charge à 100% de sa capacité et sans dépassement des limites statiques, le rendement de la machine se trouve ainsi amélioré de 5% au minimum.

Amélioration de la disponibilité

L'installation des variateurs de vitesse dans la machine permettra d'assurer un gain de disponibilité de la dragline et cette grâce La réduction du temps d'arrêts de la machine dus à la régulation.

Faible coût de maintenance

Les variateurs de vitesse sont caractérisés par une maintenance presque nulle due à :

- La disponibilité dans le marché de la pièce de rechange
- La possibilité de sauvegarder les logiciels de paramétrage et de réglage des différents mouvements
- L''interchangeabilité des panneaux numériques

Amélioration de la protection

En plus de la protection électrique, les systèmes numériques présentent l'avantage d'assurer la protection des organes mécaniques :

Protection flèche

Calcul instantané de la charge du godet pour éviter les surcharges

Calcul des efforts sur les câbles métalliques

III- Le nouveau Système de régulation

1- Présentation

Le nouveau système de régulation à base des variateurs de vitesse permet pour chaque mouvement d'alimenter l'inducteur de la génératrice en assurant un fonctionnement dans les quatre quadrants afin d'obtenir les deux polarités de la tension d'alternateur. Ceci permet un fonctionnement du moteur dans les deux sens de rotation en assurant la logique d'inversion de marche avec un temps de réponse rapide (fi.31).

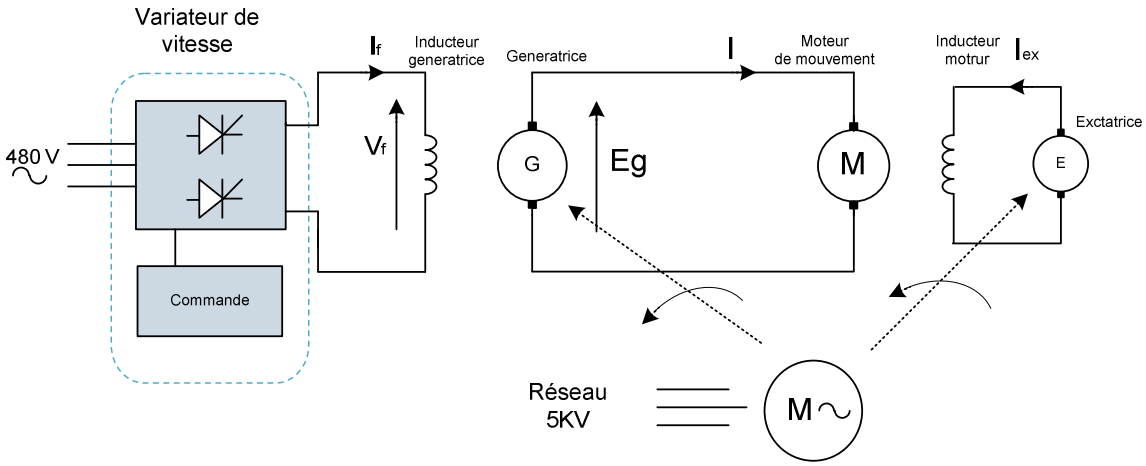


Figure 31 : Principe de la rénovation de la régulation

2- Modélisation du système d'entrainement de la machine

La modélisation est une étape importante dans un projet de régulation et de commande d'un processus industriel, elle consiste à modéliser le groupe Ward Leonard afin de redimensionner les correcteurs adéquats pour une performante régulation.

Dans cette partie nous allons élaborer le modèle du système d'entrainement de la machine 200B2 et dimensionner les régulateurs nécessaires à sa commande. Nous allons utiliser Matlab Simulink comme outil de modélisation et simulation.

2.1- Modélisation de la génératrice

Partant du schéma précédent (figure 31) de la boucle Ward Leonard, la tension d'excitation Vf entraîne la circulation d'un courant if dans l'enroulement d'excitation.

$$V_f = r \times i_f + l\frac{di_f}{dt} \quad \text{posons,} \quad p = \frac{d}{dt} \text{ étant l'opérateur de dérivation}$$

$$V_f = (r + lp).i_f$$

$$\frac{i_f}{V_f} = \frac{1}{r + pl}$$

La circulation du courant d'excitation if crée aux bornes de la génératrice une tension (en régime non saturé de la machine) :

EG = k.Φ. Ω donc EG = k. if

Et on a aussi selon la boucle

$$U = Eg - RgI$$

Selon ces équations, le schéma bloc du circuit d'excitation est comme suit (fig.32) :

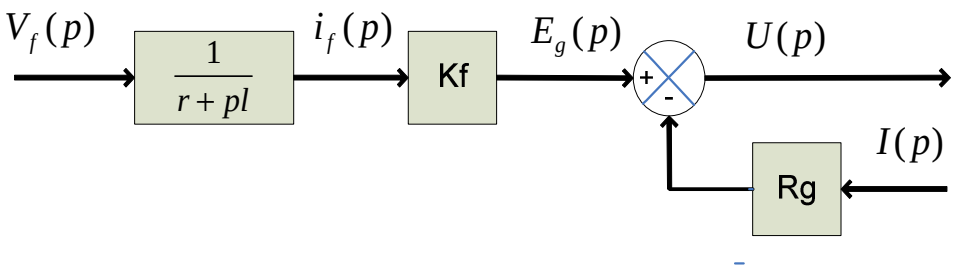


Figure 32 : schéma bloc de la génératrice

2.2- Modélisation du Moteur

La modélisation du moteur à courant continu est réalisable à partir des équations de base de la machine à courant continu et du principe fondamental de la dynamique.

Equations électromagnétiques : $C = K\Phi I$ et $E = K\Phi\Omega$

Equation électrique : $U = E + RI + L\frac{dI}{dt}$

PFD : $J_m \frac{d\Omega}{dt} = C - F\Omega - C_r$

Où

C : représente le couple électromagnétique fourni par le moteur,

E : la force contre électromotrice générée par le moteur

U : la tension d'induit

R, L : la résistance et l'inductance d'induit

Jm : le moment d'inertie du moteur

F : le coefficient de frottement

Φ : Flux d'induction magnétique

Les équations dans le domaine de Laplace en tenant compte des conditions initiales nulles:

$$C(p) = K\Phi I(p)$$
$$E(p) = K\Phi\Omega(p)$$
$$U(p) = E(p) + RI(p) + LpI(p)$$
$$J_m p\Omega(p) = C(p) - F\Omega(p) - C_r$$

Nous pouvons alors déduire le schéma bloc (fig.33) représentatif de la fonction de transfert en vitesse du moteur. :

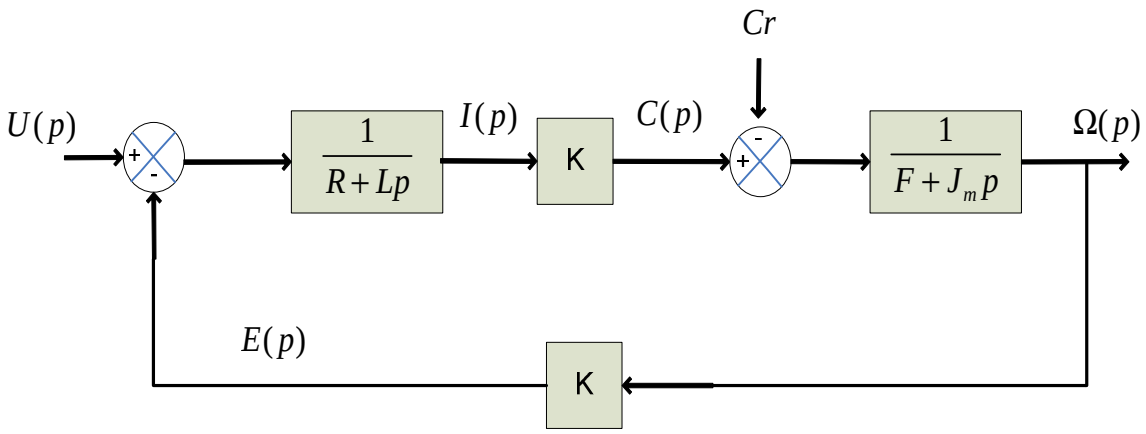


Figure 33 : Schéma bloc du moteur

2.3- Modélisation de la boucle Ward-Leonard

En combinant les deux modèles précédent, nous obtenons le model du système Ward-

Leonard suivant (fig.34) :

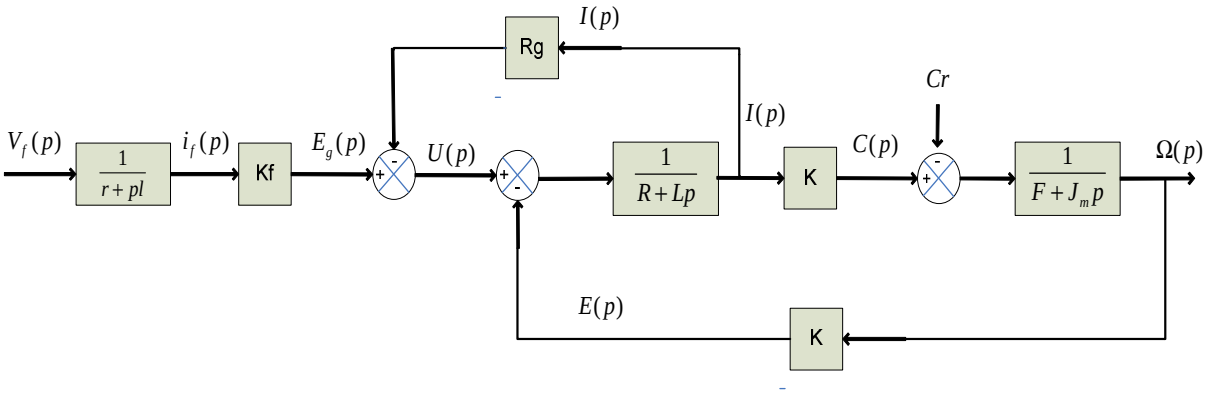


Figure 34 : Schéma bloc du groupe WL

2.4- Principe de régulation

Le contrôle de chaque mouvement est pratiquement indépendant des autres. Les mouvements de levage et de drague sont régulés en vitesse (donc en tension) et limités en couple (donc en courant).

La régulation de la vitesse permet d'assurer la stabilité de marche en présence des perturbations extérieures (surcharge, blocage…).

La limitation de courant permet à la machine d'opérer dans une zone limite de fonctionnement pour assurer une marche sécuritaire. Cette fonction est assurée non pas par les dispositifs classiques (limitation par seuil maxi) mais par la boucle de courant pour permettre une bonne limitation maximale.

En effet, les moteurs à courant continu sont appelés à travailler en régime permanent à l'intérieur d'un domaine limité et défini par des limites thermiques et des limites de commutation au niveau des collecteurs.

La définition de ces limites constitue la caractéristique tension – courant (vitesse – couple) pour chaque mouvement.

En tenant compte du mode de marche de la dragline (surcharge suivie de période de faible charge), il n'est pas indispensable de faire agir la limitation de courant instantanément. On peut la temporiser ou l'activer en fonction de la tension apparaissant aux bornes de la génératrice, ceci afin de limiter la puissance maximale que peut délivrer la machine : l'action de limitation de courant est fonction de la puissance fournie par la machine.

Les mouvements de drague et de levage sont régulés en vitesse avec une limitation de couple comme le montre la figure 35.

