

**REPUBLIQUE DU SENEGAL  
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR**



**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE**

**Centre de THIES**

**DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE**

**Projet de fin d'études:**

**Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception**

**Titre :** Diagnostic des causes de grillages excessifs des moteurs à la  
Sonacos EID & proposition de solutions

**Auteur :** M. Saïdou Nourou SOW  
**Directeur externe :** M. Aly SARR  
**Directeur interne :** M. Gaskel Gning  
**Co-Directeurs :** M. Souleymane DEME  
M. Omar Niang

**Année Universitaire 2003-2004**

***Mes très sincères remerciements :***

*Après avoir remercié le bon DIEU et prier sur son prophète (SAAS).*

*Je remercie :*

- *M. Boulaye Dado CAMARA, directeur de l'Usine SEID.*
- *M. Aly SARR mon directeur externe.*
- *M. Gaskel GNING directeur interne.*
- *MM. Souleymane DEME, Omar NIANG mes co-directeurs.*
- *A tout le corps professoral du département.*
- *A tous les agents de la Sonacos.*
- *A tous mes camarades de promotion.*

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce modeste travail à :*

*mon regretté père Amadou Mamadou Baïdi SOW*

*ma mère Fatimata Amadou LY*

*mes frères et sœurs*

*mes promotionnaires*

*ainsi qu'à tous ceux qui me sont chers*

## Sommaire

Ce projet de fin d'étude porte sur le diagnostic des causes de grillage excessif des moteurs à la SONACOS EID & à une proposition de solutions.

Il est composé de cinq chapitres :

Le premier chapitre est réservé à la présentation du sujet, de l'Ecole Supérieure Polytechnique et de la SONACOS EID.

Dans le second chapitre, il s'agit de faire une description des moteurs asynchrones triphasés pour bien les connaître avant de les diagnostiquer.

Le chapitre trois est réservé à l'installation et à la protection des moteurs électriques.

Dans le chapitre quatre, nous abordons les régimes de neutre et la protection du matériel.

Le diagnostic des causes de grillage excessif des moteurs est abordé au niveau du chapitre cinq.

Dans l'avant dernière chapitre, nous proposons des solutions pour diminuer les coûts de rebobinage des moteurs électrique.

Le septième et dernier chapitre est réservé à la conclusion et aux recommandations.

## Tables des matières

<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
Chapitre I Introduction et Présentation du sujet.....	1
<b>Introduction:.....</b>	<b>1</b>
<b>I. Présentation du sujet:.....</b>	<b>1</b>
<b>II. Présentation de l'Ecole Supérieure Polytechnique (ESP)....</b>	<b>2</b>
<b>III. Généralités sur la SONACOS (groupe) :.....</b>	<b>3</b>
<b>IV. Présentation de la SONACOS EID .....</b>	<b>3</b>
Chapitre II Description des machines asynchrones.....	5
<b>Introduction :.....</b>	<b>5</b>
<b>I. Constitution.....</b>	<b>6</b>
<b>II. Alimentation, caractéristiques et limites d'utilisation.....</b>	<b>9</b>
<b>III. Méthode et guide de sélection d'une machine asynchrone.....</b>	<b>16</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>18</b>
Chapitre III Installation et protection des moteurs :.....	19
<b>Introduction.....</b>	<b>19</b>
<b>I. Appareillage de commande .....</b>	<b>19</b>
<b>II. Appareillage de protection.....</b>	<b>20</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>25</b>
Chapitre IV : Régime de neutre et protection du matériel....	26
<b>Introduction :.....</b>	<b>26</b>
<b>I. Régime TT.....</b>	<b>26</b>
<b>II. Régime TN :.....</b>	<b>27</b>
<b>III. Régime IT : (Neutre isolé ou impédant) :.....</b>	<b>28</b>
<b>IV. Choix du régime de neutre :.....</b>	<b>29</b>
<b>V. Protection du matériel :.....</b>	<b>31</b>

Chapitre V : Diagnostic des moteurs asynchrones.....	35
<b>Introduction.....</b>	<b>35</b>
<b>I. Diagnostic du Mélangeur 1118B2 :.....</b>	<b>36</b>
<b>II. Diagnostic de la Pompe 881.....</b>	<b>42</b>
<b>III. conditions d'exploitation des moteurs :.....</b>	<b>47</b>
Chapitre VI Proposition de solutions.....	48
<b>Introduction.....</b>	<b>48</b>
<b>I. Solutions techniques :.....</b>	<b>48</b>
<b>II. Solutions pratiques :.....</b>	<b>50</b>
<b>III. Création d'une base de donnée des moteurs grillés :.....</b>	<b>52</b>
Chapitre VII : Conclusion et recommandations.....	56
<b>I. Conclusion :.....</b>	<b>56</b>
<b>II. Recommandations :.....</b>	<b>57</b>
<u><b>Références bibliographiques :.....</b></u>	<u><b>58</b></u>

## **Liste des annexes**

- A. Tableau de choix d'un moteur asynchrone
- B. Diagramme de HISHIKAWA
- C. Coût de rebobinage des moteurs par section (2001 à 2003)
- D. Coût de rebobinage par prestataire (2001 à 2003)

## Liste des figures

<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
Figure 2-1 : Constitution d'un moteur asynchrone à cage.....	6
Figure 2-2 : Stator d'un moteur asynchrone triphasé.....	6
Figure 2-3: Rotor d'un moteur asynchrone triphasé.....	7
Figure 2-4 : Rotor d'un moteur asynchrone à cage.....	8
Figure 2-5 : Couple du moteur asynchrone à double cage.....	9
Figure 2-6 : Couple moteur dans le cas d'un démarrage direct.....	10
Figure 2-7 : Schéma de puissance d'un démarrage étoile –triangle....	11
Figure 2-8 : Schéma de commande d'un démarrage étoile –triangle. 11	
Figure 2-9 : Couple moteur dans le cas d'un démarrage rotorique....	12
Figure 2-10 : Intensité dans le cas d'un démarrage rotorique.....	12
Figure 2-11 : Diagramme de bilan de puissance.....	13
Figure 3-1 : Diagramme de déclenchement des appareils de protection.....	18
Figure 4-1 : Régime de neutre TT.....	23
Figure 4-2 : Régime de neutre TNC.....	23
Figure 4-3 : Régime de neutre TNS.....	24
Figure 4-4 : Régime de neutre IT.....	25
Figure 5-1 : Schéma de commande du moteur 1118B2.....	32
Figure 5-2 : Schéma de puissance du moteur 1118B2.....	33
Figure 5-3 : Démarrage du moteur 1118B2.....	36
Figure 5-4 : Schéma de puissance du moteur P881.....	38
Figure 5-5 : Schéma de commande du moteur P881.....	39



Figure 5-6 : Courant de démarrage du moteur P881.....	41
Figure 6-1 : Entités de la base de données.....	47
Figure 6-2 : Associations de la base de données.....	48
Figure 6-3 : Modèle conceptuel de données.....	48
Figure 6-4 : Modèle relationnel de données.....	48
Figure 6-5 : Tables de la base de données.....	49
Figure 6-6 : relations de la base de données.....	49

## Liste des tableaux

<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
Tableau 4-1 : Régime de neutre.....	22
Tableau 4-2 : Choix du régime de neutre en fonction du type de service.....	25
Tableau 4-3 : Choix du régime de neutre.....	26
Tableau 4-4 : Détermination du courant de court-circuit.....	27
Tableau 4-5 : Réglage des déclencheurs magnétiques.....	28
Tableau 4-6 : Sélectivité total et partiel.....	29
Tableau 5-1 : Données de l'équipement 1118 B2.....	31
Tableau 5-2 : Données de l'équipement P881.....	37

**Liste des symboles :**

Nb : nombre de barres

Cr : couple résistant

Jt : inertie totale ramenée sur l'arbre moteur

Iinst : Courant de déclenchement instantané.

$I\Delta n$  : Courant différentiel résiduel assigné

In : Courant assigné

Ir : Courant de réglage

Im : Courant de fonctionnement

Icu ou Icn : Pouvoir de coupure

$\eta$  : rendement

Tn : couple nominal

Td : couple de démarrage

# Chapitre I Introduction et Présentation du sujet

## Introduction:

La SONACOS EID est une grande société qui produit une très grande variété de produit destiné au marché local mais aussi à l'exportation.

La direction a adopté depuis quelques années une politique de qualité afin de rendre la société plus compétitive. Ainsi elle est certifiée ISO 9002 versions 1994. Elle s'est fixée comme objectif de basculer à la certification ISO 9001 versions 2000. Cette certification suppose en plus de l'assurance qualité, une bonne maîtrise de l'approche processus.

Le taux de grillage des moteurs à la Sonacos EID est très élevé par rapport aux autres établissements du groupe. Même si par ailleurs la SEID est de loin le plus gros établissement du groupe. En plus les coûts de rebobinage par an sont exorbitants.

Les dirigeants de la SEID ont depuis quelques temps décider de trouver une solution à ce problème pour une bonne maîtrise du processus de production. C'est sans doute la raison pour laquelle la direction nous propose de faire une étude des causes de grillage excessif des moteurs et de proposer une solution afin de le réduire autant que possible.

Le plan de travail pour trouver une solution au problème posé commence par une description des machines asynchrones puis d'une étude de l'installation et de la protection des moteurs. Ensuite nous ferons un diagnostic de quelques moteurs choisis dans différentes sections. Enfin nous allons proposer des solutions pour résoudre le problème.

## I. Présentation du sujet:

Comme nous l'avons dit dans l'introduction le nombre de moteurs grillés à la SEID par an dépasse largement la normale. En effet en l'an 2001 la SEID a enregistré 183 moteurs rebobinés soit un coût total de rebobinage de **41 278 822 F CFA**. En l'an 2002 la SEID a enregistré 167 moteurs rebobinés soit un total de **35 936 569 F CFA**.

Le sujet qu'on nous propose consiste donc à faire une étude des causes de grillage excessif des moteurs à la SEID et de proposer une solution.

Les moteurs sont des machines parfaitement bien connues. Elles ont une durée de vie bien déterminée dans des conditions de travail définies à l'avance et avec des possibilités de déclassement pour ces conditions différentes en suivant des normes bien définies. En plus les moteurs sont des machines normalisées qui sont fabriquées avec une gamme très variée et destinées à des situations bien étudiées en laboratoire. Tous ceci met en évidence la nécessité

d'une bonne connaissance des moteurs, d'une bonne maîtrise des instruments de protection, d'une bonne connaissance des équipements sur lesquels ils sont destinés, une bonne connaissance de l'environnement de travail.

Pour qu'un moteur vive longtemps, il faut qu'il soit d'abord bien choisi, ensuite qu'il soit protégé contre les surcharges, les surtensions, les surintensités et les baisses de tension et enfin qu'il soit protégé contre la poussière, l'humidité etc.. La durée de vie d'un moteur peut être affectée par le milieu environnant qui peut être plus ou moins chaud et plus ou moins agressif. Il faudra donc bien connaître l'environnement sur lequel les moteurs sont exploités et trouver un moyen de protéger le moteur contre l'échauffement de ses enroulements dû à l'environnement ou aux conditions d'exploitations.

## **II. Présentation de l'École Supérieure Polytechnique (ESP)**

L'école supérieure polytechnique est née suite à la fusion entre l'ENSUE, l'ENSETP et de l'EPT de THIES.

Il est composé des départements génies MECANIQUE, ELECTRIQUE, CHIMIQUE, CIVIL, INFORMATIQUE.

L'école a pour vocation de former des techniciens supérieurs en deux ans et des ingénieurs de conception en cinq ans. C'est une école qui est directement liée à l'université Cheikh Anta Diop et est dirigé par un directeur, en l'occurrence Le professeur M. Abib NGOM et chaque département est dirigé par un chef de département.

Le département génie mécanique est dirigé par le docteur –ingénieur M. Youssouf MANDIANG.

Après la formation du technicien supérieur qui est sanctionnée par un Diplôme Universitaire de Technologie, le technicien supérieur doit suivre trois années de cours supplémentaire pour obtenir un Diplôme d'Ingénieur de Conception (DIC).

L'ingénieur doit pouvoir faire à la fin de sa formation l'exploitation des systèmes mécaniques, organiser le service de la maintenance d'une entreprise, maîtriser les techniques de la communication et de la gestion d'une entreprise, avoir une bonne maîtrise de l'outil informatique.

### **III. Généralités sur la SONACOS (groupe) :**

La SONACOS (groupe) est une société d'économie mixte créée en 1975. Sa mission est de gérer toute la filière arachidière. Elle achète les graines coques d'arachide qu'elle triture pour en vendre des produits dérivés tels que :

- ✓ Graines décortiquées.
- ✓ Huile brute arachide.
- ✓ Huile raffinée arachide.

Elle produit et commercialise également des huiles végétales raffinées à partir d'huile brute importée, du savon de ménage, et divers autres produits tels que : vinaigre, beurre, pâte dentifrice, parfum, etc..

Elle dispose pour cela de quatre (04) établissements industriels :

SEID, SEIZ, SEIB, SEIL, et d'un établissement à LOUGA chargé du décortilage des graines coques d'arachide de bouche.

La capacité totale de traitement par an est de 920 000 tonnes de graines coques d'arachide.

Débouchés : Marché intérieur et exportation vers l'Europe et l'Afrique.

### **IV. Présentation de la SONACOS EID**

La SONACOS Etablissement Industriel de Dakar ou SEID est spécialisée dans la production d'huiles brutes d'arachides, de tourteaux traités ou blancs (non traités), d'huiles raffinées arachides ou végétales de savon de ménage.

Elle est composée de deux parties : la partie Energie et la partie Huilerie.

#### **1. Energie**

##### **a) Chaufferie**

C'est l'unité qui permet de produire de la vapeur HP.

##### **b) Centrale électrique**

C'est l'unité qui fournit l'énergie électrique nécessaire pour le bon fonctionnement de l'usine. Elle a une capacité de 4 MW. Elle est composée de 2 générateurs de turbines à vapeur : G3 et G4. Elle fournit une tension de 6600V à une fréquence de 50 HZ. Elle dispose d'un système qui permet de basculer sur le réseau de la SENELEC en cas de besoin. L'eau de mer est utilisée pour refroidir les générateurs.

## 2. Huilerie :

### a) Réception graine.

Comme son nom l'indique c'est l'unité où on réceptionne les graines, où on effectue le pesage et le stockage dans des silos.

### b) Décorticage

C'est l'opération qui consiste à séparer la coque et l'enveloppe cellulosique de l'amande riche en huile (35% d'huile).

### c) Trituration :

Elle est composée de trois opérations le broyage, le chauffage, le pressage-filtrage de l'huile.

### d) Extraction

Les écailles provenant de la Presserie contiennent 16 à 20% d'huile. L'extraction va permettre d'extraire d'avantage d'huile.

### e) DETOXICATION / PELLETISATION

#### ▪ Détoxication

La matière sèche provenant de l'extraction contient de l'aflatoxine (de l'ordre de 1200 ppb). La détoxication va nous permettre d'obtenir du tourteau traité avec moins de 20 ppb. On y ajoute du formol pour éviter la formation de cailloux.

#### ▪ Pelletisation

Il consiste à transformer les tourteaux détoxiqués sous forme de pellets (bâtonnets). On y ajoute des nutriments pour améliorer la qualité du produit.

### f) RAFFINAGE

Le raffinage consiste à faire subir à l'huile un certain nombre de traitement pour la transformer en un produit commercial.

### g) SAVONNERIE

C'est l'unité de fabrication du savon.

### h) Conditionnement des huiles (CDH)

C'est l'unité de mise en emballage des huiles produites par le raffinage.

## Chapitre II : Description des machines asynchrones

### Introduction :

Comme nous l'avons dit dans l'introduction une bonne connaissance des moteurs asynchrones est nécessaire avant de procéder à leur diagnostic. C'est la raison pour laquelle nous proposons ce chapitre pour mieux connaître les **moteurs asynchrones**.

**Le moteur asynchrone** est de beaucoup le moteur le plus utilisé dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en œuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité. Son seul point noir est l'énergie réactive, toujours consommée pour magnétiser l'entrefer. Les **machines triphasées**, alimentées directement sur le réseau, représentent la grande majorité des applications : supplantant les machines monophasées aux performances bien moindres et au couple de démarrage nul sans artifice.

#### ▪ **Fonctionnement du moteur asynchrone polyphasé.**

Dans une machine asynchrone le champ tournant est produit par la circulation du courant polyphasés dans les enroulements de l'inducteur, en principe le stator. Si celui-ci comporte deux paires de pôles, la vitesse angulaire de synchronisme (vitesse du champ) est

$$\Omega = \frac{120\omega}{p} \quad N_s = \frac{120f}{p} \quad (2-1) \text{ et } (2-2)$$

L'induit, en principe le rotor, tourne à la vitesse angulaire  $\Omega'$  sous l'effet des forces électromagnétiques dues à l'action du champ tournant sur les courants qu'il induit.

