

REPUBLIQUE DU SENEGAL

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



Gm. 0063

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTROMECHANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

SUJET : ETUDE DES CONDITIONS D'EXPLOITATION DES MOTEURS

ELECTRIQUES SUR LE SITE ACIDES DAROU 1 DES

INDUSTRIES CHIMIQUES DU SENEGAL (ICS).

Auteur : Birane DIAGNE

Directeur interne : Papa Mody NDIAYE, professeur à l'ESPT

Directeur externe : Mohamadou DIEYE, ing., chef atelier Electricité

Juillet 2002

DEDICACES

Je dédie ce travail :

- à mon père (Que la terre de Touba lui soit légère) ;
- à ma mère ;
- à mes oncles, plus particulièrement à Modou GUEYE ;
- à mes frères et sœurs ;
- à Massaer DIAGNE (Que notre amitié soit l'une des meilleures),
- à la famille DIAGNE ;
- à tous mes parents,
- à Mor Diarra NDIAYE, Cheikh MBAYE, Serigne Mapenda KEBE, Mor SALL.
Moustapha DIOUF, Bassirou DIOP pour la saisie ;
- à mes amis ;
- et à tous ceux qui me sont chers.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements à :

- ✓ M Momath BÂ, chef de département Maintenance, de nous avoir aidé à faire notre stage de fin de formation au site acides des ICS ;
- ✓ M Mohamadou DIEYE, qui malgré un emploi du temps trop chargé, a accepté de m'encadrer ;
- ✓ M Ousmane FALL, ainsi que tous les autres travailleurs du site acides.
- ✓ M Papa Mody NDIAYE d'avoir assuré l'encadrement interne et pour les documents qu'il a mis à notre disposition ;
- ✓ Tous les professeurs de l'Ecole Supérieure Polytechnique.

Nous remercions enfin toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce travail.

SIGLES ET SYMBOLES

ICS : Industries Chimiques du Sénégal

HT : haute tension

BT : basse tension

ISO : International standardisation Organisation (Organisation internationale pour la standardisation)

NF : Norme française

IR : infrarouge

DDP : différence de potentiel

Fe_2O_3 : oxyde ferreux

SH_2 : dihydrogène de soufre

SOMMAIRE

Ce projet de fin d'études est le fruit d'une étude complète de la situation des moteurs électriques opérant sur Darou 1 du site Acides des industries chimiques du Sénégal. Il a pour but de proposer une meilleure exploitation après avoir analysé :

- la fréquence des pannes de ces moteurs,
- la qualité de leurs protections,
- l'environnement des appareils,
- les cycles opératoires,
- la politique d'entretien,
- l'installation et la révision du matériel, etc...

D'après les statistiques du département maintenance, le site Acides des Industries chimiques du Sénégal utilise un parc de cinq cents (500) machines tournantes entraînées par des moteurs électriques. Il a été noté durant ces dernières années un nombre assez important de pannes caractérisées par des vibrations internes, des court-circuits, des blocages de rotors, de grillages. Ainsi près de 200 moteurs ont du être réparé en 2001, soit un ratio de 2 sur 5. Ces pannes répétées causent beaucoup de pertes de production, ce qui diminue la rentabilité de l'entreprise. C'est à ce juste titre que les responsables du département maintenance du site Acides m'ont proposé l'étude de ce problème grâce à leur collaboration avec l'Ecole Supérieure Polytechnique.

Une étude de la situation actuelle des moteurs sera faite et nous proposerons des solutions aux différents cas que nous allons rencontrer sur le site.

TABLES DES MATIERES

Titres	Pages
Dédicaces -----	i
Remerciements -----	ii
Sigles et symboles -----	iii
Sommaire -----	iv
Table des matières -----	v
Introduction -----	1
Chapitre I : Présentation des Industries chimiques du Sénégal -----	3
I-1 Historique -----	4
I-2 Création des ICS -----	5
I-3 Evolution des ICS -----	5
I-4 Présentation des ICS -----	6
I-5 Présentation du site Acides -----	7
Chapitre II : Etat des lieux des moteurs électriques -----	10
II-1 Description des différents types de moteurs électriques -----	11
II-2 Types de démarrage des moteurs électriques -----	28
II-3 Types d'entraînement par moteur électrique -----	34
II-4 Fréquence des pannes des moteurs électriques -----	38
II-5 Protection actuelle des moteurs électriques -----	39
II-6 Critères de choix et spécification des moteurs électriques -----	40

Chapitre III : Conditions d'exploitation	44
III-1 L' environnement des appareils	45
III-2 Les cycles opératoires	47
III-3 L'installation du matériel	48
III-4 La révision du matériel	50
III-5 La politique de maintenance	51
Chapitre IV : Etude des défaillances	58
IV-1 Reconnaissance d'une défaillance	59
IV-2 Défaillances électriques	59
IV-3 Défaillances mécaniques	62
IV-4 Les corrosions	64
IV-5 Taux de défaillance	66
Chapitre V : Proposition d'un système de protection	68
V-1 Nécessité d'un système de protection	69
V-2 Protection contre les incidents de fonctionnement	72
V-3 Coordination et sélectivité des protections	74
V-4 Critères de choix et qualité d'un relais de protection	75
Conclusion et Recommandations	78

Annexes

Bibliographie

INTRODUCTION

L'utilisation massive de l'énergie mécanique constitue essentiellement la base de toute économie industrielle. Cette énergie mécanique s'obtient de différentes façons dont la plus courante est la transformation de l'énergie électrique. En effet le moteur électrique est l'outil de base de notre civilisation industrielle.

Les premiers réseaux électriques se sont développés en courant continu dès l'apparition du moteur à courant continu. Mais le véritable développement industriel des moteurs électriques n'est apparu qu'avec l'avènement des réseaux alternatifs et des premières machines asynchrones. La multiplication des besoins en force motrice a conduit à la réalisation de moteurs électriques de plus en plus performants et adaptés à chaque application. Ils se classent en trois grandes familles :

- ❖ Moteur à courant continu (pour la traction, laminoir),
- ❖ Moteurs synchrones (fortes puissances),
- ❖ Moteurs asynchrones (ou à induction) qui convient 80 à 90% des usages.

Ensuite on assiste au développement du moteur électrique à vitesse variable. Le moteur électrique à courant continu remplace progressivement la turbine à vapeur pour la faible vitesse. Quant au moteur à courant alternatif, il commence à se substituer à la turbine, au début des années 1980, pour l'entraînement direct de machine de forte puissance à vitesse élevée et variable (compresseurs, pompes), grâce à l'apparition des technologies électroniques à courant fort (électronique de puissance).

Le site Acides des ICS utilisent un parc de 500 moteurs environ dont 24 moteurs haute tension de 6 kV au niveau de Darou I pour l'entraînement de machines tournantes de forte puissance fonctionnant parfois à vitesse élevée et variable pour les besoins de la production. Le reste du parc moteur de Darou I est constitué de moteurs basse tension de 380 V. A côté de cet important parc, nous apprenons qu'un moteur HT ne coûte pas moins de 25.000.000 FCFA, que les moteurs électriques consomment 65% de l'électricité utilisée par l'industrie et que le coût d'exploitation d'un moteur électrique représente 99% de son coût global sur 10 ans (le coût d'achat n'en représente que 1%). Ces chiffres montrent dès lors l'importance que nous devons et que nous avons accordée à l'étude des conditions d'exploitation des moteurs électriques de cet ensemble industriel complexe.

Dans ce projet nous nous proposons surtout d'étudier les protections c'est à dire l'aptitude à isoler uniquement la partie du réseau affectée par le défaut, de permettre ainsi la continuité du service des autres appareils et de protéger le personnel et le matériel.

La procédure à suivre est la suivante :

- rechercher des données sur les moteurs à étudier et voir leur interactions avec les autres éléments du réseau interne afin de définir les hypothèses de calcul.
- faire l'étude de la protection et proposer un réglage et une coordination des protections.
- comparer si possible avec le réglage existant pour en tirer des conclusions et faire des recommandations.

Signalons que quelques tests sont effectués au niveau de l'atelier central électrique du département maintenance du site acides des ICS.

CHAPITRE I :
PRESENTATION DES INDUSTRIES
CHIMIQUES DU SENEGAL

I-1 Historique

Dès 1974, le Gouvernement du Sénégal, s'appuyant sur l'expérience industrielle de la société industrielle des engrais du Sénégal (SIES), décide d'étudier la construction d'une usine d'acide phosphorique et d'engrais pour transformer sur place une grande partie du phosphate extrait localement.

La mine de phosphate de Taïba était orientée vers l'exploitation de la matière première de 1960 à 1984. Ce n'est qu'en 1984 qu'une part croissante de la production a été transformée localement. Cette évolution est classique.

La transformation du phosphate en produit semi-fini ou fini sur place est devenue la règle générale. Elle se fait en 2 étapes : d'abord la production d'acide phosphorique puis la production d'engrais phosphatés.

Aujourd'hui la deuxième phase de transformation est réalisée dans la plupart des pays producteurs. Elle est de 100 % aux Etats-Unis, de 50 % au Maroc et en Tunisie et de 25 % au Sénégal.

La production de l'acide phosphorique est une intégration verticale évidemment très bénéfique pour le pays puisqu'il maîtrise l'ensemble de la chaîne de production. Il est intéressant de souligner que le seul intrant importé est le soufre, la balance des devises est donc très positive. Mais l'intérêt majeur de cette intégration est la valorisation d'une plus grande part du phosphate existant dans le gisement, alors que l'exportation d'un phosphate marchand entraîne la perte des fractions les plus pauvres du minerai ou intransportables.

Au cours de la deuxième phase de production d'autres intrants sont importés tels que l'ammoniac et la potasse.

I-2 Création des ICS

La création des industries chimiques du Sénégal se justifie par le souci des pays producteurs de phosphates, de s'intégrer dans le circuit de production d'acide phosphorique et des engrais phosphatés.

En effet dans les pays occidentaux, traditionnellement importateurs de phosphate brut qu'ils transforment en acide phosphorique et en engrais, les usines les moins bien placées ferment les unes après les autres, tandis que des unités neuves de capacité souvent très importantes (500t/jour de P_2O_5 et plus), sont mises en service au voisinage des gisements de phosphate.

Théoriquement, le problème est bien simple : plutôt que de transporter des phosphates dont la teneur en P_2O_5 est de l'ordre de 30%, il est préférable de transformer sur ce minerai en produits à plus forte teneur, comme l'acide phosphorique 54%, le super phosphate triple, le MAP, DAP, etc...

Le Sénégal recèle deux gisements de phosphate dont les très importantes sont estimées à 50 millions de tonnes dont 20% pour le gisement de THIES et 80% pour celui de TAIBA; Elles sont exportées par la compagnie Sénégalaise des phosphates de THIES (C.S.P.T.). Ce minerai de bonne qualité se place aisément sur le marché mondial.

I-3 Evolution des ICS

L'inauguration du complexe de Darou Khoudoss communément appelé Darou situé à environ 100 km au nord Est de Dakar a lieu en 1984 après achèvement de tous les travaux comprenant :

- Un atelier d'acide sulfurique de 1.900 T/J d' H_2SO_4
- Un atelier d'acide phosphorique de 720 t/j de P_2O_5 à 54%.

En 1985 les ICS ont réalisé dans le site de Darou une unité pilote d'une capacité de 20 t/h de traitement de schlamms, qui sont les plus fines particules rejetées lors du traitement du phosphate marchand.

En 1990-1991 les travaux de dégoulottage ont permis une augmentation sensible de la capacité de production de l'usine, soit :

- Pour l'atelier d'acide sulfurique, capacité portée à 2 600 t/j
- Pour l'atelier d'acide phosphorique, capacité portée à 1 015 t/j.

Le 25 Novembre 1996 : Fusion-absorption avec la CSPT.

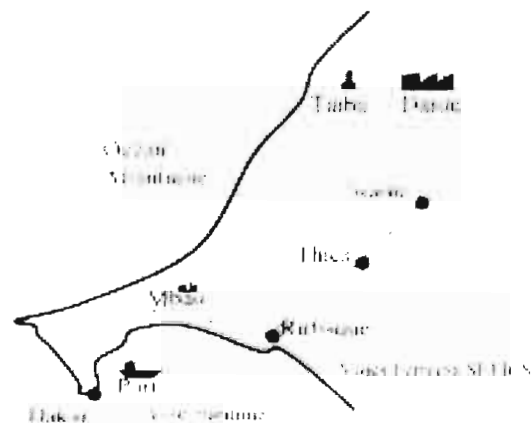
En 1999, le 2^{ème} dégoulottage a permis de porter les capacités à :

- Pour l'atelier d'acide sulfurique, capacité portée à 3 000 t/j
- Pour l'atelier d'acide phosphorique, capacité portée à 1 300 t/j.

Les ICS possèdent également des installations minières de production de phosphate, des installations chimiques de production d'engrais phosphatés et diverses infrastructures réparties sur plusieurs sites du pays.

I-4 Présentation des ICS

Les installations industrielles des ICS sont réparties sur 4 sites du pays :



- la mine de phosphate de Taïba,
- la production d'acide phosphorique à Darou-Khoudoss,
- l'exportation de l'acide et la production d'engrais granulés à Mbao,
- les installations portuaires au Port de Dakar.

Les transports ferroviaires sont assurés par SEFICS et les activités commerciales sont effectuées par SENCHEM.

I-5 Présentation du site Acides

Jusqu'en 1984, le Sénégal a exporté la quasi totalité de sa production phosphatière par le biais de la Compagnie Sénégalaise de Taïba (CSPT). Mais la tendance mondiale de l'économie a poussé le Gouvernement Sénégalais à créer les Industries Chimiques du Sénégal (ICS) dont la vocation est de transformer le minerai sur place apportant ainsi une valeur ajoutée plus importante au pays et permettant d'augmenter la récupération du phosphate par utilisation locale de résidus non exploitables.

En 1984, grâce à l'association avec l'Inde, les ICS commencent l'exportation d'acide phosphorique produit sur le site de Darou-Khoudoss au voisinage de la mine de phosphate, IFICO et SPIC achetant la quasi totalité de la production. C'est ainsi que le Sénégal accédait à la grande chimie minérale.

Activité industrielle très importante puisqu'elle a permis de dynamiser de nombreux secteurs d'activité du pays (transport - réparations - services - commerce - fournitures d'eau et d'électricité - etc...).

En 1990 les ICS augmentent leur production de 50 % grâce à un programme financé par

l'Agence Française de Développement (AFD).

En 1996 l'unification de la filière phosphatière sénégalaise est réalisée par la fusion - absorption de la CSPT par les ICS.



Alimentation en phosphate du réacteur phosphorique

Description des ICS 1

L'usine de Darou 1 comprend trois unités principales :

- * L'atelier de production d'acide sulfurique à partir de soufre solide, importé,
- * L'atelier de production d'acide phosphorique par attaque contrôlée du phosphate par l'acide sulfurique,
- * Les services généraux et utilités assurant l'autonomie énergétique de l'usine.

Configuration des nouvelles installations

La pose de la 1^{ère} pierre du Doublement ICS 2 (Darou 2) a eu lieu en Novembre 1998.

Les nouvelles installations sont réalisées en deux ateliers : un atelier sulfurique-Utilités et un atelier phosphorique.

➤ L'atelier sulfurique-Utilités comprend les sections suivantes :

- Fusion filtration et stockage du soufre,
- Atelier complet de production d'acide sulfurique.

- Réfrigération de l'eau,
- Déminéralisation,
- Stockage et distribution électrique,
- Production et stockage d'air comprimé.
 - L'atelier phosphorique comprend les sections suivantes :
- Alimentation phosphate et schlamms,
- Réaction et filtration,
- Concentration,
- Réfrigération,
- Stockage clarification,
- Transport et stockage du gypse,
- Chargement des citernes d'acide phosphorique.

Aujourd'hui le doublement de la production d'acide phosphorique et l'optimisation de la production d'électricité devraient permettre d'assurer l'autonomie énergétique de la mine de phosphate.

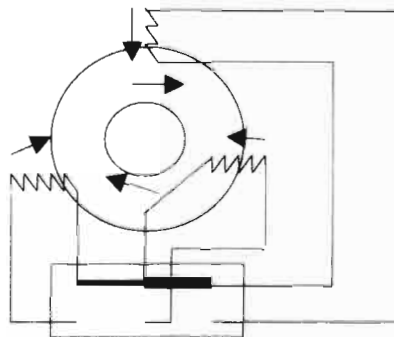
Le principal sous-produit de la fabrication de l'acide phosphorique est le phosphogypse qui est un amendement fertilisant de grande valeur.

CHAPITRE II :
ETAT DES LIEUX DES MOTEURS
ELECTRIQUES

II-1 DESCRIPTION DES DIFFERENTS TYPES DE MOTEURS ELECTRIQUES

A l'exception d'un seul moteur à courant continu (qu'on projète de remplacer par un moteur asynchrone), tous les moteurs opérant sur le site Darou 1 sont des moteurs asynchrones triphasés. Parmi ces derniers, il y'a 24 moteurs haute tension de 6000V et le reste est constitué de moteurs basse tension de 380V. C'est parce que la vitesse du rotor est inférieure à celle du champ tournant que ce type de moteur est dit "asynchrone".

Sur les moteurs triphasés, le champ tournant est produit par 3 bobinages fixes, décalés de 120° , et parcourus par des courants alternatifs présentant le même décalage électrique. Les 3 champs alternatifs qu'ils produisent se composent pour former un champ tournant d'amplitude constante.



Moteur asynchrone

(en couplage étoile)

Dans ce travail nous ne traiterons que le moteur asynchrone triphasé.

II-1-1 Constitution des moteurs asynchrones

Le stator et le rotor séparés par l'entrefer se composent d'un circuit magnétique, qui canalise l'essentiel du flux magnétique, et de bobinages qui sont logés dans les encoches réparties sur le diamètre d'alésage pour le stator, sur la périphérie pour le rotor.

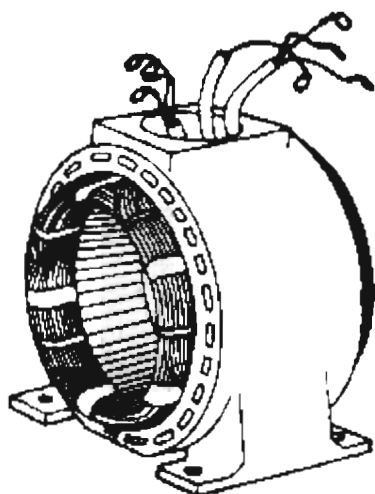
Le bobinage statorique, généralement triphasé, présente $2p$ pôles et est relié au réseau de fréquence f (Hz). Selon la nature du bobinage rotorique, on distingue deux grandes classes de machines asynchrones :

a-Moteur à bagues ou à rotor bobiné

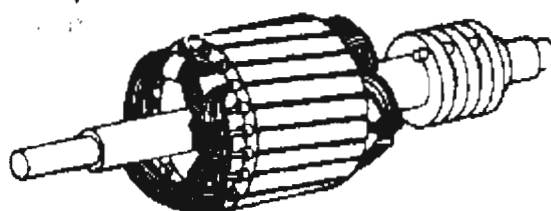
Les enroulements rotoriques, presque toujours triphasés, mais de polarité nécessairement égale à celle du stator, sont couplés par l'intermédiaire de bagues tournantes et de balais frottants sur un rhéostat réglable (rhéostat de démarrage ou de réglage de la vitesse).

b-Moteur à "cage " ou à rotor en court-circuit

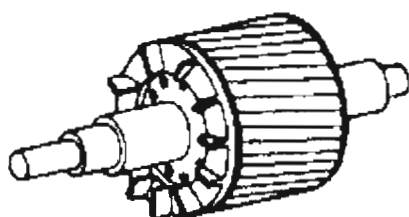
Dans cette exécution largement plus répandue, les encoches rotor sont occupées par des barreaux conducteurs réunis à chaque extrémité du circuit magnétique par deux anneaux de court-circuit.



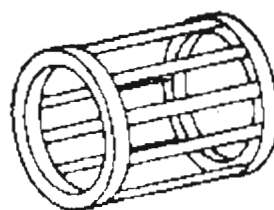
(a) stator bobiné



(b) rotor à bagues



(c) rotor à cage



(d) schéma d'une cage d'écureuil séparée de la tôle du rotor

Parties principales de la machine asynchrone.

A Darou I, l'utilisation est plus accentuée vers les moteurs à rotor en court-circuit.

II-1-2 Glissement du rotor par rapport au champ tournant du stator

La vitesse N du rotor d'un moteur asynchrone est nécessairement inférieure à la vitesse du champ tournant N_s (vitesse synchrone atteinte uniquement à vide). La différence relative des vitesses s'appelle le "glissement" g :

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} \quad \text{avec } N_s = 60 * \frac{f}{p} \text{ (tr/min)}$$

f : fréquence du réseau. p : nombre de paires de pôles.