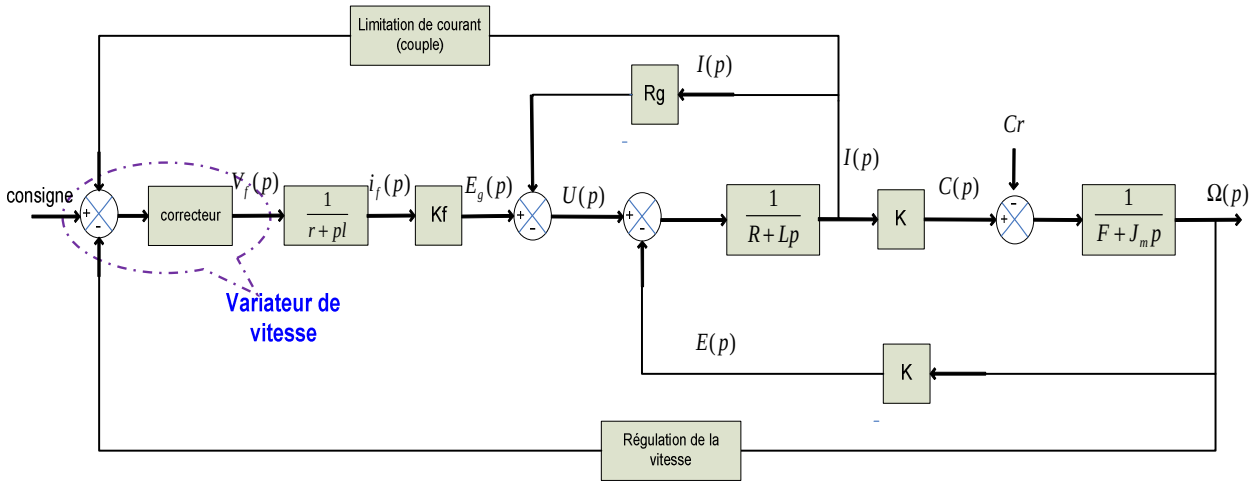


Figure 35 : principe de régulation du mouvement Levage et drague

Inversement, le mouvement d'orientation est régulé en couple avec une limitation de vitesse (fig36).

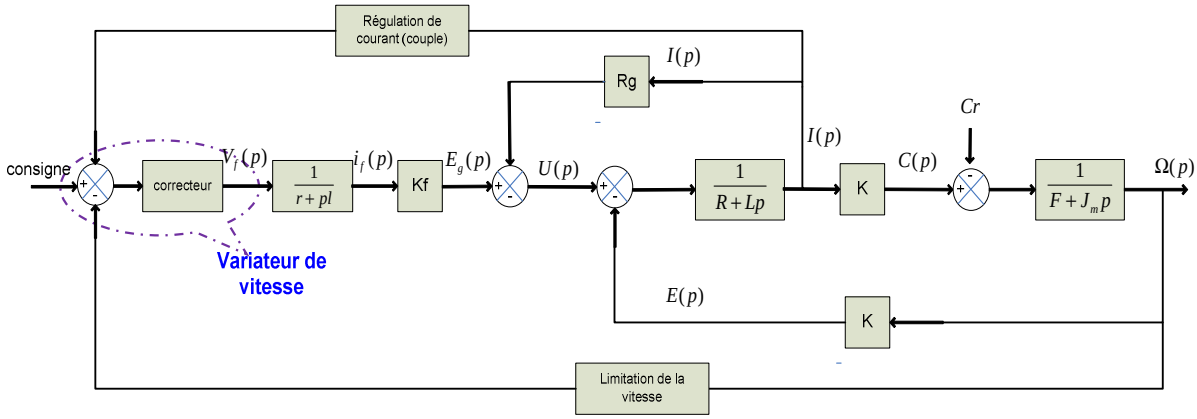


Figure 36 : Principe de régulation du mouvement orientation

2.5- La simulation de la régulation sous l'environnement Matlab/Simulink

Après avoir modélisé le groupe W.L, nous avons fait recours à une simulation via Matlab/Simulink.

En premier lieu, nous avons simulé le système en boucle ouverte, La figure 37 représente le modèle en tension en boucle ouverte du système W.L et la réponse pour une tension de référence U=10V :

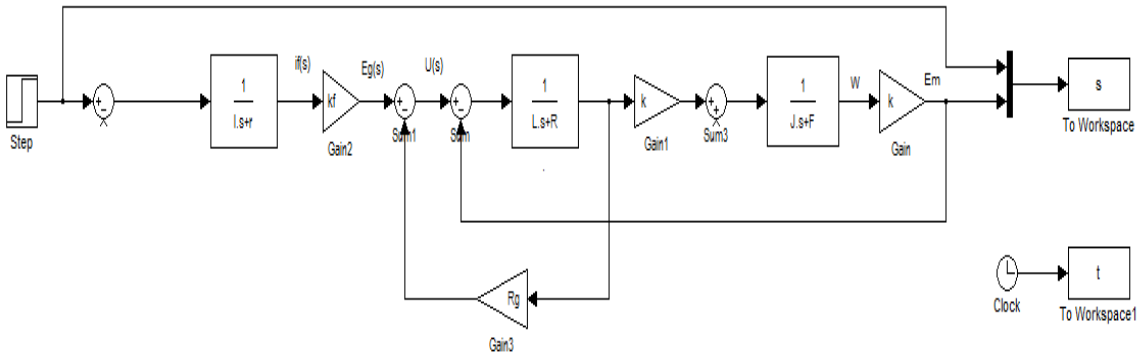


Figure 37: modèle Simulink de la boucle WL

Simulation de la réponse en boucle ouverte sous Matlab (fig.38).

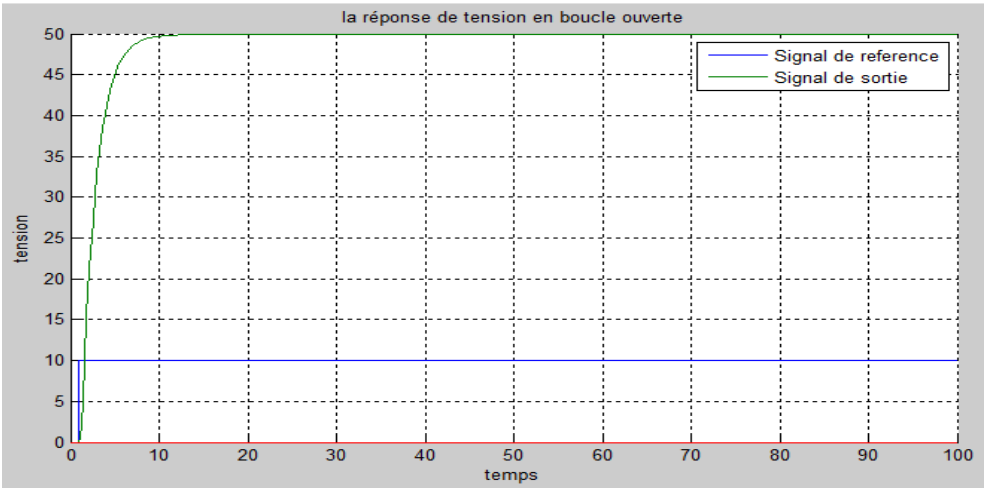


Figure 38 : réponse du système en boucle ouverte

Nous constatons que la sortie dépasse la valeur de l'entré, ceci est traduit par une grande erreur statique et l'instabilité du système, en plus la réponse est très lente donc il faut réaliser un asservissement de tension (vitesse).

Avant d'introduire le correcteur, nous fermons la boucle de régulation, la figure 39 représente la réponse en boucle fermée :

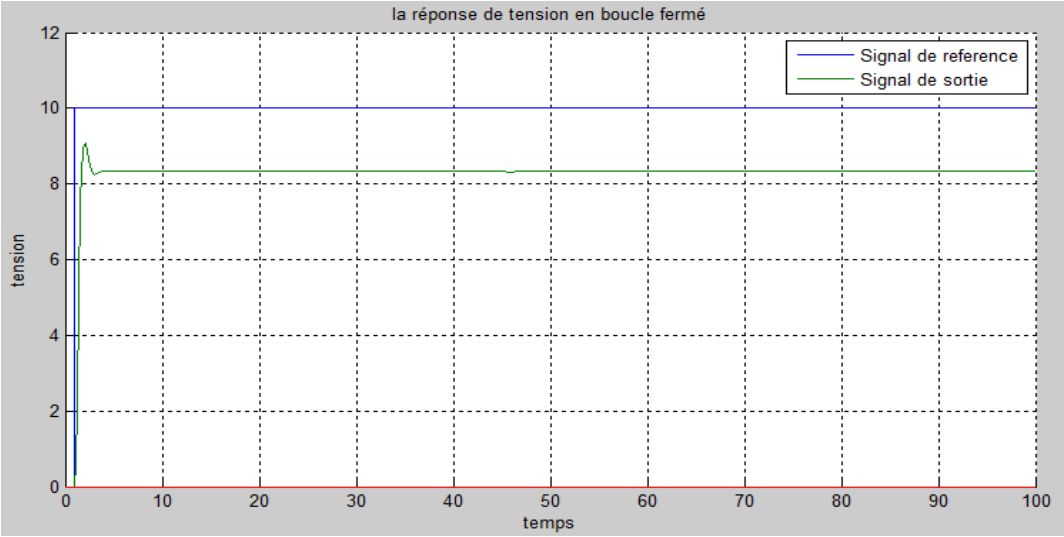


Figure 39 : réponse du système en boucle fermé sans correction

D'après la réponse en boucle fermée, nous constatons que la sortie n'atteint pas la valeur désirée de la référence, mais la rapidité du système est améliorée un peu alors pour avoir une réponse qui combine entre la rapidité, la précision et la stabilité. Il faut donc introduire dans la chaine de régulation un correcteur adéquat.

La régulation avec correcteur :

Après avoir fermé la boucle de régulation le système devient stable, mais il présente encore une erreur et il est moins rapide, pour cette raison nous allons utiliser la commande PI (Proportionnelle-Intégrale) .C'est une méthode qui a fait ses preuves et qui donne de bons résultats, grâce à l'action proportionnelle qui améliore la rapidité et l'intégrale pour la précision.

La fonction de transfert en boucle ouverte de notre système est :

$$FTBO_{W.L}(s) = \frac{k^2}{(R.k + R_g)J.s + k^3} \times \frac{k_f}{l.s + r} = \frac{1}{1.6s + 1} \times \frac{100}{5s + 20} = \frac{5}{1 + 1.6s + 0.4s^2}$$

A partir de la fonction de transfert en boucle ouverte du groupe W.L MATLAB permet de générer le correcteur PI adéquat.

$$PI(s) = 0.66834 \times \frac{1 + 0.68s}{s}$$

Ainsi le model de la boucle avec régulation est donné dans la figure 40 et sa réponse

figure 41.