Le champ tourne par rapport au rotor à la vitesse angulaire

$$\Omega'' = \Omega - \Omega' \quad (2-3)$$

Le moteur asynchrone tourne à une vitesse  $N$  légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme. Il est intéressant de faire apparaître l'écart relatif par rapport à cette vitesse appelé glissement :

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{\Omega - \Omega'}{\Omega} \quad (2-4)$$



## I. Constitution

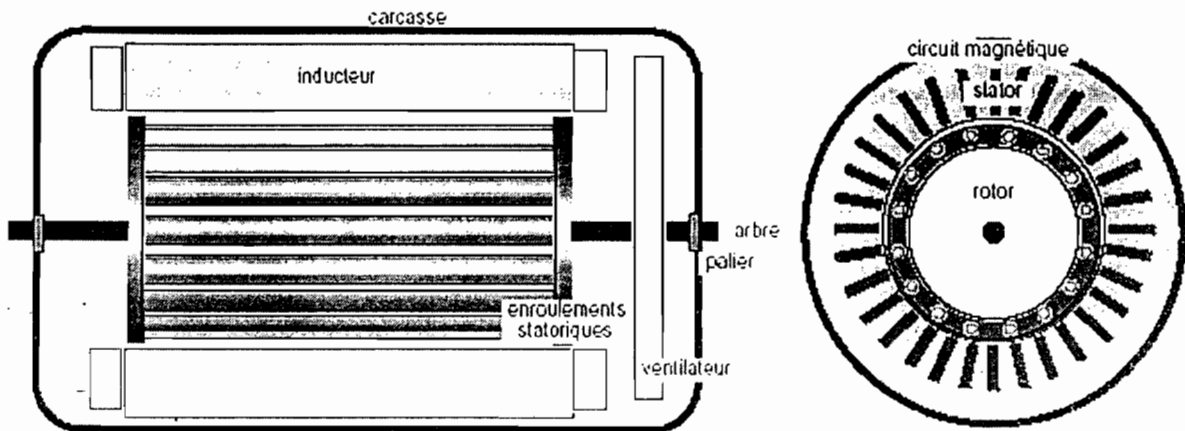


Figure 2-1 : Constitution d'un moteur asynchrone à cage.

Une machine asynchrone est constituée des principaux éléments suivants :

### 1. Stator

Les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor : dans tous les cas le stator reste, au moins dans son principe, le même. Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique statorique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine.

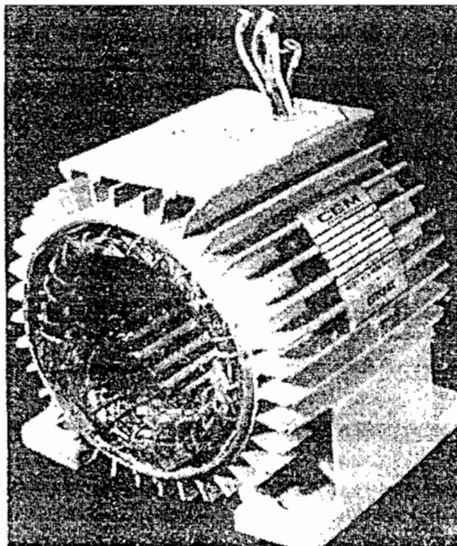


Figure 2-2 : Stator d'un moteur asynchrone triphasé.

## 2. Rotor bobiné

Le rotor comporte des enroulements bobinés à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôle empilés sur l'arbre de la machine. Cet enroulement est obligatoirement polyphasé, même si le moteur est monophasé, et, en pratique, toujours triphasé à couplage en étoile. Les encoches, découpées dans les tôles sont légèrement inclinées par rapport à l'axe de la machine de façon à réduire les variations de réluctance liées à la position angulaire rotor/stator et certaines pertes dues aux harmoniques.

Les extrémités des enroulements rotoriques sont sorties et reliées à des bagues montées sur l'arbre, sur lesquelles frottent des balais en carbone. On peut ainsi mettre en série avec le circuit rotorique des éléments de circuit complémentaires (résistances, électronique de puissance...) qui permettent des réglages de la caractéristique couple/vitesse. Ce type de moteur est utilisé essentiellement dans des applications où les démarrages sont difficiles et nombreux ; en effet les pertes rotor pendant la phase de démarrage valent approximativement  $\frac{1}{2} J\omega^2$  ne sont pas toujours supportées par la cage.

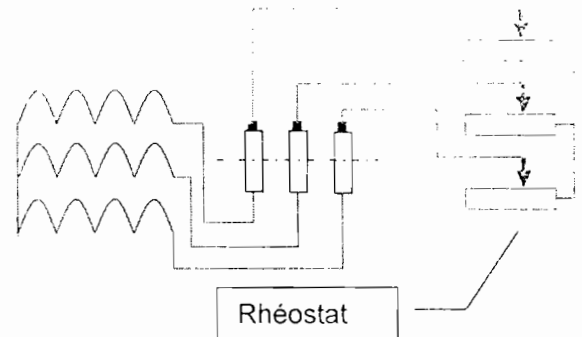
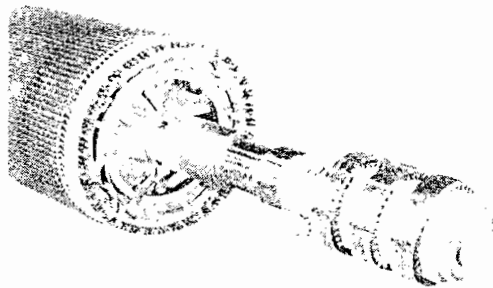


Figure 2-3: Rotor d'un moteur asynchrone triphasé.

## 3. Rotor à cage

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil.

Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par le constructeur. Dans certaines constructions, notamment pour des moteurs à basse tension (par exemple 220/380 V), la cage est réalisée par coulée et centrifugation d'aluminium.

On démontre que, si le nombre de barres est suffisamment grand (soit en pratique,  $N_b \geq 8xp$ ),

la cage se transforme automatiquement en un circuit polyphasé de polarité adéquate.

Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné est par conséquent d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones actuellement en service.

Son inconvénient majeur est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et faible couple). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de cages (rotor à double cage et rotor à encoches profondes).

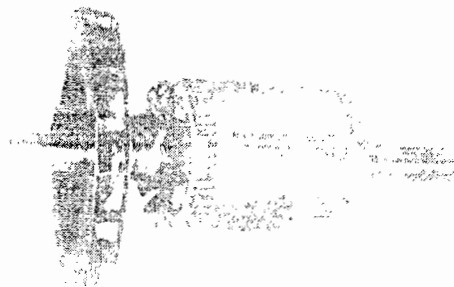


Figure 2-4 : Rotor d'un moteur asynchrone à cage.

#### 4. Rotor à double cage

Le rotor comporte deux cages coaxiales. L'une (fréquemment réalisée en laiton ou en bronze), externe, à résistance relativement élevée, est placée près de l'entrefer. L'autre (en cuivre), interne, de plus faible résistance, est noyée dans le fer. **Au démarrage**, le courant rotorique, de fréquence égale à la fréquence  $f$  du réseau d'alimentation, se situe essentiellement dans la cage externe, du fait de la faible pénétration des courant dans l'épaisseur du rotor (effet de peau). Sa relativement forte résistance réduit l'appel de courant et accroît le couple de démarrage. Au contraire, lorsque le moteur atteint son **régime nominal** de fonctionnement, normalement caractérisé par un faible glissement  $g$  donc une fréquence rotorique basse, la cage interne de faible résistance est parcourue par la presque totalité du courant rotorique ce qui réduit le glissement donc les pertes rotoriques. On peut ainsi, obtenir des couples de démarrage  $C_d$  de deux à trois fois supérieurs à ceux du rotor à simple cage sans trop augmenter le glissement nominal.

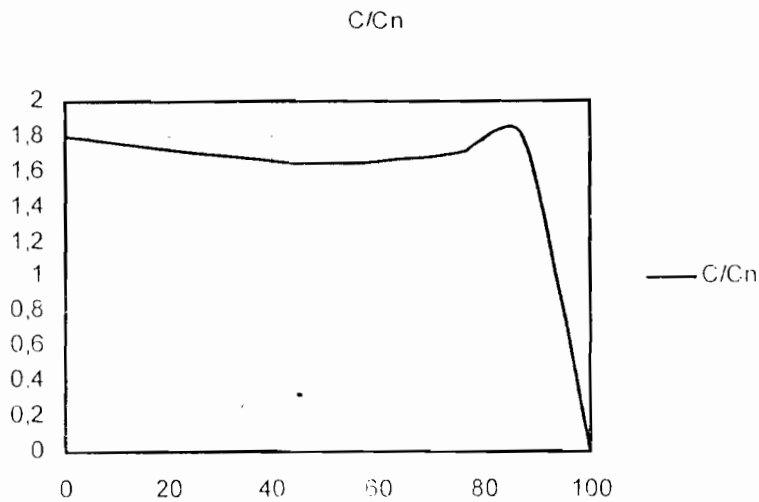


Figure 2-5 : Couple du moteur asynchrone à double cage.

## 5. Bobinage:

Les bobinages sont imprégnés aux vernis phénoliques gras qui, après étuvage, assure une isolation parfaite et une grande étanchéité des têtes de bobines.

Les moteurs peuvent être imprégnés spécialement pour atmosphère humide ou acide, ou pour climat tropical.

Ils peuvent être bobinés, soit avec isolant d'encoche classe B et fil émaillé classe E, soit avec isolant d'encoche classe B classique, dans ce cas avec une diminution de puissance.

## II. Alimentation, caractéristiques et limites d'utilisation

### 1. Démarrage direct

#### a. Caractéristiques en régime permanent

Il semble assez naturel de vouloir raccorder la machine sur le réseau basse tension 220/380 V 50 Hz (deux couplages sont alors possibles : étoile (Y) qui impose une tension simple à chaque enroulement ou triangle (D) qui impose une tension composée à chaque enroulement) mais il ne faut pas perdre de vue que plus la tension d'un réseau est faible, plus sa puissance de court circuit est faible, donc son impédance interne élevée. Cela signifie pour un moteur d'une puissance donnée, que la chute de tension due au courant de démarrage sera d'autant plus importante que son alimentation se fera par un réseau de tension faible. Ces chutes de tension peuvent devenir insupportables pour le réseau comme pour le couple moteur (). Lorsque le couple de démarrage est le critère le plus important, il faudra veiller à limiter la chute de tension

pendant la phase de démarrage à 3% max. Ceci correspond à une diminution du couple de 6 à 8%. Il est souvent intéressant pour des moteurs de forte puissance d'opter pour des tensions d'alimentation plus élevées.

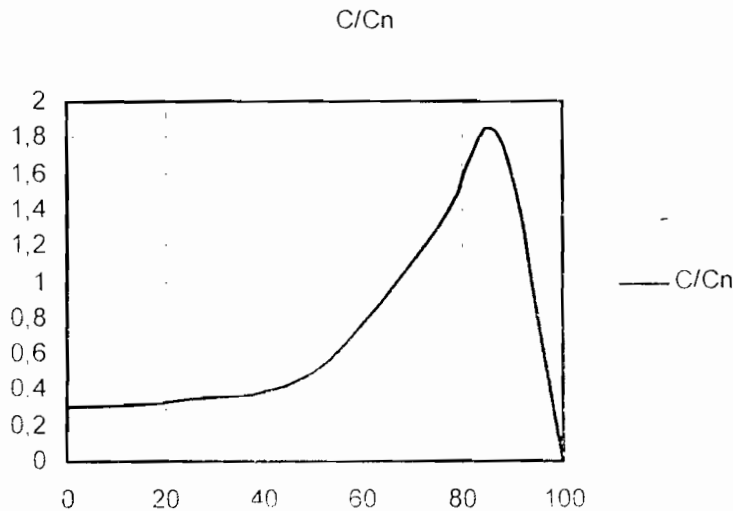


Figure 2.6 : Couple moteur dans le cas d'un démarrage direct.

### b. Caractéristiques en régime dynamique

La caractéristique couple/vitesse en régime établi ne permet pas de voir l'évolution des grandeurs pendant la phase de démarrage. Cette phase transitoire fait apparaître une caractéristique couple/vitesse quelque peu différente.

On retrouve ces ondulations de couple sur le relevé de l'évolution de la vitesse en fonction du temps (). Sur le graphe voici le relevé de l'évolution du courant en fonction du temps.

### 2. Limite du courant de démarrage

Pour les **moteurs à cage** la solution la plus couramment employée consiste à sous alimenter la machine pendant la phase de démarrage. Il faut cependant que la charge mécanique

permette cette sous alimentation car diminuer la tension dans un rapport  $\frac{1}{n}$  entraîne une

diminution du couple dans un rapport  $\frac{1}{n^2}$ . Les solutions techniques sont les suivantes .

- **Démarrage étoile - triangle** : il nécessite la sortie des 6 bornes moteur et n'est envisageable que pour des petites puissances à cause de la brutalité des régimes transitoires lors des changements de couplage. C'est un procédé extrêmement simple et peu coûteux. Le couplage nominal de la machine doit être "triangle".

### Démarrage Etoile-triangle

#### Schéma de puissance

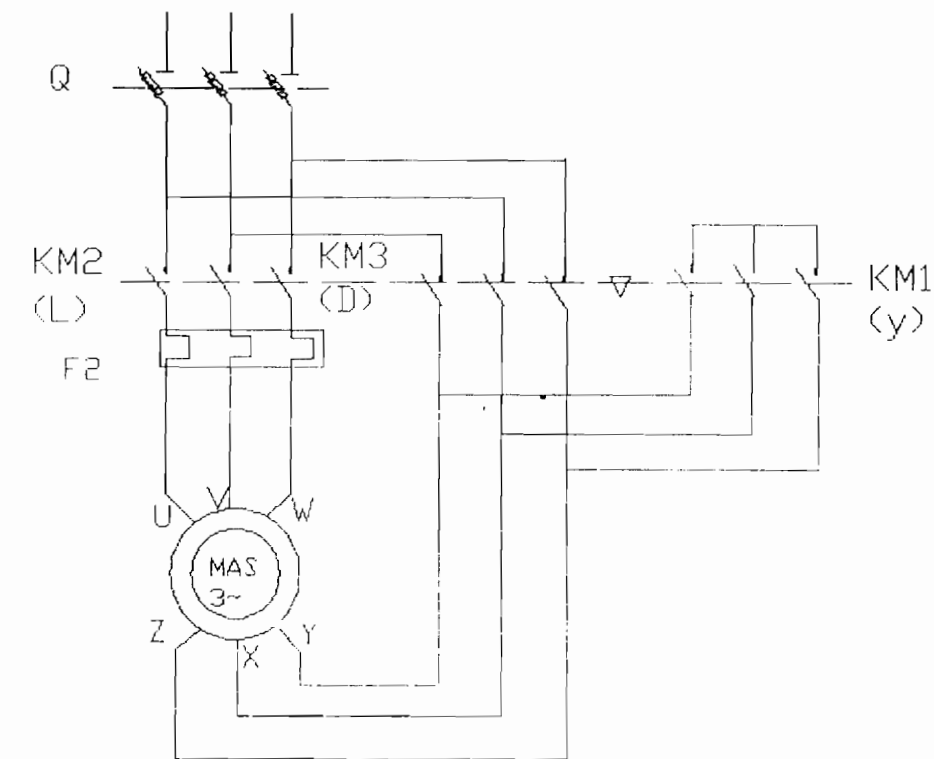


Figure 2-7 : Schéma de puissance d'un démarrage étoile-triangle.

#### Schéma de commande

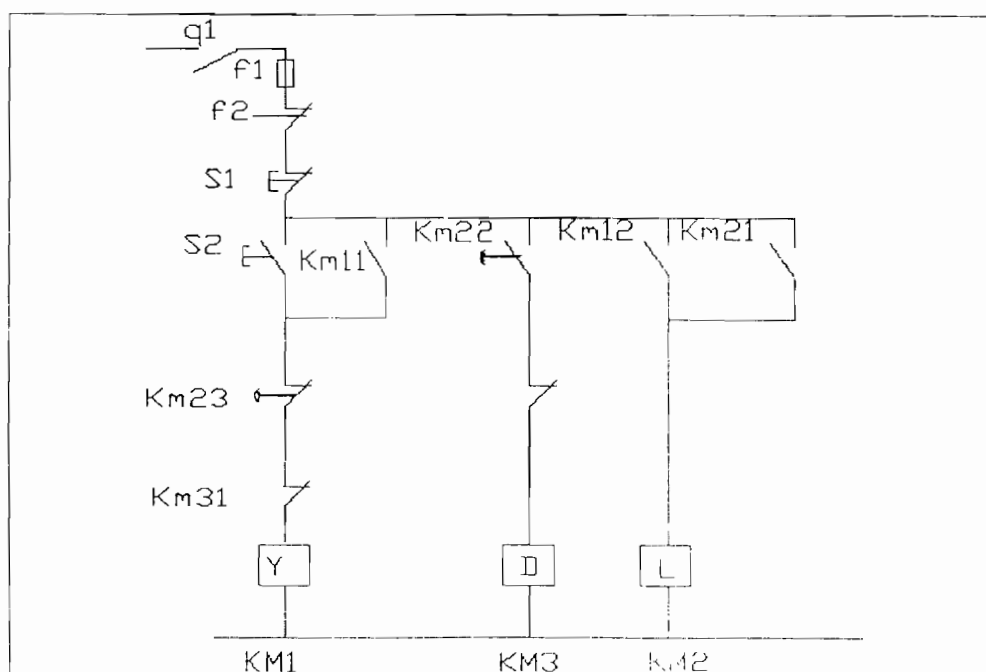


Figure 2-8 : Schéma de commande d'un démarrage étoile-triangle.