En pratique le glissement nominal reste faible (6% pour les petits moteurs, moins de 1% pour les gros).

II-1-3 : Schéma électrique équivalent du moteur asynchrone

À échauffement, fréquence et tension constantes, les enroulements statoriques présentent une résistance R_1 et une réactance X_1 constantes. En valeurs ramenées au primaire, le rotor possède une résistance R_2 et une réactance L_2 telle que : $L_2 * \omega_{rotor} = L_2 * g * \omega_{stator} = g * X_2$

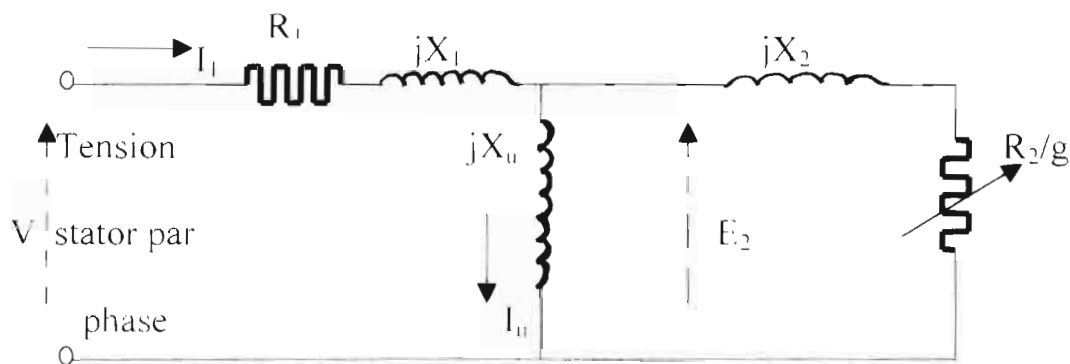


Schéma équivalent unifilaire du moteur asynchrone

La tension induite au rotor, proportionnelle aussi à la fréquence rotorique, peut se mettre sous la forme : $g * E_2$, où E_2 représente la force contre-électromotrice induite dans le rotor ouvert, à l'arrêt ($g = 1$).

Le courant induit dans le rotor est donc :

$$I_2 = \frac{g * E_2}{Z_2} = \frac{g * E_2}{\sqrt{R_2^2 + (g * X_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\frac{R_2^2}{g^2} + X_2^2}}$$

A vide $g \rightarrow 0, R_2/g \rightarrow \infty$; le courant à vide se réduit pratiquement au courant magnétisant.

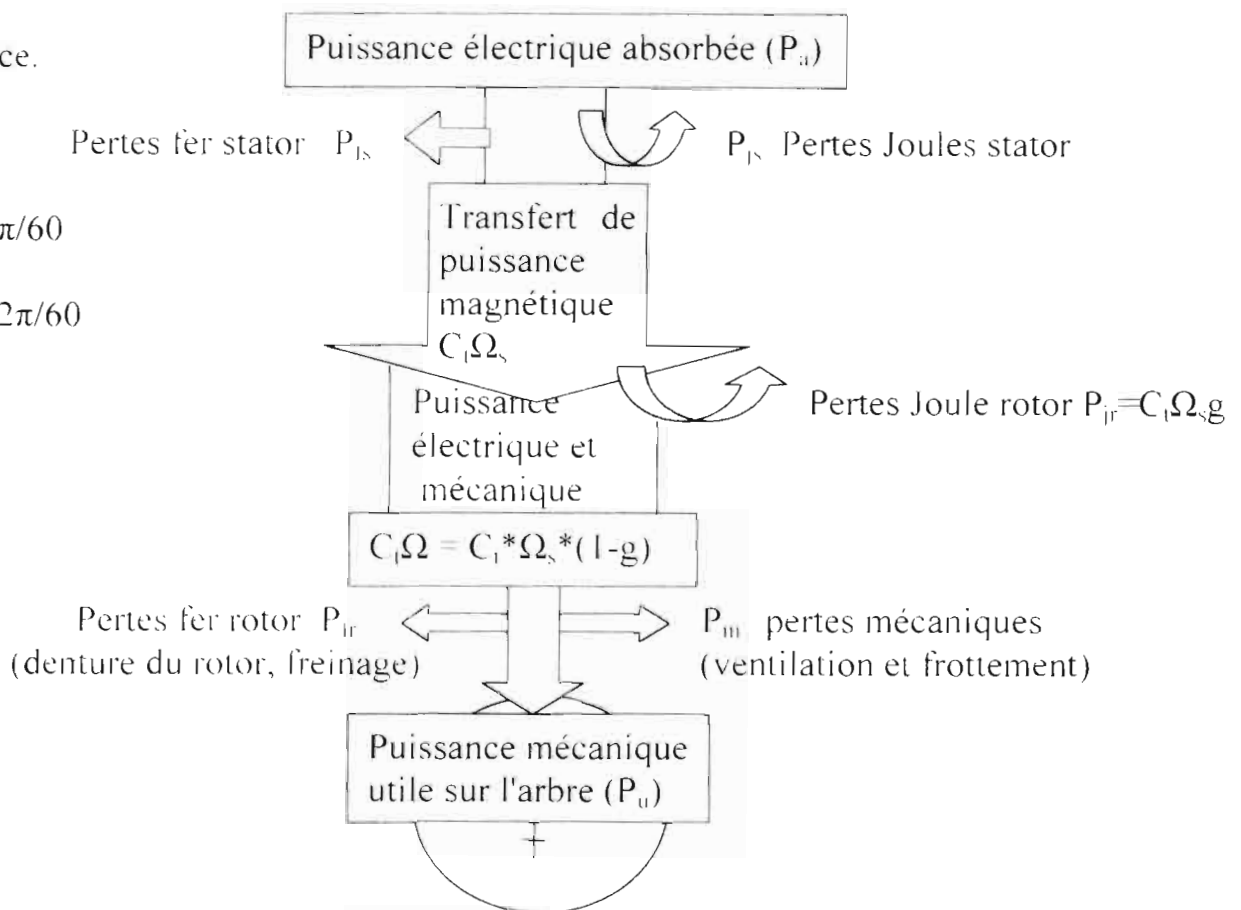
Pour que I_0 soit faible, parce qu'il détermine le $\cos\phi$ de la machine, le constructeur s'efforce de réduire la réluctance du circuit magnétique (faible entrefer, encoches semi-fermées).

Au démarrage, $X_2 \gg R_2/g$: le courant rotorique est réactif, en phase avec I_0 , et l'on peut écrire la relation algébrique : $i_1 = I_0 + I_2$. Limité par l'impédance totale du moteur, cet appel de courant est important et atteint quatre à dix fois le courant nominal.

II-1-4 : Schéma énergétique du moteur asynchrone

Le moteur asynchrone comporte, au stator et au rotor, des conducteurs parcourus par des courants : stator et rotor sont donc sièges de pertes Joule. De même le fer de chacun d'eux est soumis à des inductions variables qui provoquent des pertes fer. Le rotor tourne, ce qui suppose des pertes mécaniques. La figure ci-contre illustre les pertes de transfert de puissance.

$\Omega = N * 2\pi / 60$
 $\Omega_s = N_s * 2\pi / 60$



Dans la décomposition du rendement global $\eta = \frac{P_u}{P_a}$, on peut noter la part correspondant aux pertes Joule rotoriques, caractérisée par le terme $(1-g)$ (appelé "rendement du rotor"). Le rendement global étant nécessairement inférieur à $(1-g)$, on ne peut obtenir un bon rendement que si la valeur du glissement est relativement faible.

II-1-5 : Etude du couple d'un moteur asynchrone

En négligeant les pertes fer du rotor et les pertes mécaniques, on peut expliciter le couple

moteur (cf figure du I-1-4) : $C \approx C_1 = \frac{P_{jr}}{\Omega_s * g} = \frac{3 * R_2 * I_2^2}{\Omega_s * g}$

En remplaçant I_2 par sa valeur : $C = \frac{3 * g^2 * R_2 * E_2^2}{\Omega_s * g * (R_2^2 + (g * X_2)^2)} = \frac{3 * g * R_2 * E_2^2}{\Omega_s * (R_2^2 + (g * X_2)^2)}$

- ✓ Au synchronisme ($g = 0$), le couple est nul.
- ✓ Au voisinage du synchronisme ($g * X_2 \ll R_2$), le couple est : $C \approx \frac{3 * E_2^2}{\Omega_s * R_2} * g$.
- ✓ Aux forts glissements $g * X_2 \gg R_2$, le couple est sensiblement proportionnel à l'inverse du glissement.
- ✓ Entre ces domaines extrêmes le couple passe par un maximum qui correspond à

$$\frac{dC}{dg} = 0, \text{ c'est-à-dire } \frac{3 * R_2 * E_2^2}{\Omega_s} \left(\frac{R_2^2 + (g * X_2)^2 - g * (2 * X_2^2 * g)}{(R_2^2 + (g * X_2)^2)^2} \right) = 0$$

$$\Rightarrow R_2^2 - (g * X_2)^2 = 0 \Rightarrow R_2^2 = (g * X_2)^2 \Rightarrow R_2 = g * X_2. \text{ Cette dernière condition,}$$

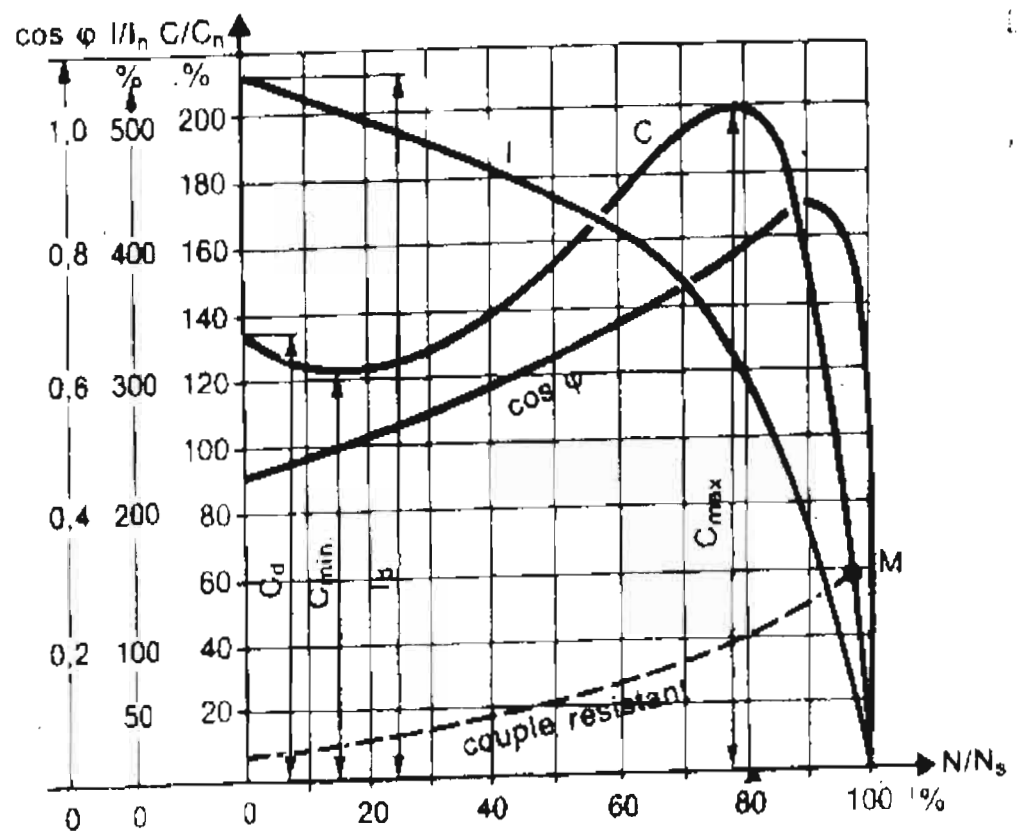
reintroduite dans la relation précédente liant C et I_2 , permet d'écrire $C_{\max} = \frac{3 * E_2^2}{2 * X_2 * \Omega_s}$.

A tension constante, le couple est maximal lorsque la réactance du rotor est égale à sa résistance ; cette valeur de C_{max} est indépendante de la résistance rotorique R_2 . Le glissement correspondant est proportionnel à R_2 . Ainsi, en augmentant la résistance du rotor, on déplace la courbe de C , par affinité, vers les forts glissement sans modifier C_{max} .

a- Caractéristiques en fonction de la vitesse

Les valeurs caractéristiques du couple moteur sont :

- C_d : couple de démarrage (mesuré par essai dit "à rotor bloqué"),
- C_{min} : couple minimal (creux de couple),
- C_{max} : couple maximal (ou de décrochage).



Caractéristiques d'un moteur asynchrone à cage en fonction de la vitesse

b- Stabilité du moteur asynchrone

La marche du moteur n'est stable qu'entre les fonctionnements à vide et à couple maximal, zone dans laquelle un ralentissement entraîne un accroissement du couple moteur.

C_{max} détermine par ailleurs :

- * la surcharge instantanée maximale admissible (C_{max} à tension nominale V_n),
- * la chute de tension instantanée maximale admissible ou la tension de décrochage $V_{déc}$, pour que le moteur, en présence d'un couple résistant constant, ne décroche pas :

$$C_{max}/C_n = (V_n/V_{déc})^2.$$

b-1 Stabilité théorique

Le régime permanent de fonctionnement d'un moteur est obtenu, du point théorique, lorsqu'il y'a égalité entre son couple d'entraînement C et le couple résistant C_r du mécanisme entraîné. Il est nécessaire toutefois, pour qu'un tel régime puisse réellement se maintenir, qu'il s'établisse un équilibre stable des couples ; en pratique, cela signifie que lorsque l'égalité est obtenue, il faut qu'à toute augmentation ou diminution accidentelle de la vitesse corresponde respectivement une diminution ou un accroissement du couple moteur par rapport au couple résistant, de façon que le système tende à revenir au point d'équilibre. La stabilité dépend donc de l'allure des courbes motrices et résistantes.

b-2 Couple accélérateur

Un des facteurs qui déterminent le temps au bout duquel un moteur atteint son régime d'équilibre est le couple accélérateur qui est la différence, à chaque instant, entre C et C_r : plus il est grand, plus ce temps est court. Bien évidemment, s'il est négatif dans la phase de démarrage le moteur ne peut décoller.

Si J est le moment d'inertie global des masses en mouvement, on a : $C_a = C - C_r = J(d\omega_m/dt)$

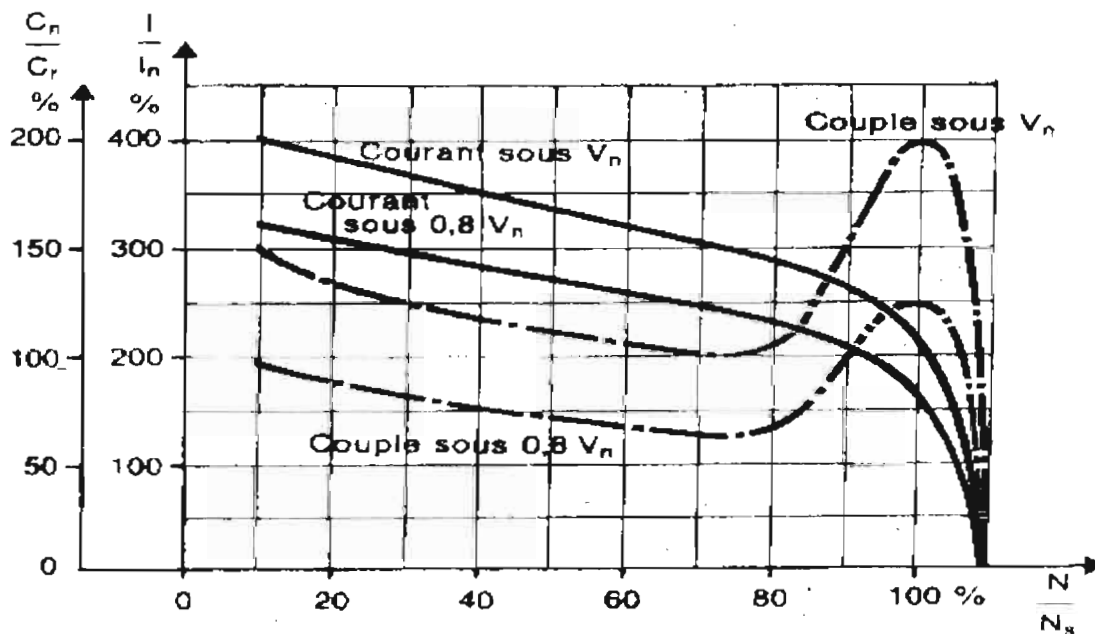
Plus le couple accélérateur est élevé, plus vite est atteinte la vitesse nominale et plus faible est la contrainte thermique que subit le moteur.

Toutefois, le constructeur peut être amené à imposer une valeur maximale à C_a pour limiter les contraintes mécaniques de certaines pièces en rotation.

On définit parfois un couple accélérateur moyen C_{amoy} (en déterminant, par intégration, l'aire comprise entre les deux courbes C et C_r).

On montre que la durée de démarrage t_D , est donnée par la relation : $t_D = \frac{\pi * J * N}{30 * C_{amoy}}$ en s

c- Influence de la tension et de la fréquence



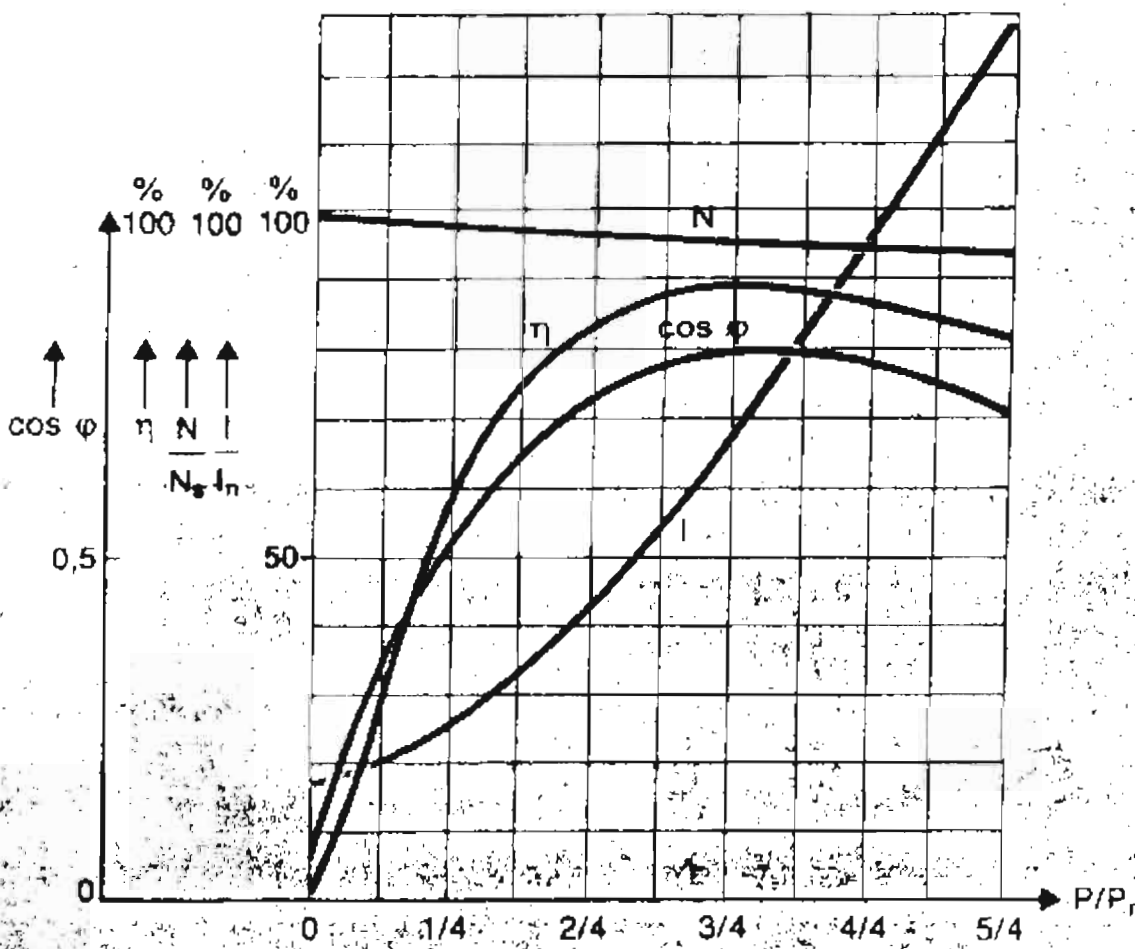
Le moteur asynchrone est particulièrement sensible aux variations de tension :

- pour f et N constantes, le couple est proportionnel à V^2 et l'appel de courant à V ;
- pour V et N constantes, le couple varie de manière inverse à la fréquence.

d- Caractéristiques en fonction de la charge

Un moteur asynchrone présente l'inconvénient d'absorber de la puissance réactive.