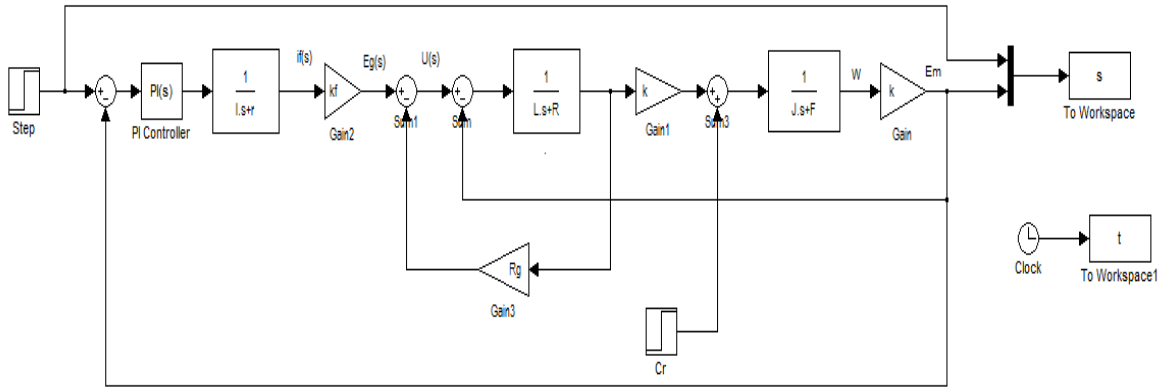


Figure 40 : modèle Simulink de la boucle avec régulation

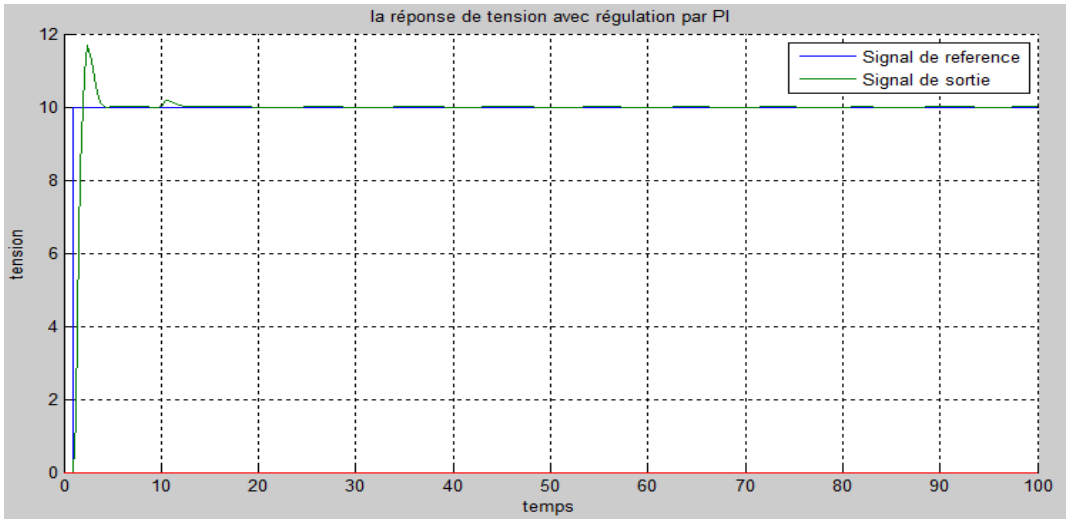


Figure 41 : réponse du système régulé

IV- Choix du variateur de vitesse

Lors du choix du variateur de vitesse, plusieurs éléments interviennent. Les constructeurs proposent normalement des tableaux de sélection avec des correspondances puissance moteur/taille du variateur.

Pour adapter correctement moteur et variateur de fréquence à notre application, on suit les étapes suivantes :

- Définition des quadrants de fonctionnement de la combinaison du moteur et de la charge entraînée ;
- Justification et sélection de la gamme des variateurs en fonction de l'application. (Machines complexes, pompes et ventilateurs…) ;
- Calcul du courant moteur, qui doit être inférieur ou égale au courant nominal du variateur $In \geq I_{moteur}$;
- Choix des variateurs les mieux adaptés d'après le catalogue constructeur tout en conservant la tension et la fréquence d'alimentation actuelle.

1- Les Caractéristiques de la charge (les inducteurs des génératrices)

Les variateurs de vitesses vont alimenter les inducteurs des génératrices, pour avoir les tensions et les courants maximum qu'on peut donner à l'inducteur, on a effectué des essais sur la machine :

L'Essai à vide : consiste à débranché le moteur du mouvement est donner la consigne plein vitesse (5éme plan). Cet essai nous donne les informations sur la tension maximale que doit débiter les génératrices.

L'Essai au calage : consiste à freiner le moteur du mouvement et donner la consigne plein vitesse (5ième plan). Cet essai nous donne les informations sur le courant maximal dans le circuit d'induit et les mesures des tensions et des courants dans l'inducteur.

Le tableau 18 résume les caractéristiques des inducteurs pour chaque mouvement

.

Mouvement	Umax	Imax	Essai
Levage	57	53	A vide
		19	Au calage
Drague	57	56	A vide
		19	Au calage
Orientation	52	46	A vide
		10	Au calage

Tableau 18 : courants et tensions dans les inducteurs des génératrices

Alors selon ces essais, on définit la marge de tension d'alimentation des inducteurs ainsi que celle du courant :

- Une marge de tension de 0 à 60 V.

- Une marge de courant de 0 à 60 A.

2- Définition des quadrants de fonctionnement

Le variateur de vitesse pour la régulation d'excitation de la génératrice doit pouvoir fonctionner dans les 4 quadrants. La variante 4Q est nécessaire, afin d'obtenir les deux polarités de la tension de la génératrice. Ceci permet un fonctionnement du moteur dans les deux sens de rotation.

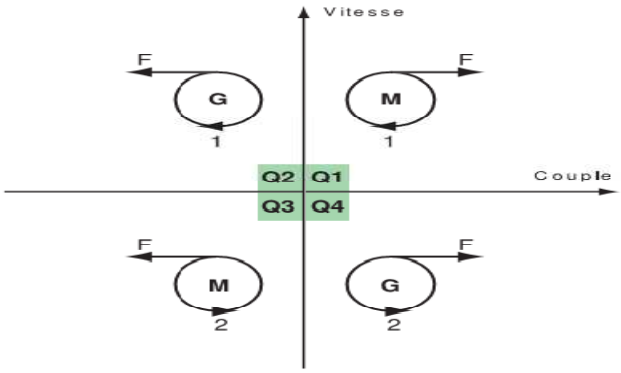


Figure 42 : Les quadrants de fonctionnement

3- Caractéristiques générales des variateurs

D'après ce qui précède, il est évident de choisir des variateurs de vitesse pour

l'excitation des génératrice ayant les caractéristiques principales suivantes :

- Variateur 4 quadrants convenant aux inducteurs des génératrices ;
- Autoprotection et protection intégrée du moteur ;
- Des inductances de ligne (réduction des harmoniques) intégrée en amont du variateur ;
- Régulation performante des mouvements de la machine.

4- Justification du choix :

Comme première étape vers le choix du variateur de vitesse, nous avons fixé un cahier de charge définissant notre besoin selon les spécifications techniques.

Par la suite, nous avons contacté les fournisseurs suivants : ABB, SIEMNENS et Allen Bradley afin d'avoir une approche au niveau du coût.

Ainsi, vue sa réponse à notre cahier de charge et ses performances, Le Sinamics DC Master était notre choix comme variateur de vitesse.

Le variateur de vitesse que nous avons choisi représente un ensemble d'avantages tels que :

- Large gamme de puissance ;
- Flexibilité de la régulation et extension de fonctionnalités possibles avec le concept de Standard CUD, et Advanced CUD autonomes ou combinables ;
- Coûts et investissement d'études réduits lies au concept Sinamics : composants communs à la famille SINAMICS : même philosophie, mêmes outils, composants communs au variateur AC ;
- Flexibilité et rapidité pour la mise en œuvre et la maintenance ;
- Mise en service et exploitation, par pupitre de commande numérique BOP20 ou/et par pupitre de commande AOP30, très confortable ;
- Mise en service, exploitation et outils graphiques grâce au logiciel STARTER ;
- Facilement intégrable dans un système automatisé par son interface Profibus standard, autre interface possible en option.

5- Choix d'après le catalogue constructeur

Alors selon les essais cités précédemment, on définit la marge de tension d'alimentation des inducteurs ainsi que celle du courant :

- Marge de tension de 0 à 60 V.

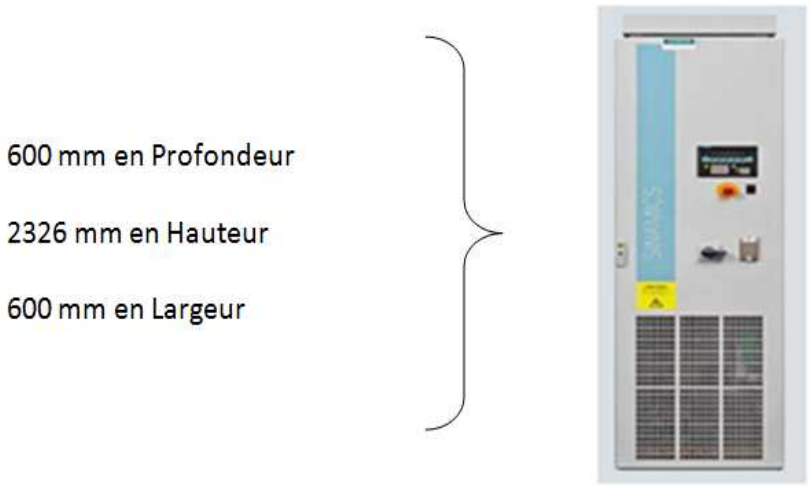
- Marge de courant de 0 à 60 A.

Pour un variateur de vitesse respectant ces marges de tension et de courant, et fonctionnant dans les quatre quadrants avec une puissance 3600 W et assurant un fonctionnement dans les 4 quadrants, nous avons choisit le variateur SINAMICS DCM 6RM8028-6DV62-0AA0 comme illustre la figure 43.

Armature circuit				Field circuit	
Rated supply voltage [1]	Rated DC voltage	Rated DC current	Rated power	Rated DC current	Order No.
V	V	A	kW	A	
3 AC 400	420	15	6.3	3	6RM8013-6DV62-0AA0
		30	12.6	5	6RM8018-6DV62-0AA0
		60	25	10	6RM8025-6DV62-0AA0
		90	38	10	6RM8028-6DV62-0AA0
		125	53	10	6RM8031-6DV62-0AA0
		210	88	15	6RM8075-6DV62-0AA0
		280	118	15	6RM8078-6DV62-0AA0
		400	168	25	6RM8081-6DV62-0AA0

Figure 43 : choix du variateur en armoire d'après le catalogue du constructeur [10]

Les dimensions [10] du variateur choisi sont comme suit :



6- Mise en armoire

L'installation du variateur de vitesse choisi, sera sous forme d'une armoire contenant un ensemble de composants, chacun à son rôle afin d'assurer le bon fonctionnement du variateur de vitesse.

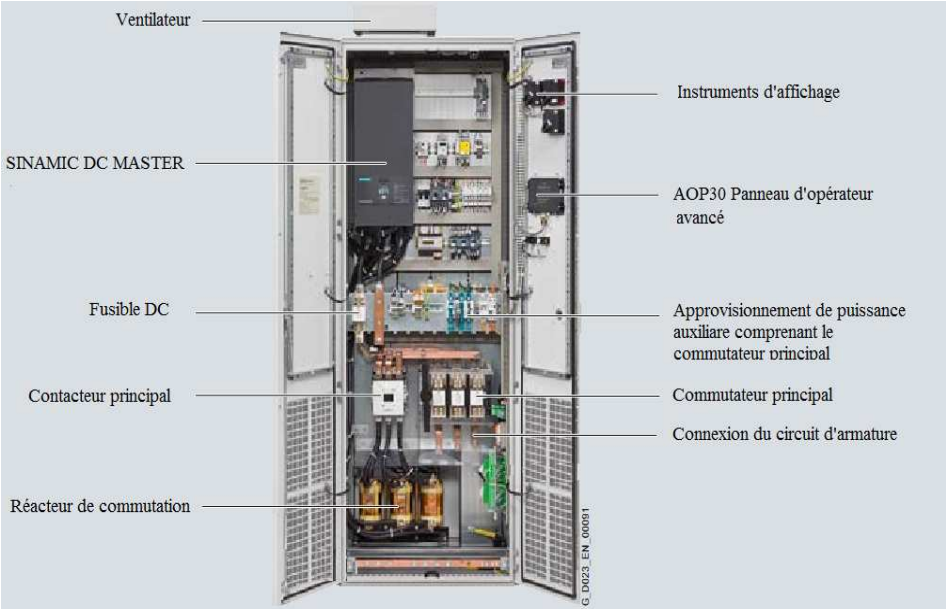


Figure 44 : Armoire d'un variateur de vitesse de type SINAMICS DC MASTER

La version de base du système de coffret standard est prête à se relier et offre les composants standards comme [11] :

- Ligne de connexion avec des terminaux d'entrée ;
- Commutateur principal ;
- Inductances de commutation ;
- Fusibles ;
- Ligne contacteur ou disjoncteur ;
- Panneau d'opérateur avancé AOP30 ;
- Connexion de PROFIBUS ;

L'armoire en détail est explicitée dans l'annexe B.