▪ Pour les **moteurs à rotor bobiné**, on a la possibilité d'insérer, lors d'un démarrage, des résistances dans le circuit rotorique. Cette solution permet à la fois de diminuer le courant de démarrage et d'augmenter le couple moteur. Les résistances sont de type métallique ou électrolytique à variation continue. Dans ce cas, des solutions électroniques (gradateur rotorique) sont disponibles. Courbes sur le graphe dessous.

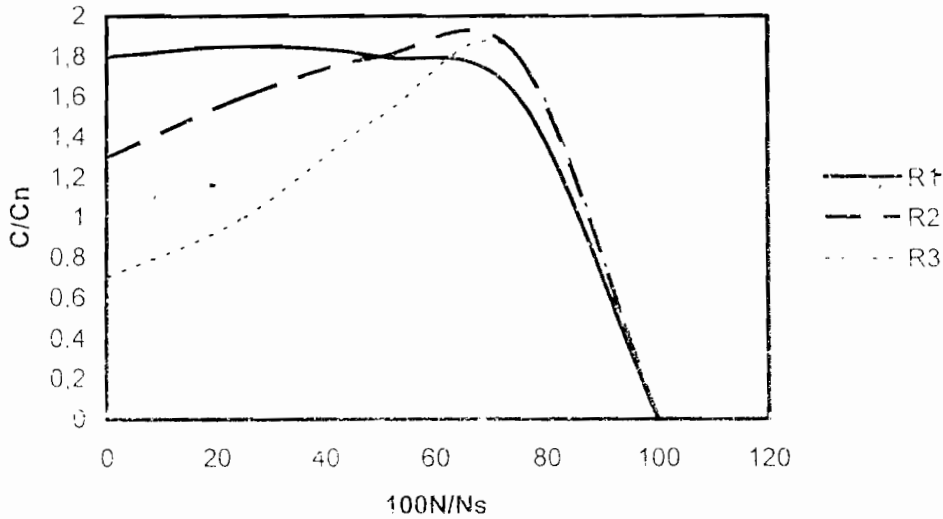


Figure 2-9 : Couple moteur dans le cas d'un démarrage rotorique.

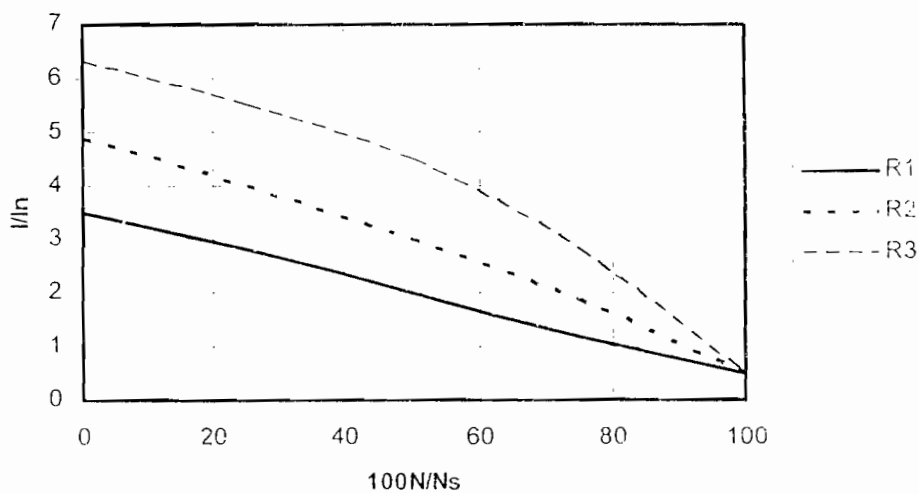


Figure 2-10 : Intensité dans le cas d'un démarrage rotorique.

### 3. Bilan de puissance du moteur asynchrone :

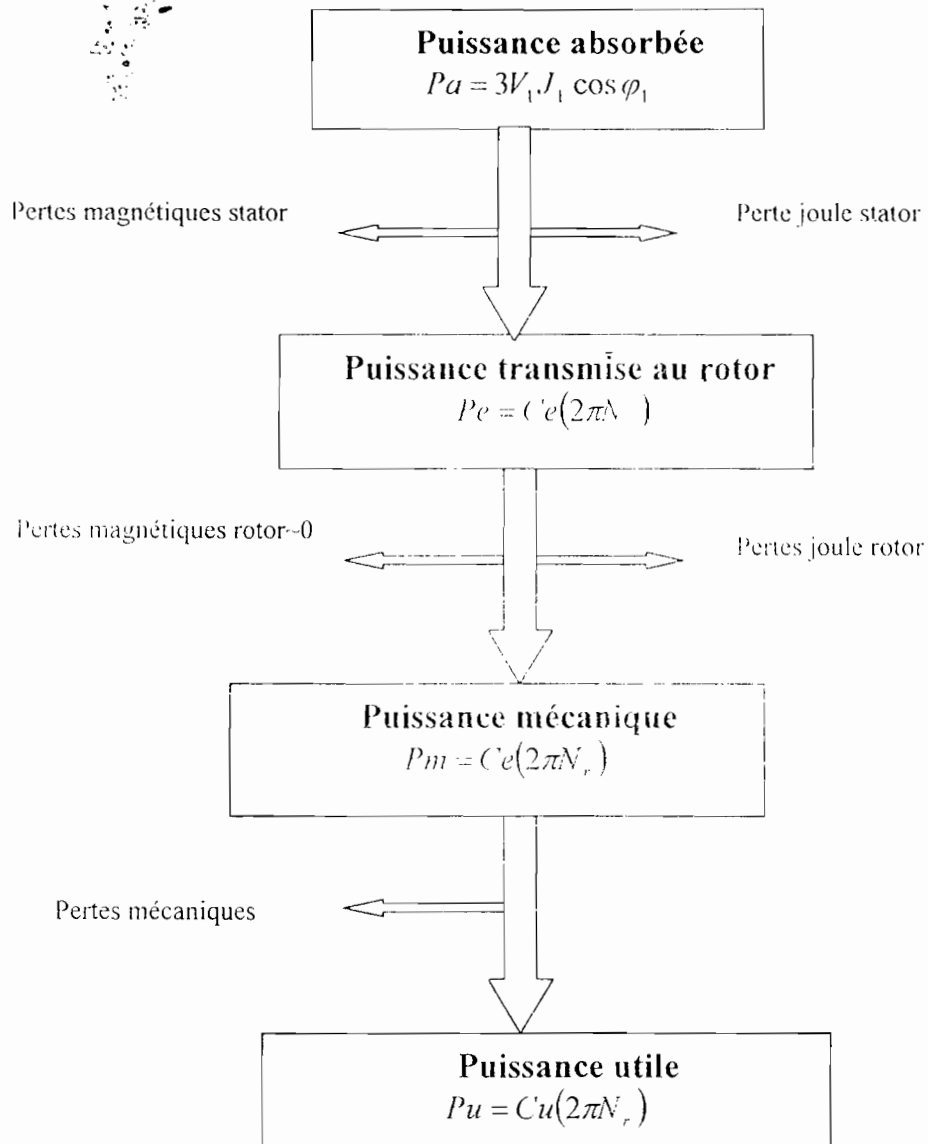


Figure 2-11 : Diagramme de bilan de puissance.

La transmission de puissance au rotor se fait avec perte de vitesse mais à couple constant.

La différence de puissance est perdue par effet Joule dans le rotor.



## 4. Freinage des machines asynchrones

### a) Freinage par contre courant

Ce mode de freinage est obtenu par inversion de deux phases. Il implique un courant absorbé important, approximativement constant et légèrement supérieur au courant de démarrage.

Les sollicitations thermiques, pendant le freinage, sont 3 fois plus importantes que pour une mise en vitesse.

### b) Freinage par injection de courant continu

Dans ce mode de freinage, le moteur asynchrone est couplé au réseau et le freinage est obtenu par coupure de la tension alternative et application d'une tension continue au stator. Les sollicitations thermiques sont approximativement 3 fois moins élevées que pour le mode de freinage par contre-courant.

### c) Freinage mécanique

Des freins électromagnétiques (excitation en courant continu ou en courant alternatif) peuvent être montés à l'arrière des moteurs. Ils peuvent venir en complément d'un freinage électrique pour l'arrêt complet du moteur et son maintien en position sans alimentation.

## III. Méthode et guide de sélection d'une machine asynchrone

Un mauvais choix du moteur peut entraîner des conséquences graves pour le fonctionnement de ce dernier. Pour une application particulière, plusieurs types de moteur remplissent les exigences de la charge. Il faut donc faire un choix. Il arrive très souvent que le constructeur de la charge indique le type de moteur qui convient pour son équipement. Cependant il est très utile de connaître les caractéristiques de construction et d'utilisation des différents types de moteurs d'induction triphasés car ce sont elles qui déterminent le choix.

Le choix d'un moteur asynchrone seul doit permettre l'entraînement de la machine accouplée avec les performances imposées par le cahier des charges à savoir :

- ✓ Le nombre de quadrants de fonctionnement
- ✓ Le couple sur toute la plage de vitesse : caractéristique  $C_r = f(\Omega)$
- ✓ La vitesse désirée
- ✓ L'accélération et la décélération souhaitées

Et le respect des normes pour le réseau d'alimentation énergétique :

- ✓ La puissance de démarrage disponible

- ✓ La consommation d'énergie réactive
- ✓ Le taux d'harmoniques imposé au réseau
- ✓ La compatibilité électromagnétique

1. Il faut donc déterminer la **puissance** nécessaire à notre application au point de fonctionnement

$$Pu = Ce\Omega = Cr\Omega \quad (2-5)$$

2. Il faut également déterminer le **couple** nécessaire à notre application pour les **accélérations et décélérations** :

$$Ce - Cr = Jt \frac{d\Omega}{dt} \quad (2-6)$$

$Jt$  : inertie totale ramenée sur l'arbre moteur

3. Il faut ensuite définir le **type de service** pour le moteur : S1 à S10 (voir Annexe)

4. Il est possible de sélectionner un moteur en fonction de la **puissance** et de la **vitesse** désirée.

Ce choix est valable pour des conditions d'utilisation normales (norme CEI 34-1)

- ✓ Température ambiante comprise entre + 5 et + 40 °C,
- ✓ Altitude inférieure à 1000 m,
- ✓ Pression atmosphérique : 1050 m bar,
- ✓ Mode de refroidissement IC 411,
- ✓ Taux harmonique < 10%,
- ✓ Déséquilibre de tension < 2%,
- ✓ Tension d'alimentation de 230 V / 400 V 50 Hz +/- 10%.
- ✓ Chute de tension maximale entre le point de livraison et le point d'utilisation < 4%,
- ✓ Classe d'isolation F,
- ✓ Degrés de protection IP 55.

Pour des conditions d'emploi différentes, on appliquera le(s) coefficient(s) de correction de la puissance avant de prédéterminer notre moteur.

5. Choisir la protection du moteur en fonction des conditions d'environnement.

Les constructeurs proposent en réalisation standard leurs machines avec des protections de type

IP55X. Des réalisations en IP 23X sont aussi aux catalogues des constructeurs ce qui permet une économie d'environ 15% à 20% sur certains moteurs.

## Conclusion

En parcourant ce chapitre on se rend compte que la description des moteurs asynchrones triphasés a été privilégié. Ceci est du justement à cause du faite que la majorité des moteurs de la Sonacos sont de ce type.

Cette étude nous a permis de connaître le principe de fonctionnement des moteurs, les précautions à prendre en vue d'une bonne exploitation et les conditions à satisfaire pour faire un bon choix.

## Chapitre III Installation et protection des moteurs : Introduction

Il s'agit de définir la nature des défauts contre lesquelles on doit se protéger, puis de choisir l'appareil capable de détecter ces défauts et d'opérer leur suppression.

Les principales perturbations sur une installation électrique se traduisent par

- ✓ les surcharges ;
- ✓ les courts-circuits ;
- ✓ les surtensions ;
- ✓ les baisses de tension.

### I. Appareillage de commande

#### a) Sectionneur

- ✓ Fonction : *séparation* entre la partie amont sous tension et la partie aval d'un circuit.
- ✓ Réalisation : *sectionnement* du circuit A VIDE par coupure de tous les conducteurs de phase et du conducteur de neutre s'il existe (mais PAS du conducteur de protection PE).

⇒ Un sectionneur n'étant pas prévu pour couper un circuit en charge, son pouvoir de coupure ou de fermeture est très faible. NE JAMAIS ACTIONNER UN SECTIONNEUR EN CHARGE.

#### b) Sectionneur porte-fusible

- ✓ Fonction : séparation et protection
- ✓ Réalisation : adjonction de *fusibles* sur les pôles du sectionneur (conducteurs de phase, mais non du neutre).

#### c) Interrupteur-sectionneur

- ✓ Fonction : *interruption*, c'est-à-dire ouverture / fermeture manuelle du circuit EN CHARGE et *séparation*. Exemples d'application : manœuvre, arrêt d'urgence.

#### d) Contacteur

- ✓ Fonction : *commutation* (ouverture / fermeture d'un circuit en charge commandée à distance).
- ✓ Réalisation : *commande à relais électromagnétique*. Le circuit de commande est isolé du circuit de puissance.
- ✓ Paramètres caractéristiques (norme IEC 947, extrait) :

- ❖ Température ambiante :  $-5\text{ °C} / +55\text{ °C}$  (valeurs typiques)
- ❖ Courant thermique conventionnel ( $I_{th}$ ) : valeur du courant qu'un contacteur en position fermée peut supporter pendant 8 heures sans que l'échauffement de la bobine ne dépasse  $90\text{ °C}$ . NB :  $I_{th} > I_e$ .
- ❖ Caractéristiques électriques assignées : valeurs nominales d'emploi du courant ( $I_e$ ), de la tension ( $U_e$ , entre phases en triphasé), de la puissance. Dépendent du facteur de marche et de la catégorie d'emploi.
- ❖ Impédance des pôles :  $Z = R_{résiduelle} + j\omega L_{résiduelle}$  d'un pôle à 50 Hz, pour  $I_e$ .  
 ✓ Critères de choix d'un contacteur :
- ❖ Facteur de marche : rapport  $m$  entre la durée  $\theta$  de passage du courant pendant un cycle de manœuvre et la durée  $T$  de ce cycle ( $\Leftrightarrow m \approx$  rapport cyclique)
- ❖ Fiabilité, ou durabilité électrique (resp. mécanique) : nb moyen de cycles de manœuvre en charge (resp. à vide) que les pôles sont susceptibles d'effectuer sans entretien.
- ❖ Catégorie d'emploi : elle dépend du type de moteur et du service désiré. Tableau : contacteur tripolaire contacteur-inverseur tripolaire.

## II. Appareillages de protection

### 1. Généralités

*Déclenchement des appareils de protection en cas de surintensité*

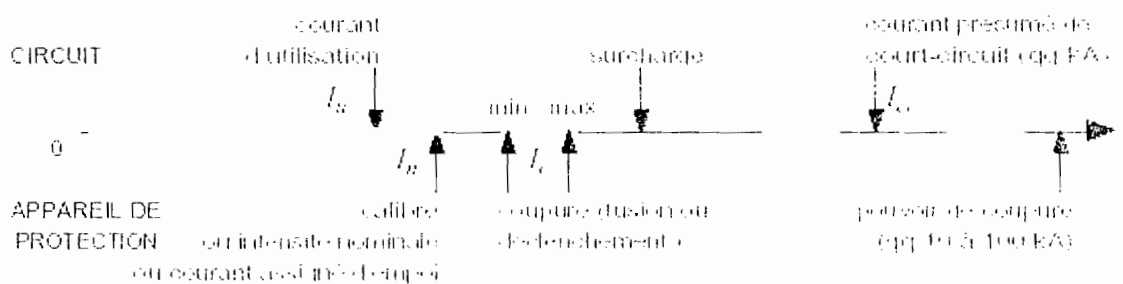


Figure 3-1 : Diagramme de déclenchement des appareils de protection

- ✓ Fonctionnement normal : courant d'utilisation  $\leq$  calibre de l'appareil de protection.
- ✓ Surintensité passagère : démarrage moteur, connexion transformateur, etc. Pas de coupure
- ✓ Surintensité anormale :

- ✓ Surcharge : échauffement thermique, puissance demandée excessive... Coupure après un certain délai.
- ✓ Court-circuit. Coupure immédiate.
- ✓ Coupure : le fonctionnement de l'appareil de protection est assuré pour un courant donné dans un certain intervalle, qui correspond à une plage de réglage dans le cas d'un disjoncteur ou à une zone de fonctionnement indéterminé dans le cas d'un fusible.
- ✓ Pouvoir de coupure : courant maximal qu'un dispositif de protection peut couper (exprimé en kA)

Un courant traverse en général plusieurs appareils de protection en série, dont les calibres sont calculés et répartis en fonction des différents circuits à protéger. En cas de surintensité il y a bonne *sélectivité* lorsque seul l'appareil protégeant le circuit en défaut fonctionne.