Son facteur de puissance et son rendement se dégradent rapidement lorsque la charge décroît. A vide, le courant absorbé reste non négligeable et la puissance absorbée correspondante est presque exclusivement réactive. L'utilisateur n'a donc pas intérêt à faire fonctionner ses moteurs en sous-charge.



Caractéristiques d'un moteur asynchrone à cage en fonction de la charge

e- Influence de la résistance rotor

D'après les équations précédentes, l'augmentation de R_2 a pour effets principaux :

- d'augmenter le couple moteur,
- de réduire l'appel de courant.

Ces propriétés sont mises à profit pour résoudre certains problèmes de démarrage (les problèmes de démarrage conditionnent largement le dimensionnement des moteurs asynchrones).

Dans un moteur à bagues, l'utilisation d'un rhéostat extérieur permet de changer la courbe du couple. Plus la résistance additionnelle est grande, plus le courant du stator diminue jusqu'à une valeur qui doit être déterminée selon les conditions du réseau (par exemple jusqu'à I_n).

Dans un moteur à cage, on peut agir sur la résistivité des conducteurs rotoriques.

f- Couple nominal

S'il se produit une baisse de la tension d'alimentation (qui, rappelons-le, intervient sur la valeur des couples par le carré de l'amplitude de la tension) ou s'il apparaît un point dur (frottement, par exemple) dans le mécanisme entraîné, le couple résistant à la vitesse considérée risque de devenir supérieur au couple moteur maximal.

- Dans le cas où le couple résistant C_r est indépendant du glissement g , ou ne varie que faiblement avec lui, cela va se traduire par un arrêt du moteur, qui doit alors être mis hors service rapidement par un système de protections.
- Dans le cas où il présente une caractéristique variant fortement avec g , on peut obtenir une chute brutale de la vitesse, puis un fonctionnement pseudo-stable avec des oscillations plus ou moins prononcées autour d'un point d'équilibre correspondant à un glissement élevé, donc un rendement faible et des courants rotorique et statorique élevés.

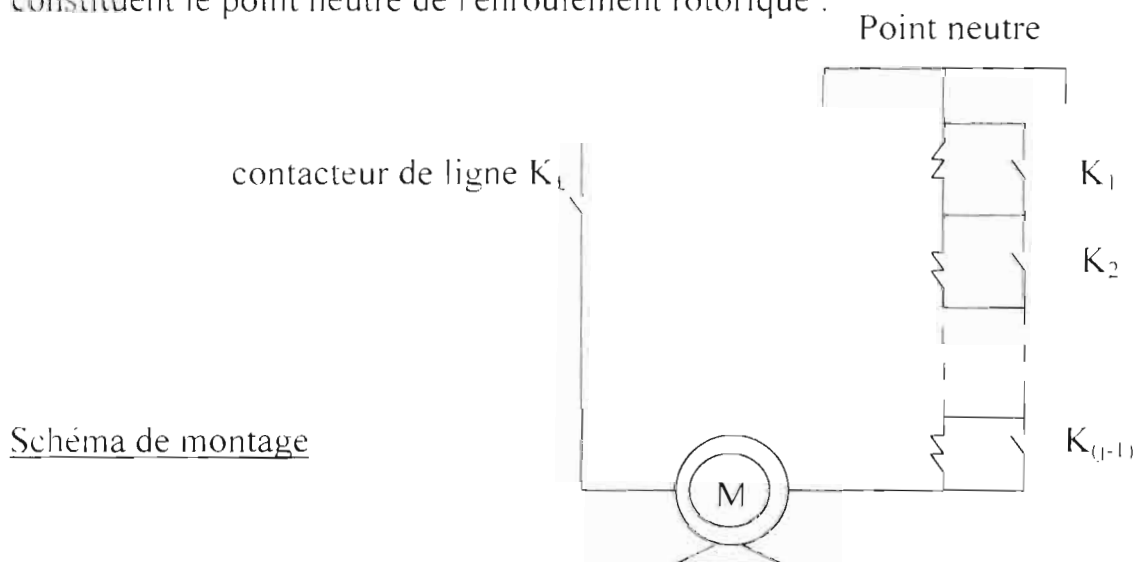
On dit souvent, dans ce cas, que le moteur rampe. Un tel fonctionnement ne doit pas être maintenu longtemps, pour éviter une destruction de la machine par effet thermique.

On caractérise le risque qu'à un moteur de se trouver dans une telle situation en introduisant le coefficient de stabilité, qui est le rapport entre le couple maximal C_{max} et le couple nominal C_n . Plus ce rapport est grand, plus le risque d'instabilité est faible.

- En pratique, pour un moteur triphasé, on adopte généralement $\alpha = C_{max}/C_n = 1.8$
- Les normes (par exemple, NF C 51-111 et NF C 51-200) imposent une valeur minimale (pour des raisons qui ne tiennent pas uniquement à la stabilité) : $\alpha > 1.6$

g- Couple de démarrage

Dans le cas d'un moteur à rotor bobiné, le couple de démarrage C_D peut être réglé à la valeur que souhaite l'utilisateur, au moyen d'un rhéostat triphasé adéquat dont les sorties constituent le point neutre de l'enroulement rotorique .



Le couple de démarrage d'un moteur à cage est, en revanche, fixé par la construction même du moteur, et ne peut être modifié par l'utilisateur. Les normes imposent cependant :

- $C_D > 0.5 C_n$ pour les moteurs triphasés de moins de 100 kW ;
- $C_D > 0.3 C_n$ pour les moteurs triphasés de plus de 100 kW.

II-1-6 Comparaison entre moteur à bagues et moteur à cage

Les différents types de moteur asynchrone ne se distinguent que par le rotor (cf II-1-1).

Dans tous les cas, le stator reste, au moins dans son principe, le même : il est constitué d'un enroulement bobiné réparti à l'intérieur d'une carcasse cylindrique faisant office de bâti et logé à l'intérieur d'un circuit magnétique supporté par cette carcasse. Ce circuit magnétique est formé d'un empilage de tôles, en forme de couronnes circulaires, dans lesquelles sont découpées les encoches parallèles à l'axe de la machine.

❖ Les moteurs à bagues sont plus chers que les moteurs à cage. En pratique ils sont réservés à des cas spéciaux qui ne peuvent être résolus par le moteur à cage.

Leur choix s'impose avec un appareillage approprié lorsque :

- l'appel de courant ou de puissance au démarrage n'est pas admissible pour la source d'alimentation (source faible) ;

- le moteur doit être utilisé un réglage passager ou permanent de vitesse ;

le moteur doit assurer :

*un service intensif avec fréquence élevée de démarrage et de freinage ;

*l'entraînement d'appareils à inertie élevée ;

- le moteur doit supporter des démarrages de longue durée.

❖ Le moteur à cage, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné, est d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue, et de loin, la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones en service aux ICS.

Son inconvénient majeur est qu'il ne peut pas insérer un rhéostat et qu'il a au

démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et couple faible). C'est pour remédier à cette situation qu' ont été développés d' autres types de moteur (rotor à double cage et rotor à encoches profondes) que nous ne traiterons pas dans ce projet.

II-1-7 Rendement

a- Valeurs actuelles

Les moteurs asynchrones, comme la plupart des moteurs électriques, ont la réputation d'avoir de bons rendements. Cette réputation, qui résulte d'une comparaison implicite avec les systèmes mécaniques ou thermiques, est justifiée, comme le montre le tableau ci dessous où sont données à titre d'exemple, les valeurs du rendement à pleine charge de moteurs quadripolaires, c'est à dire de vitesse 1500 tr/min pour une alimentation à 50 Hz, de différentes puissances. On y observe l'effet de taille bien connu qui fait que les rendements peuvent être d'autant plus élevés que la puissance nominale P_n est plus grande.

Puissance nominale du moteur en kW	1,1	11	55	110	1000	5000
Rendement à pleine de charge	0,78	0,88	0,94	0,95	0,96	0,97

Le rendement est peu variable sur une plage qui s'étend au moins entre les 2/3 de la puissance nominale et cette puissance nominale. L'adaptation du moteur à sa charge ne pose donc pas de problèmes critiques de ce point de vue.

Cette réputation de bon rendement des moteurs asynchrones a eu l'inconvénient de désensibiliser les acheteurs des moteurs usuels (moteur BT essentiellement) vis-à-vis de la valeur même de ce rendement. De ce fait, certains constructeurs, qui peuvent être soumis à une forte concurrence sur le marché, peuvent être ramenés à minimiser les prix de revient

de leurs appareils au détriment du rendement. Lorsque ces moteurs sont utilisés de façon temporaire ou avec des cycles de marche relativement courts, cela n'a guère d'importance. En revanche, s'ils doivent assurer des régimes continus pour une charge supérieure à 50% de la pleine charge nominale, comme c'est le cas de la majorité des moteurs (charge comprise entre 80 et 100%) de Darou I, ils peuvent être pénalisants en coût d'exploitation pour l'utilisateur, qui a intérêt, alors, à rechercher un moteur de meilleur rendement.

b- Amélioration possible

Pour augmenter le rendement d'un moteur, il faut chercher à réduire chacun des principaux postes de pertes.

- On peut tout d'abord chercher à réduire les pertes Joule des enroulements du stator. Ceci peut s'obtenir, par exemple, par une diminution de la résistance des enroulements en réduisant la masse des conducteurs dans la partie des enroulements qui ne participe pas directement à la conversion électromécanique (comme les têtes de bobines).
- On peut chercher à réduire les pertes électromagnétiques par hystérésis et courants de Foucault en utilisant des tôles de faibles pertes massiques ou de faible épaisseur. On peut aussi surdimensionner le circuit magnétique, par exemple en augmentant la longueur et en conservant le diamètre, de façon à utiliser les matériaux de façon moins intense, ce qui conduit à réduire les pertes volumiques.
- Lorsque les pertes électriques sont réduites, il devient possible de réduire les pertes mécaniques et de ventilation en utilisant un ventilateur de plus faible taille. L'amélioration des échanges thermiques du moteur permet d'augmenter la capacité de refroidissement et de réduire la puissance nécessaire à la ventilation. Les pertes de friction des paliers peuvent

être réduites par l'utilisation de roulements performants.

La réduction des pertes est étroitement liée au dimensionnement d'ensemble, car la capacité d'emploi d'un moteur est limitée par la température atteinte par les conducteurs.

Quelques avantages liés à l'amélioration des rendements :

Caractéristiques moteur	Incidences sur le moteur	Bénéfices client
Augmentation du rendement et du facteur de puissance.	Augmentation de la puissance massique.	Coût d'exploitation plus faible. Durée de vie augmentée. Retour sur investissement réduit.
Diminution du bruit.		Amélioration des conditions de travail
Diminution des vibrations.		Tranquillité de fonctionnement et augmentation de la durée de vie des organes entraînés.
Diminution de l'échauffement.	Augmentation de la durée de vie des composants fragiles. Augmentation de la capacité de surcharges instantanées ou prolongées.	Réduction des incidents d'exploitation et diminution des coûts de service. Champ d'applications élargi (tensions, température ambiante).

L'optimisation du rendement est un problème global de conception, concernant à la fois le dimensionnement et la construction.

Pour des usagers intensifs comme c'est le cas à Darou I, le rendement d'un moteur est un des critères techniques et économiques de choix.

II-1-7 Puissance nominale

A Darou I où un moteur fonctionne sinon d'une façon rigoureusement permanente (service continu), du moins avec de très grandes périodes de fonctionnement, la définition de la puissance apparente S_n ne soulève aucun problème ; elle vaut : $S_n = U_n * I_n * \sqrt{3}$ alors que la puissance nominale active (puissance absorbée en service nominal) est

$$P_{in} = U_n * I_n * \sqrt{3} * \cos\varphi_n = \frac{2\pi C_n * N_n}{30} = \frac{P_n}{\eta_n} \quad \text{avec}$$

C_n couple nominal à la vitesse nominale ;

P_n puissance nominale du moteur, qui est la puissance utile sur l'arbre et qui vaut $C_n \omega_{mn}$

U_n et I_n valeurs efficaces des tension et courant du moteur en régime permanent ;

η_n rendement du moteur en régime nominal ;

φ_n déphasage entre courant et tension de chaque enroulement.

II-1-9 Calcul de l'impédance relative

Un moteur asynchrone brusquement désalimenté ($U = 0$) se comporte comme un générateur pendant une courte durée. Ainsi en cas de faute aux bornes, il contribue au courant de court-circuit.

Dans notre étude nous considérons que la contribution des moteurs BT est négligeable ; ainsi seuls les moteurs HT seront considérés.

L'impédance relative est donnée par : $z_{pu} = S_b * x'' / P$

S_b : puissance de base choisie = 10 MVA

P : puissance électrique nominale du moteur $P = \frac{P_m}{R * \cos\phi}$

P_m : puissance mécanique

$\cos\phi$: facteur de puissance

R : rendement du moteur

x'' : réactance subtransitoire du moteur $x'' = I_n / I_d$

I_n : courant nominal

I_d : courant de démarrage

$$4I_n \leq I_d < 10I_n$$

A Darou on prend $I_d = 6 * I_n$ d'où $x'' = 17\%$. Ainsi on peut écrire $z_{pu} = \frac{S_b * R * x'' * \cos\phi}{100 * P_m}$

Moteurs	P(kW)	R	cosφ	P _m (kW)	x''	z _{pu}	nombre de moteurs
P1803	250	93.8%	0.81	189.945	17	6.8	04
P1704	250	93.5%	0.87	203.362	17	6.8	04
P2304	315	94.8%	0.86	256.813	17	5.4	05
P2505	315	94.8%	0.86	256.813	17	5.4	03
C2137	200	93.0%	0.84	156.200	17	8.5	01
A2112	315	94.8%	0.86	256.813	17	5.4	01
A2812	315	94.8%	0.86	256.813	17	5.4	01
C2818	520	94.3%	0.86	421.709	17	3.3	01
C1452	1300	96,1%	0.89	1111,87	17	1.3	01
P2304e	355	93,5%	0.86	224,395	17	4.8	01
P1853	250	93.8%	0.81	189.945	17	6.8	01
C2118	520	94.3%	0.86	421.709	17	3.3	01

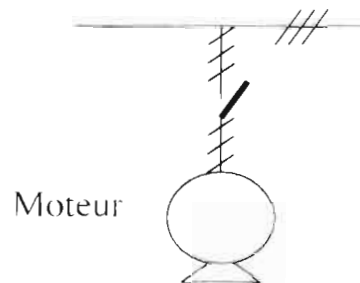
II-2 Types de démarrage des moteurs électriques

Le démarrage des moteurs d'entraînement des machines tournantes est un point délicat de l'exploitation des moteurs électriques.

Au décollage, le moteur asynchrone se comporte comme un transformateur statique dont le secondaire (rotor) est en court-circuit. Lors de la mise en tension, l'impédance présentée par le moteur est très faible. Il peut s'ensuivre un violent appel de courant (I_d peut atteindre 4 à 10 fois I_n) si aucun dispositif ne vient le limiter.

Les types de démarrage qui existent à Darou I sont :

II-2-1 Démarrage direct



Avant de procéder ainsi, on s'assure que le réseau d'alimentation du moteur peut supporter une telle surintensité ; la chute de tension induite ne doit pas perturber les autres utilisateurs en provoquant :

- ✓ des baisses d'intensité d'éclairage,
- ✓ un ralentissement et un échauffement d'autres moteurs,
- ✓ un dysfonctionnement de contacteurs, relais ou systèmes électroniques.

Ceci ne pose pas de problème à Darou I.

Conséquences :

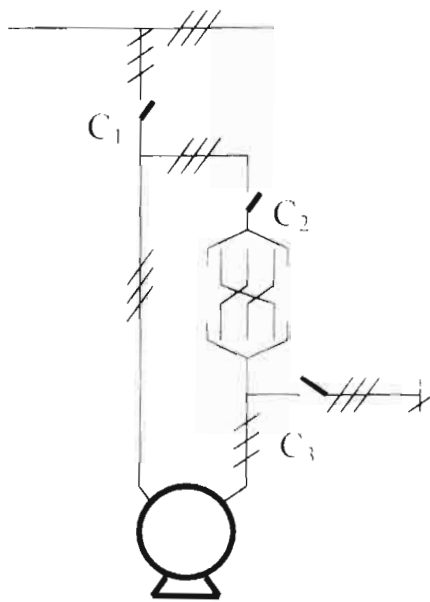
- Moment de démarrage : M_d
- Courant de démarrage : I_d

Avantages :

- Simplicité de l'appareillage,
- couple important,
- tension de démarrage minimal.

C'est le type de démarrage le plus utilisé à Darou 1.

II-2-2 Démarrage étoile-triangle



(1 = fermé et 0 = ouvert)

D'ordinaire ce démarrage est opéré par des contacteurs.

Enclenchements successifs des contacteurs			
Ordres successifs	Etats des contacteurs		
	C ₁	C ₂	C ₃
1	0	0	1
2	1	0	1
3	1	0	0
4	1	1	0

Un moteur destiné à un tel démarrage doit avoir les six bornes statoriques sorties, être spécifié pour les tensions U_1 et $U_1 \cdot 3^{1/2}$ si U_1 est la tension du réseau et être bobiné en triangle sous sa tension nominale.

Dans un premier temps les enroulements sont montés en couplage étoile lors de la mise sous tension.

Dans un deuxième temps, lorsque le couple moteur devient proche du couple résistant

(utilisation d'une temporisation pré-réglée), la commutation en couplage triangle des enroulements ramène le couple et l'intensité sur leur courbe normale, avec une pointe transitoire de courant accompagnée d'un à-coup mécanique parfois important.

Il s'agit du plus simple des dispositifs de démarrage sous tension réduite.

Conséquences :

- Moment de démarrage : $M_1/3$
- Courant de démarrage : $I_1/3$

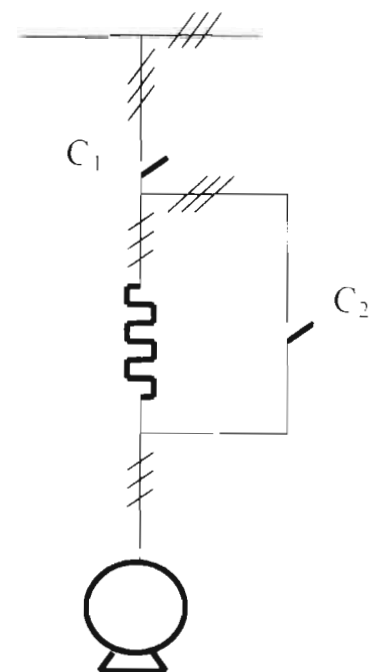
Avantages :

- appel de courant divisé par 3,
- Appareillage simple (3contacteurs dont un bipolaire).

Ce dispositif est généralement utilisé pour les puissances maximales au moteur de 500 kW.

II-2-3 Démarrage par résistances statoriques

Enclenchements successifs des contacteurs		
Ordres successifs	Etats des contacteurs	
	C ₁	C ₂
1	0	0
2	1	0
3	1	1



Ce dispositif consiste à introduire une résistance en série sur chaque phase du moteur.

La chute de tension dans cette résistance, quand elle est traversée par le courant de

démarrage, limite la tension aux bornes du moteur, et par conséquent, le courant de démarrage. Le courant est réduit comme la tension. Le couple moteur est quant à lui réduit comme le carré de la tension.

Conséquences :

- Moment de démarrage : $k^2 * M_D$
- Courant de démarrage : $k * I_D$

$$k = U_{\text{démarrage}} / U_{\text{nominale}} = U_D / U_n$$

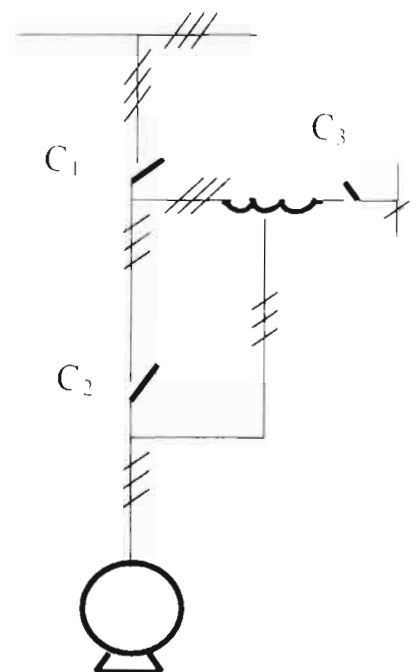
Avantages :

- Permet de choisir le couple ou le courant,
- Pas de coupure du courant,
- Surcoût modéré (1 contacteur par cran).