7- L'alimentation des variateurs 4 quadrants

L'alimentation des variateurs 4Q , dédiés à la régulation de la vitesse des moteurs des différents mouvements (orientation, levage, translation et drague), sera assurée par le transformateur (40KVA) qui alimente les transformateurs liés aux redresseurs dans le panneau d'Amplistat pour l'ancien système de régulation .

Alors pour l'alimentation des 4 variateurs , nous allons garder le même transformateur qui sera assez suffisant puisque pour l'ancien système, ce transformateur était lié à 3 transformateurs chacun avec une puissance de 10 KVA alors que pour la solution adoptée, les consommateurs sont 3 variateurs, chacun atteint une puissance maximale de 3.6 KW.

V- Mise en service du variateur de vitesse:

Après que nous avons choisi les variateurs appropriés, nous avons expliqué le principe de régulation des différents mouvements, dans ce qui suit nous allons faire la mise en service des variateurs de vitesse avec l'outil STARTER.

En ce qui suit, nous allons travailler sur le paramétrage du variateur de vitesse pour le mouvement de levage (fig.45), le principe est le même pour les autres mouvements.

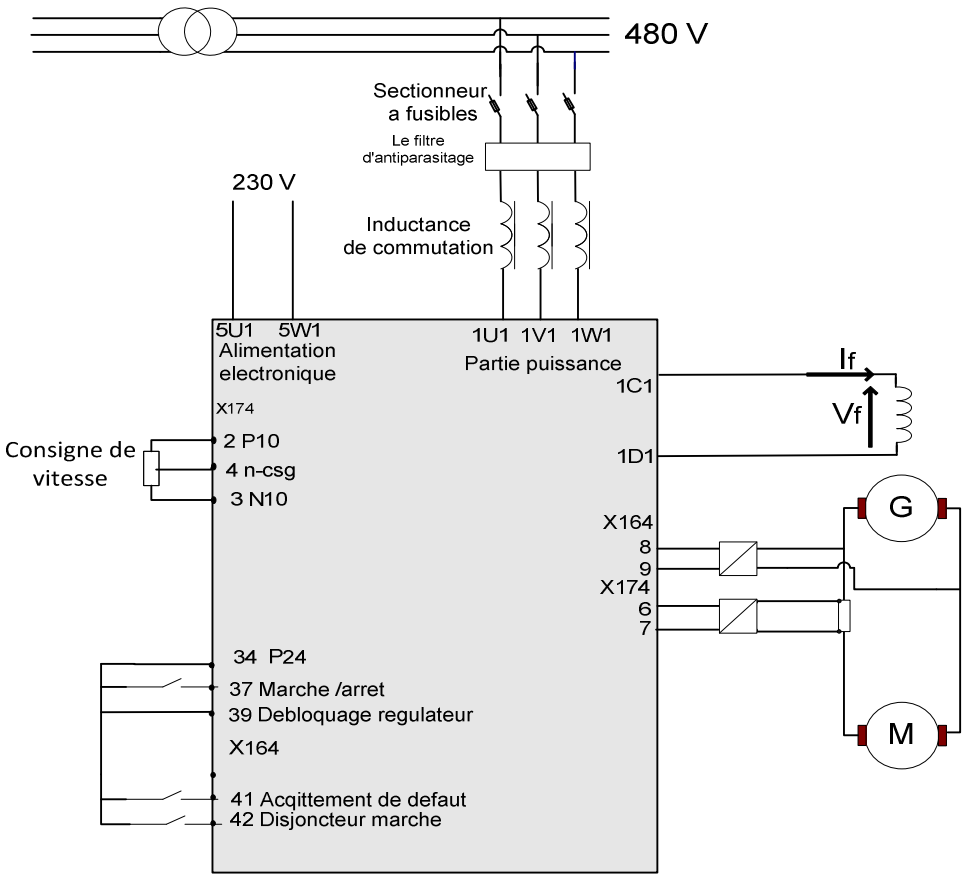


Figure 45 : schéma synoptique d'un mouvement

Création de projet et insertion de l'entrainement

En premier lieu, après la création du projet, on insère le nom du projet (fig.46) et on

insère le groupe d'entrainement (fig.47).

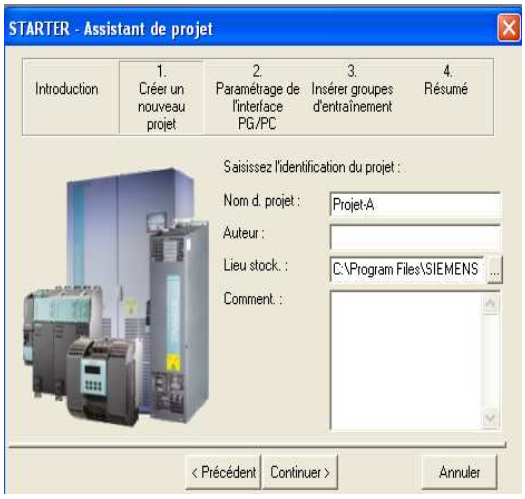


Figure 46 : Création d'un nouveau projet

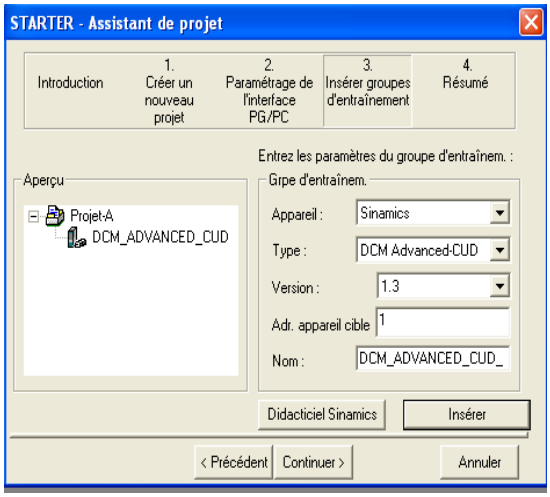


Figure 47 : Insertion du groupe d'entraînement

La configuration du groupe d'entrainement :

Pour la configuration du groupe d'entraînement, STARTER doit être hors ligne sur l'exploiteur de projet (fig.48).

Cette étape nous permet de définir le matériel et de faire entrer les différents paramètres généraux.

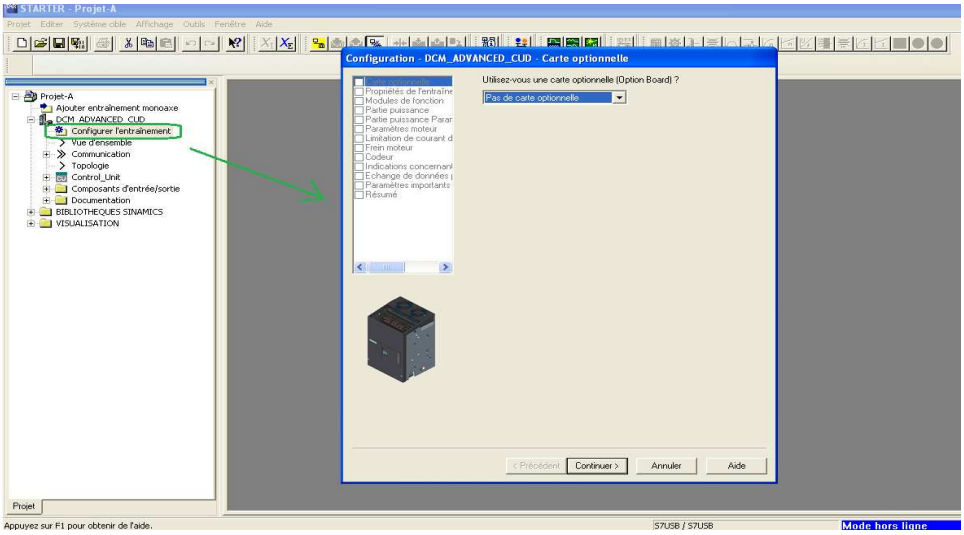


Figure 48 : Configuration d'un groupe d'entraînement

La sélection du matériel :

Cette étape consiste à sélectionner le variateur approprié, son alimentation et son

fonctionnement (4 quadrants ou 2 quadrants) (fig.49).

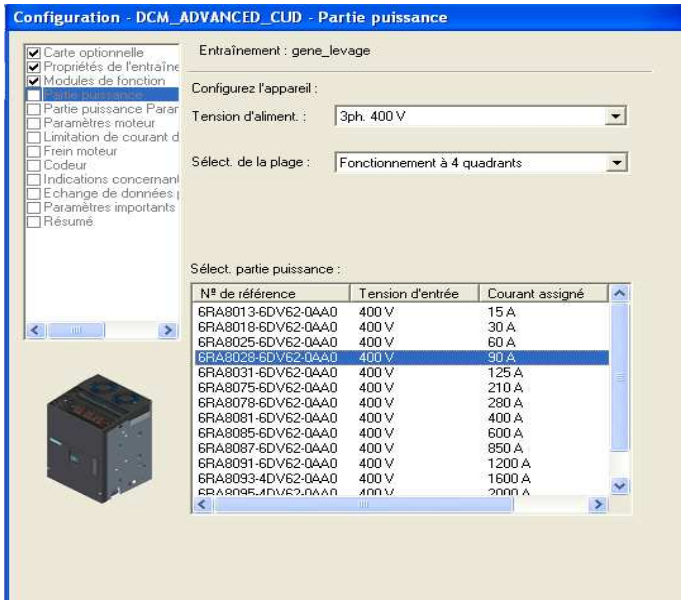


Figure 49 : Sélection de l'appareil

La saisie des paramètres généraux :

À partir de la plaque signalétique et les différents essais cités avant, on saisit les paramètres de la charge représentée par la génératrice de levage et on désactive l'excitation (fig.50).

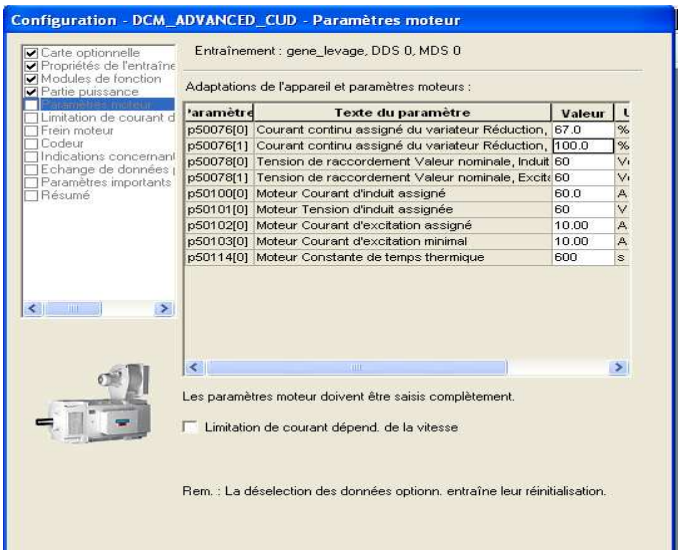


Figure 50 : Paramètres généraux de l'entrainement

Figure 51 : désactivation de l'excitation

Ainsi la configuration de l'entrainement s'est terminée et voila la figure 52 représente un résumé sur les différents paramètres de l'entrainement.