Mais il faut aussi assurer la protection de l'installation en cas de fort court-circuit : c'est le rôle de la *filiation*.

- ✓ Sélectivité ampéremétrique : répartition des valeurs de courant d'emploi : calibre AMONT > calibre AVAL (typiquement : cal. amont  $\approx$  2 x cal. aval)
- ✓ Sélectivité chronométrique : échelonnement des temps de déclenchement : délai de coupure AMONT > délai de coupure AVAL (temporisation sur ap. amont)
- ✓ Filiation : utilisation répartie des pouvoirs de coupure des appareils de protection : pouvoir de coupure AMONT > pouvoir de coupure AVAL

## 2. Fusible

Fonction : protection des lignes de distribution ; pouvoir de coupure élevé.

Constitution :

Types :

- ✓ gG (*anciennement dénommés gl*) : usage général. Marqués en noir.
- ✓ aM (*Accompagnement Machine*) : supportent une surcharge passagère (pour démarrage moteur).

Caractéristiques :

- ✓ Courant de non-fusion  $I_{nf}$  : courant qui peut être supporté par le fusible pendant un temps spécifié sans fondre.
- ✓ Courant de fusion  $I_f$  : courant qui provoque la fusion avant la fin d'un temps spécifié.

### a) Disjoncteur à déclenchement électromagnétique (ou déclencheur magnétique)

Fonction : protection contre les courts-circuits :

- ✓ court-circuit impédant ( $10 < I_{cc} < 50 I_n$ ) : souvent provoqué par la détérioration des isolants des conducteurs (bobinages moteur...)
- ✓ court-circuit ( $I_{cc} > 50 I_n$ ) : provoqué par exemple par une erreur de connexion au cours d'une opération de maintenance.

### b) Disjoncteur à déclenchement thermique ; relais thermique :

Fonctions : protection contre les surcharges dues à une anomalie du réseau (surtension...) ou à une cause mécanique (couple résistant excessif au démarrage d'un moteur par exemple).

Exemple : déclenchement à  $7.2 I_n$  entre 2 et 10 s.

- ✓ disjoncteur à déclenchement thermique : coupure directe du circuit principal.
- ✓ relais thermique : coupure du circuit auxiliaire, par exemple le circuit de commande du contacteur principal d'un départ moteur.

### c) Disjoncteur magnéto-thermique

C'est la combinaison d'un disjoncteur thermique et d'un disjoncteur électromagnétique

Caractéristiques :

- ✓ Calibre  $I_n$  : courant nominal ou courant assigné d'emploi
- ✓ Courant de réglage  $I_r$  : réglage du déclenchement thermique : typiquement,  $0,1 I_n \leq I_r \leq I_n$
- ✓ Courant de déclenchement magnétique  $I_d$  En général,  $I_d \approx 10$  à  $20 I_n$
- ✓ Courant de déclenchement instantané  $I_{inst}$  : n'existe que sur les disjoncteurs électroniques.

Il correspond à une coupure immédiate en cas de fort court-circuit.

- ✓ Tension assignée d'emploi, pouvoir de coupure : voir fusibles.

### d) Disjoncteur différentiel (DDR : Dispositif Différentiel Résiduel)

Fonction : protection des personnes en régime TT contre les contacts indirects ; protection complémentaire des équipements.

Fonctionnement : mesure la somme vectorielle des intensités des courants parcourant une ligne de distribution. En fonctionnement normal, on doit avoir :

$$\text{Triphasé avec neutre} \quad \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_N = 0 \quad (3-1)$$

$$\text{Triphasé sans neutre} \quad \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = 0 \quad (3-2)$$

Sur un tore magnétique sont bobinés 2, 3 ou 4 enroulements primaires et un enroulement secondaire connecté à un relais déclencheur. En cas de défaut, la somme des courants induit une fem dans le secondaire qui actionne le relais.

Caractéristiques :

- ✓ Calibre, tension assignée d'emploi, pouvoir de coupure : comme précédemment.
- ✓ Courant différentiel résiduel assigné ( $I\Delta n$ ) : valeur efficace nominale de la somme vectorielle des courants mesurés assurant avec certitude le déclenchement du disjoncteur. En outre, ce déclenchement ne peut avoir lieu pour un courant différentiel résiduel  $\leq I\Delta n / 2$ .

### 3. Protection thermique des machines

La protection des moteurs est assurée par un disjoncteur magnéto-thermique, placé entre le sectionneur et le moteur. Ces équipements de protection assurent une protection globale indirecte des moteurs contre les surcharges à variation lente. Si l'on veut diminuer le temps de réaction, si l'on veut détecter une surcharge instantanée, si l'on veut suivre l'évolution de la température aux "points chauds" du moteur ou à des points caractéristiques pour la maintenance de l'installation, il est conseillé d'installer des sondes de protection thermique placées aux points sensibles.

Bilame à chauffage indirect avec contact et relais associé

Résistance variable R à chauffage indirect avec électronique associé

Thermistance non linéaire type CTP

Sonde platine PT 100

Thermocouple type T ou K à chauffage indirect avec électronique associé

Il faut souligner qu'en aucun cas, ces sondes ne peuvent être utilisées pour réaliser une régulation directe des cycles d'utilisation des moteurs. Tous les équipements de protection peuvent être doublés : le premier équipement servant de préalarme (signaux lumineux ou sonores, sans coupure des circuits de puissance), le second servant d'alarme (assurant la mise hors tension des circuits de puissance).

### Conclusion

Ce chapitre a permis de mieux connaître les appareils de protection : leur principe de fonctionnement et leur mode de réglage.

Après le sinistre de 2002 la SONACOS EID s'est dotée d'un type de protection moderne. En effet au niveau de la presserie et au niveau de certaines machines de l'atelier Extraction la protection des moteurs est assurée par des démarreurs électroniques.



## Chapitre IV : Régime de neutre et protection du matériel

### Introduction :

Les régimes de neutre diffèrent par la liaison du neutre à la terre ou non et par le mode de mise à la terre des masses. Les appareils installés doivent garantir la protection des personnes et celle des biens.

Ils existe trois régimes de neutre qui se distinguent par :

- ✓ la situation du neutre par rapport à la terre ;
- ✓ la situation des masses par rapport à la terre ou au neutre.

Régime	Situation du neutre	Situation des masses
TT	Neutre relié à la terre	Masses reliées à une prise de terre
TN	Neutre relié à la terre	Masses reliées au neutre
IT	Neutre isolé de la terre ou impédant	Masses reliées à une prise de terre

Tableau 4-1 : Régime de neutre

### I. Régime TT

Le premier défaut d'isolement doit être éliminé obligatoirement par le déclenchement d'un dispositif de coupure automatique détectant des courants différentiels.

Cette solution est simple à étudier et à installer, elle ne nécessite pas de surveillance particulière en permanence.

Si les masses sont reliées à la terre en plusieurs points, il est nécessaire de disposer un dispositif différentiel sur chaque départ.

### Régime TT

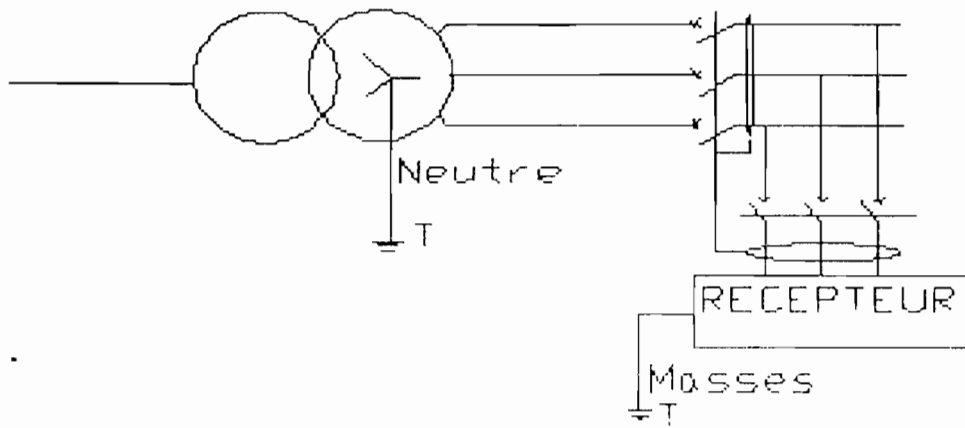


Figure 4-1 : Régime de neutre TT.

## II. Régime TN :

### 1. Régime TNC (distribution 4 fils) :

Le neutre est directement relié à la terre.

Le conducteur neutre et le conducteur de protection sont confondus (PEN). Le régime TNC est interdit si les sections sont inférieures à 10 mm<sup>2</sup> en cuivre et 16 mm<sup>2</sup> en aluminium

### Régime TNC

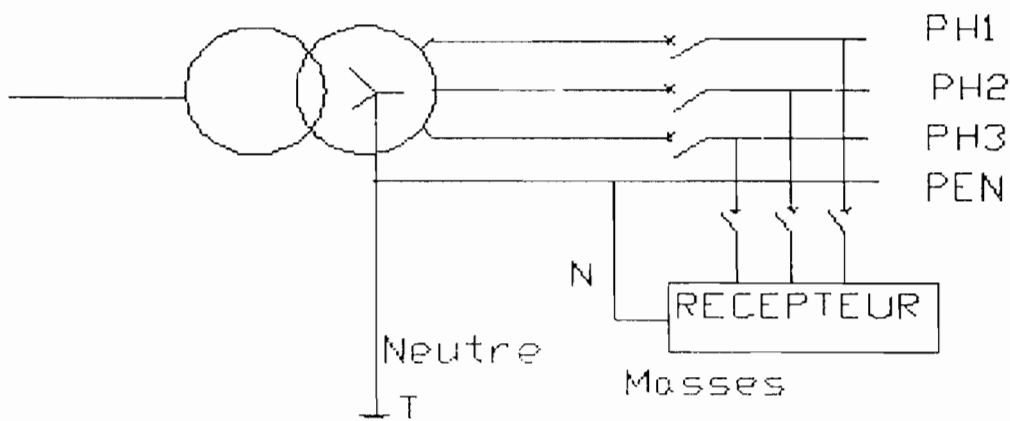


Figure 4-2 : Régime de neutre TNC.

## 2. Régime TNS (distribution 5 fils) :

Le conducteur neutre et le conducteur de protection sont séparés (N et PE). Le conducteur de protection est relié à la terre par de nombreuses liaisons. Le déclenchement est obligatoire au premier défaut d'isolement et l'installation doit être entretenue par un personnel compétent.

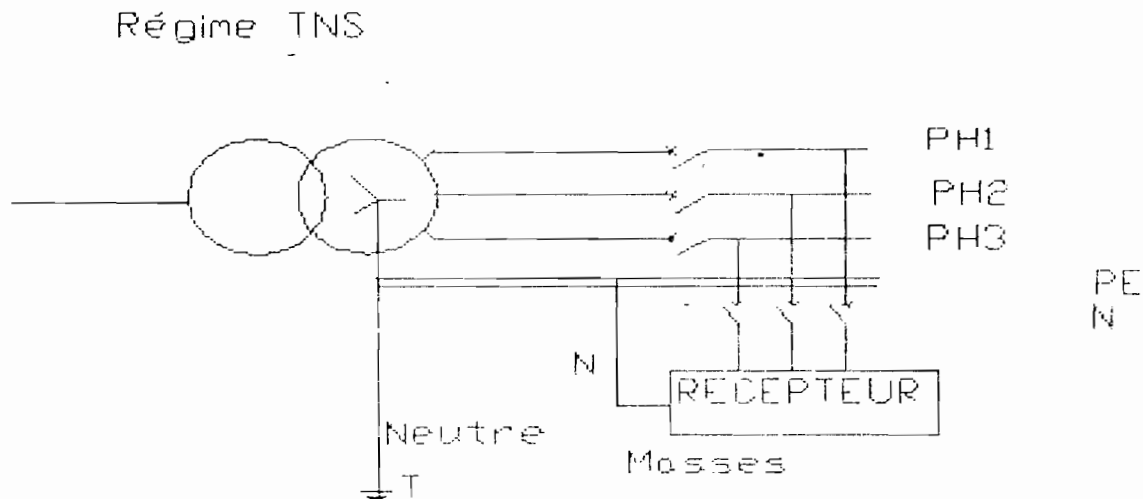


Figure 4-3 : Régime de neutre TNS.

En cas de défaut, les courants sont très importants, les risques d'incendie sont accrus. Les mesures de déclenchement représentent la seule garantie de bon fonctionnement de l'installation.

## III. Régime IT : (Neutre isolé ou impédant) :

Les masses sont interconnectées et reliées à la terre.

La signalisation du premier défaut d'isolement est obligatoire mais le déclenchement n'est pas exigé.

Le déclenchement devient obligatoire au deuxième défaut, par les dispositifs de protection.

Un contrôleur permanent d'isolement (CPI) doit être installé entre neutre et terre.

Cette solution assure une meilleure continuité de service en exploitation mais nécessite un personnel d'entretien qualifié pour la surveillance de l'installation en exploitation.

Ce régime nécessite un bon niveau d'isolement du réseau. Les récepteurs à fort courant de fuite seront alimentés par l'intermédiaire de transformateurs.

Un disjoncteur différentiel, en tête de l'installation est nécessaire si la terre du poste est distincte de la terre des masses.

Régime IT

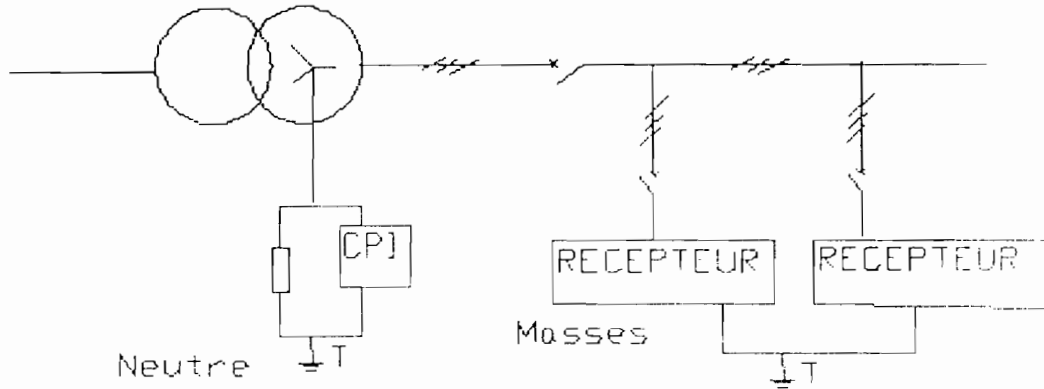


Figure 4-4 : Régime de neutre IT.

**IV. Choix du régime de neutre :**

Le choix d'un régime de neutre dépend :

- ✓ des conditions d'exploitation.
- ✓ de la qualification de l'équipe d'entretien.

Le régime de neutre peut être imposé :

- ✓ TT pour les abonnés domestiques, les petits ateliers et petit tertiaire (réseau public).
- ✓ IT si la continuité de service est exigée (Hôpitaux, bâtiment recevant du public).

<b>CONTINUITÉ DE SERVICE PRIMORDIALE</b>	
oui	non
<b>Neutre isolé (IT)</b>	<b>Neutre isolé (IT)</b> <b>Neutre à la terre (TT)</b> <b>Mise au neutre (TN)</b>
Il constitue le moyen le plus sûr pour éviter au maximum les coupures en exploitation.	Choix définitif après examen : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ des caractéristiques de l'installation</li> <li>▪ du degré de complexité de mise en œuvre de chaque régime.</li> <li>▪ du coût de chaque régime.</li> </ul>

Tableau 4-2 : Choix du régime de neutre en fonction du service.

Type d'installation	Régime de neutre	
	conseillé	Possible
Réseau étendu avec de mauvaises prises de terre des masses	TT	TNS
Réseau situé dans une zone orageuse	TN	TT
Réseau de distribution par lignes aériennes.	TT	TN
Groupe électrogène de secours ou d'appoint	IT	TT
Récepteur à faible isolement (fours, cuisines, soudeuses)	TN	TT
Récepteurs portatifs monophasés (perceuses, meuleuses)	TT ou TNS	
Engins de manutention, palan, convoyeurs	TN	TT
Nombreux auxiliaires, machines outils	TNS	TNC
Locaux comportant des risques d'incendie	IT ou TT	TNS
Chantier (liaison de terre incertain)	TT	TNS
Équipements électroniques, calculateurs	TNS	TT

Tableau 4-3 : Choix du régime de neutre.

## V. Protection du matériel :

### 1. Détermination de l'intensité du courant de court-circuit en un point de l'installation :

Les récepteurs, les points de raccordement peuvent être à l'origine de contacts formant accidentellement un court-circuit. Les courants de court-circuit sont très importants, quelques dizaines de fois l'intensité nominale.

Ces courants sont limités par :

- ✓ la tension de source  $U_0$  (220 ou 380 V),
- ✓ l'impédance du circuit.