Ce dispositif essentiellement utilisé en basse tension, ne concerne que les moteurs BT.

II-2-4 Démarrage statorique avec autotransformateur

Enclenchements successifs des contacteurs			
Ordres successifs	Etats des contacteurs		
	C ₁	C ₂	C ₃
1	0	0	1
2	1	0	1
3	1	0	0
4	1	1	0



La présence devant le moteur, d'un autotransformateur de rapport k prédéterminé, permet de réduire la tension aux bornes du moteur, en réduisant l'intensité sur la ligne sur la ligne dans le rapport k^2 ($I_{\text{primaire}} = I_D * k^2$).

Le démarrage se fait en trois temps :

- alimentation du moteur sous tension réduite d'un facteur k ; le couple alors réduit d'un facteur k^2 ;
- ouverture du point neutre de l'autotransformateur ; une fraction gros fil du bobinage se trouve en série avec le moteur et est traversée par l'intensité de démarrage ; les à-coups de tension et de courant du troisième temps sont ainsi limités ;
- court-circuit du dispositif et mise sous tension nominale.

Le deuxième temps est en principe bref car ralentisseur : il correspond au temps de commutation des contacteurs.

On veille à ce que les contacteurs soient correctement et automatiquement verrouillés et munis de temporisations. Lors des commutations, il faut éviter tout risque de court-circuit sur le secondaire de l'autotransformateur.

Conséquences :

- Moment de démarrage : $k^2 * M_D$
- Courant de démarrage : $k^2 * I_D$

$$k = U_{\text{démarrage}} / U_{\text{nominale}} = U_D / U_n$$

Avantages :

- Permet de choisir le couple,
- Pas de coupure du courant,

- Diminution du courant proportionnel au couple,
- Pas de dissipation d'énergie active (à la différence du démarreur à résistances statoriques).

Ce dispositif de démarrage est recommandé pour les moteurs de forte puissance. D'ailleurs à Darou 1, seul le moteur de 1.3 MW est démarré avec un autotransformateur et que le démarrage se fait en deux temps.

Ces divers procédés de démarrage sont retenus pour concilier la double sujétion de limiter le courant et de préserver la demande mécanique d'un couple suffisant.

Proposition : Démarreurs électroniques (Unistart, Digistart, etc...)

Les modes de démarrage "électroniques" contrôlent la tension aux bornes du moteur pendant toute la phase de mise en vitesse et permettent des démarrages trop progressifs et sans à-coups.

- Quelques avantages d'un démarreur électronique :

- Assure sa propre protection et celle du moteur pour toute la plage de puissance,
- Utilisation de tous les moteurs sans déclassement,
- Signalisation des défauts,
- Programmation numérique simple,
- Commande par clavier ou à distance.

La détermination des tensions et courants lors du démarrage d'un moteur, prenant en compte les caractéristiques du réseau, du moteur et de son dispositif de réglage, nécessite un programme informatique (programme C'ADMOS par exemple).

II-3 Types d'entraînement par moteur électrique

II-3-1 Entraînement à vitesse fixe

Bien que les moteurs asynchrones n'aient pas, comme les moteurs synchrones, une vitesse strictement constante, puisque $N = N_s(1-g)$, il n'est guère possible, pour autant, de les considérer comme des moteurs à vitesse variable. Leur vitesse est en effet bornée, d'un côté par la vitesse de fonctionnement au couple maximal, de l'autre par la vitesse de synchronisme, ce qui ne donne qu'une plage de variation inférieure à 10%. Par ailleurs on ne dispose pas de moyens électriques simples et économiques (comme les rhéostats de champ des moteurs à courant continu) pour régler leur vitesse.

Pourtant la variation de vitesse d'un moteur présente deux intérêts fondamentaux.

- Le premier, qui est le plus évident, est de répondre aux exigences de variation de vitesse de l'organe entraîné (le cas le plus typique est celui de la traction).
- Le second est de fournir un réglage performant au système entraîné, sans celui-ci ait, en toute rigueur, besoin d'un réglage de vitesse.

A titre d'exemple de ce second cas, on peut citer le fonctionnement de compresseurs d'air : il est d'usage très fréquent d'entraîner ces appareils par un moteur asynchrone et de régler le débit d'air par des vannes qui introduisent une perte de charge. En installant un moteur d'entraînement à vitesse variable, on substitue à ce réglage, qui dégrade l'énergie (les régulations mécaniques traditionnelles consomment 20% de l'énergie électrique utilisée dans l'industrie), un rendement sensiblement constant. Si le compresseur est appelé à fonctionner souvent hors de son point de fonctionnement nominal, ce gain de rendement peut être suffisant pour compenser l'accroissement du coût imposé par l'introduction d'un

entraîneur à vitesse variable. Il en est particulièrement ainsi lorsque, pour des raisons de sécurité, on est amené à surdimensionner le compresseur par rapport aux besoins normaux de l'installation, car celui-ci fonctionne en permanence en régime dégradé.

Pourtant jusqu'à présent c'est le type d'entraînement par moteur électrique le plus utilisé à Darou 1, où la vitesse variable n'est encore réellement intégrée (une dizaine d'entraînements à vitesse variable).

II-3-2 Entraînement à vitesse variable

L'entraînement à vitesse variable d'une machine réceptrice peut s'effectuer selon deux types de procédés, fondamentalement différents :

- le premier consiste à agir sur la transmission entre le moteur tournant à vitesse fixe et l'organe entraîné à vitesse variable : c'est le cas des systèmes mécaniques, hydrauliques et électromagnétiques ;
- le second s'obtient en faisant fonctionner le moteur à vitesse variable à l'aide de solutions électriques ou électroniques.

Dans notre travail nous ne traiterons que le second cas.

Solutions électriques

Seules les plus répandues sont ici mentionnés :

- ✓ Le réglage de vitesse d'un moteur asynchrone à rotor bobiné à bagues par rhéostat de glissement est un procédé incompatible avec un bon rendement et n'est de ce fait utilisé que dans les cas particuliers où les impératifs de réglage sont considérés comme prioritaires et doivent être réalisés même au prix d'une baisse importante de rendement.
- ✓ Le réglage des moteurs asynchrone à cage par changement de polarité, consiste à

connecter différemment les bobines du stator. Ce procédé ne permet que l'obtention de vitesses discrètes dont le nombre dépend de celui de paires de pôles réalisables (en général deux vitesses).

Solutions électroniques

➤ Les Solutions électroniques les plus utilisés sont :

- moteur asynchrone à cage alimenté par redresseur-onduleur autonome,
- moteur asynchrone alimenté par cycloconvertisseur.

Après avoir décrit succinctement les principaux procédés utilisés, il semble utile de donner un bref aperçu des avantages qui font de la variation électronique de vitesse une solution attrayante pour bon nombre de processus industriels, à la fois techniquement et économiquement.

➤ Intérêt de la variation électronique de vitesse

Les principaux avantages, d'ailleurs souvent intimement liés, sont les suivants :

❖ Souplesse de réglage et optimisation fonctionnelle

- Grande facilité de démarrage avec un couple moteur programmable indépendant des conditions climatiques et sans temps de préparation.
- Souplesse de fonctionnement permettant d'adapter l'organe entraîné à des conditions variables d'utilisation et même, dans certains cas, d'accroître sa plage utile de service.
- Adaptation aisée aux procédés modernes d'automatisation et, de ce fait, participation à l'amélioration de la productivité et de la constance de qualité des produits.
- Possibilité d'utiliser les moteurs à des vitesses supérieures à celles imposées par le réseau.

❖ Economie énergétique

- Capacité de réaliser des économies d'énergie significatives par rapport aux entraînements du type coupleur grâce à des rendements de conversion électromécanique intrinsèquement plus élevés.

- Possibilité pour un équipement de fonctionner en permanence aux meilleurs rendements sur toute la gamme des vitesses réalisables et non pas seulement au point maximal de dimensionnement.

❖ Disponibilité et maintenabilité

- Disponibilité élevée des équipements, résultant d'une part d'une fiabilité sans cesse améliorée, et d'autre part de la faible durée des réparations et de l'entretien nécessaire (l'obtention de cette disponibilité sous-entend l'insensibilisation de l'électronique contre les perturbations du réseau).

- Dépannages facilités par la modularité des sous-ensembles électroniques et la possibilité de mettre en œuvre des procédures de détection automatique de défaut de substitution rapide.

❖ Réduction des contraintes sur les matériels et de certaines nuisances

- Réduction des contraintes appliquées à la mécanique (couple transitoire au démarrage, décrochages, coups de bélier, etc) par contrôle permanent de l'accélération.

- Suppression des appels de courant sur le réseau lors du démarrage des moteurs.

- Possibilité de se passer des bagues et contacts glissants, facilitant ainsi l'utilisation en atmosphère explosible ou agressive.

➤ Précautions d'utilisation

Les dispositifs électroniques utilisés pour la variation de vitesse des moteurs engendrent des courants harmoniques qui, circulant dans les impédances du réseau, créent des tensions harmoniques gênantes pour les autres récepteurs raccordés sur le même réseau. L'emploi de filtres adaptés est alors conseillé.

II-4 Fréquence des pannes des moteurs électriques

A Darou 1, il y'a beaucoup plus de pannes sur les moteurs BT que sur les moteurs HT.

On constate que la fréquence des pannes des moteurs électriques n'est pas due à un mauvais bobinage. Une étude dans ce sens démontre que le rebobinage, qui est sous-traité avec d'autres entreprises (SOREM, Dioubo électrique, SMR, SBI, ABB), est d'assez bonne qualité.

Cela nous a motivé à approfondir notre analyse dans d'autres axes, et ces observations ont été faites :

- L'environnement est nocif pour certains moteurs : une température de plus de 30°C et des vibrations.
- L'étanchéité des boîtes à bornes au niveau du moteur doit être assurée afin d'éviter le fonctionnement en monophasé.
- Les moteurs en attente sont stockés dans un local qui peut occasionner parfois des pannes infantiles qui pourraient mettre en doute leur rebobinage par exemple.
- Il apparaît clairement que la plupart de ces pannes sont causées par les dures conditions de fonctionnement de ces moteurs.

Notons que les pannes les plus fréquentes sont des pannes mécaniques.

II-5 Protection actuelle des moteurs électriques

Par protection des moteurs, on désigne l'ensemble des dispositifs permettant de limiter les conséquences des défauts électriques, mécaniques ou thermiques, en cours d'exploitation d'un moteur ou d'un procédé.

II-5-1 Protection des moteurs BT

A Darou 1, la protection d'un moteur BT est généralement limitée aux protections contre les courts-circuits internes par fusibles ou relais à maximum d'intensité, et contre les surcharges par relais thermiques direct ou inverse.

Proposition : Exploitation des sondes de température pour les moteurs BT

Le relais thermique contrôle la température du moteur en se basant uniquement sur l'intensité qui le traverse. Donc toute augmentation de température qui n'est pas causée par une surintensité (par exemple obturation du circuit de ventilation) échappe au contrôle du relais.

Mais les thermosondes, elles, contrôlent directement la température des bobinages dans lesquels elles sont noyées lors de la construction du moteur, par le fabricant. De telle sorte que dans l'avenir, il faudrait les inclure dans le système de protection, en prévenant le constructeur avant qu'il ne fabrique le moteur.

II-5-2 Protection des moteurs HT

A Darou 1, ce sont les relais PMS qui protègent les moteurs HT contre :

- la **surcharge thermique** : échauffement du moteur $\Delta\theta$ supérieur à l'échauffement nominal $\Delta\theta_n$, pour un courant I_n en service permanent.
- le **défaut entre phases** : courant de défaut dans l'une des 3 phases supérieur au

réglage (multiple de I_r) pendant plus de 60 ms.

- la **marche à vide** : minimum de courant triphasé $0.2 < I < 0.8 I_r$ pendant plus de 3.5 s.
- le **défaut à la terre** : courant de défaut phase-terre supérieur à I_s pendant plus de 60 ms ou de 400 ms.
- le **déséquilibre de courant** : coupure de phase. Déséquilibre supérieur au seuil pendant un temps supérieur à 3.5 s.
- le **démarrage trop long** : $I_d > 2I_r$ pendant un temps t supérieur au réglage de la temporisation.

Proposition : Utilisation de relais numériques

Pour une meilleure fiabilité et une meilleure sensibilité nous proposons au département maintenance de remplacer les relais analogiques et électromécaniques par des relais numériques.

II-6 Critères de choix et spécification des moteurs électriques

Ce sous chapitre doit permettre aux exploitants de dégrossir une application de force motrice électrique, et d'établir une spécification technique des constructeurs de moteurs électriques.

Tout en évitant les détails superflus, les informations contenues dans la consultation doivent être suffisantes, qualitativement et quantitativement pour permettre aux constructeurs d'établir un avant-projet et une proposition budgétaire, pour le moteur et son appareillage de démarrage. Le meilleur compromis doit être réalisé entre les exigences

techniques liées au procédé industriel, le coût global de l'investissement et le coût de fonctionnement.

II-6-1 Critères de choix d'un moteur électrique

Le choix et le dimensionnement d'un moteur électrique sont conditionnés par les caractéristiques suivantes :

- de la machine entraînée, et plus généralement du procédé industriel complet,
- de l'environnement dans lequel fonctionne le moteur,
- du réseau d'alimentation électrique.

Ils sont limités par la faisabilité industrielle, les normes à respecter et la compétitivité économique.

- Machine entraînée

Les caractéristiques et les conditions d'exploitation de la machine entraînée sont des critères fondamentaux pour le choix du moteur électrique, même dans les applications banales, de petite puissance, dès lors qu'on s'attache à optimiser les investissements et les coûts d'exploitation (coût énergétique et coût d'entretien).

La connaissance de la courbe du couple résistant en fonction de la vitesse permet d'établir les meilleures conditions de démarrage. Si un variateur est prévu, cette courbe $C_r = f(N)$ permet de minimiser les coûts d'exploitation énergétiques. Si la machine entraînée est équipée d'un dispositif de régulation (vanne modulante, tiroir, coupleur, etc.), le réseau complet de courbes $C_r = f(N)$ doit être pris en compte. Le couple instantané maximal admissible doit être indiqué pour les machines fragiles : centrifuges, certains types de multiplicateurs de vitesse et d'organes de transmission (courroies, accouplements

torsibles,...).

La valeur du moment d'inertie, ramenée à la vitesse de rotation de l'arbre moteur, permet de déterminer les durées de démarrage et de ralentissement de la ligne d'arbre.

Diverses autres caractéristiques influent sur la technologie adoptée pour réaliser le moteur :

- ✓ dispositif multiplicateur ou réducteur de vitesse,
- ✓ type de paliers, notamment paliers de butée, poussées axiales et radiales,
- ✓ type d'accouplement et précision d'alignement,
- ✓ niveau et fréquence des vibrations...

Enfin, les conditions d'exploitation de la machine entraînée, imposées par le procédé industriel dans lequel elle s'insère, influent sur le dimensionnement du moteur :

- ✓ fréquence des démarrages,
- ✓ intermittence de fonctionnement,
- ✓ durée, fréquence et amplitude des surcharges,
- ✓ risques de blocage, de dévirage,
- ✓ nécessité de freinage, etc...

- Réseau d'alimentation électrique

L'exploitation, et surtout le démarrage du moteur électrique, peuvent engendrer des chutes de tension susceptibles de perturber le fonctionnement d'autres appareils consommateurs d'électricité dans l'usine. A l'inverse, le fonctionnement du moteur peut être affecté par des variations de son alimentation électrique. Les caractéristiques d'alimentation du moteur électrique sont définies par :

- ✓ la tension et la fréquence (et leurs variations),

- ✓ la puissance de court-circuit au point de livraison,
- ✓ le besoin éventuel d'un transformateur, spécifique ou non,
- ✓ les caractéristiques des perturbations,
- ✓ le type de couplage souhaité pour le moteur,
- ✓ l'éventualité d'une fourniture ou d'une consommation de puissance réactive,
- ✓ le fonctionnement éventuel du moteur en générateur.

Ces caractéristiques conditionnent le choix du moteur et son éventuel dispositif de démarrage.

- Environnement

La température, l'humidité, l'agressivité de l'air à l'endroit où sera installé le moteur, l'altitude, influent sur refroidissement, le choix du degré de protection et sa durée de vie.

II 6-2 Spécification technique d'un moteur

La spécification technique doit être un guide pour l'industriel demandeur et le représentant du constructeur. Celle-ci doit permettre de rassembler les éléments nécessaires au constructeur pour calculer et dimensionner son moteur. Par conséquent le fonctionnement de la machine entraînée doit être décrit et les paramètres pouvant influencer sur le dimensionnement doivent être notés. Il est souhaitable d'y adjoindre une description du réseau local et des commandes et protection demandées. Les exigences particulières, normes, régimes spéciaux de fonctionnement, sont à préciser s'il y a lieu. Cette spécification ne doit rassembler que les caractéristiques imposées par l'utilisateur et laisser l'initiative au constructeur ou à l'ingénierie pour le choix du moteur (s'il y a lieu) et de son mode de démarrage.

CHAPITRE III :

CONDITIONS D'EXPLOITATION

III-1 L'environnement des appareils

En général tous les moteurs de Darou 1 fonctionnent dans les conditions suivantes :

- situation extérieure aux intempéries ;
- atmosphère :
 - saline,
 - poussiéreuse,
 - acide ou corrosive ;
- température ambiante :
 - maximale de $+43^{\circ}\text{C}$,
 - minimale de $+10^{\circ}\text{C}$;
- humidité relative de 100% à température de 50°C ;
- altitude de 50 m.

Il est nécessaire, dans un premier temps, de déterminer les caractéristiques du milieu dans lequel travaillent ces moteurs. En effet certains modes de défaillance résultent dès fois, de la nocivité de l'environnement. Les facteurs qui entrent en jeu sont :

- ✓ L'humidité

Elle a une influence néfaste sur l'isolement électrique et sur la lubrification.

Entre autres, l'humidité provoque l'abaissement de l'isolement facilitant les fuites électriques suivies de pannes totales. La graisse en présence d'humidité peut donner une émulsion diminuant ainsi la bonne lubrification.

A l'arrêt, un grand nombre d'agents chimiques contenus dans l'eau sont réactifs. Ainsi en ce qui concerne la fiabilité du matériel, rien ne remplace l'air pur, sec et frais.

✓ La température

La fiabilité est fortement diminuée par l'échauffement des bobines et des roulements ; de même la lubrification est fonction de la température.

Au site acides des ICS la température se situe entre 10 et 40°C. On sait que l'échange thermique est plus efficace sous une température ambiante relativement basse.

✓ Les vibrations

Les moteurs subissent de fortes vibrations de la part des machines entraînées. Pour l'entraînement par poulie courroie par exemple, le déplacement est perpendiculaire au rotor du moteur de telle sorte que des forces transversales sont exercées. Donc les courroies ne doivent pas être trop tendues pour éviter la flexion de l'arbre.

Les chocs et vibrations ont des conséquences sur les roulements :

- détérioration des chemins de roulements à la suite du martèlement,
- la graisse est donc chassée hors du roulement.

En cas de vibration en milieu humide, les effets de ces facteurs se superposent. En outre la vibration facilite l'entrée de l'humidité dans les zones les plus critiques, ainsi l'émulsion des graisses.

✓ L'agressivité

On constate qu'il existe beaucoup de poussière à Darou, ce qui obstrue les canaux de ventilation.

Pour une bonne étude des différents modes de défaillance, on doit surtout tenir compte de l'agressivité de cet environnement car la plupart des problèmes sont causés par ce facteur.

III-2 Les cycles opératoires

Les cycles opératoires concernent les analyses vibratoires et la lubrification des machines tournantes. Elles se font périodiquement par une équipe du département maintenance appelée inspection.

➤ La lubrification

Le lubrifiant reflète l'état du système dans lequel il circule. Aussi son analyse permet une meilleure connaissance de la machine. Ce suivi de la qualité des huiles est plus important que plus de la moitié des pannes mécaniques sont dues à un défaut ou un manque de lubrifiant. Pour pouvoir diagnostiquer de façon précise un défaut, il convient de suivre régulièrement les paramètres tels que la viscosité, l'acidité, la présence de particules de fer, la taille des particules, etc... L'analyse de lubrifiant vient souvent en complément des analyses vibratoires pour confirmer des hypothèses.

➤ L'analyse vibratoire

La décomposition en série de Fourier du signal temporel mesuré par notre accéléromètre, nous permet de différencier les défauts de la machine (balourd, alignement, roulement, etc...), mais aussi de définir pour chaque bande de fréquence, des seuils d'acceptation. Cette technique, au sein de la maintenance conditionnelle, est l'une des plus performantes en terme de nombre de défauts potentiels diagnostiqués par rapport au temps d'intervention. Cette analyse se fait généralement dans le cadre d'un suivi, et de mesures périodiques. Signalons que les périodicités sont calculées pour chaque application industrielle.