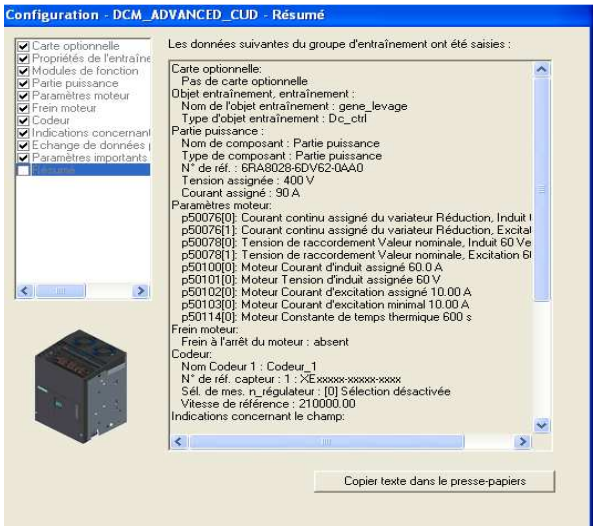


Figure 52 : résumé des paramètres généraux

Transfert du projet STARTER sur le groupe d'entraînement

Dans cette étape il faut connecter le variateur avec la charge et passer en ligne puis transférer le projet STATER vers l'entraînement (fig.53):

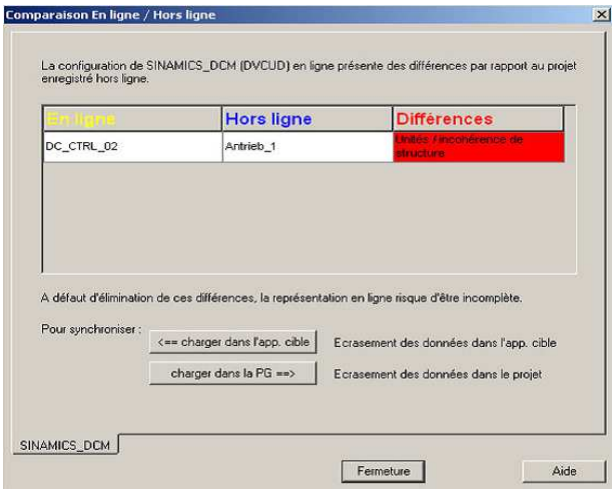


Figure 53 : transfert du projet

Le schéma de régulation générale et les cycles d'optimisation :

Le Schéma générale de la régulation est donné dans la figure 54.

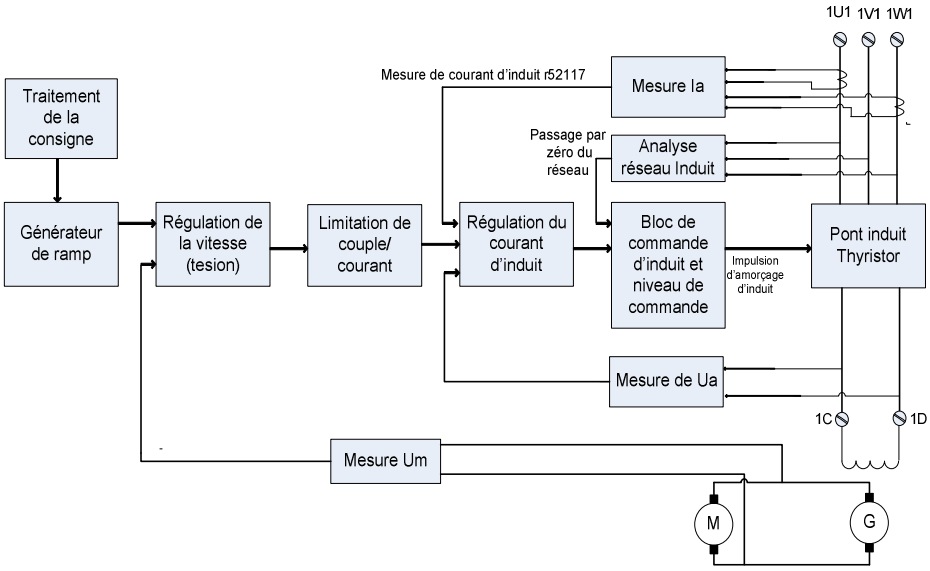


Figure 54 : le schéma régulation pour le mouvement levage

Le logiciel STARTER génère un schéma de régulation global pour chaque projet, pour accéder à ce schéma, dans l'assistant projet la une commande ''vue d'ensemble'' permet l'accès au bloc de régulation pour modifier les différents paramètres (fig.55).

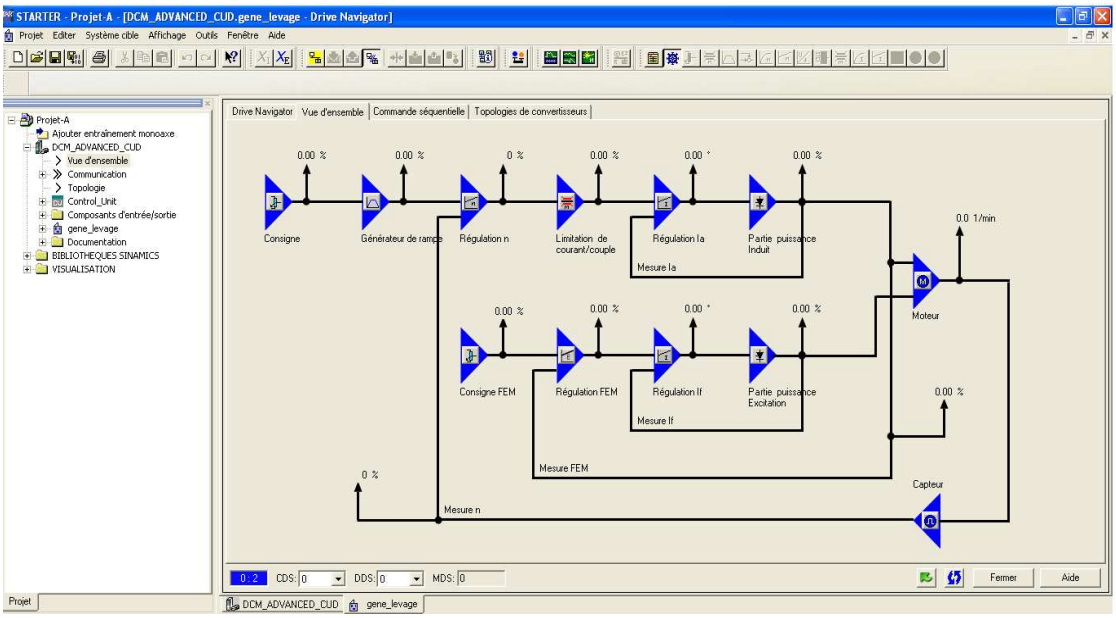


Figure 55 : les boucles de régulation

Au cours de la mise en service d'un entraînement, les boucles de régulation individuelles doivent être optimisées pour réguler tous les paramètres de projet.

Les boucles de régulation à configurer et à optimiser sont au nombre de 3 :

- Régulation courant d'excitation ;
- Régulation du courant d'induit ;
- Régulation de la vitesse.

Cette tâche est prise en charge de deux manières distinctes par SINAMICS DCM.

Mise en service rapide [12]:

Les paramètres de régulation sont calculés à partir des données nominales du moteur et de la partie puissance. Aucune mesure n'est effectuée. Seuls les paramètres de régulation du courant d'excitation, du courant d'induit et de la vitesse sont déterminés. Les paramètres réglés lors de la mise en service rapide permettent, dans la plupart des cas, un fonctionnement sûr de l'entraînement.

Cycles d'optimisation [12] :

Les paramètres de régulation sont déterminés à partir des données nominales du moteur et de la partie puissance, mais aussi de l'évaluation du résultat de mesures. Les paramètres sont déterminés toutes les 4 boucles de régulation. Les paramètres définis à l'aide des cycles d'optimisation peuvent, dans la plupart des cas, être conservés tels quels.

Procédure

- L'entraînement doit se trouver dans l'état de fonctionnement ARRETER

  p50051 = 25 Optimisation de la régulation du courant d'induit

p50051 = 26 Optimisation de la régulation de vitesse

p50051 = 28 Enregistrement de la caractéristique de frottement.

p50051 = 29 Optimisation de la régulation de vitesse pour les entraînements avec mécanique supportant les oscillations

- Le SINAMICS DC MASTER passe à l'état de fonctionnement o7.4 pendant quelques secondes, ensuite à l'état o7.0 ou o7.1, puis attend la spécification de MISE SOUS TENSION et DEBLOCAGE DU FONCTIONNEMENT. Spécifier les ordres MISE SOUS TENSION et DEBLOCAGE DU FONCTIONNEMENT Si l'ordre de mise sous tension n'est pas donné dans les 30 s, l'état d'attente est quitté et le défaut F60052 est généré.
- Le cycle d'optimisation est exécuté une fois l'état de fonctionnement < o1.0 (FONCTIONNEMENT) atteint.
- A la fin du cycle d'optimisation, l'entraînement passe à l'état de fonctionnement o8.0

Détails sur les cycles d'optimisation individuels [12] :

p50051 = 25 Optimisation de la régulation du courant d'induit (durée jusqu'à 1 min)

Le cycle d'optimisation du régulateur de courant peut aussi être exécuté sans charge mécanique couplée, le cas échéant, l'entraînement doit être immobilisé au moyen d'un frein d'arrêt. Les paramètres suivants sont réglés automatiquement :

p50110 Résistance d'induit (Ri)

p50111 Inductance d'induit (Li)

p51591 Facteur de non linéarité de l'inductance d'induit (Li_fac)

p51592 Inductance de commutation d'induit (Lc)

p51594 Inductance d'une bobine de drainage en fonctionnement dodécaphasé (Ld)

p51595 Facteur de réduction de l'inductance de la bobine de drainage (Ld_fac)

p51596 Résistance de la bobine de drainage en fonctionnement dodécaphasé (Rd)

p50155 Gain P du régulateur de courant d'induit (Kp)

p50156 Temps de dosage d'intégration du régulateur du courant d'induit (Tn)

p50051 = 26 Optimisation de la régulation de vitesse (durée minimum 6 s) :

Le paramètre p50236 permet de sélectionner le degré de la dynamique de la boucle de régulation de vitesse, une faible valeur produisant une régulation plus souple.

p50236 doit être réglé avant l'exécution du cycle d'optimisation du régulateur de vitesse, il influence le réglage de p50225, p50226, p50228 et p50540.

Pour l'optimisation du régulateur de vitesse, dans la mesure du possible, la charge mécanique définitive doit être couplée au moteur, étant donné que les paramètres réglés dépendent du moment d'inertie mesuré.

Les paramètres suivants sont réglés automatiquement :

p50225 Gain P du régulateur de vitesse (Kp)

p50226 Temps d'intégration du régulateur de vitesse (Tn)

p50228 Consigne de vitesse Constante de temps de lissage

p50540 Régulateur de vitesse Temps d'accélération

Alors pour le variateur de vitesse du mouvement de levage après passage en ligne ; on lance le cycle d'optimisation de la régulation de courant d'induit et le cycle d'optimisation de la régulation de vitesse pour.

Pour plus de détail sur les types et les méthodes de paramétrage voir ANNEXE A.