Le courant de court-circuit se calcule par :

$$I_{cc} = \frac{U_0}{\sqrt{3}Z} \quad (4-1)$$

$I_{cc}$  en kA

$U_0$  tension entre fils de phase en V

$Z$  impédance des fils de lignes en  $m\Omega$

L'impédance  $Z$  se calcule par :

$$Z = \sqrt{R_t^2 + X_t^2} \quad (4-2)$$

R<sub>t</sub> représente la somme des résistances situées en amont du point dont on veut calculer le court-circuit.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (4-3)$$

X<sub>t</sub> représente la somme des réactances situées en amont du point dont on veut calculer le court-circuit.

$$X_t = X_1 + X_2 + X_3 + \dots \quad (4-4)$$

Partie de l'installation	Valeurs à considérer résistance (mΩ)	Réactance (mΩ)
Réseau amont	$R_1 = Z_1 \cos\phi 10^{-3}$ $\cos\phi = 0.15$ $Z_1 = \frac{I^2}{P}$ avec P=P <sub>cc</sub> du réseau amont en MVA	$X_1 = Z_1 \sin\phi 10^{-3}$ $\sin\phi = 0.98$
Transformateur	$R_2 = \frac{W_c \times U^2}{S^2} 10^{-3}$ W <sub>c</sub> Pertes cuivres en (W) S= puissance apparente du transformateur (kVA)	$X_2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2}$ $Z_2 = \frac{U_{cc}^2 \times U^2}{100 \times S}$ U <sub>cc</sub> tension de court-circuit du transformateur (en %)
Câbles ou barres	$R_3 = \rho \times \frac{L}{S}$ $\rho = 2.25 \cdot 10^{-8} \Omega m$ (Cu) $\rho = 3.6 \cdot 10^{-8} \Omega m$ (Al); L (en m); S (en mm <sup>2</sup> )	$X_3 = 0.08 L$ (câble triphasé) $X_3 = 0.12 L$ (câble uni.) $X_3 = 0.15 L$ (barre) L (m)
Disjoncteur	R <sub>4</sub> négligeable	X <sub>4</sub> négligeable

Tableau 4-4 : Détermination du courant de court-circuit.

Il est possible d'évaluer le courant de court-circuit aval en fonction du courant de court-circuit en amont. Il suffit de connaître :

- ✓ la longueur, la section et la constitution du câble aval.
- ✓ l'intensité du court-circuit amont

## 2. Caractéristiques fondamentales :

Courant assigné  $I_n$  : valeur maximale du courant permanent que peut supporter le disjoncteur.

Courant de réglage  $I_r$  : courant maximal que peut supporter le disjoncteur, sans déclenchement. Il peut être réglable de  $0,7 I_n$  à  $I_n$  pour les déclencheurs thermiques, de  $0,4 I_n$  à  $I_n$  pour les déclencheurs électroniques.

Courant de fonctionnement  $I_m$  : courant qui provoque le déclenchement pour les fortes surintensités. Il peut être fixe ou réglable et peut varier entre  $1,5 I_n$  et  $20 I_n$ .

Pouvoir de coupure  $I_{cu}$  ou  $I_{cn}$  : plus grande intensité de courant de court-circuit (présupposé) qu'un disjoncteur peut interrompre sous une tension donnée. Il s'exprime en kA efficace.  $I_{cu}$  est le pouvoir de coupure ultime des disjoncteurs à usage industriels.  $I_{cn}$  est le pouvoir de coupure assigné des disjoncteurs à usage domestique.  $I_{cs}$  est le pouvoir de coupure de service qui est un pourcentage d' $I_{cu}$ .

Pouvoir de limitation : c'est la capacité d'un disjoncteur à ne laisser passer qu'un courant inférieur au courant de court-circuit présumé.

### Déclencheurs :

Le déclencheur permet l'ouverture des pôles du disjoncteur lors d'un défaut (court-circuit, surcharge). Il est de nature magnétothermique ou électronique. Ce dernier cas permet une plus grande précision et un réglage plus souple.

### Courbes de déclenchement des magnétothermiques :

Type de Réglage du déclencheur magnétique selon CEI 947.2

courbe	Réglage du déclencheur magnétique selon CEI 947.2		Application
	mini	maxi	
B	$3,2 I_n$	$4,8 I_n$	grandes longueurs de câbles
C	$7 I_n$	$10 I_n$	récepteurs classiques
D ou K	$10 I_n$	$14 I_n$	fort appel de courant
MA		$12 I_n$	démarrateur de moteur
Z	$2,4 I_n$	$3,6 I_n$	électronique

Tableau 4-5 : Réglage des déclencheurs magnétiques.

## Sélectivité :

C'est la coordination des disjoncteurs de telle sorte qu'un défaut survenant en un point quelconque de l'installation, soit éliminé par le disjoncteur placé immédiatement en amont du défaut et par lui seul.

Le choix suivant permet une sélectivité totale du point de vue des surcharges et des faibles courts-circuits.

En revanche, la sélectivité n'est que partielle pour les courts-circuits élevés. En effet pour des courts-circuits au point Z supérieurs à 500 A, les deux disjoncteurs B et C peuvent s'ouvrir.

Aval \ Amont	NS100N-TM-D-63A	NS250L-TM-D-250A
C60N-C-25A	0,5 kA	Sélectivité totale
NS100N-TM-D-63A		Sélectivité totale

Tableau 4-6 : Sélectivité total et partiel.

## Filiation :

La filiation est une technique d'association qui permet d'utiliser le pouvoir de limitation des disjoncteurs, de façon à installer en aval des disjoncteurs à pouvoir de coupure réduit, afin de diminuer le coût de l'installation.

## Conclusion :

La connaissance de ces différents régimes de neutre est indispensable avant de passer au diagnostic des équipements. Car le régime de neutre joue un rôle important dans la protection des biens et des personnes contre les défauts de premier et second ordre.



## Chapitre V : Diagnostic des moteurs asynchrones

### Introduction.

La machine asynchrone est la plus fiable des machines électriques, la plus robuste de sa génération, la moins coûteuse à la fabrication. Elle est la machine de l'avenir. Cependant, il n'est pas exclu qu'il peut y apparaître des défauts tant au niveau du stator que du rotor.

La défaillance est définie par la norme comme une altération ou une cessation de l'aptitude d'un équipement à accomplir la fonction qu'il doit remplir. La défaillance peut être partielle ou total.

Dans le chapitre 2, nous avons vu la description des moteurs asynchrones ce qui nous a permis d'avoir une bonne connaissance des moteurs. Le chapitre 3 nous a permis de voir les conditions que doivent remplir les appareils participant à l'installation et à la protection des moteurs électriques. Ce chapitre va se baser sur ces deux précédents pour traiter le diagnostic des moteurs asynchrones.

Il s'agit de faire le diagnostic d'un équipement en marche. Nous allons choisir un moteur, relever toutes les informations le concernant : à savoir l'identification, le type de protection, mode de démarrage, l'alimentation, le type de couplage et le type d'environnement où il est exploité. Ensuite nous allons voir si la section des câbles a été bien choisie, si les protections sont adaptées et bien calibrées et enfin si les moteurs sont bien choisis.

Nous terminerons par une étude de l'influence de l'environnement sur les caractéristiques du moteur.

# I. Diagnostic du Mélangeur 1118B2 :

## 1. : Présentation des données

<b>Sonacos EID</b> Dakar	<b>Moteurs électriques :</b> Mélangeur 1118B2		<b>N° Moteur :</b> 51-001		
<b>Marque:</b> LEROY SOMER		<b>Puissance(kw):</b> 18.5			
<b>Modèle:</b> Normal-antidéflagrant:		<b>Vitesse(tr/mn):</b> 1460			
<b>Rotor:</b> illisible		<b>Tension d'alimentation (volt):</b> 220/380			
<b>Type:</b> FLS 160 L1		<b>Intensité nominal (A) :</b> 66.5/38.5			
<b>2° Fab:</b> illisible		<b>T12</b>	<b>T13</b>	<b>T23</b>	
		396.5	395.4	395.3	
<b>Type de protection :</b>					
<b>Sectionneur :</b>		<b>Relais thermique :</b>		<b>Contacteur :</b>	
45/4 180A		LR2 D33 Plage 37 à 50 A Réglé à 37 A		LC1 D50	
<b>Mode de démarrage</b>					
<b>Etoile -triangle</b>	<b>Direct :</b>	<b>Par résistances statoriques :</b>		<b>Démarreur Alistart</b>	
non	non	non		LC1 D80 oui	
<b>Alimentation :</b>					
<b>PH 1</b>		<b>PH 2</b>		<b>PH 3</b>	
<b>Intensité(A)</b>	<b>Section(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Intensité(A)</b>	<b>Section(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Intensité(A)</b>	<b>Section(mm<sup>2</sup>)</b>
5	25	16.5	25	19	25
<b>Type de couplage</b>					
<b>Etoile</b>			<b>Triangle</b>		
oui			non		
<b>Environnement :</b>					
<b>Température ambiante :</b> >50°C			<b>Type de milieu :</b> Chaud et humide		
<b>Protection : IP et IK</b> illisible		<b>Refroidissement :</b> Par ventilation		<b>Fixation :</b> A bride	
<b>Observation :</b> Les moteurs sont dans un milieu chaud et humide et sont complètement recouvert d'huile. Ce sont des moteurs spéciaux tropicalisés.					

Tableau 5-1 : Données de l'équipement 1118 B2.

## 2. Schéma de commande :

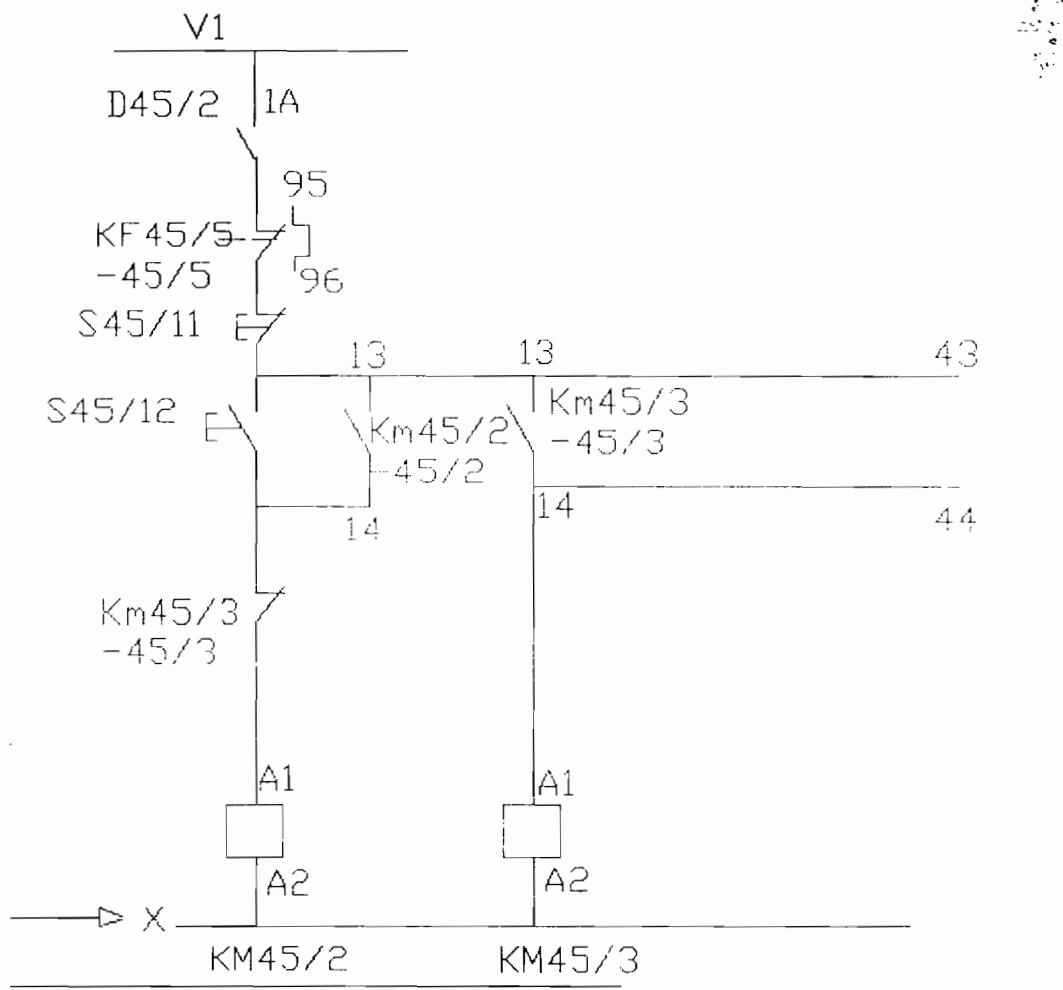


Figure 5-1 : Schéma de commande du moteur 1118B2.

### 3. Schéma de puissance :

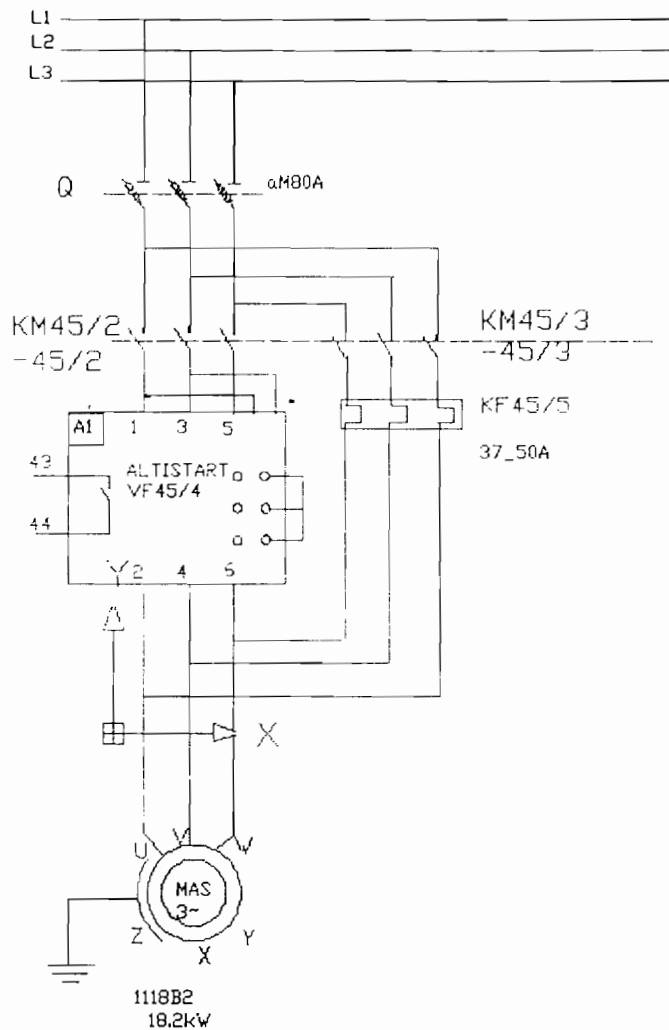


Figure 5-2 : Schéma de puissance du moteur 1118B2.

### 4. Diagnostic de l'installation du moteur :

$$P = UI\sqrt{3} \cos \varphi \quad \longleftrightarrow \quad I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi} \quad (5-1) \text{ et } (5-2)$$

On a  $U=396.5V$ ,  $\cos\varphi=0.86$ ,  $P_u=18\ 500\ W$ ,  $\eta=0.89$

$$\longrightarrow \quad I_a = \frac{18500}{396.5 * \sqrt{3} * 0.86 * 0.89} = 35.19.1$$

Alors  $I_a=35.19A$

- **En cas de surcharge:**

Les surcharges mécaniques et les défauts sur le réseau d'alimentation sont les causes les plus fréquentes des surcharges supportées par les moteurs. Ils provoquent une augmentation importante du courant absorbé par les moteurs, qui conduit à un échauffement excessif du moteur (réduisant ainsi fortement sa durée de vie et pouvant entraîner sa destruction).

Le relais thermique (**LR2 D33** plage **37-50 A** réglé à **37A**) est utilisé comme moyen de protection.

Nous avons vu dans le chapitre précédent qu'un dispositif de protection contre les surcharges devrait satisfaire au deux conditions suivantes :

$$\checkmark \quad I_B \leq I_n \leq I_r$$

$$\checkmark \quad I_2 \leq 1.45 I_r$$

$$\text{Or ici } I_n = \frac{18500}{380 * \sqrt{3} * 0.86 * 0.89} = 36.72 A$$

$$\text{Or } I_r = 37 A$$

Le relais thermique est bien calibré. Le moteur est bien protégé contre les surcharges.

- **En cas de court-circuit :**

Un court-circuit est une mise en relation direct de deux points qui sont à des potentiels électriques différents.

Un court-circuit se traduit par une augmentation brutale du courant qui peut atteindre en quelques millisecondes, une valeur égale à plusieurs centaines de fois le courant d'emploi.

Pour l'équipement en question, la protection contre les courts-circuits est assurée par un fusible type **aM 80 A**.