III-3 L'installation du matériel

Les principales qualités techniques et humaines telles que :

- ✓ la régularité du produit ou du service rendu,
- ✓ la sûreté ou au moins la sécurité de fonctionnement,
- ✓ la tranquillité de marche,
- ✓ la durée de vie de la structure et de ses composants,
- ✓ l'endurance au poste de travail,

pouvant être menacées par les vibrations de structure doivent être prises en compte lors de la mise au point du matériel.

❖ Fondations et supports de montage

La fondation et la réalisation des fondations relèvent de l'entière responsabilité de l'acquéreur.

Les supports de montage métalliques doivent être recouverts d'une couverture de protection anti-corrosion.

La surface des fondations doit être parfaitement plane et suffisamment solide et rigide pour supporter les efforts mécaniques en cas de court-circuit et éviter les problèmes de résonance.

❖ Ancrage de la machine aux fondations

On boulonne les tiges filetées sur les pattes de la machine et on place de 1 à 2 mm entre les tiges filetées et les pattes.

L'alignement est directement effectué selon les procédures adéquates.

On scelle les tiges filetées avec du béton, on vérifie l'alignement et on perce les trous pour

les goupilles de positionnement.

❖ Orifices de vidange

Les orifices de vidange ouverts doivent toujours être orientés vers le bas même si la disposition de montage diffère de la disposition standard.

Dans les ambiances très poussiéreuses, tous les orifices de vidange doivent être fermés.

❖ Alignement

Un alignement correct est essentiel pour éviter toute détérioration des paliers et des bouts d'arbres et prévenir les problèmes liés aux vibrations.

❖ Glissières et entraînements à courroie

On place les glissières horizontalement sur le même plan.

On vérifie que l'arbre du moteur est parallèle à l'arbre entraîné ou entraînant.

La courroie doit être tendue conformément aux consignes du fournisseur. Une courroie trop tendue peut endommager les paliers et entraîner la cassure de l'arbre. On ne doit jamais dépasser les valeurs maximales de tension de courroie (charges radiales imposées aux paliers) figurant dans les catalogues des produits.

❖ Raccordements électriques

Chaque moteur est livré avec la boîte à bornes montée sur la partie supérieure, avec les entrées de câbles possibles des deux côtés.

Outre les bornes principales de raccordement des enroulements et la borne de terre, la boîte à bornes peut également comporter des points de raccordement pour les thermistances, les résistances de chauffage (anti-condensation à l'arrêt)...

La boîte à bornes peut être maintenue sous tension (alors que le moteur est hors circuit)

pour l'alimentation des résistances de réchauffage ou le réchauffage direct des enroulements.

Proposition : analyse de structure

L'analyse de structure permet de connaître la réponse à une excitation mécanique d'un châssis, d'un bâtiment, etc... Cette excitation peut bien être un balourd sur une machine, une fréquence d'engrènement, etc... Elle permet aussi de simuler l'efficacité des renforts mécaniques qui peuvent être mis en place.

III-4 La révision du matériel

La révision du matériel concerne essentiellement :

- le rebobinage, fait par sous-traitance ;
- le changement de roulements, effectué au niveau de l'atelier central de maintenance ;
- la vérification de la résistance d'isolement, faite avant la mise en service du moteur ainsi qu'en cas d'humidité suspectée des enroulements. La résistance d'isolement, mesurée à une température ambiante de 25°C doit être supérieure à la valeur de référence calculée au moyen de la formule suivante : $R_i = \frac{20 \cdot U}{1000 + 2P}$ en MΩ (mesure effectuée avec un mégohmmètre 500 V c.c.) où U est la tension (volts) et P = puissance utile (kW).

Des vérifications mineures peuvent souvent être faites :

- ✓ la température en surface de la machine (enveloppe) doit, en fonctionnement normal, rester dans les limites définies (vérifier en touchant avec la main) ;

- ✓ il est conseillé de tourner l'arbre avec la main à intervalle régulier pour éviter toute coulée de graisse ;
- ✓ recouvrir les surfaces non protégées du moteur (bouts d'arbre et brides) d'une couche de protection anti-corrosion ;
- ✓ diviser les intervalles de lubrification par deux pour les moteurs à arbre vertical ;
- ✓ pour les machines tournant à grandes vitesses (par exemple machines 2 pôles de grande puissance) vérifier que le facteur f_n de la graisse est suffisamment élevé, $f_n = D_m * n$ avec D_m = diamètre moyen du palier(mm) et n = vitesse de rotation (tr/min).

III-5 La politique de maintenance

La maintenance est l'ensemble de tout ce qui permet de maintenir ou rétablir un système en état de fonctionnement. En d'autres termes la maintenance est la médecine des machines.

Sa mission est triple :

- surveillance permanente ou périodique,
- dépannages et réparations,
- actions préventives.

La maintenance est maintenant reconnue comme un des facteurs les plus importants pour la marche des entreprises modernes car l'importance de la qualité du matériel de production sur la rentabilité de l'entreprise n'est plus à démontrer. Donc notre objectif est d'assurer la disponibilité des machines dans l'exercice de leur fonction.

Pour cela quatre types de maintenance s'offrent à nous :

a- La maintenance corrective

C'est une opération effectuée après défaillance.

Elle correspond à une attitude de défense dans l'attente d'une défaillance fortuite, attitude caractéristique de l'entretien traditionnel. Elle débouche sur deux types d'interventions :

- les dépannages, c'est-à-dire une remise en état de fonctionnement effectuée in situ, parfois sans intervention de l'ensemble concerné, ont un caractère provisoire. Ils caractérisent la maintenance palliative.
- les réparations, faites in situ ou en atelier central, parfois après dépannage, ont un caractère définitif. Ils caractérisent la maintenance curative.

Elle existe en tant que complément résiduel de la maintenance préventive. En effet, quels que soient la nature et le niveau de préventif mis en œuvre, il subsistera toujours inexorablement une part de défaillances résiduelles entraînant des actions correctives.

Au site acides, en ce qui concerne les moteurs, ce type de maintenance est presque exclusivement curative. En effet, ce système d'entretien curatif n'est pas sans problème si l'on sait que l'atelier central électromécanique fonctionne en permanence. Ce qui élève les coûts de maintenance.

Justification, en tant que système de maintenance :

- ✓ lorsque les frais indirects de défaillance sont minimes et les contraintes de sécurité faibles ;
- ✓ lorsque l'entreprise adopte une politique de renouvellement fréquent du matériel ;

- ✓ lorsque le parc est constitué de machines disparates dont les éventuelles défaillances ne sont pas critiques pour la production.

b- La maintenance préventive

C'est une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service rendu.

C'est une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance.

Elle est bien connue au site acides où les objectifs visés sont principalement :

- ✓ augmenter la fiabilité des équipements, donc réduire les défaillances en service :
réduction des coûts de défaillance, amélioration de la disponibilité ;
- ✓ augmenter la durée de vie des équipements ;
- ✓ améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production ;
- ✓ réduire et régulariser la charge de travail ;
- ✓ faciliter la gestion des stocks (consommations prévues) ;
- ✓ assurer la sécurité (moins d'improvisations dangereuses) ;
- ✓ plus globalement, en réduisant la part de fortuit, améliorer le climat des relations humaines (une panne imprévue est toujours génératrice de tension).

La mise en œuvre d'une politique préventive implique le développement d'un service " méthode-maintenance " efficace. En effet on ne peut faire de préventif sans un service méthode qui va gréver à court terme les coûts directs de maintenance, mais qui va permettre :

- ✓ la gestion de la documentation technique, des dossiers-machines, des historiques,

- ✓ les analyses techniques du comportement du matériel.
- ✓ la préparation des interventions préventives,
- ✓ la concertation avec la production ;

autant de conditions nécessaires à la maintenance préventive.

Dans ce système l'état des moteurs a une grande importance, et il ne faut pas perdre son temps à entretenir un matériel désuet. Signalons entre autres que les considérations économiques doivent primer sur les considérations techniques. Alors une politique de renouvellement doit être mise sur pied pour certains moteurs. Nous pensons que ce système ne sera pas coûteux car les travaux d'entretien pour ces moteurs sont assez simples (nettoyage, changement des roulements, inspection des boîtes à bornes).

Enfin nous suggérons aussi de calculer les coûts d'entretien de chaque machine ; ces coûts annuels permettront de juger l'opportunité de leur remplacement.

c- La maintenance systématique

C'est une maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre unités d'usage.

La mise en place d'actions préventives systématiques suppose une connaissance préalable du comportement du matériel dans le temps.

En effet les interventions systématiques sont programmées selon une périodicité T , obtenue à partir des préconisations du constructeur (1^{re} phase), puis à partir des résultats opérationnels recueillis lors des visites préventives ou lors d'essais (2^e phase), ce qui permet une optimisation économique.

C'est une forme de maintenance qui peut être surveillée ou absolue.

- ✓ absolue, aucune inspection n'est faite entre deux interventions programmées.
- ✓ surveillée, on programmera des inspections périodiques ayant pour objectif le contrôle de l'écart entre l'état constaté et l'état estimé.

Au site acides, nous avons une maintenance systématique surveillée qui concerne l'analyse vibratoire et la lubrification périodiques des machines tournantes.

d- la maintenance conditionnelle

C'est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, mesure).

Elle a pour objectif d'assurer le suivi continu du matériel en service dans le but de prévenir les défaillances attendues.

Elle n'implique pas la connaissance de la loi de dégradation. La décision d'intervention préventive est alors prise lorsqu'il y'a évidence expérimentale de défaut imminent, ou approche d'un seuil de dégradation prédéterminé.

La condition première de sa mise en place est que le matériel s'y prête (existence d'une dégradation progressive et détectable) et qu'il mérite cette prise en charge (criticité du matériel). Pour que le matériel s'y prête, il est nécessaire de trouver une corrélation entre un paramètre mesurable et l'état du système.

En ce qui nous concerne, nous parlerons de maintenance prédictive puisqu'elle est appliquée aux machines tournantes. Dès lors, en ce qui concerne les moteurs, les mesures faites sont :

- ✓ le niveau de vibration (à l'aide d'un accéléromètre),
- ✓ la fréquence de vibration (analyse permettant un diagnostic),

- ✓ la teneur en résidus d'usure (analyse de lubrifiants).

Les capteurs de bruits et de vibrations fixés sur les parties externes d'une machine tournante fournissent des informations qui, brutes ou traitées, sont significatives de l'état interne de la machine (déséquilibre, dégradation des paliers, transmission).

Nous avons un personnel qualifié (l'équipe d'inspection) qui assure le suivi de toute l'installation et interprète les mesures, décidant de l'opportunité d'intervention immédiate ou à terme.

Propositions

- Module de surveillance Statuts

Le module de surveillance en continu est conçu pour les moteurs asynchrones à vitesse fixe. Il permet de suivre en tendance autant les vibrations du système, que les variations de flux électromagnétique, ainsi que la température de fonctionnement.

- Thermographie infrarouge

La thermographie infrarouge permet de mettre en évidence de nombreux défauts sans contact et de manière non destructive. En maintenance conditionnelle, elle est utilisée pour vérifier le serrage des cosses électriques, contrôler le vieillissement des composants électroniques, de mettre en évidence des défauts d'alignement, d'usure de paliers, de manque de graissage... Elle est aussi utilisée pour vérifier les déperditions de chaleur sur des éléments chauffants et leurs réfractaires, ou mettre à jour des fuites de fluide. Utilisée seule dans certains cas, elle est peut souvent associée à l'analyse vibratoire sur les machines tournantes.

La mise en œuvre des technologies de pointes dans le domaine de la maintenance, comme l'analyse vibratoire ou la thermographie IR, nécessite une étude approfondie des besoins exprimés ou latents.

Bien que la maintenance ne consiste pas à faire du préventif à tout prix, il sera intéressant de vérifier que l'évolution amènera les ICS comme toutes les entreprises à des taux croissants d'activités préventives.

CHAPITRE IV :

ETUDE DES DEFAILLANCES

IV-1 Reconnaissance d'une défaillance

Une défaillance est une altération ou une cessation d'un bien à accomplir une fonction requise.

Les défaillances sont à la maintenance ce que les maladies sont à la médecine : leur raison d'exister.

Il serait illusoire de vouloir opérer un dépannage ou une réparation sur un matériel sans avoir au préalable élucidé la nature de la défaillance à remédier.

➤ Correction des défaillances : les interventions

Les dépannages sont des remises en état de fonctionnement provisoires avant réparations.

Les réparations sont des interventions limitées et définitives.

➤ Relevés de défaillances

Ce sont généralement les bons de travaux qui servent de base aux historiques. Ces relevés peuvent être entrés en ordinateur qui liste ces défaillances à la demande par nature, par machine, par secteur... ou qui les traite : fiabilité, disponibilité...

IV-2 Défaillances électriques

IV-2-1 Echauffement

L'échauffement d'un moteur est admissible jusqu'à une certaine limite qui est fonction de sa classe d'isolation.

Signalons que les moteurs de Darou 1 sont conçus avec un système d'isolation de classe F.

La classe thermique F autorise des échauffements de 105°C et des températures maximales aux points chauds du moteur de 155°C.

Échauffement (ΔT) et températures maximales des points chauds (T_{\max}) selon la classe d'isolation :

	ΔT	T_{\max}
Classe B	80 K	130°C
Classe F	105 K	155°C
Classe H	125 K	180°C

Le calcul de l'échauffement est réalisé selon la méthode de la variation de résistance des enroulements, par la formule suivante : $\Delta T = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + T_1) + (T_1 - T_2)$

R_1 - résistance à froid mesurée à la température ambiante T_1

R_2 - résistance stabilisée à chaud mesurée à la température ambiante T_2

235 : coefficient correspondant à un bobinage en cuivre.

L'échauffement anormal peut être situé à différents niveaux :

- Le fer actif du stator s'échauffe uniformément mais la charge du moteur ne dépasse pas sa valeur nominale. Pour ce cas précis la tension est supérieure à la tension nominale. Donc il faut envisager une diminution de la tension.
- L'échauffement anormal de l'enroulement statorique est engendré par une surcharge ou par une défectuosité de la ventilation.
- L'échauffement anormal de l'enroulement rotorique est provoqué par un mauvais contact entre les tiges du rotor en court-circuit et les couronnes de court-circuit à cause du détachement des tiges ou d'une rupture des couronnes.

Ce phénomène est observé par la rupture des tiges dans les encoches du rotor.

- Des défaillances infantiles peuvent être causées par les creux de tension où deux problèmes sont constatés :
 - du moment que le moteur tourne encore, conservant sa force électromotrice qui n'est plus en phase avec la tension du réseau revenant, une surtension sera provoquée.
 - d'autre part le moteur ayant ralenti, le courant de reprise est un peu inférieur au courant de démarrage, alors existe une surintensité, et par conséquent une chute de tension.

IV-2-2 Fonctionnement en monophasé

Un manque d'étanchéité de la boîte à bornes peut isoler une phase du moteur ; ce qui cause un fonctionnement en monophasé. La rupture d'une phase qui le plus souvent la conséquence d'une cause extrinsèque, telle qu'un choc, une surchauffe ou une vibration ; peut être à l'origine de cette défaillance. En effet, du fait que le moteur est déjà lancé, il continue à tourner et à fournir la même puissance :

$$P = 3^{1/2} * U * I_{\text{triphase}} \text{ avant l'anomalie ;}$$

$$P' = U * I_{\text{monophasé}} \text{ si le moteur fonctionne en monophasé.}$$

$$\text{Instantanément on a : } P = P' ; \text{ ce donne } 3^{1/2} * U * I_{\text{triphase}} = U * I_{\text{monophasé}} ; \text{ d'où } I_{\text{mono}} = 3^{1/2} I_{\text{tri}}$$

Mais en réalité le couple moteur diminue un peu, de même que la puissance absorbée et on obtient finalement : $I_{\text{mono}} \approx 1,5 I_{\text{tri}}$

En fonctionnement monophasé, on a aussi une vitesse légèrement inférieure à la vitesse nominale.

IV-3 Défaillances mécaniques

Elles sont nombreuses mais les principales sont :

➤ Les vibrations

Toutes les structures et installations industrielles sont sujettes à des vibrations, qu'il s'agisse de celles qu'elles génèrent ou de celles qu'elles subissent de la part de leur environnement.

En aucun cas on ne doit laisser en fonctionnement un groupe qui présente des vibrations anormales. Celles-ci peuvent provenir d'un mauvais lignage de la transmission, d'un jeu dans les paliers, d'un arbre faussé, d'un déséquilibre du moteur.

➤ Les défauts de roulements

Tous les efforts dynamiques d'une ligne d'arbre sont soutenus et encaissés par les roulements. Ainsi ce sont les éléments les plus critiques, et donc les éléments à surveiller le plus. Il est alors important de réaliser des contrôles périodiques sur les machines critiques. Si un roulement donne des signes de fatigue, caractérisés généralement par un bruit anormal qui ne tend pas à disparaître malgré un apport considérable de graisse neuve, il convient de le démonter et de le remplacer. En aucun cas, on ne doit frapper sur la cage ou la bague intérieure pendant le montage d'un roulement. Après montage, il faut procéder à un essai en marche et observer le fonctionnement en appliquant l'oreille contre la poignée d'un tournevis appuyé sur la boîte à roulements. Un sifflement est l'indice d'une lubrification défectueuse, tandis qu'une marche bruyante et irrégulière peut indiquer très probablement la présence de particules étrangères entre les billes du roulement.

➤ Défaut de refroidissement

Le refroidissement est réalisé par un ventilateur monté à l'arrière du moteur, à l'intérieur d'un capot de ventilation, assurant la protection contre tout contact indirect. L'air aspiré à travers la grille du capot est soufflé le long des ailettes du carter par le ventilateur assurant un équilibre thermique dans les deux sens de rotation. L'obturation, même accidentelle de la grille du capot est très préjudiciable au refroidissement du moteur (capot plaqué contre une paroi ou colmaté).

➤ Balourd et alignement

Ce sont ces défauts qui provoquent les efforts dynamiques les plus violents sur une ligne d'arbre. Ils sont une action importante sur la durée de vie des roulements et paliers, mais aussi une influence non négligeable sur la consommation d'énergie. Ainsi, ces opérations, peu coûteuses comparées à l'environnement de la machine, permettent de remettre celle-ci dans des conditions optimales de fonctionnement.

➤ Défaut d'équilibrage

Le but d'un équilibrage est de limiter ou de diminuer les forces sur les roulements, et donc de prolonger au maximum la durée de vie. Ceci s'inscrit pleinement dans le cadre de la maintenance préventive et prédictive. Sur un moteur, la force sur un roulement est proportionnelle à l'amplitude des vibrations et à un effet très important sur la durée de vie : En effet lorsque la charge dynamique double, la durée de vie du roulement est divisée par 8. Ainsi il n'y a que 10 à 20 % des roulements qui atteignent la durée de vie maximale calculée.

Les coûts énergétiques représentent une part importante des coûts d'exploitation. Et les

machines fonctionnant incorrectement ne font qu'augmenter ceux-ci. En pratique, un mauvais équilibrage fait qu'une machine moyenne absorbe 1 à 2 % de courant supplémentaire.

L'énergie économisée dans un moteur se calcule par :

$E = (I_{\text{initial}} - I_{\text{final}}) * V * \cos\phi * 3^{1/2}$ avec I_{initial} courant absorbé par un équilibrage défectueux ;
 I_{final} courant absorbé après équilibrage ; V tension du moteur.

L'intervention d'équilibrage est très rapidement couverte par les économies d'énergie.

IV-4 Les corrosions

De nature très variées, et importantes pour un technicien de maintenance, elles méritent un développement particulier.

IV-4-1 La corrosion électrochimique

Elle affecte les métaux (très souvent le fer) en milieux aqueux.

La corrosion atmosphérique entre dans ce cadre, l'électrolyte étant apporté par l'eau contenu dans l'atmosphère. Nous avons les réactions suivantes :

Réaction anodique : $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e$

Réaction cathodique : $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$

les ions ferreux étant en solution dans l'eau.

La corrosion galvanique est de nature semblable : deux métaux de nature différente sont réunis par une solution aqueuse conductrice (électrolyte) et forment une pile (transfert des ions de l'anode métallique).

La corrosion par aération différentielle (ou par l'oxygène, ou par "goutte d'eau") est une

variante : les zones fortement oxygénées sont cathodiques (pôles +), les zones pauvres en oxygène sont anodiques.