VI- Schéma final de la nouvelle installation

Après avoir étudié la régulation existante dans la machine, la substitution de ce système est incontournable vue les différents problèmes qu'il présente. La rénovation du système actuel par la nouvelle technologie en se basant sur la commande par des variateurs de vitesse n'a été justifié qu'après une étude des performances techniques ces différents éléments (moteurs, génératrices, variateurs, commande, protection…). On représente alors le schéma de la nouvelle installation (fig.56) :

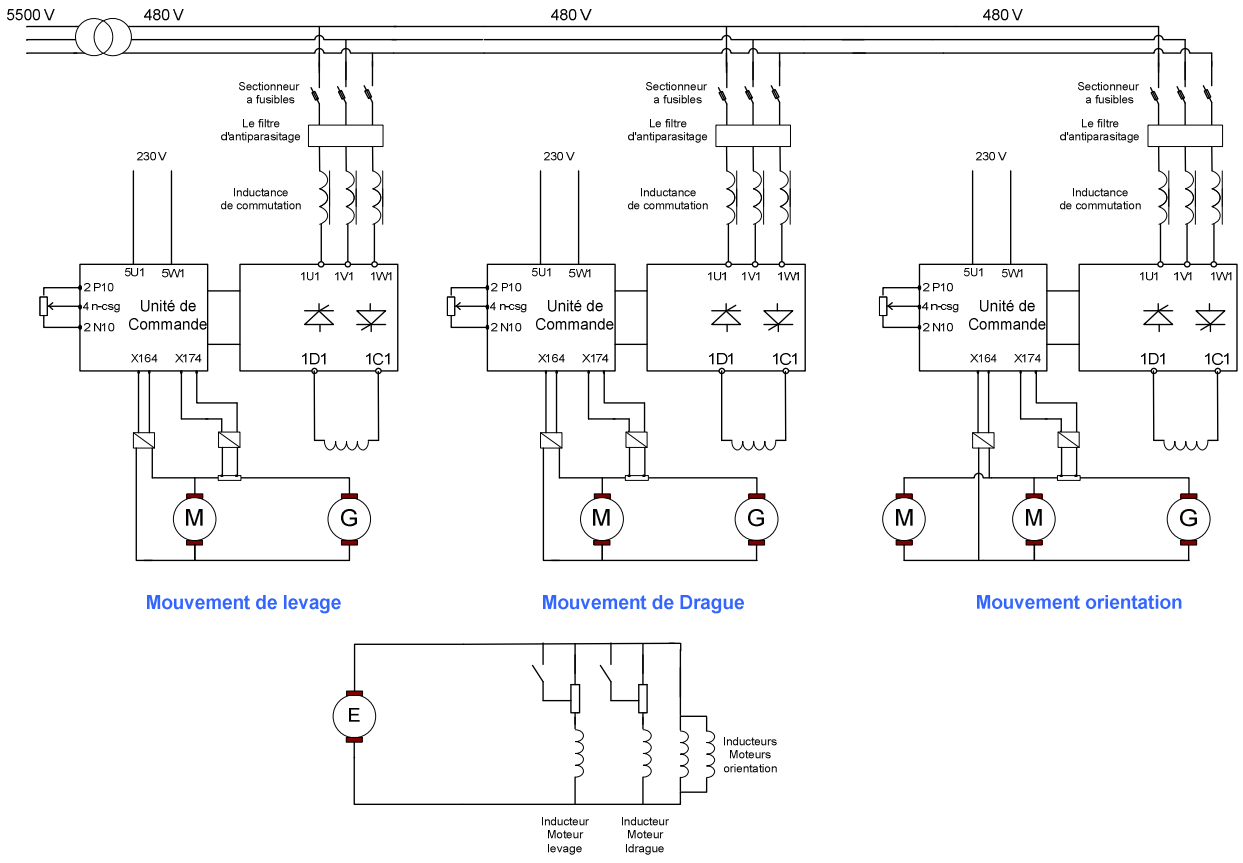


Figure 56 : Schéma simplifiée de la nouvelle installation

VII- Etude de la pièce de rechange du nouveau matériel

1- Procédure

Cette étude a pour objectif d'assurer un bon suivi de la pièce de rechange du nouveau matériel installé dans la 200B2.

Pour ce, il est nécessaire tout d'abord de dresser une liste type, et ce en imputant à chaque entité un code approprié, la désignation du matériel et sa référence donnée par le fournisseur.

2- Actions

Après avoir identifié le besoin en pièces de rechange de la 200B2, on lance DPRF (demande de pièce de rechange et fourniture) en tenant compte d'assurer un bon état de la réserve.

Dans le tableau suivant on explicitera la liste du matériel concerné avec la quantité en

commande (Références, voir ANNEXE C).

PIÈCE DE RECHANGE	Quantité commandée
Dispositif de surveillance des fusibles	**2**
Control Unit (CUD)	**1**
Pupitre opérateur BOP20	**1**
Deuxième CUD	**1**
Power Interface	**1**
Dispositifs de mesure de tension	**1**
Variateur de vitesse Sinamics DC Master	**1**
Inductance de commutation	2
Filtre anti parasite	1
Fusible DC	3
Fusible AC	6

Tableau 19 : Liste du nouveau matériel à commander

VIII- La maintenance du nouveau matériel installé

Afin d'assurer un longue durée de vie du matériel et d'intervenir sur l'équipement avant que celui-ci soit défaillant, une maintenance est requise .Ainsi dans le cadre de la maintenance du nouveau matériel installé à savoir les variateurs de vitesse, nous avons cité un ensemble d'actions.

Pour la maintenance préventive d'un variateur de vitesse, elle n'est pas coûteuse vue qu'elle est réduite en quelques actions, ce qui évoque la performance de cette technologie.

En effet, avant la réalisation de contrôles visuels et de travaux de maintenance que ce soit préventive ou curative, il faut s'assurer que l'alimentation électrique est coupée et verrouillée et que l'appareil est mis à la terre et seules des personnes qualifiées, familiarisées avec les instructions de montage, d'utilisation et de maintenance sont autorisées à effectuer l'entretien de cet appareil.

L'ensemble d'actions rentrant dans le cadre de la maintenance préventive peuvent être résumé en ce qui suit :

- La poussière et les corps solides étrangers sont à éliminer soigneusement tous les 2 mois, puisque l'environnement de travail est un milieu poussiéreux ;
- L'appareil doit être soufflé à l'air comprimé sec (1 bar max.) ou nettoyé avec un aspirateur ;
- les bornes à vis ainsi que les connexions des câbles de protection doivent être resserrées ;
- Au niveau de l'armoire, un dépoussiérage (soufflage et nettoyage) est requis ;
- Ainsi qu'un resserrage et un contrôle de l'état du contacteur et du disjoncteur.

Dans le cadre de la maintenance curative et suite à une situation où on est sensé par un remplacement d'un composant.

IX- Etude budgétaires

1- Evaluation financières des heures d'arrêt de la Machine

Pour la machine 200 B2, chaque défaillance constitue un coincement au niveau de la chaine de production. Et par conséquent des pertes financière liées à l'indisponibilité de la machine qui s'additionnent aux coûts investis pour son remise en état. Pour cela, dans une étape de chiffrage des pertes de la machine , on est sensé d'établir un calcul du coût global des heures d'arrêt de cette machine, lié au système renouvelé, qui est subdivisé en coût directe (coût de la maintenance) et coût indirect (pertes au niveau de production).

2- Coûts de maintenance

Le total des heures d'arrêt de la dragline à cause du système de régulation pendant la période étudiée à partir du 01/01/2013 jusqu'au 01/01/2014 est : 75 H.

Le coût de maintenance de la machine se constitue des coûts liés à :

- La main d'œuvre : se constitue principalement des coûts des personnels engagés à régler la panne et les charges d'atelier. Le coût moyen de la main d'œuvre par heure est : **MO** = 1016Dh/H ;
- Pièces de rechanges : Le coût moyen des pièces de rechange électriques est : **PDR** =522 Dh/H ;
- Equipements : Les prix des équipements loués ou sous traités. Le coût moyen des équipements est : **CE**=13 Dh/H.

D'où le coût total de la maintenance du système de régulation générée par la machine 200B2 durant la période étudiée du 01/01/2013 au 31/01/2014 est détaillé dans le tableau 20 :

	Coût moyen (Dh/H)	Coût total durant la période étudiée (Dh)
Pièces de rechange	522	39150
Main d'œuvre	1016	76200
Equipements	13	975
Total		116325

Tableau 20 : les coûts de maintenance du au système de régulation

3- Pertes de production

Le taux de facturation de la machine 200B2 est : 3825 Dh/H.

Les conséquences des heures d'arrêts de la machine au niveau de la production sont :

- ✓ Pertes d'une heure de production : **PP**=3825 Dh/H ;
- ✓ Pertes total de production annuelle dans la période étudiée est : **PP= 286875Dh.**

En total le coût total des pertes généré par la machines 200B2 se constitue de la somme des coûts de maintenance et les pertes de production :

Coût total des pertes = Coût de maintenance +pertes de production

D'où :

CTP =403200 Dh

L'importance de ce montant, constitue un facteur essentiel qui a poussé à rechercher des solutions adéquates afin d'améliorer la disponibilité de la machine et par conséquent la minimisation de ce montant à travers la minimisation des temps d'arrêt.

4- Estimation du budget de la solution

4.1- Evaluation de l'investissement

Comme première étape vers l'évaluation de l'investissement, nous allons calculer le coût d'investissement qui se compose : du coût des équipements et le coût des travaux

d'installation.

Coût des équipements [9]:

Le tableau 21 ci-dessous détaille le matériel nécessaire pour la réalisation de la solution proposée :

Matériel	Quantité	Prix unitaire (Dh)	Prix total (Dh)
Armoire variateur mouvement de drague	1	74810	74810
Armoire variateur mouvement de levage	1	74810	74810
Armoire variateur mouvement d'orientation	1	74810	74810
Total			**224430**

Tableau 21 : Détail estimatif

Ainsi, le coût des équipements nécessaires est estimé en : 224430 Dh.

Coût des travaux d'installation :

Les travaux d'installation s'effectueront en deux étapes. La première étape consiste à débrancher les panneaux de régulation, le temps estimé pour cette opération est de : 8 heures, ceci en considérant que 4 agents, un technicien haute maitrise et 3 ouvriers qui vont réaliser ce travail.

La deuxième étape consiste à une installation du nouveau matériel, cette opération nécessite un travail de 48 heures (une semaine avec 8 heures de travail par jour), l'équipe chargé de l'installation sera composé de 4 agents (un technicien de maitrise et 3 ouvriers).

Le taux horaire par agent est comme suit :

40 Dh/H pour un agent haute maîtrise ;

30 Dh/H pour un agent petite maîtrise ;

25 Dh/H pour un ouvrier.

Ce qui correspond à un coût des travaux d'installation total qui sera calculé par la

formule suivante :

$$C_{installation} = T*N*CU$$

Où : T : Durée de réalisation par heure (56 heures).

N : Nombre d'agents (1 technicien haute maitrise+3 ouvriers).

CU : Coût unitaire de la main d'ouvre (25 Dh pour un ouvrier et 40 Dh pour un technicien haute maitrise).

D'où : **[(40*56)+(25*56*3]=6440**

$$C_{installation} = \mathbf{6440\ Dh}$$

<u>Coût total d'investissement</u> :

Le coût total d'investissement est donc la somme du coût des équipements et celui des travaux d'installation.

$$CI = C_{équipements} + C_{installation}$$

$$= 224430 + 6440$$

$$= 230870$$

D'où, le cout total d'investissement est estimé en : **CI=230870**

5- Le temps de récupération d'investissement

Les calculs de la rentabilité constituent une étape importante dans le processus d'étude de la faisabilité économique d'un projet. Ils ont pour objet d'évaluer la performance financière attendue d'un investissement. Ils consistent donc à calculer la période de remboursement qui n'est autre que la durée nécessaire pour récupérer le montant investi dans le projet en question.