Les conditions suivantes doivent être satisfaites :

$$\checkmark \quad I_B \leq I_{nf}$$

$$\checkmark \quad P_{dc} > I_{cc}$$

$$I_B = I_a = 35.19 A$$

$$I_{nf} = 80 A$$

$$I_{nf} > I_B$$

- **Calcul du courant de court-circuit**

$$U_0 = 380 V$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{avec} \quad (5-3)$$

$$R = \rho \times \frac{l}{S} \quad (5-4)$$

$$R = 2.25 \times 10^{-8} \times \frac{50}{25 \times 10^{-6}} = 45 \times 10^{-3} \Omega$$

$$X = 0.12 \times L$$

$$X = 0.12 \times 50 = 6 \times 10^{-3} \Omega$$

$$Z = \sqrt{(45 \times 10^{-3})^2 + (6 \times 10^{-3})^2} = 0.0454 \Omega$$

$$I_{ca} = \frac{U_n}{Z}$$

$$I_{ca} = \frac{380}{0.0454} = 8370.044 A$$

Or Pdc de aM80A est de 100 kA, alors Pdc > Icc

Le circuit est bien protégé contre les courts-circuits avec un très bon pouvoir de coupure.

• **En cas de surtension :**

Une surtension peut provoquer le claquage d'isolant et entraîner une surcharge ou un court-circuit et la détérioration des appareils et des canalisations.

Il n'existe pas de dispositif de protection contre les surtensions

• **Equilibre du moteur**

PH1=16.5A, PH2=16.5A et PH3=19A

Le moteur est déséquilibré. Il n'est pas stable.

Ce défaut peut être dû à un défaut de rebobinage ou à un courant de fuite.

• **Comportement de l'installation au moment du démarrage :**

Le démarrage des moteurs est assuré par un Démarreur Altistart. Il fixe le courant à une valeur maximale de 3In pendant le temps de démarrage.

Courbe de démarrage

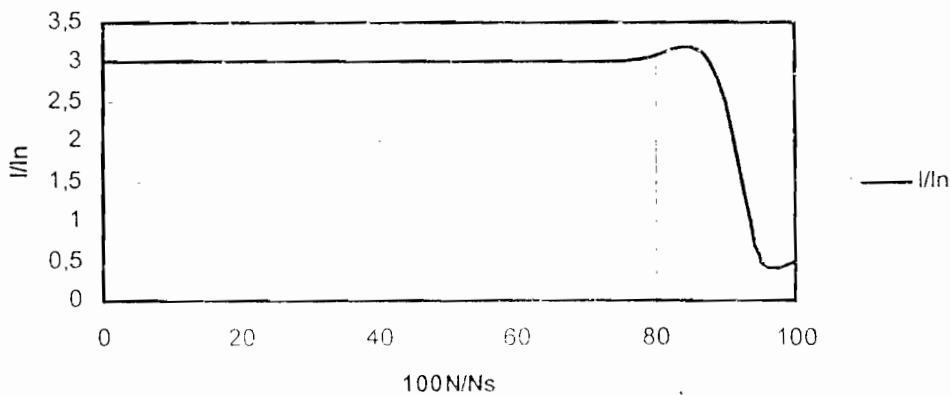


Figure 5-3 : Démarrage du moteur 1118B2.

**• Influence de l'environnement :**✓ **Chaleur :**

Mise à part les défauts électriques ou mécaniques, la durée de vie d'un appareil électrique est limitée par la température à laquelle est soumis ses isolants : plus celle-ci est élevée, plus sa durée sera raccourcie.

Des tests effectués sur un grand nombre d'isolant ont démontré que la durée de vie d'un appareil diminue de moitié, environ, à chaque fois que la température augmente de 10°C. C'est dire que si un moteur possède une durée de vie normale de 8 ans à une température de 105°C, on peut espérer une durée de vie de 4 ans à 115°C, de 2 ans à 125°C et d'un an seulement à 135°C.

Pour l'équipement en question, il est exploité dans un environnement très chaud ce qui contribue à la diminution de sa durée de vie.

✓ **Humidité**

L'infiltration d'huile peut entraîner des défauts d'isolement, un court-circuit qui peut altérer les enroulements du moteur.

Le moteur de l'équipement 1118B2 est complètement couvert d'une couche d'huile. La plaque à borne est couverte par une toile ce qui remet en cause l'étanchéité du moteur.

**Conclusion**

Mise à part les chocs et les accidents la durée de vie de l'équipement 1118B2 peut être fortement réduite par le déséquilibre auquel il est soumis et par la surtension aux bornes de ces enroulements. Mais aussi les conditions d'exploitation très difficiles telles que la chaleur excessive et l'infiltration d'huile peuvent entraîner le grillage du moteur par échauffement ou par claquage des enroulements.

## II. Diagnostic de la Pompe 881

### I. Présentation des données

<b>Sonacos EID Dakar</b>	<b>Moteurs électriques :</b> P 881	<b>N° Moteur :</b> 51-002
<b>Marque:</b> illisible	<b>Puissance(kw):</b> 7.5	
<b>Modèle:</b> illisible	<b>Vitesse(tr/mn):</b> 2910/2920	
<b>Normal-antidéflagrant:</b> illisible	<b>Tension d'alimentation (volt):</b> 220/380	
<b>Rotor:</b> illisible	<b>Intensité nominale (A) :</b> 66.5/38.5	
<b>Type:</b> illisible	<b>T12</b>	<b>T13</b>
<b>N° Fab:</b> illisible	398.9	397.9
	<b>T23</b>	398.5

#### Type de protection :

<b>Difoncteur moteur :</b> CVI-M20 Niveau de courant réglé à 10 à 18 A Réglé à 18 A	<b>Relais thermique :</b>	<b>Contacteur :</b> LC1D12
--	---------------------------	-------------------------------

#### Mode de démarrage

<b>Etoile-triangle</b> non	<b>Direct :</b> oui	<b>Par résistances statoriques :</b> non	<b>Démarreur</b> Altistart non
-------------------------------	------------------------	---	-----------------------------------

#### Alimentation :

PH 1		PH 2		PH 3	
Intensité(A)	Section(mm <sup>2</sup> )	Intensité(A)	Section(mm <sup>2</sup> )	Intensité(A)	Section(mm <sup>2</sup> )
	4	10.8	4	9.8	4

#### Type de couplage

<b>Etoile</b> oui	<b>Triangle</b> non
----------------------	------------------------

#### Environnement :

<b>Température ambiante :</b> >50°C	<b>Type de milieu :</b> Chaud et humide
<b>Protection : IP et IK</b> 55 08 F 40°C	<b>Refroidissement :</b> Par ventilation
	<b>Fixation :</b> A bride

#### Observation :

Les moteurs sont dans un milieu chaud et humide et sont complètement recouvert d'huile.

Tableau 5-2 : Données de l'équipement P881.



## 2. Schéma de puissance

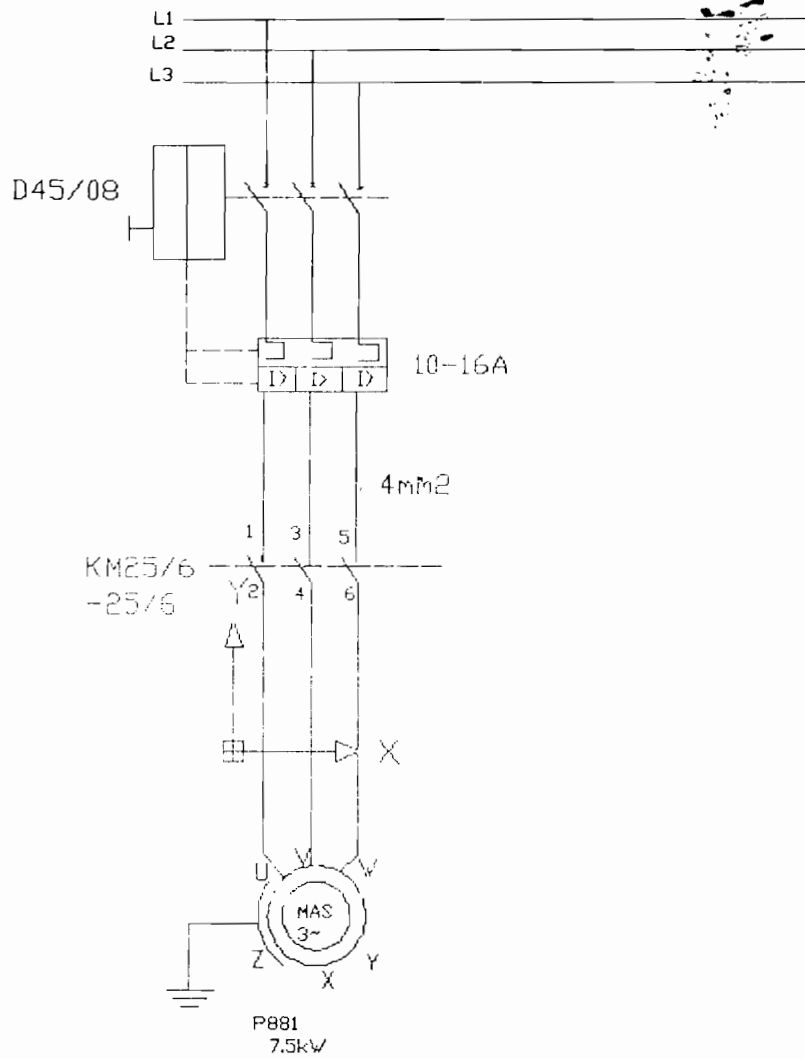


Figure 5-4 : Schéma de puissance du moteur P881.

### 3. Schéma de commande :

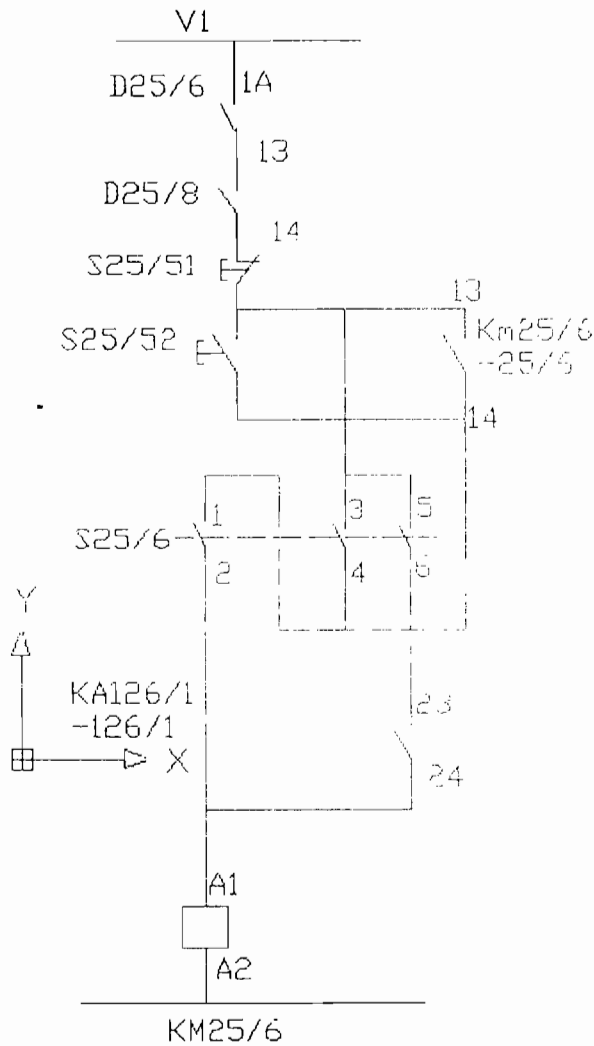


Figure 5-5 : Schéma de commande du moteur P881.

### 4. Diagnostic de l'installation du moteur :

- Courant d'emploi  $I_B$

$$P = UI\sqrt{3} \cos \varphi$$



$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi}$$

On a  $U=398.9V$ ,  $\cos\phi=0.83$ ,  $P=7500W$ ,  $\eta=0.86$

$$I_B = \frac{7500}{\sqrt{3} * 398.9 * 0.86 * 0.83} = 15.2A$$

Alors  $I_B=15.2A$

• **Courant nominal moteur :**

$\cos\phi=0.83$

$U=380V$ ,  $\eta=0.86$

$$P=7500W \quad I_n = \frac{7500}{\sqrt{3} * 380 * 0.86 * 0.83} = 15.96A$$

• **En cas de surcharge :**

La protection contre les surcharges est assurée comme indiqué dans le schéma d'installation par un disjoncteur moteur (GVI M 20 10 à 18 A réglé à 18 A) avec des déclencheurs thermiques qui peuvent détecter de faibles surcharges. Le principe de fonctionnement est analogue à celui des relais thermiques.

$I_n=15.96A$

Et  $I_r=18A$  alors le disjoncteur est réglé à  $1.13I_n$ . Or  $I_r$  devait respecter la condition  $0.7I_n \leq I_r \leq I_n$

Le moteur n'est pas protégé contre les surcharges faibles et prolongées.

• **En cas de court-circuit :**

Le disjoncteur GVI M 20 est utilisé aussi comme protection contre les surintensités instantanées. C'est plus précisément le rôle des déclencheurs électromagnétiques.

Il faut que  $P_{dc} > I_{cc}$  comme pour les fusibles.

Les conditions suivantes doivent être satisfaites :

- ✓  $I_B \leq I_m$
- ✓  $P_{dc} > I_{cc}$

$I_B = I_a = 15.96A$

$I_m=18A$

$I_m > I_B$

• **Calcul du courant de court-circuit**

$U_0 = 380V$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{avec}$$

$$R = \rho \times \frac{L}{S}$$

$$R = 2.25 \times 10^{-8} \times \frac{60}{4 \times 10^{-6}} = 337.5 \times 10^{-3} \Omega$$

$$X = 0.12 \times L$$

$$X = 0.12 \times 60 = 7.2 \times 10^{-3} \Omega$$

$$Z = \sqrt{(337.5 \times 10^{-3})^2 + (7.2 \times 10^{-3})^2} = 0.3375 \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{U_n}{Z}$$

$$I_{cc} = \frac{380}{0.3375} = 1126.4$$

alors  $P_{dc} > I_{cc}$

Le circuit est bien protégé contre les courts-circuits avec un très bon pouvoir de coupure.

- Equilibre du moteur

PH1=11A, PH2=10.8A et PH3=9.8A

Le moteur est faiblement déséquilibré. Il n'est pas stable.

Ce défaut peut être dû à un défaut de rebobinage ou à un courant de fuite.

- Comportement de l'installation au moment du démarrage :

Démarrage direct

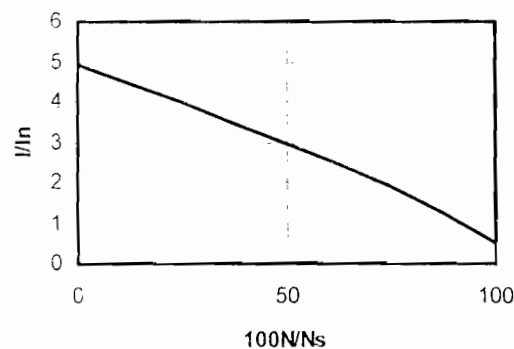


Figure 5-6 : Courant de démarrage du moteur P881.

Le disjoncteur moteur est réglé de telle sorte qu'il laisse démarrer le moteur avec un courant allant jusqu'à 5In. Mais il s'oppose à tout prolongement du temps de démarrage.

- **Influence de l'environnement :**

- ✓ **Chaleur :**

Comme pour l'équipement 1118B2 le moteur de la pompe 881 exploité dans un environnement très chaud ce qui contribut à la diminution de sa durée de vie.

- ✓ **Humidité**

Tout comme le moteur de l'équipement 1118B2 il est couvert d'une couche d'huile.

### **Conclusion**

La conclusion à tirer est identique à celui de l'équipement précédent. A savoir que la durée de vie de l'équipement peut être fortement réduite par le déséquilibre auquel il est soumis et par la surtension aux bornes de ces enroulements. Mais aussi les conditions d'exploitation très difficiles telles que la chaleur excessive et l'infiltration d'huile peuvent entraîner le grillage du moteur par échauffement ou par claquage des enroulements.

En plus le disjoncteur moteur est mal calibré. Donc le moteur n'est pas protégé contre les surcharges faibles et prolongées.

### **III. conditions d'exploitation des moteurs :**

Une visite de l'ensemble des unités de productions, donne une idée des conditions d'exploitation des moteurs. Ces derniers travaillent en général dans un environnement hostile. Les conditions de travail qui peuvent contribuer au vieillissement prématuré du moteur sont:

#### **a) La poussière.**

Elle a comme effet de couvrir complètement le carter du moteur. Or la plupart des moteurs sont refroidis par l'air qui est directement en contact avec le carter muni d'ailettes. Pour les moteurs à ventilation externe, la poussière entre dans le capot de ventilation et à la longue risque de boucher le moteur.

#### **b) Infiltration de liquide.**

Une infiltration de liquide dans les enroulements d'un moteur crée un court-circuit.

#### **Remarque:**

L'infiltration d'eau de ville peut être sans conséquence pour le moteur si celui-ci est séché à l'étuve. En effet si les enroulements sont trop humides, ils doivent être sécher en Etuve pendant 12 à 16 heures à 90 °C et ensuite pendant 6 à 8 heures à 105°C.

Les enroulements imprégnés d'eau de mer doivent normalement être rebobinés.

## Chapitre VI : Proposition de solutions

### Introduction

Dans ce chapitre nous allons nous baser sur les conclusions du chapitre précédent c'est-à-dire le résultat des diagnostics pour émettre des propositions de solutions.

Les solutions seront classées en deux catégories à savoir les solutions techniques et les solutions pratiques.