IV-4-2 La corrosion chimique

La mise en contact fortuite ou normale, temporaire ou permanente d'équipement avec des produits agressifs entraîne une corrosion chimique : réaction chimique avec perte régulière de matière, formation de piqûres ou fissuration inter-granulaire.

Les agents corrosifs peuvent être des acides (sulfurique, nitrique, phosphorique), des hydracides, des composés halogénés ou alcalins, des atmosphères réductrices ou oxydantes.

Attention aux lubrifiants, dont la mission est la protection des surfaces, mais dont les additifs créent certaines incompatibilités et dont l'oxydation produit des acides organiques.

IV-4-3 La corrosion électrique

Sous l'effet de "courants vagabonds", deux surfaces métalliques peuvent être soumises à une DDP suffisante pour créer un arc, entraînant une abrasion (surface rayée par un corps (surface ou particule libre) de dureté supérieure).

IV-4-4 La corrosion de contact

Elle survient lorsque deux pièces sont en contact et soumises à des vibrations. En guise d'exemple, nous citerons le cas d'une bague extérieure de roulement dans son logement. Dans ce processus complexe, il se forme du Fe_2O_3 en poussière rougeâtre très abrasive.

IV-4-5 La corrosion bactérienne

Les huiles de coupe et les eaux industrielles contiennent souvent des ferro-bactéries aérobies ou anaérobies.

Les bactéries aérobies donnent des acides, les anaérobies attaquent les produits sulfatés pour donner du SH_2 .

IV-4-6 La cavitation

Elle se manifeste sur des pièces en contact dans une zone. Des bulles se forment dans la masse du liquide en écoulement. Sous l'effet de la pression externe, ces bulles implosent, générant une onde de choc accompagnée d'une température ponctuelle élevée.

Ainsi s'explique la dégradation de turbines, d'hélices, de chemises de moteur...

A chacune de ces familles de corrosion correspondent des "symptômes et remèdes particuliers.

Le technicien de maintenance, après avoir observé au mieux les symptômes et analysé les conditions d'apparition de la dégradation, doit se référer à des spécialistes pour la préconisation d'actions correctives ou préventives efficaces.

Les critères essentiels permettant une protection anti-corrosion s'appuient sur des composants en acier inoxydable, des protections des parties actives (stator et rotor), des peintures spéciales.

IV-5 Taux de défaillance

Le taux de défaillance est un "estimateur" de la fiabilité. En effet, il représente une proportion de dispositifs survivants à un instant t .

Généralement il est donné par le rapport du nombre de défaillances sur la durée d'usage. Le plus fréquemment, il s'exprime en "pannes/heures".

Utilisé en fiabilité le taux de défaillance devra exclure les défaillances extrinsèques à

l'ensemble analysé, telles les pannes dues à une faute de conduite (accident, consignes non respectées) ou dues à une influence accidentelle du milieu extérieur (inondation, incendie).

Son calcul diffère selon que les éléments défailants sont remplacés dans l'intervalle Δt ou sont non réparés (ne sont pas remplacés).

CHAPITRE V :
PROPOSITION D'UN SYSTEME DE
PROTECTION

V-1 Nécessité d'un système de protections

Toute installation, même exécutée dans les règles de l'art avec des matériaux de choix, peut être affectée par des dérangements de causes et d'effets divers.

Toutes perturbations influent sur les diverses grandeurs électriques caractérisant le fonctionnement normal de l'installation.

Il est nécessaire de protéger une installation électrique industrielle pour :

- ✓ préserver la sécurité des biens et des personnes (dangers d'électrocution par élévation du potentiel des masses),
- ✓ préserver la stabilité du réseau et la continuité d'exploitation de l'usine (élimination des défauts électriques dans un temps minimal),
- ✓ éviter la destruction partielle ou totale du réseau par l'accroissement dangereux des temps causés par le fonctionnement anormal des composantes du réseau,
- ✓ éviter les risques d'incendie ou d'exploitation dus à l'amorçage d'un arc entre conducteurs.

Dès lors il est nécessaire de mettre en exergue des appareils de protection susceptibles de détecter et annihiler rapidement les types de fautes pouvant survenir dans une installation électrique.

Les principaux défauts qui sont rapportés ci-après conduisent soit à l'arrêt de l'alimentation électrique, soit à une alarme. Pour le choix et la bonne utilisation des appareillages, on tient compte du degré de sécurité recherché, des coûts comparés des appareillages et du moteur, et de la probabilité d'apparition des défauts.

- Défauts du réseau d'alimentation

- coupures, inversion et déséquilibre de phases

La surveillance des coupures, des déséquilibres ou de l'inversion de phases est importante : ces défauts provoquent dans le stator et dans le rotor une augmentation des courants et un échauffement supplémentaire dus à l'apparition des courants inverses. On utilise un **relais à maximum de courant inverse**.

Pour les moteurs de forte puissance, on peut utiliser un **relais à image thermique** du rotor.

- coupures brèves

Pour se prémunir des conséquences d'une coupure brève (par exemple 0.3 s) intervenant sur le réseau d'alimentation, on cherche le meilleur compromis entre :

- * soit le ralentissement jusqu'à l'arrêt complet du moteur, avec des conséquences sur le procédé ;

- * soit la mise en œuvre d'un dispositif de reprise à la volée, retardée ou non, utilisant un **relais à zéro de tension** pour commander le contacteur-disjoncteur (maintien ou ouverture et réenclenchement temporisé jusqu'à extinction du flux rémanent).

- Minimum de tension

Les baisses de tension aux bornes du moteur provoquent une diminution du couple et de la vitesse, et par suite une augmentation de l'intensité absorbée. On utilise un **relais temporisé à minimum de tension** (par exemple 80%) pour couper l'alimentation du moteur ou délester le réseau des charges non prioritaires. Une baisse de tension équivaut à une surcharge conduisant à un échauffement du moteur et peut donc être détectée comme les surcharges.

➤ Maximum de tension

Sur un réseau susceptible de fortes variations de tension, le moteur doit être protégé contre les surtensions afin d'éviter les surcharges sur la machine entraînée. On utilise un **relais temporisé à maximum de tension**.

- Défauts internes au moteur

➤ Défaut phase-terre

On doit se prémunir des défauts de masse au stator pour éviter tout risque d'électrocution du personnel. Le temps de coupure ne doit pas excéder 0.3 s.

En cas de fonctionnement avec neutre à terre, on utilise soit un **relais de courant**

homopolaire (trois transformateurs de courant ou un tore unique sur les trois phases).

En cas de fonctionnement avec neutre isolé, on utilise soit un relais de tension homopolaire sur le secondaire de trois transformateurs de potentiel montés en triangle ouvert, soit un **contrôleur d'isolement à injection** à courant continu.

➤ Défauts polyphasés

Ces défauts doivent être éliminés rapidement, étant donnée la valeur souvent importante des courants de défaut polyphasé.

La protection est assurée habituellement :

- * soit par des **fusibles** pour les départs qui en sont équipés,
- * soit par des **relais à maximum de courant instantané** ou faiblement temporisés.

La détermination du courant nominal des fusibles ou des valeurs de réglage en courant et en temporisation doit tenir compte :

- * du **courant maximal** en régime normal,

* des courants apparaissant lors des **régimes transitoires** (démarrages, réaccélérations),

* du **courant minimal de défaut**.

Dans le cas de départs équipés de fusibles, et pour lesquels les courants de défaut peuvent être faibles dans certaines configurations, (départs alimentés par des groupes électrogènes) comme c'est le cas à Darou 1, des relais à maximum de courant faiblement temporisés peuvent être nécessaires, en plus des fusibles qui assurent la protection et la coordination avec les **contacteurs** pour les valeurs élevées des courants de court-circuit.

Dans les moteurs de forte puissance, les défauts dans les enroulements statoriques peuvent ne pas être vus immédiatement par les relais de surcharge. Ils doivent cependant être détectés afin d'éviter des détériorations plus importantes. On utilise un **relais ampermétrique** de protection différentielle longitudinale (défaut entre phases) ou de protection différentielle transversale (défaut sur une même phase d'un moteur à plusieurs enroulements par phase). Le relais est déclenché par une différence d'intensité constatée entre l'amont et l'aval de l'enroulement, ou entre deux enroulements d'une même phase.

V-2 Protection contre les incidents de fonctionnement

V-2-1 Surcharges

Si la puissance mécanique demandée au moteur augmente, celui-ci passe en surcharge avec un appel accru de courant. Trois types de relais peuvent être utilisés :

- ✓ **relais à maximum d'intensité**, temporisé à temps constant,
- ✓ **relais à maximum d'intensité**, temporisé à temps inverse (mis hors service en phase de démarrage),

✓ de préférence, des **relais à image thermique** qui intègrent les régimes de marche du moteur (échauffement) pour couper l'alimentation du moteur dès que la température excessive du moteur est atteinte.

La détermination du réglage de ces relais doit tenir compte :

- ❖ du courant maximal en régime normal,
- ❖ des surcharges admissibles pour le moteur,
- ❖ des courants apparaissant lors des régimes transitoires (démarrages, réaccélérations),
- ❖ des caractéristiques des transformateurs de courant et des relais (précision, pourcentage de retour,...).

V-2-2 Blocage

Le blocage du rotor peut être assimilé à une surcharge avec $I = I_d$. Si ce défaut risque de se produire, on veille à ce que la temporisation des relais à maximum d'intensité ne soit pas trop longue (relais à deux temporisations), car la ventilation est arrêtée. On peut aussi utiliser un **relais d'impédance** mis hors service pour la phase de démarrage.

V-2-3 Minimum de puissance

Pour l'entraînement de pompe avec risque de désamorçage, on peut détecter un minimum de débit par une mesure de minimum de puissance et donc d'intensité au moteur. On utilise dans ce but un **relais temporisé à minimum d'intensité**.

V-2-4 Démarrages incomplets

Cette protection se justifie pour les démarrages sous tension réduite ou avec résistances rotoriques. Elle évite l'échauffement excessif du moteur à cage ou des résistances de

démarrage (moteur bobiné). On utilise un relais temporisé (durée maximale) ou un relais à image thermique. Ce dernier peut rendre compte de l'échauffement du moteur en autorisant plusieurs démarrages successifs (l'image doit intégrer la ventilation sous vitesse réduite).

V-3 Coordination et sélectivité des protections

V-3-1 Coordination des protections

Elle vise à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée par un défaut, et uniquement cette partie, en laissant sous tension toutes les parties non avariées du réseau.

On note qu'actuellement, les constructeurs de relais proposent des coffrets de protection assurant la protection des moteurs contre :

- les surcharges,
- les courts-circuits,
- la coupure de phase,
- le déséquilibre de phases,
- l'inversion de phases,
- les défauts de masse au stator (courant homopolaire).

Lorsque le choix des protections en fonction des exigences d'exploitation est fait, il faut assurer leur coordination, afin de les utiliser au mieux de leurs possibilités. Un équilibre doit être recherché entre le déclenchement intempestif et un retard à l'élimination du défaut.

V-3-2 Sélectivité des protections

- La **sélectivité ampèremétrique** partielle est très utilisée en BT où l'impédance des

câbles à une grosse influence sur l'intensité des courants de court-circuit.

➤ La **sélectivité chronométrique** n'est possible qu'avec des disjoncteurs prévus pour supporter sans dommage le courant de court-circuit pendant la durée de temporisation. Ce n'est pas le cas des petits disjoncteurs (jusqu'à 100 A), où l'on cherche avant tout à limiter les courants de défauts et où la coupure est effective en quelques millisecondes.

A partir de 160 A, on trouve, en plus de la protection de surcharge à temps inverse, des déclencheurs à très court retard, dont la temporisation diminue et s'annule pour un seuil inférieur à la limite de tenue du disjoncteur : ce dispositif améliore la sélectivité.

La sélectivité chronométrique ne permet pas malheureusement pas de bénéficier des avantages de la limitation du courant de défaut.

➤ La **sélectivité logique** est réalisable en BT à partir de 800 A, c'est-à-dire pour les disjoncteurs prévus pour supporter une temporisation suffisante : le disjoncteur amont passe en position temporisée lorsqu'il reçoit un signal du disjoncteur aval qui va éliminer le défaut.

V-4 Critères de choix et qualité d'un relais de protection

Compte tenu de la topologie des défauts affectant les réseaux à moyenne tension (court-circuit, coupure d'une phase, câble tombé à terre...), le système de protection MT doit répondre aux objectifs suivants :

- préserver la sécurité des personnes et des biens (danger d'électrocution par élévation de potentiel),
- éviter la destruction partielle ou totale des matériels de réseau par élévation

dangereuse des températures, incendie ou explosion due à l'amorçage d'un arc entre phases,

➤ assurer la continuité de fourniture en éliminant rapidement l'élément de réseau défectueux.

V-5-1 Les critères de choix d'un relais de protection

Le choix d'un relais de protection est guidé par plusieurs critères :

- ✓ fonction du relais de protection : mesure du courant, de tension, de fréquence, de puissance ;
- ✓ la plage de réglage : l'intervalle compris entre le plus petit et le plus grand courant ;
- ✓ l'alimentation : le type, la fréquence, la tension des grandeurs de mesure et les auxiliaires ;
- ✓ conditions de l'ambiance : comportement aux conditions particulières de température, atmosphère explosive, parasites électromagnétiques, surtensions de manœuvre, vibrations, chocs, séisme.

V-5-2 Qualités d'un relais de protection

On cherche dans tout système de protection à obtenir le meilleur compromis entre :

- ❖ la **sensibilité**, qui est l'aptitude des protections à détecter les défauts, notamment les défauts très résistants, qui peuvent mettre en péril la sécurité des tiers ;
- ❖ la **sélectivité**, qui permet de n'éliminer que la partie en défaut ;
- ❖ la **rapidité**, pour réduire les conséquences néfastes des courts-circuits, du moins lorsque ceux-ci ne sont pas des défauts auto-extincteurs ;
- ❖ la **fiabilité**, qui est l'aptitude des protections à éviter les déclenchements intempestifs (sécurité) et à assurer le bon fonctionnement en cas de défaut (sûreté) ;

❖ la **simplicité**, pour faciliter la mise en œuvre et la maintenance.

Certaines de ces exigences sont contradictoires, telles la sélectivité et la rapidité, la sécurité et la sûreté.

Dans les systèmes de protection des réseaux MT, un compromis est très délicat à déterminer ; il faut tenir compte des coûts des ouvrages à protéger et des enjeux de qualité de service.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce projet n'a pas été effectué sans difficulté. La principale contrainte s'est matérialisée dans la recherche effrénée de données, ce qui a valu l'utilisation de presque tout le temps passé au site.

Mais néanmoins nous avons pu tirer de certaines informations les besoins nécessaires afin d'étudier la protection actuelle et de proposer une alternative possible de dispositifs de protection pour mieux exploiter les moteurs électriques de Darou I.

En effet le bon fonctionnement en service d'un moteur asynchrone dépend largement de la façon dont ont été prises en compte les contraintes auxquelles il aura à faire face. Deux facteurs non complètement indépendants sont à surveiller : le couple et l'intensité de démarrage :

- ✓ il faut tout d'abord que le couple moteur soit supérieur au couple résistant à tout instant et, en particulier pendant le démarrage ; cela peut nécessiter de faire appel à des constructions spéciales de cage (cages à encoches profondes ou doubles cages) ou à utiliser des moteurs à rotor bobiné avec insertion de résistances ;

- ✓ quant au courant de démarrage, dont l'intensité peut varier entre 6 et 10 fois le courant nominal, il ne doit pas provoquer des chutes de tension qui perturbent les installations voisines ou qui réduisent trop le couple de démarrage.

Par ailleurs, il faut garder à l'esprit que le réseau d'alimentation peut être le siège de défauts

de nature aléatoire, tels que les chutes de tension transitoires ou les coupures brèves. L'expérience montre qu'heureusement la majorité des chutes de tension qui apparaissent n'affectent pas de façon sérieuse les installations. Il y a, toutefois, des chutes de tension qui, par leur profondeur, provoquent un ralentissement tel qu'il n'est plus possible au moteur de revenir lui-même au régime initial. Il n'y a pas malheureusement de règles générales qu'on puisse édicter pour remédier à ce genre d'incidents et chaque installation doit faire l'objet d'une étude propre.

Cette étude nous a aussi permis d'apporter notre contribution à l'analyse des pannes de moteurs électriques à la plate-forme de Darou des ICS en mettant en relief l'environnement et l'entretien.

En ce qui concerne l'environnement, nous avons trouvé que les échauffements excessifs peuvent être dus par l'isolement d'une phase du moteur, des canaux de ventilation obstrués, de l'humidité et des vibrations. Malheureusement les relais thermiques ne détectent pas ces échauffements, ce qui fait que les moteurs grillent comme s'ils n'étaient pas munis d'un système de protection.

Pour ce qui est de l'entretien, des efforts doivent être développés dans ce sens, car actuellement ils n'ont pas un programme d'entretien leur permettant d'augmenter la durée de vie de leur équipement. D'ailleurs un bon entretien supprimerait un bon nombre de problèmes.

La variation de la vitesse du moteur asynchrone est très limitée par ses conditions de stabilité et il n'est pas possible de considérer ce type de moteur comme un moteur à vitesse variable.

Dans le but de participer à la réduction des coûts d'exploitation, il est nécessaire de mettre en œuvre les recommandations suivantes :

- ✓ commencer les démarrages électroniques ;
- ✓ exploiter les sondes de température ;
- ✓ prendre le rendement comme étant le paramètre le plus important des critères techniques et économiques de choix d'un moteur ;
- ✓ associer à l'analyse vibratoire sur les machines tournantes la thermographie IR ;
- ✓ il faut mieux intégrer les variateurs de vitesse ;
- ✓ utiliser des relais de protection numérique ;
- ✓ ne jamais faire fonctionner un moteur en sous-charge ;

Un projet, quelque soit son objectif, d'installation, de réhabilitation ou de vérification suppose des données précises dans leur plus grande totalité pour tenir compte de tous les paramètres afin d'effectuer une étude efficace et efficiente.

C'est pourquoi nous recommanderons enfin aux ICS d'investir davantage dans la gestion de base de données techniques par l'établissement de fiches de suivie de tout l'appareillage, et de leur mise à jour.