La durée de récupération du capital (DRC) est calculée en divisant le coût d'investissement (CI) par le coût total des pertes (CTP) multiplié par 365.

$$DRC = \frac{\mathrm{CI}}{\mathrm{CTP}} * 365$$

$$DRC = \frac{230870}{403200} * 365 = 208.99\ jours$$

Alors, le délai de retour d'investissement est estimé en 6 mois et 26 jours.

Conclusion :

Après une étude des différents procédés de variation de vitesse des moteurs à courant continu et une modélisation du système en vue de sa commande, nous avons proposé de remplacer l'ancien système de régulation à base de l'amplificateur statique (Amplistat) par des variateurs de vitesses assurant une performante régulation.

A l'issue de ce chapitre, nous avons effectué un choix des variateurs adéquats répondant au cahier des charges du projet avec un coût estimatif de 230 870,00 Dhs et une durée de récupération de 7 mois.

Conclusion générale

Mon projet de fin d'études, qui a porté sur la rénovation du système de régulation de la dragline 200B2, m'a guidé vers une amélioration de cette machine qui présente de médiocres performances. Ainsi, afin d'élaborer ce travail et de pouvoir atteindre les objectifs fixés, j'étais amené à retenir les étapes suivantes :

- Etude technique de la dragline 200B2, ce qui m'a permis de comprendre le principe de fonctionnement de la machine et de le situer dans un cadre d'étude plus complet ;
- Etude critique des performances de la machine qui m'a mené vers le système critique sur lequel j'ai agi ;
- Proposition des solutions intégrant des technologies numériques à base des variateurs de vitesse électroniques ;
- Etude détaillée d'une solution adoptée suite à une étude comparative entre un ensemble de scénarios. Cette solution repose sur le remplacement du système actuel par des variateurs de vitesse.
- Concrétisation de ce renouvellement par une évaluation économique.

En guise de conclusion, ce projet en partie essentielle aidera le service électrique pour son projet de modernisation d'autres machines et constituera une certaine base à laquelle il s'appuiera pour ses futurs projets.

Bibliographie

[1]: Bucyrus-Erie Company. 1970. Manuel d'instructions BUCYRUS-ERIE, Model 200B Dragline 131711-131712. South Milwaukee-USA.

[2]: Direction des ressources humaines,OCP –SA. 1998. Manuel de formation Etudes des systèmes électroniques de la commande des moteurs de mouvements des machines BUCYRUS.

[3]: Service de Maintenance electrique, Site Sidi-chennane, OCP-SA. 2009-2014. Historiques des arrets de maintenance.

[4]: Lasnier Gilles. 2011. Surete des equipements et calcul de fiabilité. Hermes,Lavoisier

[5]: Service de Maintenance, POINT B, OCP-SA. 2013. Dipenses de la machine 200B2.

[6]: Exploitation Sidi-chennane, OCP-SA. 2014.Données projet exploitation 2014.

[7]: Héng Jean. 2002. Pratique de la maintenance preventive.DUNOD

[8]: Service de Maintenance electrique, Site Sidi-chennane, OCP-SA. 2011-2013. Cahier de depannage.

[9]: Automation-Berlin Kunz GmbH. 2014. Liste des prix :AUB Offer-NAO002-Siemens.

[10]: SIEMENS. 2013. SINAMICS DCM Cabinet Catalog D23.2. PEFC.

[11]: SIEMENS. 2010. SINAMICS DCM Converter Units Catalog D23.1.

[12]: SIEMENS. 2013. SINAMICS DCM Control Module.

Web graphie

www.ocpgroup.ma

www.siemens.com

www.automation-berlin.com

Annexe A

Paramétrage du variateur de vitesse SINAMICS DC MASTER

Types de paramètres :

Les fonctionnalités qu'offre le SINAMICS DC MASTER sont regroupées sous forme de paramètres. Ces derniers sont de deux types :

- Les paramètres d'observation symbolisés par la lettre « r » et qui permettent l'affichage des grandeurs caractéristiques de variateur. Ils sont généralement fixes et ne peuvent subir une modification de la part de l'utilisateur.
  Exemple : le courant moteur actuel est affiché par r50020
- Les paramètres de réglage symbolisés par la lettre « P ». Ils servent à modifier et régler les limites et les consignes du variateur selon le besoin.
  Ces paramètres influencent directement le comportement d'une fonction.
  Exemple : temps de montée est réglé par p50158

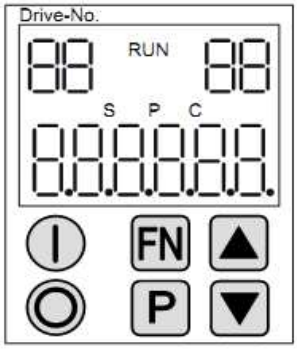
Méthodes de paramétrage :

Pour paramétrer le variateur de vitesse SINAMICS y a trois méthodes :

a. Paramétrage à l'aide de BOP20 (Basic Operator Panel 20)

Généralités sur BOP20 :

Le BOP20 permet de mettre en marche et d'arrêter des entraînements ainsi que d'afficher et de modifier des paramètres à des fins de mise en service. Les défauts peuvent aussi bien être diagnostiqués qu'acquittés.



.

Touche	Nom	Signification
I	MARCHE	Mise en marche des entraînements pour lesquels l'ordre "MARCHE/ARRET1" doit provenir du BOP. Cette touche permet de mettre à 1 la sortie binecteur r0019.0.
O	ARRET	Arrêt des entraînements pour lesquels les ordres "MARCHE/ARRET1", "ARRET2" ou "ARRET3" doivent provenir du BOP. L'actionnement de cette touche permet de remettre à 0 simultanément les sorties binecteur r0019.0, .1 et .2. Lorsque la touche est relâchée, les sorties binecteur r0019.1 et .2 sont remises à l'état "1". **Remarque** : L'action de ces touches peut être définie par paramétrage FCOM (par ex. tous les entraînements existants peuvent être commandés simultanément à l'aide de ces touches).
FN	Fonctions	La signification de ces touches dépend de l'affichage actuel. **Remarque** : L'action de ces touches pour l'acquittement en cas de défaut peut être définie par paramétrage FCOM.
P	Paramètres	La signification de ces touches dépend de l'affichage actuel. Lorsque cette touche est actionnée pendant 3 s, la fonction "Copier RAM vers ROM" est exécutée. L'indication "S" disparaît de l'écran du BOP.
▲	Augmenter	Ces touches dépendent de l'affichage actuel et permettent d'augmenter ou de diminuer les valeurs.
▼	Diminuer	

En générale le pupitre BOP20 permet la visualisation, la conduite et la commande d'un entrainement en assurant les caractéristiques suivantes :

- Affichage d'état

L'affichage d'état de chaque objet entraînement peut être réglé via p0005 et p0006. L'affichage d'état permet de passer à l'affichage des paramètres ou à un autre objet entraînement.

- Modification de l'objet entraînement actif

  – Appuyer sur les touches "Fonctions (FN)" et "Flèche vers le haut" -> Le numéro de l'objet entraînement clignote en haut à gauche.

  – Sélectionner l'objet entraînement souhaité à l'aide des touches du curseur

– Confirmer à l'aide de la touche "Paramètres (P)"

- Affichage des paramètres

  – Appuyer sur la touche "P"

  – Sélectionner le paramètre souhaité à l'aide des touches du curseur

  – Appuyer sur la touche "FN" -> Le paramètre r0000 s'affiche

  – Appuyer sur la touche "P" -> Retour à l'affichage d'état

b. Paramétrage à l'aide du pupitre opérateur AOP30

Pour la conduite et la supervision ainsi que pour la mise en service, le variateur en armoire comporte sur sa porte un pupitre opérateur qui présente les caractéristiques suivantes :

● Ecran LCD graphique rétro-éclairé pour affichage de grandeurs de process en clair et sous forme de barographes

● LED pour la signalisation des états de fonctionnement

● Fonction d'aide avec description des causes et remèdes en cas de défauts et d'alarmes

● Pavé de touches pour la commande d'un entraînement

● Commutation LOCAL/DISTANT pour la sélection du poste de commande (niveau de priorité du pupitre opérateur ou de la borne client/PROFIBUS)

● Pavé numérique pour la saisie numérique de valeurs de consigne ou de paramètres

● Touches de fonctions pour la navigation guidée dans le système de menus

● Concept de sécurité à deux niveaux pour empêcher la modification intempestive des réglages ou par des personnes non autorisées

● Degré de protection IP 54 (à l'état monté)

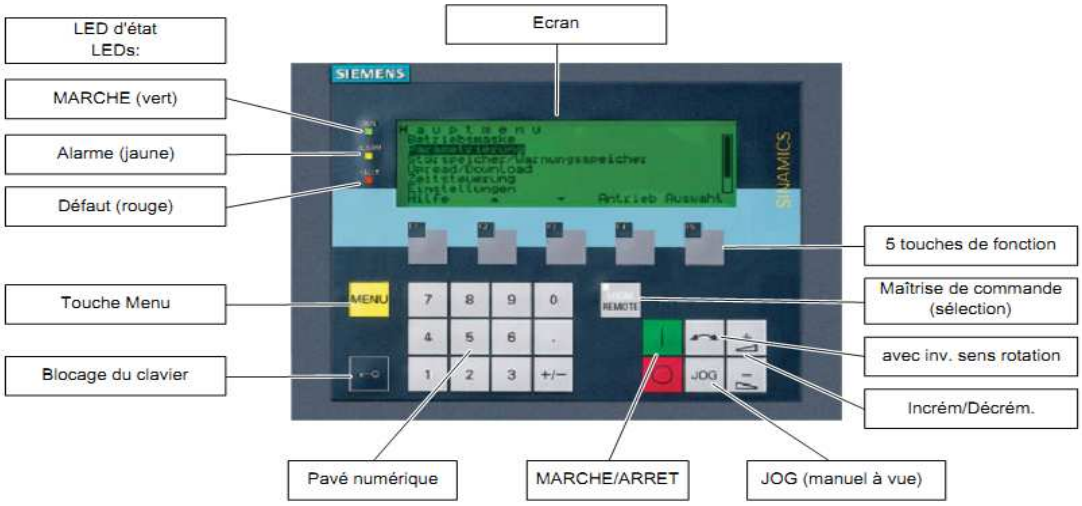
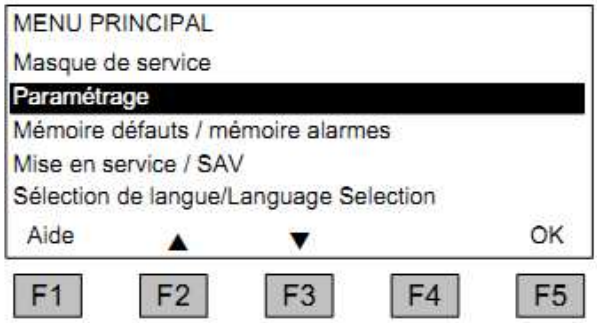


Figure : Composants du pupitre opérateur du variateur en armoire (AOP30)

En générale Le pupitre opérateur sert à :

- paramétrer (mise en service),
- visualiser et suivre des grandeurs d'état,
- commander l'entraînement,
- diagnostiquer les défauts et alarmes.