Les solutions techniques sont quant à elles d'ordre électrique ou mécanique. Ce sont des solutions classiques utilisées pour résoudre des problèmes bien définis ou améliorer des solutions existantes.

Les solutions pratiques sont elles aussi classiques. Car il s'agit d'une bonne répartition des tâches, de la formation et de la sensibilisation des exploitants. Mais aussi veiller au respect des lois et des règlements qui régissent l'utilisation des équipements de la société.

Enfin nous allons proposer une base de données des moteurs grillés, implémentée sous Access.

### I. Solutions techniques :

#### 1. Pour résoudre le problème des déséquilibres de moteurs :

Nous avons vu que ce problème ne peut être dû que d'un défaut de bobinage ou d'un défaut d'isolement.

Le moteur 1118B2 est exploité au niveau de la section RAFFINAGE dont le régime de neutre utilisé est IT impédant c'est-à-dire neutre isolé et masses reliées à la terre. Cela veut dire que le défaut de premier niveau doit être signalé par le contrôleur permanent d'isolement, mais que le déclenchement ne se fera qu'au défaut de deuxième niveau. Et que le déclenchement est assuré par les dispositifs de protection c'est-à-dire les fusibles et les relais thermiques.

Une telle installation protège bien les exploitants contre les contacts indirects mais laisse souffrir l'équipement qui peut à la longue voir ses isolants claquer ou bien même griller. Pour éviter tout courant de fuite, il faut monter en amont de l'équipement un disjoncteur différentiel à courant résiduel (DDR) immunisé contre les déclenchements intempestifs.

Si la somme des courants de phase  $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = 0$  alors  $\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 0$  donc le disjoncteur différentiel ne réagit pas.

Par contre si la somme des courants  $\overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3} = \overline{I_f}$  la somme des champs équivalents donne naissance à un champ résiduel  $\Phi_R$  qui à son tour induit un courant dans la bobine du disjoncteur différentiel qui provoque son ouverture.

Ainsi le disjoncteur différentiel s'oppose à tout établissement de courant de fuite.

En plus le disjoncteur protège les moteurs contre la marche en monophasé.

Pour notre cas on peut utiliser des disjoncteurs de moyenne sensibilité :

650 mA, 300 mA.

### **Pourquoi utiliser un DDR immunisé contre les déclenchements intempestifs :**

Un déclenchement intempestif est un déclenchement du DDR à cause de la présence d'un courant de fuite ne présentant pas de danger pour les personnes et les biens.

Ces déclenchements sont causés par :

- ✓ les surtensions atmosphériques.
- ✓ les surtensions de manœuvres.
- ✓ la mise sous tension des circuits présentant une forte capacité avec la terre.

On utilise un DDR immunisé contre les déclenchements intempestifs pour concilier les impératifs de sécurité et de continuité de service indispensables au confort de l'utilisateur. S'il s'agit d'un problème de rebobinage nous allons proposer des solutions au niveau de la partie solutions pratiques

## **2. Protection contre les surtensions et les sous-tension :**

A la borne des moteurs que nous avons contrôlés, les tensions d'alimentation dépassent la valeur normale qui est de 380 V. En effet pour l'équipement 1118 B2 nous avons relevé une tension de 396.5 V. Et pour l'équipement P881, nous avons relevé 398.9V. Ces tensions atteignent presque 400 V qui constituent une surtension.

Pour régulariser la tension un opérateur de la SONACOS agit sur les plots des transformateurs. Ce qui constitue une solution à efficacité limitée. D'où la nécessité de monter un régulateur de tension mini-maxi à la sortie de chaque transformateur.

## **3. Vérification totale de l'installation de l'usine à l'aide du logiciel Ecodial 3:**

L'efficacité des solutions proposés plus haut dépend de la qualité du réseau et de l'installation. D'où la nécessité de revoir toute l'installation à savoir.

- ✓ La vérification du schéma de l'installation.

- ✓ La vérification de l'adaptation des canalisations de l'appareillage aux conditions d'influences externes, ainsi que les sections des conducteurs.
- ✓ Pour la protection contre les contacts directs, on vérifie l'éloignement, les obstacles les verrouillages.
- ✓ La vérification des caractéristiques du limiteur de surtension et du seuil de fonctionnement du contrôleur permanent de d'isolement (CPI) (régime IT)
- ✓ Les coupures de sécurité. Il faut vérifier la présence des sectionneurs sur chaque circuit et des arrêts d'urgence.
- ✓ La protection contre les surintensités. Il faut contrôler le calibre des fusibles, le courant de réglage des disjoncteurs en fonction du courant admissibles dans les canalisations et vérifier le pouvoir de coupure des disjoncteurs et des fusibles.
- ✓ Le contrôle des dispositifs de connexion. Il faut vérifier le serrage des conducteurs sur les bornes et la conformité des couleurs des conducteurs.

Le logiciel (Ecodial 3) de calcul de réseau nous permet de :

- ✓ Faire le bilan de puissance,
- ✓ calculer les chutes de tension,
- ✓ calculer les courants de court-circuit,
- ✓ de vérifier la conformité du schéma avec la norme UTE C15-500,

Les hypothèses et le choix de l'appareillage sont laissés à la responsabilité de l'utilisateur.

En guise d'exemple, le réseau d'alimentation de la section raffinage est effectué en annexe.

## II. Solutions pratiques :

### 1. Pour résoudre les problèmes de défaut de rebobinage :

En plus de la solution technique proposée plus haut pour résoudre les problèmes dus au défaut de rebobinage, nous proposons une solution pratique.

La solution que nous proposons ici repose sur le contrôle des moteurs de retour de rebobinage.

Les électriciens font les tests suivants sur les moteurs de retour de rebobinage:

- ✓ test de continuité par phase effectué avec un multimètre ( Ce test permet de déceler d'éventuel court-circuit.)
- ✓ test de stabilité

Mais cela ne suffit pas pour s'assurer que le moteur est bien rebobiné car ces tests ne permettent pas de déterminer la tenue dans le temps des isolants et des enroulements.



C'est justement la tenue dans le temps qui détermine la durée de vie des moteurs électriques. Par exemple l'étuvage sous vide poussé permet d'avoir une bonne isolation et une bonne tenue dans le temps. Les tests effectués ne permettent pas de déceler les moteurs qui sont rebobinés sans étuvage.

Pour rendre fiable ses prestataires la SONACOS doit prendre un certain nombre de mesures parmi lesquelles:

- ✓ Se doter des équipements qui lui permettent une vérification rapide et complète des moteurs de retour de bobinage( exemple : système DIAMIS de LEROY SOMER).
- ✓ Chaque moteur qui va en rebobinage doit être accompagné d'une fiche de renseignement dans laquelle on trouve la cause du sinistre à remplir par le prestataire, la durée de vie probable du moteur après rebobinage, les observations du prestataire.

## **2. Solution pour les moteurs grillés par infiltration de corps étrangers :**

### **a) Nettoyage et soufflage périodique :**

Les poussières sont un des grands ennemis des machines électriques. La fréquence des soufflages dépend évidemment de la construction de la machine, de l'ambiance plus ou moins chargée de poussières, de l'utilisation de la machine etc.

Le constructeur Jeumont Schneider attire particulièrement l'attention sur les poussières de balais, poussières toujours très conductrice qui sont à l'origine de nombreux avaries.

Selon le type de construction, les poussières de balai sont éliminées à l'extérieur avec l'air de ventilation, ou bien cantonné dans le compartiment contenant le collecteur ce qui facilite leur élimination périodique.

Surveiller la propreté du circuit de refroidissement des moteurs.

Si l'atmosphère est chargée de poussière, il se peut qu'au bout d'un certain temps ces poussières s'accumulent sur les palettes et sur le capot de ventilation ce qui diminue la section de passage et par voie de conséquence le débit d'air de ventilation. De plus cet amas de poussière modifie sérieusement le coefficient d'échange thermique entre l'air extérieur et la paroi. Un mauvais entretien du circuit de refroidissement peut donc engendrer un échauffement exagéré des parties actives de la machine, même être la cause d'une mise en hors de service prématurée.

Les machines sont parfois fournies avec une brosse de dimension appropriée. On peut aussi effectuer le nettoyage au moyen d'un jet d'air comprimé.

La fréquence des nettoyages est évidemment fonction de l'atmosphère ambiante et doit être assurée par les exploitants.

### **b) Contre l'infiltration d'eau de mer :**

L'infiltration d'eau de mer est constatée très souvent au niveau du puit dans la salle des pompes. En effet il y a un opérateur qui surveille la montée de l'eau et une sonnette qui signale que le niveau de l'eau a dépassé la normale. Malgré tout les moteurs sont immergés dans l'eau de mer.

## **III. Création d'une base de donnée des moteurs grillés :**

Toujours dans le cadre de la recherche des causes de grillages des moteurs, nous allons créer une base de données des moteurs grillés. Cette base va nous permettre de voir s'il y a une relation entre les moteurs grillés et la section où ils sont exploités d'une part et d'autre part s'il y a une relation avec le prestataire qui les avait précédemment rebobiné.

Cette base va aussi permettre de faire une suivie et une évaluation des coûts de rebobinage pour les années 2001, 2002, 2003. C'est un moyen rapide de recherche de données relatives au coût de rebobinage par prestataire, par section, par équipement etc.

Elle nous donne par exemple le coût total de rebobinage du prestataire Dioubo Electrique, son pourcentage par rapport au coût total de rebobinage de la période considérée. Elle nous donne aussi la section qui nous coûte la plus chère en terme de rebobinage. On peut donc connaître l'équipement qui grille le plus de moteurs. Ce qui va permettre à la maintenance de connaître l'équipement auquel il faut accorder une attention particulière.

### **1. Entités**

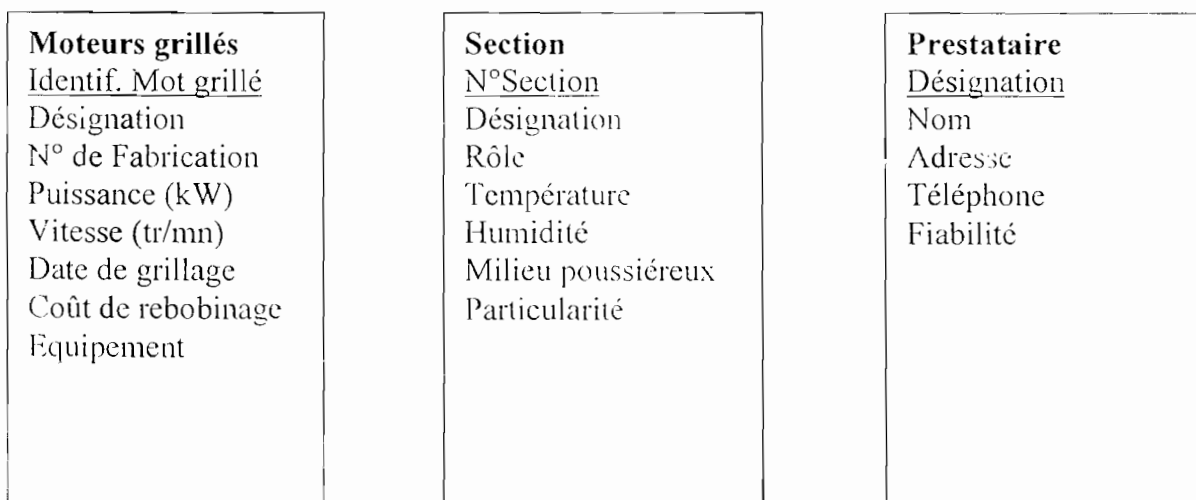


Figure 6-1 : Entités de la base de données.

## 2. Associations



Figure 6-2 : Associations de la base de données.

## 3. Modèle conceptuel de données

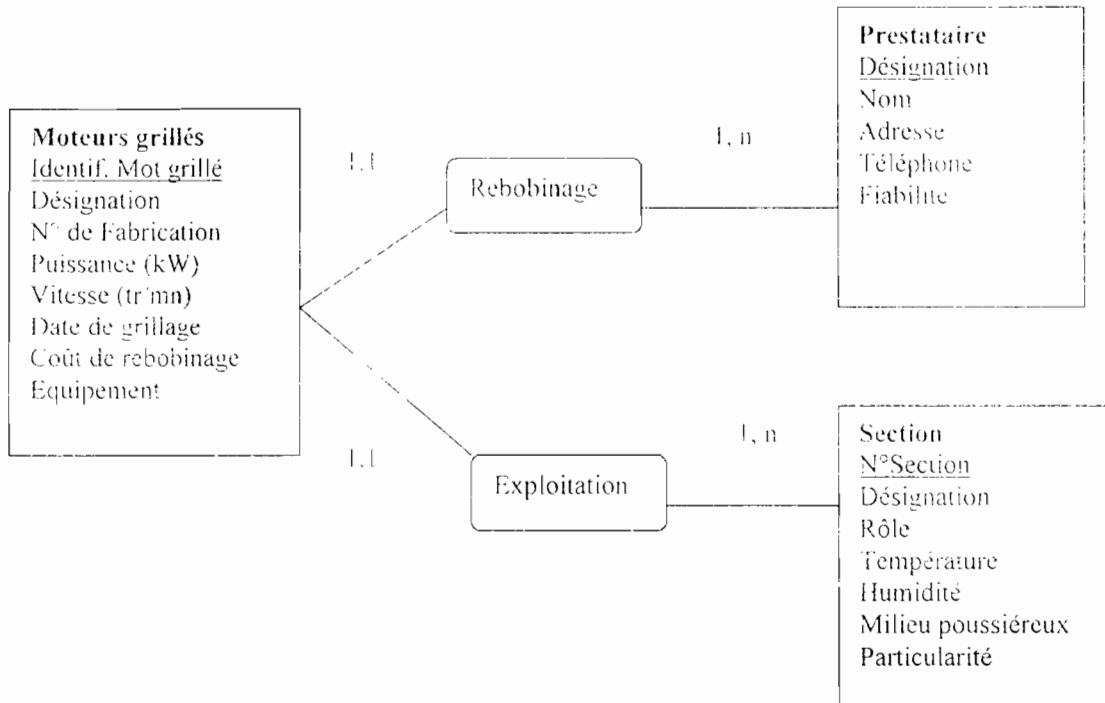


Figure 6-3 : Modèle conceptuel de données.

## 4. Modèle relationnel de données

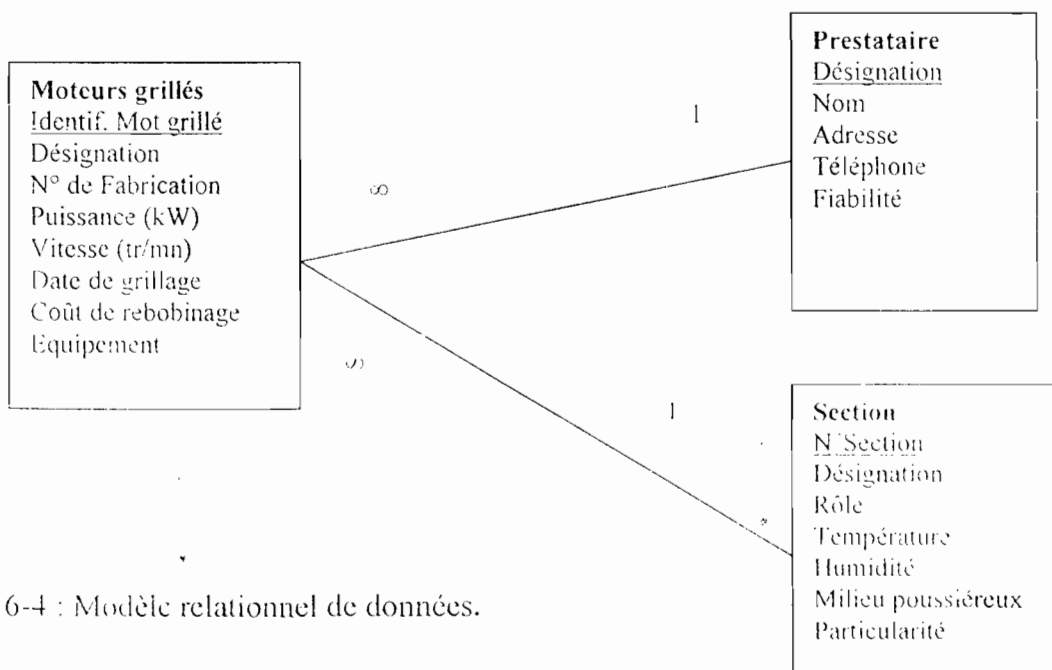


Figure 6-4 : Modèle relationnel de données.

## 5. Implémentation sous ACCESS

### a) Les tables



Figure 6-5 : Tables de la base de données.