ANNEXES

Annexe B : Quelques variateurs de vitesse pour moteur asynchrone

Annexe C : Quelques resultats d'analyses vibratoires

Annexe D : - Circuit de puissance et de commande des moteurs BT
- circuit de puissance du moteur C1452

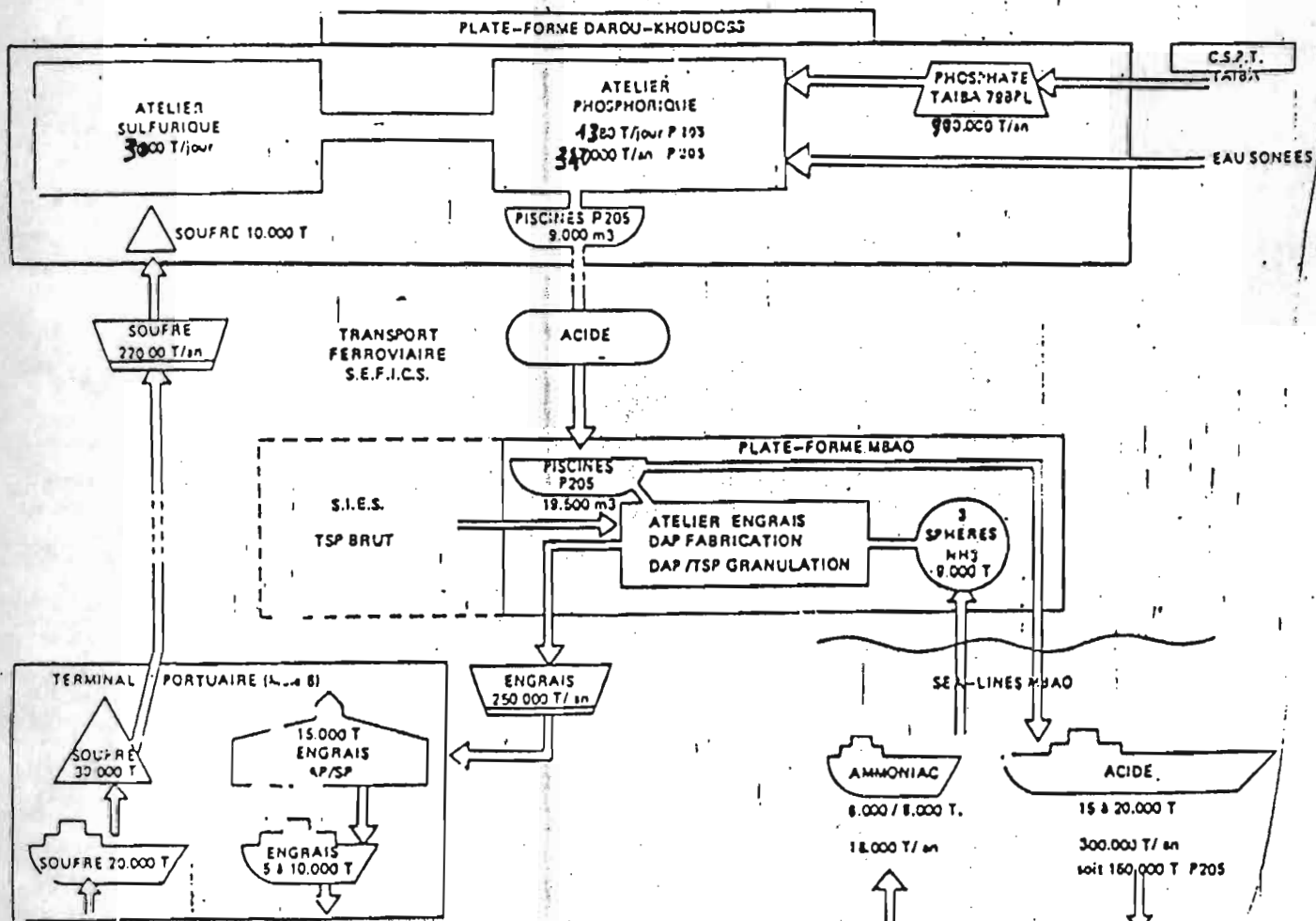
Annexe E : Comparaison et spécification des moteurs électriques



(A)

10

SCHEMA SIMPLIFIE DES OPERATIONS INDUSTRIELLES



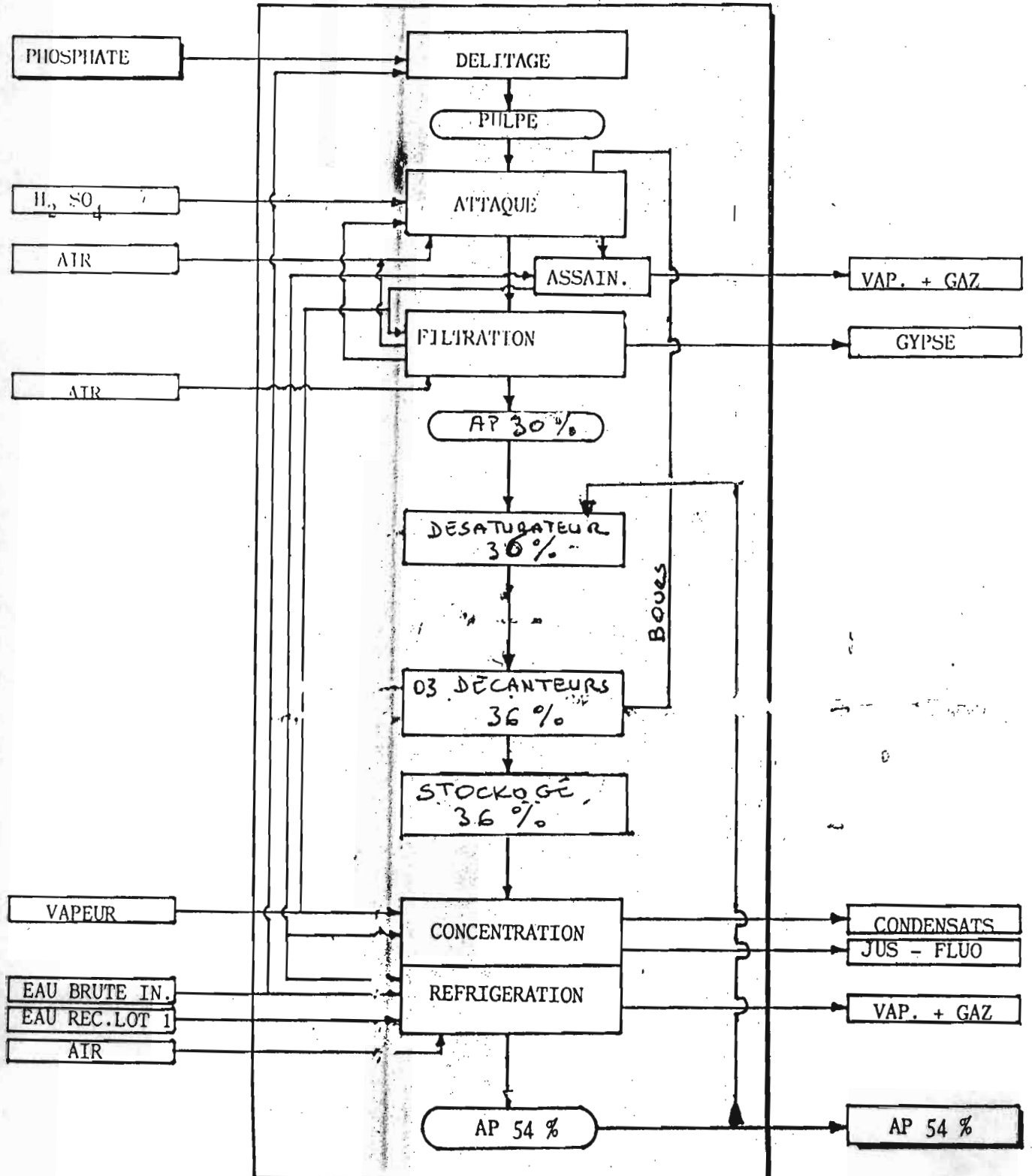


ETUDE DE L'ATELIER PHOSPHORIQUE

ENTREES

PROCESS

SORTIES



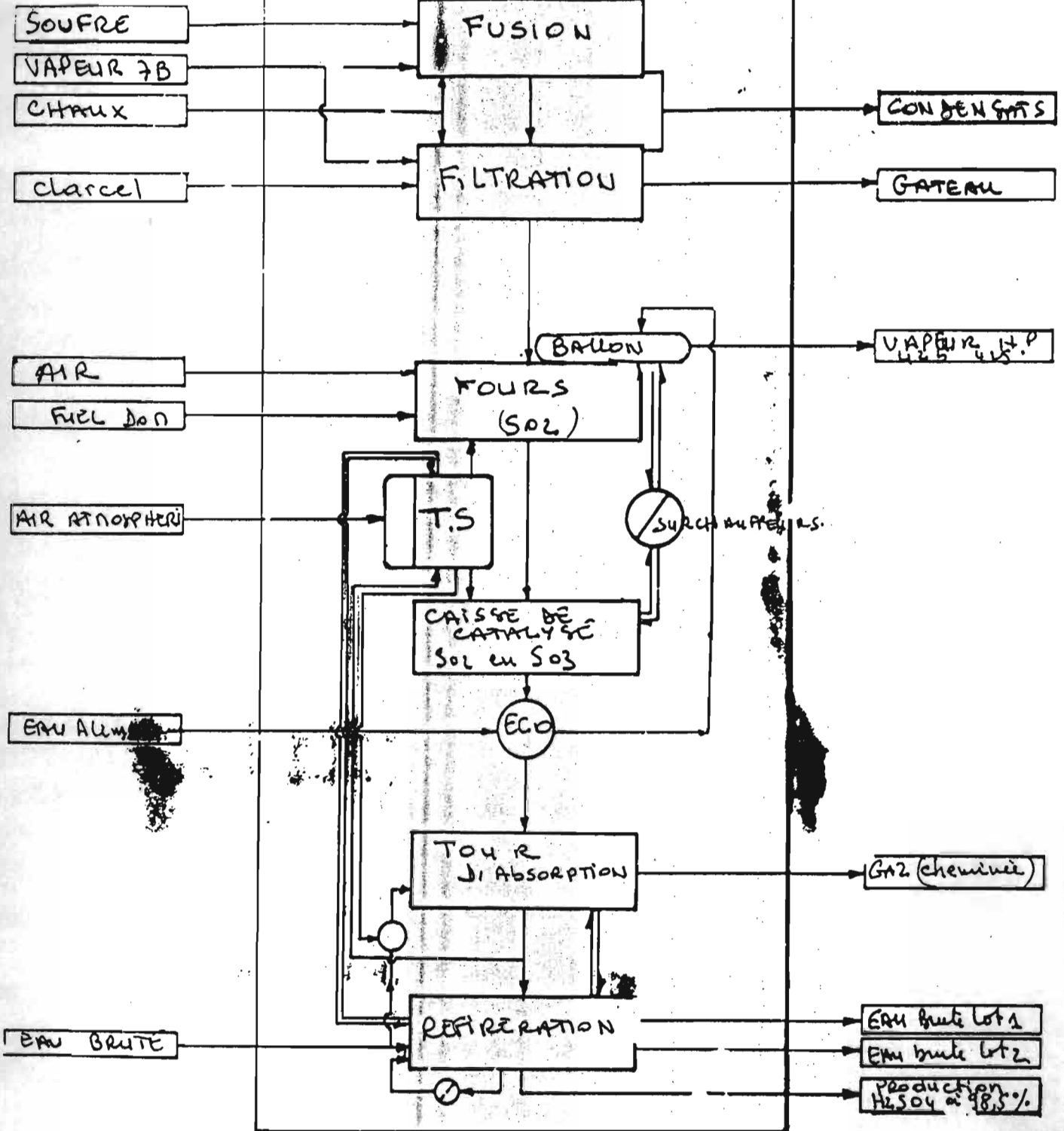


ETUDE DE L'ATELIER SULFURIQUE

ENTREES

PROCESS

SORTIES





ETUDE DE L'ATELIER

UTILITES

INTERACTIONS ENTRE SECTIONS

EN REES

PROCESS

SORTIES

EAU BRUTE

STOCKAGE
DISTRIBUTION
EAU
INDUSTRIELLE

AT. SULFURIQUE

AT. PHOSPORI

EAU POTABLE

EAU INCENDJ.

FILTRATION

ACIDE SULF.

SOUDE

DEMINERALISATION

MORPHOLINE

CONDENSATS

RECUPERATION
CONDENSATS

VAPEUR

HYDRAZINE

DEGAZAGE THERMIQ.

EAU ALIM. SULF

PHOSPHA. TRISO

FUEL

AIR

V. P. HP SUL.

PRODUCTION ET
DISTRIBUTION
DE VAPEUR.

VAP. HP. T. S.

VAP. MP. FU. SUL

VAP PHOSPHOR.

PRODUCTION ET
DISTRIBUTION
ELECTRICITE

ELEC. PLATEFOR

AIR. ATM.

PRODUCTION ET
DISTRIBUTION
AIR COMPRIE

AIR SERVICE

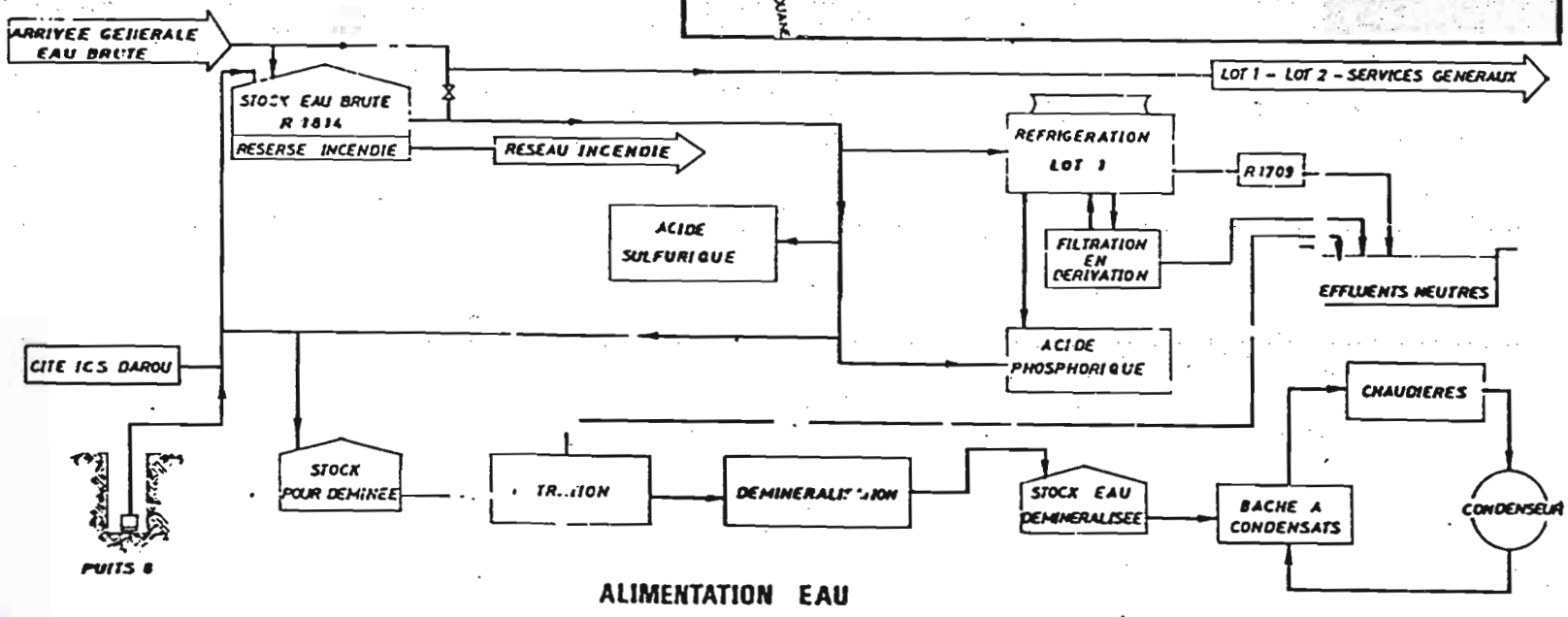
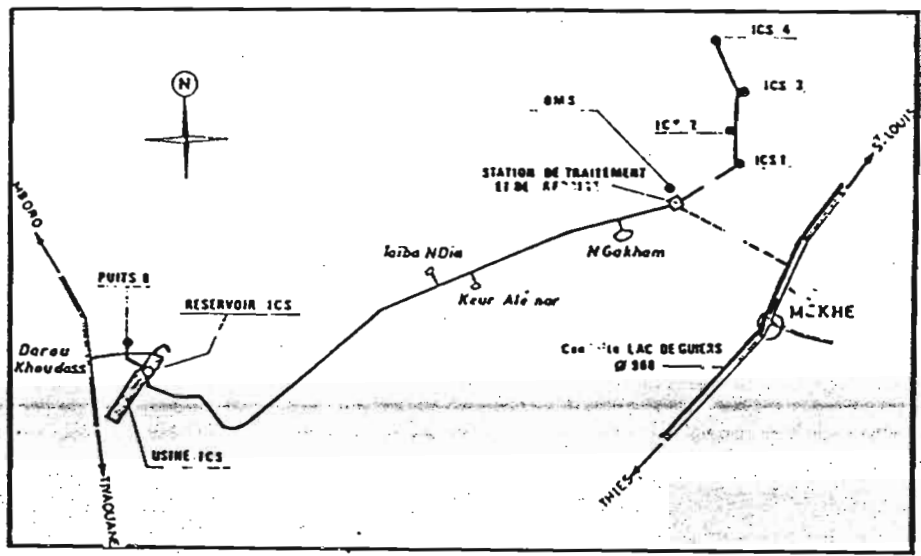
AIR INSTRUM.



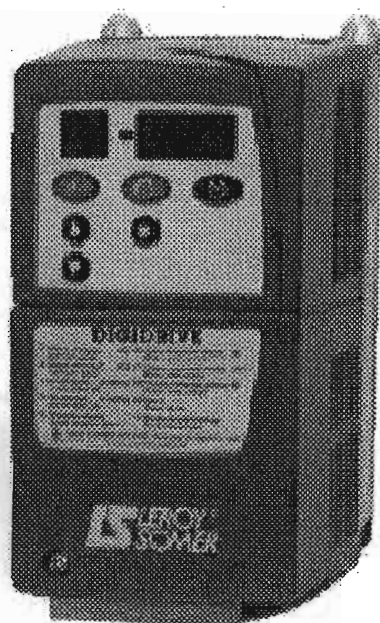
ETUDE DE L'ATELIER UTILITES

INITIATION AU PROCESS

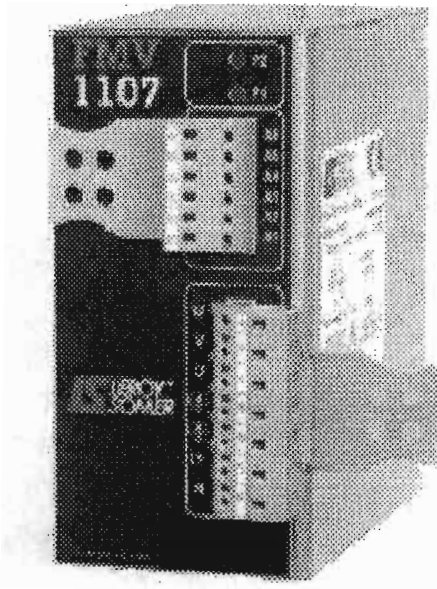
BESOINS EN EAU	
CONSUMMATION LOT 1	= 4.416 m ³ /j
" LOT 2	= 6.504 m ³ /j
PRODUCTION VAPEUR	= 480 m ³ /j
CONSUMMATION ICS	
VILLAGES + TRAITEMENT	= 600 m ³ /j
TOTAL	= 12.000 m³/j
PRODUCTION	
FORAGES	= 9.000 m ³ /j
LAC DE GUIERS	= 3.000 m ³ /j
TOTAL	= 12.000 m³/j



Centre Formation

Variation de vitesse: variation-vitesse Demande de devis**Désignation:** Digidrive : variateur de vitesse**Référence :****Marques :** Leroy somer

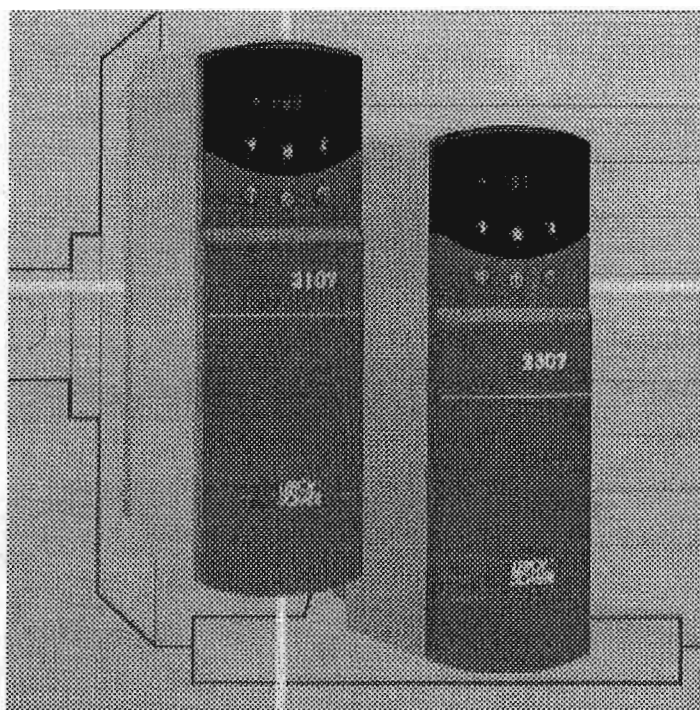
Descriptif : Principe général de fonctionnement Le DIGIDRIVE est un variateur alternatif pour l'alimentation de moteurs asynchrones. C'est un variateur de vitesse à contrôle vectoriel de flux sans retour. Grâce à sa puissance de calcul, le variateur contrôle séparément le courant magnétisant et le courant actif avec un moteur asynchrone standard. La vitesse et la position du rotor sont calculées pour contrôler le couple et la vitesse du moteur. Ce mode de fonctionnement permet sans retour, d'obtenir des performances très élevées et convient donc à la majorité des applications. Le variateur DIGIDRIVE utilise un pont onduleur à transistors IGBT. Cette technologie de pointe diminue considérablement le bruit et l'échauffement du moteur à vitesse variable. Les performances du DIGIDRIVE sont parfaitement compatibles avec une utilisation dans les 4 quadrants du plan couple-vitesse (à partir du calibre 1,5 M/TL). Lors des périodes de fonctionnement en générateur, l'énergie restituée par le moteur est dissipée par des résistances.

Variation de vitesse: variation-vitesse Demande de devis**Désignation:** FMV 1107 : variateur électroniques**Référence :****Marques :** leroy somer

Descriptif : Principe général de fonctionnement Le variateur électronique FMV 1107 est un variateur électronique alternatif pour l'alimentation en vitesse variable des moteurs asynchrones triphasés d'une puissance de 90 W à 370 W. La vitesse de synchronisme (n_{s-1}) d'un moteur asynchrone à cage est fonction de son nombre de pôles (P) et de la fréquence (F) de son alimentation.