Toutes les fonctions sont accessibles par un menu. Le point de départ est toujours le menu principal, que l'on peut appeler en toute circonstance au moyen de la touche jaune MENU :



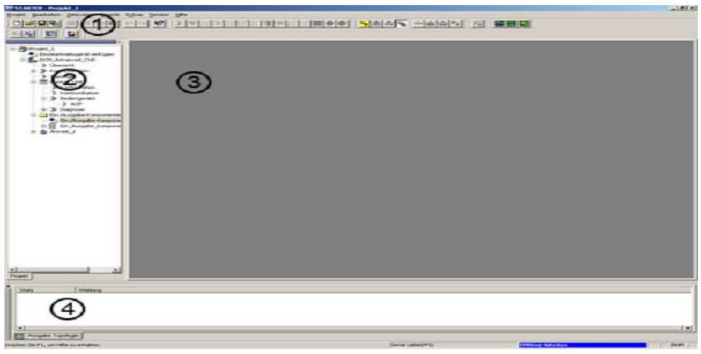
Masque de dialogue pour le menu principal : la touche "MENU" permet d'accéder à ce masque.

Les touches "F2" et "F3" permettent de naviguer entre les différentes commandes du menu principal.

c. Paramétrage à l'aide de l'outil de mise en service STARTER

Le logiciel de mise en service STARTER permet de configurer et de mettre en service les entraînements ou systèmes d'entraînement des séries MICROMASTER et SINAMICS. L'assistant de configuration STARTER vous aide à configurer l'entraînement. Après avoir parcouru l'assistant, vous pouvez passer en mode en ligne et charger les réglages dans le groupe d'entraînement. Pour tout paramétrage particulier, utilisez la boîte de dialogue de l'entraînement concerné.

L'interface utilisateur du logiciel STARTER est divisée en quatre zones **:**



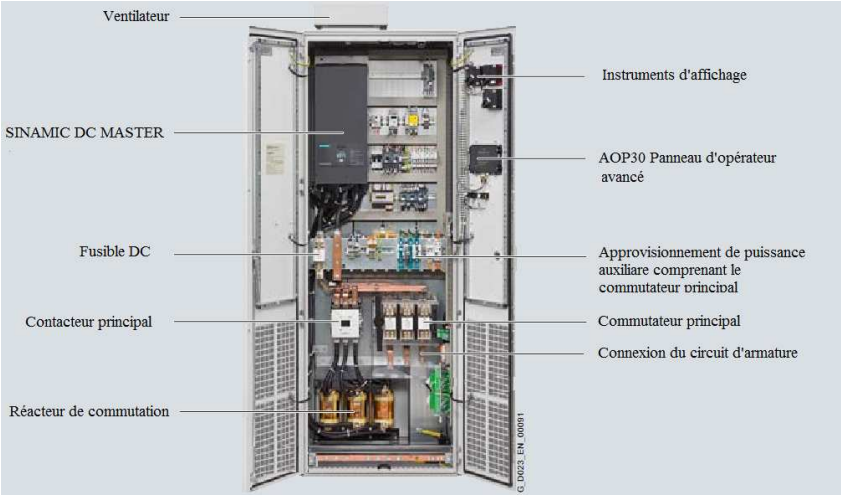
Groupe fonctionnel	Explication
① Barre de raccourcis	Cette zone contient les fonctions les plus fréquemment utilisées accessibles par des icônes.
② Navigateur de projet	Cette zone est réservée à l'affichage des éléments et objets disponibles dans le projet.
③ Zone de travail	Cette zone permet d'effectuer des modifications au niveau des groupes d'entraînement.
④ Affichage de détail	Cette zone sert à l'affichage d'informations détaillées sur les défauts et les alarmes notamment.

Annexe B

Mise en armoire du variateur de vitesse

La version de base de l'armoire du variateur SINAMICS DCM est prêt à se relier et offre les composants standard comme :

- Ligne de connexion avec des terminaux d'entrée
- Commutateur principal ;
- Inductances de commutation ;
- Fusibles ;
- Panneau d'opérateur avancé AOP30 ;
- Connexion de PROFIBUS.



Ligne de connexion

Ligne de connexion pour l'offre d'armature (3 AC) et l'approvisionnement de puissance des auxiliaires (400 V 3 AC) comprenant l'approvisionnement de champ.

Commutateur principal pour le circuit d'armature et la puissance des auxiliaires

Pour des coffrets d'entraînement du courant continu de 15 jusqu'à 850 A, le circuit d'armature est commuté en employant un sectionneur manuellement actionné de charge de fusible et un contacteur principal ; A partie de 950 A les coffrets d'entraînement sont équipés d'un disjoncteur.

Choix et identifications des composantes

La figure suivante illustre le choix des fusibles de phases, des fusibles du circuit armature.

Phase fuses, DC fuse

Unit		3 phase fuses Siemens		1 DC fuse Siemens	
Type	*I/V* A/V	Order No. per unit	*I/V* A/V	Order No. per unit	*I/V* A/V
6RA8013-6DV62	15/400	**3NE1814-0**	20/690	**3NE1814-0**	20/690
6RA8018-6DV62	30/400	**3NE8003-1**	35/690	**3NE4102**	40/1 000
6RA8025-6DV62	60/400	**3NE1817-0**	50/690	**3NE4120**	80/1 000
6RA8025-6GV62	60/575	**3NE1817-0**	50/690	**3NE4120**	80/1 000
6RA8028-6DV62	90/400	**3NE1820-0**	80/690	**3NE4122**	125/1 000
6RA8031-6DV62	125/400	**3NE1021-0**	100/690	**3NE4124**	160/1 000
6RA8031-6GV62	125/575	**3NE1021-0**	100/690	**3NE4124**	160/1 000
6RA8075-6DV62	210/400	**3NE3227**	250/1 000	**3NE3227**	250/1 000
6RA8075-6GV62	210/575	**3NE3227**	250/1 000	**3NE3227**	250/1 000
6RA8078-6DV62	280/400	**3NE3231**	350/1 000	**3NE3231**	350/1 000
6RA8081-6DV62	400/400	**3NE3233**	450/1 000	**3NE3233**	450/1 000
6RA8081-6GV62	400/575	**3NE3233**	450/1 000	**3NE3233**	450/1 000
6RA8085-6DV62	600/400	**3NE3336**	630/1 000	**3NE3336**	630/1 000
6RA8085-6GV62	600/575	**3NE3336**	630/1 000	**3NE3336**	630/1 000
6RA8087-6DV62	850/400	**3NE3338-8**	800/800	**3NE3334-0B** [1]	500/1 000
6RA8087-6GV62	850/575	**3NE3338-8**	800/800	**3NE3334-0B** [1]	500/1 000

Fusible choisis pour les lignes d'alimentation du circuit d'armature : Siemens 3phase fuses : 3NE1820-0.

Fusibles DC choisis pour les lignes d'alimentation des inducteurs de la génératrice : 1DC fuse Siemens 3NE4122.

Dimensionnement des inductances de commutation

Les inductances de commutations sont choisies d'après le catalogue du constructeur selon le variateur que nous avons choisi, elles sont dimensionnées selon le courant dans le circuit d'armature comme illustre l'image ci dessous.

Thermal continuous current 2)	Maximum AC current	Continuous permissible DC current 3)	Commutating reactor			
			4 % per unit voltage drop u_D of the reactor at $I_{th\,max}$ and V_N			
$I_{th\,max}$	$I_{L\,max}$	I_{dn}	400 V	500 V	690 V	750 V
A	A	A	Order No.	Order No.	Order No.	Order No.
Three-phase commutating reactor $I_{th\,max} = 0.8 \times I_{L\,max}$ with inductive load, 50 Hz 3 AC						
16	20	19.6	4EP3601-3DS00	4EP3601-8DS00	–	–
18	22.4	22	4EP3601-4DS00	4EP3602-0DS00	–	–
20	25	24.5	4EP3601-5DS00	4EP3702-0DS00	–	–
22.4	28	27.4	–	4EP3702-1DS00	–	–
25	31.5	31	4EP3701-5DS00	4EP3702-2DS00	–	–
28	35.5	34	4EP3701-6DS00	4EP3801-7DS00	–	–
31.5	40	39	4EP3701-7DS00	4EP3801-8DS00	–	–
35.5	45	43	4EP3701-8DS00	4EP3802-0DS00	–	–
40	50	49	4EP3800-2DS00	4EP3800-4DS00	–	–
45	56	55	4EP3801-6DS00	4EP3901-5DS00	–	–
50	63	61	4EP3800-3DS00	4EP3900-3DS00	–	–
56	71	69	4EP3901-4DS00	4EP4003-1DS00	–	–
63	80	77	4EP3900-2DS00	4EP4000-4DS00	–	–
71	91	87	4EP4002-7DS00	4EP4003-2DS00	–	–
80	100	98	4EP4000-3DS00	4EU2422-8AA00-0AA0	–	–
91	112	112	4EP4002-8DS00	4EU2422-0BA00-0AA0	–	–

Ainsi on aura besoin de 3 inductances de ligne de référence 4EP4002-8DS00

Selection du filtre anti-parasite :

Le filtre adéquat est donné par le constructeur selon le variateur choisis comme illustré dans la figure ci-dessous

List of the recommended radio interference suppression filters from EPCOS

Rated current Radio interference suppression filter	Radio interference suppression filter	Terminal cross-section (mm²) or threaded hole	Weight, approx.	Dimensions (W × H × D)
A	Type		kg	mm × mm × mm
8	B84143-G8 -R 11	■ 4 mm²	1.3	80 × 230 × 50
20	B84143-G20 -R 11	■ 4 mm²	1.3	80 × 230 × 50
36	B84143-G36 -R 11	■ 6 mm²	2.8	150 × 280 × 60
50	B84143-G50 -R 11	■ 16 mm²	3.3	150 × 60 × 330
66	B84143-G66 -R 11	■ 25 mm²	4.4	150 × 330 × 80
90	B84143-G90 -R 11	■ 25 mm²	4.9	150 × 330 × 80
120	B84143-G120 -R 11	■ 50 mm²	7.3	200 × 380 × 90
150	B84143-G150 -R 11	■ 50 mm²	8.0	200 × 380 × 90
220	B84143-G220 -R 11	■ 95 mm²	11.5	220 × 430 × 110
150	B84143-B150 -S ■■	M10	13	140 × 310 × 170
180	B84143-B180 -S ■■	M10	13	140 × 310 × 170
250	B84143-B250 -S ■■	M10	15	115 × 360 × 190
320	B84143-B320 -S ■■	M10	21	115 × 360 × 260
400	B84143-B400 -S ■■	M10	21	115 × 360 × 260
600	B84143-B600 -S ■■	M10	22	115 × 410 × 260
1 000	B84143-B1000-S ■■	M12	28	165 × 420 × 300
1 600	B84143-B1600-S ■■	2 × M12	34	165 × 420 × 300
2 500	B84143-B2500-S ■■	4 × M12	105	200 × 810 × 385

Ainsi le filtre choisi est de référence : EPCOS B84143-G90 –R 11

Connexions moteur

En plus des connexions du l'inducteur de la génératrice pour le champ et l'armature, la version de base inclut également l'alimentation d'énergie pour la fan (ventilateur) du moteur.

Annexe C

Pièces de rechange du nouveau matériel

Repère	Désignation	Référence
1	Power Interface	C98043-A7109
2	Control Unit (CUD)	G00
3	Pupitre opérateur BOP20	6SL3055-0AA00-4CA4
4	Deuxième CUD	G11
5	Dispositif de surveillance des fusibles	6RY1803-0CM02
6	Dispositifs de mesure de tension	C98043-A7117
7	Variateur de vitesse Sinamics DC Master	6RM80286-DV62-0AA0
8	Filtre anti parasite EPCOS	B84143-G90 –R 11
9	Inductance de commutation de commutation Siemens	4EP4002-8DS00
10	Fusible 1DC fuse Siemens	3NE4122
11	Siemens 3phase fuses	3NE1820-0