### b) Les relations

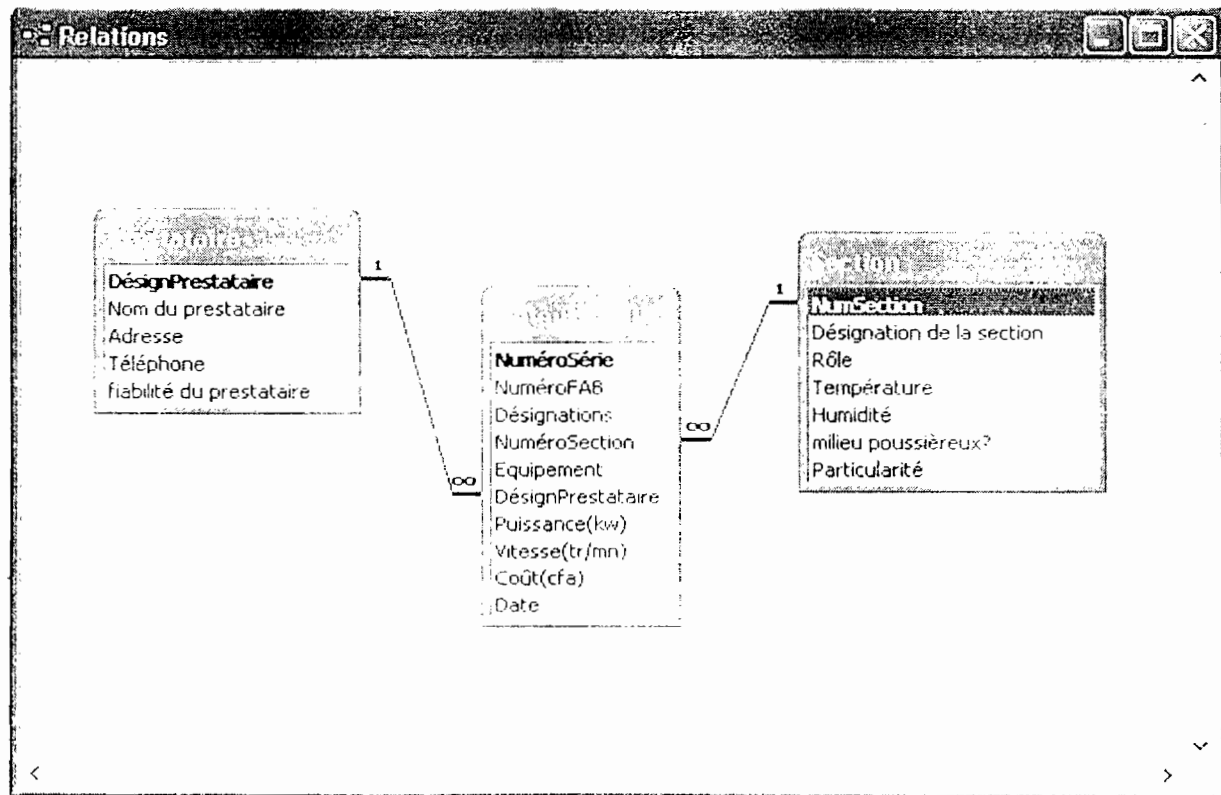


Figure 6-6 : relations de la base de données.

### c) Quelques résultats tiré de la base

Nous allons donner quelques résultats provenant de la base de donnée que nous avons mise en place. La base nous donne des résultats détaillés et des résultats non détaillés. Nous proposons des résultats non détaillés dans l'annexe.

## Chapitre VII : Conclusion et recommandations.

### I. Conclusion :

Le diagnostic des causes de grillage excessif des moteurs a été effectué sur deux équipements exploités au niveau de la section RAFFINAGE. Ceci se justifie par le fait que la section RAFFINAGE est une des rares sections qui continuait à tourner au moment de l'étude.

Pour chaque équipement, le courant et la tension ont été mesurés, les caractéristiques des éléments de protection ont été relevées et ses propres caractéristiques accessibles. Sur la base de ces données, le diagnostic a été effectué pour chaque équipement. Enfin des solutions ont été proposées pour résoudre les problèmes constatés.

Les défauts et les anomalies constatés dans ces deux équipements sont susceptibles de l'être pour les équipements exploités dans les mêmes conditions.

Les solutions proposées ne seront efficaces que si elles sont appliquées à l'ensemble des équipements exploités dans les mêmes conditions.

Nous avons proposé une base de donnée permettant de faire une évaluation rapide des coûts de rebobinage par prestataire, par section, par équipement et pour les années 2001, 2002 et 2003.

Nous avons aussi proposé de rétablir la fiche machine pour chaque moteur avec un numéro usine. Cette fiche pourra être gérée par une base de donnée Access. Ainsi on pourra obtenir rapidement des informations en ce qui concerne tous les moteurs en service au niveau de la Sonacos, la section où il est en service, sa date de mise en service, la date de son dernier rebobinage, le prestataire et le coût de rebobinage. Cette fiche permettra aussi de planifier la maintenance des moteurs en ce qui concerne le graissage, le changement des roulements et pourra constituer une base pour une éventuelle gestion de la maintenance assistée par ordinateur.

Cependant nous avons proposé à la SEID de se doter du système de maintenance DIAMIS pour une vérification rapide et complète des moteurs de retour de rebobinage.

Cependant nous pensons que cette étude peut être un document intéressant pour une éventuelle étude complète de l'installation avec toutes les données requises mais aussi le temps et les moyens nécessaires.

Tout en espérant que M. Aly SARR et M. Boulaye Dado CAMARA vont trouver ici un début de solution au problème qu'ils m'avaient soumis, je reste à leur disposition pour une clarification, une précision et des explications au sujet de la solution proposée.

## II. Recommandations :

1. Refaire la vérification complète de l'installation avec le logiciel Ecodial.
2. Appliquer la maintenance préventive sur les machines électrique avec un GMAO.
3. Se doter du système DIAMIS de LEROY SOMER pour effectuer une vérification rapide complète et efficace des moteurs.
4. Mettre en place une unité de rebobinage pour ces moteurs de faibles et moyennes puissances.
5. Assurer l'étanchéité des transporteurs de coque et de tourteaux.
6. Assurer l'étanchéité des conduites d'eau pour éviter la corrosion des équipements.

## Références bibliographiques :

- [1] Cheikh WADE, Notes de cours Moteurs électrique, Ecole Supérieure Polytechnique.
- [2] NGor SARR, Notes de cours Gestion de la production, Ecole Supérieure Polytechnique.
- [3] Théodore WILDY, Electrotechnique, Ecolé Polytechnique de Montréal.
- [4] J.C. MAUCLERC, Guide du technicien en électrotechnique.
- [5] MERLIN GERIN, Guide de la distribution basse tension.
- [6] Henry NEY, Installations électriques.
- [7] Réal-Paul BOUCHARD, Electrotechnique 3<sup>o</sup>) édition, Département Génie électrique, janvier 84.



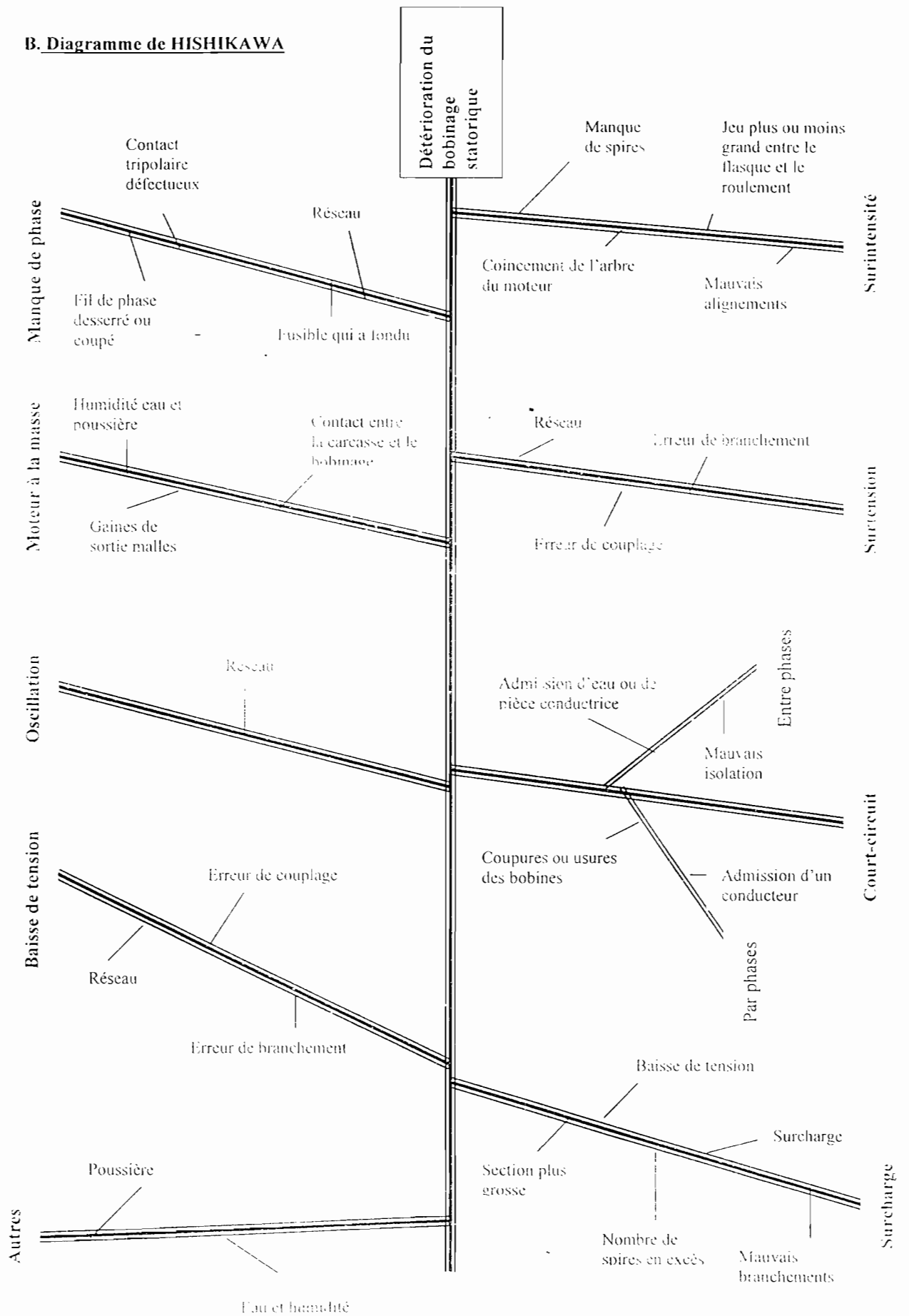
# ANNEXES

### A. Tableau de choix d'un moteur asynchrone

Machine entraînée				Moteur asynchrone						
Type	Couple de démarrage nécessaire	Condition de mise en route MD <sup>2</sup>	Ordre de grandeur de la puissance	Type de rotor	Démarrage					
					Direct	Etoile triangle	Résistances statoriques	Auto-transfo	Rotorique	Étude spéciale
Machines-outils Tours Fraiseuses Machines à bois	Td=0.5Tn	MD <sup>2</sup> faible	Petite moyenne moyenne	Cage cage bagues	X X	X X	X		0	
		MD <sup>2</sup> important	Petite moyenne	Cage bagues					2	X
Pompes centrifuges	Td=0.5Tn à 1 Tn	MD <sup>2</sup> faible	Petite Moyenne Moyenne Grande Grande	Cage Cage bagues Cage bagues	X X X	(1) (1) (1)	X X		0 0	
		MD <sup>2</sup> important	Moyenne Grande	Cage bagues					2	X
Ventilateurs Aspirateurs Turbines	Td=Tn	MD <sup>2</sup> faible Temps<10s	Petite moyenne moyenne Grande	Cage Cage bagues bagues	X X		X		0	
		MD <sup>2</sup> important Temps>10s	Petite moyenne Grande	Cage bagues bagues					2 2	X
Compresseurs à pistons	Td>1.5Tn	MD <sup>2</sup> faible Sans décompression	Petite moyenne Grande moyenne Grande	Cage Cage Cage bagues bagues	X X				1 1	
	Td=0.5Tn à 0.8Tn	MD <sup>2</sup> important avec décompression	Petite moyenne Grande	Cage Cage bagues					2	X
Compresseurs rotatifs	Td=1.5Tn		Petite moyenne moyenne Grande	Cage Cage bagues bagues	X				1	

Machine entraînée				Moteur asynchrone							
Type	Couple de démarrage nécessaire	Condition de mise en route MD <sup>2</sup>	Ordre de grandeur de la puissance	Type de rotor	Démarrage						
					Direct	Etoile triangle	Résistances statoriques	Auto-transfo	Rotorique	Etude spéciale	
Transporteurs à bandes élevateurs à godets convoyeurs	Td=1 à 1.5Tn	Démarrage à vide	Petite moyenne moyenne	Cage cage bagues	X X		X				
	Td=1 à 2Tn	Démarrage en charge	Petite et moyenne moyenne	Cage bagues	X X		X				
Broyeurs et concasseurs	Td=1Tn à 1.8 Tn	MD <sup>2</sup> faible	Petite et Moyenne Grande et moyenne Grande	Cage Cage bagues	X X		X				
		MD <sup>2</sup> important Temps>10s	Petite et moyenne moyenne et Grande	Cage bagues							X 3
Essoreuses Centrifugeuses	Td=0.5 à 1.5Tn	MD <sup>2</sup> important	Petite et moyenne moyenne et Grande	Cage bagues							X 2
Matériel de levage	Td=2 à 2.5Tn	Couple résistant important	Petite et moyenne moyenne et Grande	Cage profondes bagues							X X
Alternateur pour convertisseurs de fréquence	Td=0.5Tn à 1Tn	Sans volant	Petite moyenne et Grande moyenne Grande	Cage Cage bagues	X X	X X	X				
		Avec volant	Petite moyenne et Grande moyenne Grande	Cage Cage bagues							X X
Téléphériques Télésiège Téléskis	Td=1 à 1.2 Tn		Moyenne et Grande moyenne et Grande	Cage bagues							X 3

**B. Diagramme de HISHIKAWA**



## C. COÛT DE REBOBINAGE DES MOTEURS/SECTION (2001 à 2003)

### Section 20

TOTAL 1 094 630 CFA

Pourcentage du total général 1,09%

### Section 32

TOTAL 15 189 111 CFA

Pourcentage du total général 15,06%

### Section 33

TOTAL 18 104 858 CFA

Pourcentage du total général 17,95%

### Section 34

TOTAL 190 429 CFA

Pourcentage du total général 0,19%

### Section 39

TOTAL 120 151 CFA

Pourcentage du total général 0,12%

### Section 40

TOTAL 3 234 080 CFA

Pourcentage du total général 3,21%

### Section 42

TOTAL 7 342 522 CFA

Pourcentage du total général 7,28%

### Section 44

TOTAL 26 660 060 CFA

Pourcentage du total général 26,43%

### **Section 46**

TOTAL 1 698 988 CFA

Pourcentage du total général 1,68%

### **Section 47**

TOTAL 15 222 616 CFA

Pourcentage du total général 15,09%

### **Section 51**

TOTAL 3 821 413 CFA

Pourcentage du total général 3,79%

### **Section 53**

TOTAL 2 694 854 CFA

Pourcentage du total général 2,67%

### **Section 54**

TOTAL 2 468 523 CFA

Pourcentage du total général 2,45%

### **Section 55**

TOTAL 681 152 CFA

Pourcentage du total général 0,68%

### **Section 58**

TOTAL 47 974 CFA

Pourcentage du total général 0,05%

**Section 59**

TOTAL 1 759 680 CFA

Pourcentage du total général 1,74%

**Section 62**

TOTAL 214 480 CFA

Pourcentage du total général 0,21%

**Section 63**

TOTAL 316 985 CFA

Pourcentage du total général 0,31%

**Total général 100 862 506 F CFA****D. COÛT DE REBOBINAGE/PRESTATAIRE (2001 à 2003)**

Prestataire ABB Prestataire ABB (38 moteurs rebobinés)

**COÛT DE REBOBINAGE DU PRESTATAIRE 4 278 907**

Coût Max. 240 186

Coût Min. 70 740

Pourcentage/ total général 4,24%

Prestataire DE Prestataire DE (264 moteurs rebobinés)

**COÛT DE REBOBINAGE DU PRESTATAIRE 69 164 315**

Coût Max. 1 915 450

Coût Min 20 000

Pourcentage/ total général 68,57%

Prestataire DMR Prestataire DMR (48 moteurs rebobinés)

**COÛT DE REBOBINAGE DU PRESTATAIRE 3 899 790**

Coût Max 184 581

<b>Coût Min</b>			35 779
<b>Pourcentage/ total général</b>			3,87%
<b>Prestataire</b>	ELEC	Prestataire ELEC (71 moteurs rebobinés)	
<b>COÛT DE REBOBINAGE DU PRESTATAIRE</b>			10 089 864
<b>Coût Max</b>			1 330 800
<b>Coût Min</b>			0
<b>Pourcentage/ total général</b>			10,00%
<b>Prestataire</b>	SMR	Prestataire SMR (42 moteurs rebobinés)	
<b>COÛT DE REBOBINAGE DU PRESTATAIRE</b>			9 237 380
<b>Coût Max</b>			1 390 500
<b>Coût Min</b>			26 000
<b>Pourcentage/ total général</b>			9,16%
<b>Prestataire</b>	SOF	Prestataire SOF (50 moteurs rebobinés)	
<b>COÛT DE REBOBINAGE DU PRESTATAIRE</b>			4 192 250
<b>Coût Max</b>			314 800
<b>Coût Min</b>			36 000
<b>Pourcentage/ total général</b>			4,16%
<b>Total général</b>			<b>100 862 506 F CFA</b>