Variation de vitesse: variation-vitesse

◀ *Retour*



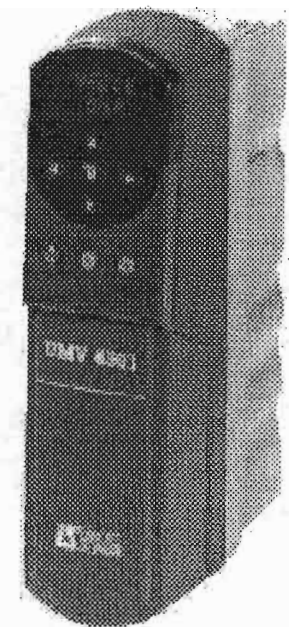
Demande de devis

Désignation: Modulateur de fréquence pour moteur asynchrone

Référence : FMV 2107 - 2307

Marques : Leroy somer

Descriptif : Associé à des moteurs asynchrones standards ou adaptés, ces variateurs adaptent couple et vitesse, contrôlent les phases d'accélération et de ralentissement, et gèrent aussi les arrêts de sécurité.

Variation de vitesse: variation-vitesse Demande de devis

Désignation: UMV 4301 : variateur électronique universel

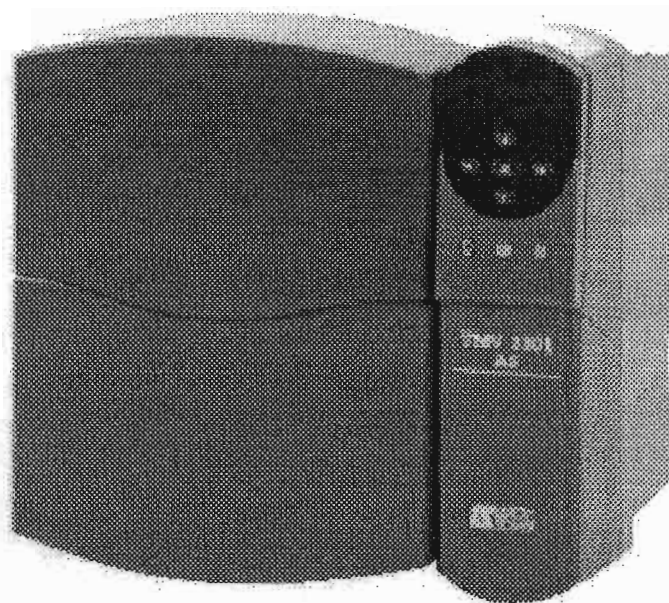
Référence :

Marques : Leroy somer

Descriptif : UMV 4301 est un variateur alternatif pour l'alimentation de moteurs asynchrones et de moteurs autosynchrones. UMV 4301 peut être configuré dans les différents modes de fonctionnement suivants : - Fonctionnement à contrôle vectoriel de flux sans retour Grâce à sa puissance de calcul, le variateur contrôle séparément le courant magnétisant et le courant actif avec un moteur asynchrone standard. La vitesse et la position du rotor sont calculées pour contrôler le couple et la vitesse du moteur. Ce mode de fonctionnement permet, sans retour, d'obtenir des performances très élevées et convient donc à la majorité des applications.

Variation de vitesse: variation-vitesse

◀ *Retour*



Demande de devis

Désignation: UMV
2301 : variateur de
vitesse

Référence :

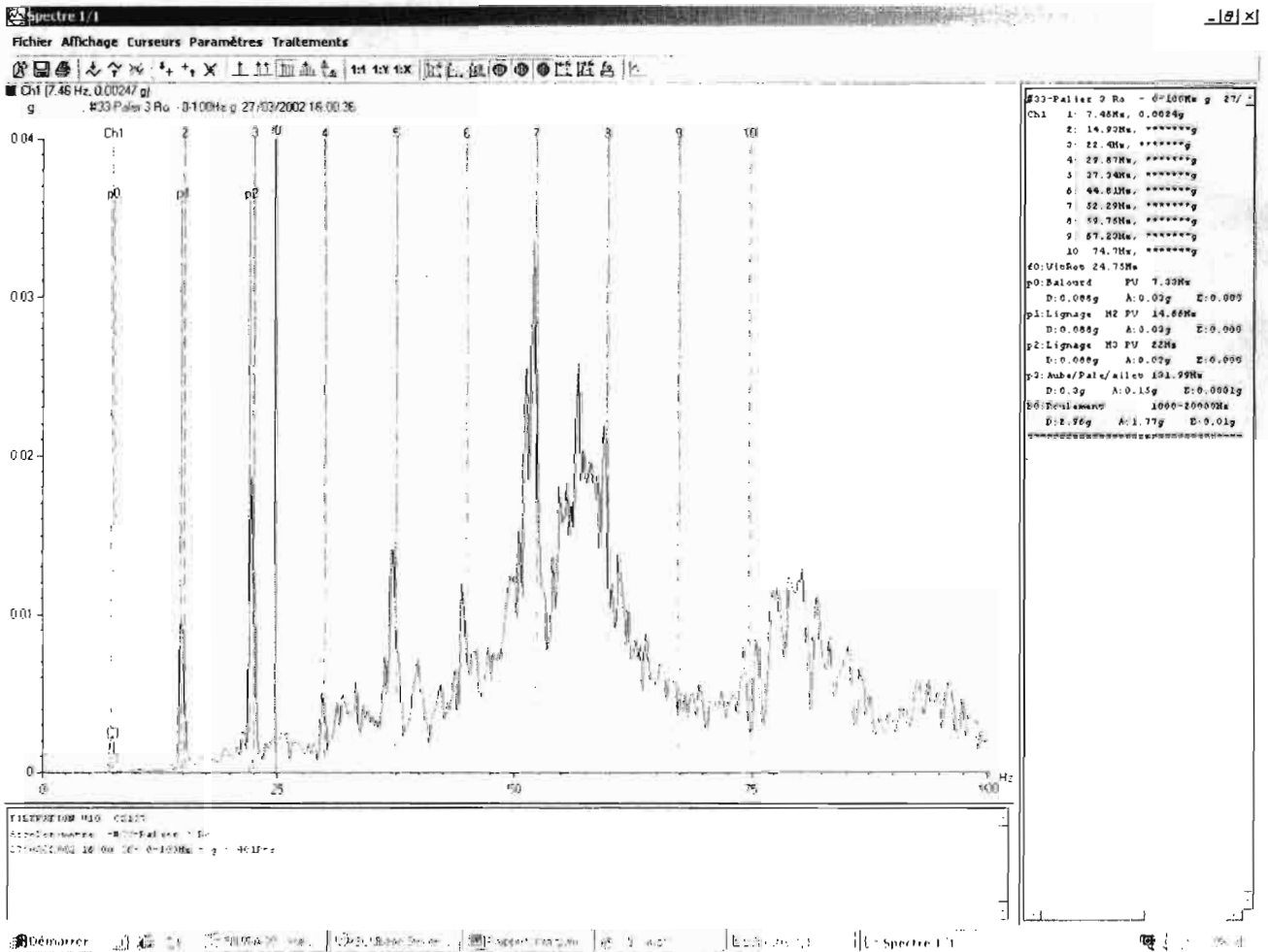
Marques : Leroy somer

Descriptif : UMV 2301 AS est un variateur alternatif pour l'alimentation de moteurs asynchrones entraînant des applications centrifuges. Le variateur UMV 2301 AS utilise un pont onduleur à transistors IGBT. Cette technologie de pointe diminue considérablement le bruit et l'échauffement du moteur à vitesse variable. Les performances de l'UMV 2301 AS sont parfaitement compatibles avec une utilisation dans les 4 quadrants du plan couple-vitesse. Lors des périodes de fonctionnement en générateur, l'énergie restituée par le moteur est dissipée par des résistances.

RAPPORT d'ANALYSE VIBRAISON

*Pompe :

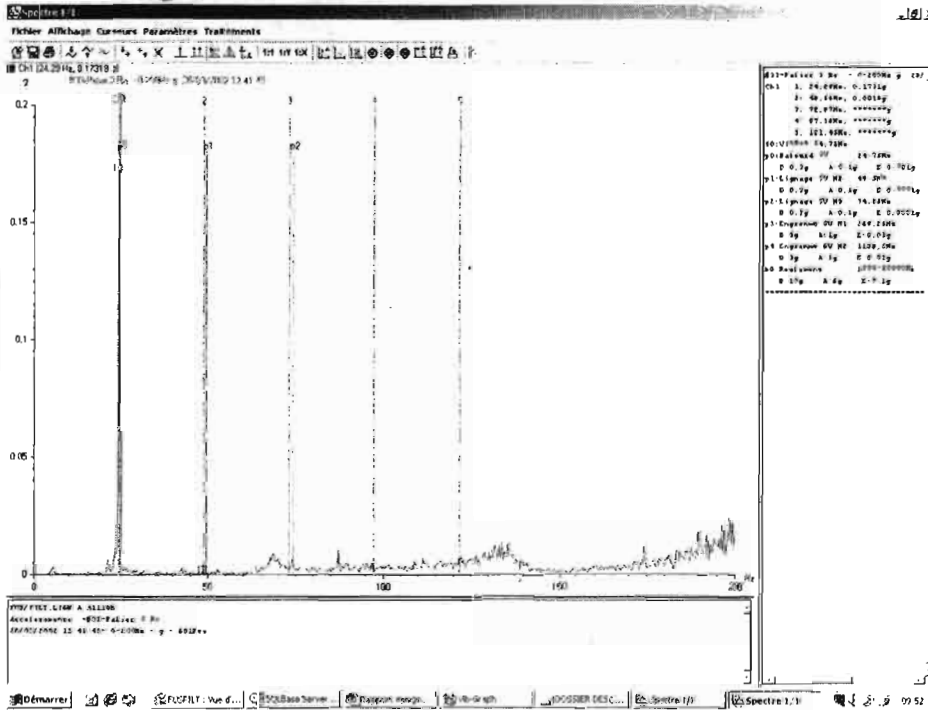
-De légers chocs entraînant des déplacements sur la pompe.



2/ C2212

RAS

RAPPORT D'ANALYSE VIBRAVOITE



2 / P1111A

*RAS

3 / P1111B

*RAS

4 / P1114A

*Moteur électrique

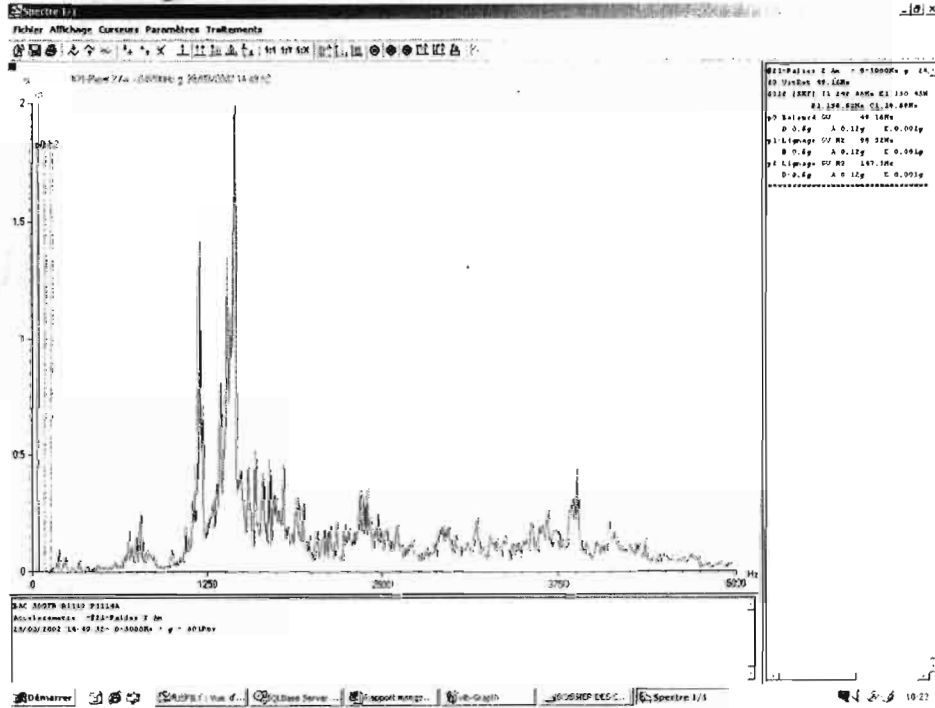
-Roulements moteur enveloppés

NB : graissage à faire et à recontrôler après.

*Pompe

-RAS

RAPPORT D'ANALYSE VIBRATIONNELLE



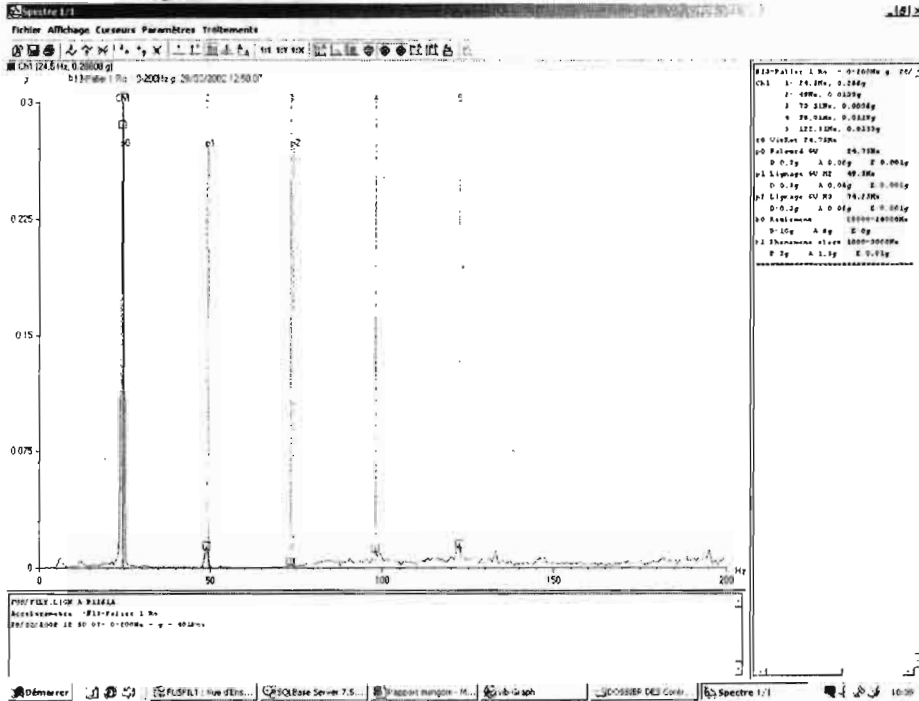
5/ P1161A

*Moteur électrique :

-Balourd du palier 1 et 2.

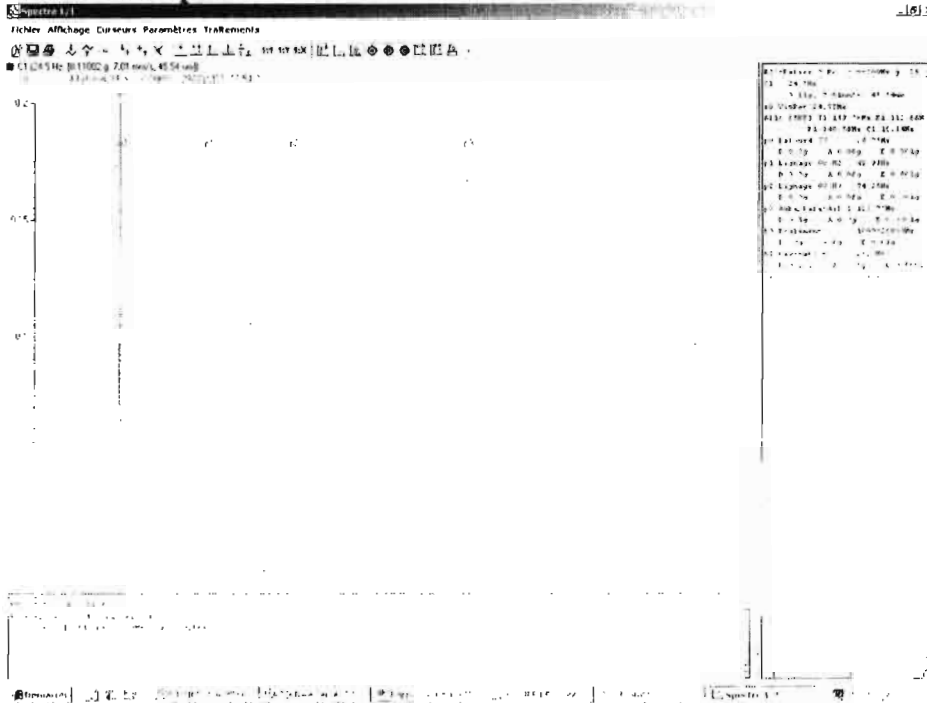
NB : vérifier le rotor le ventilateur arrière et l'accouplement.

RAPPORT D'ANALYSE VIBRATIONNE



*Pompe :

-Balourd du palier 3

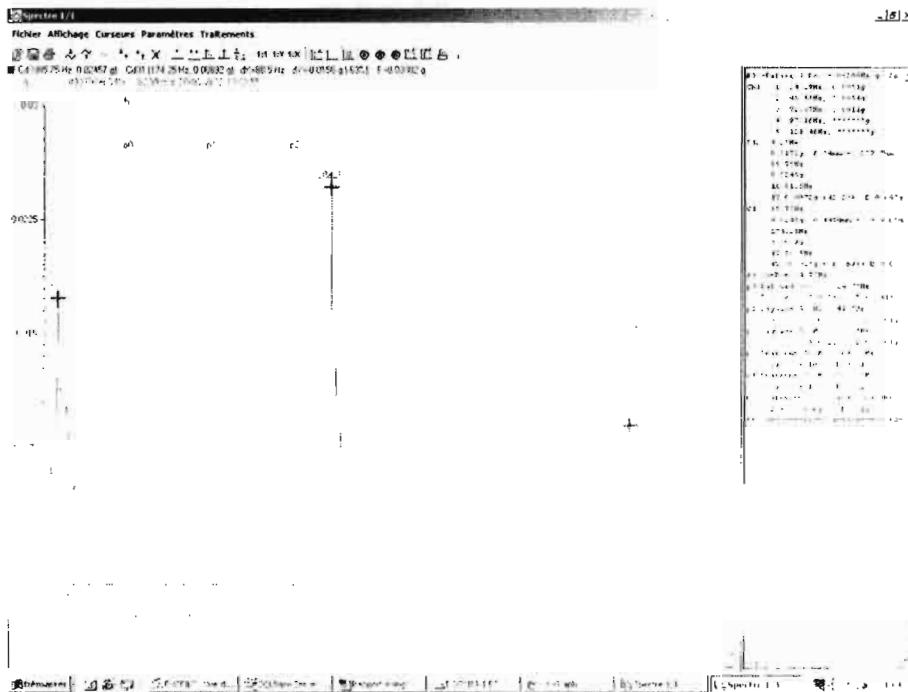
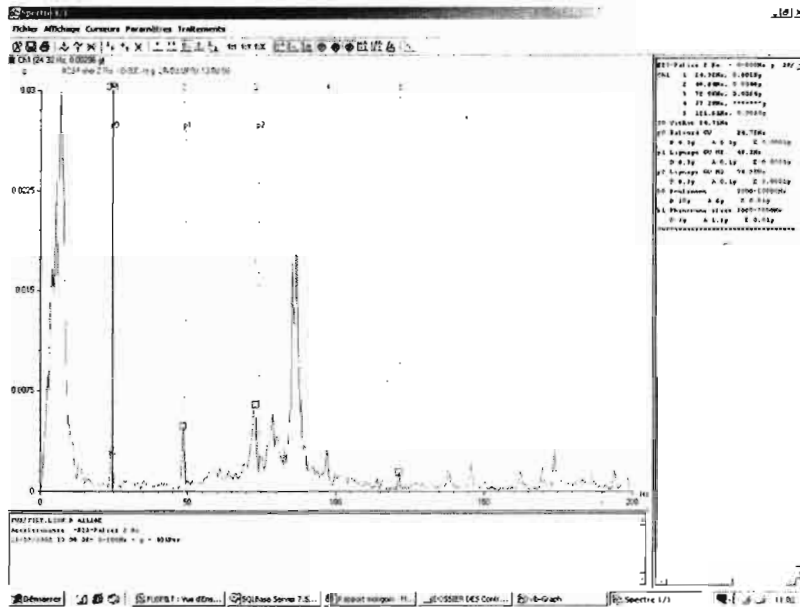


RAPPORT D'ANALYSE VIBRATOIRE

6 / A1110E

*Moteur électrique et Agitateur

-Beaucoup de mouvements : vérifier les serrages et autres.

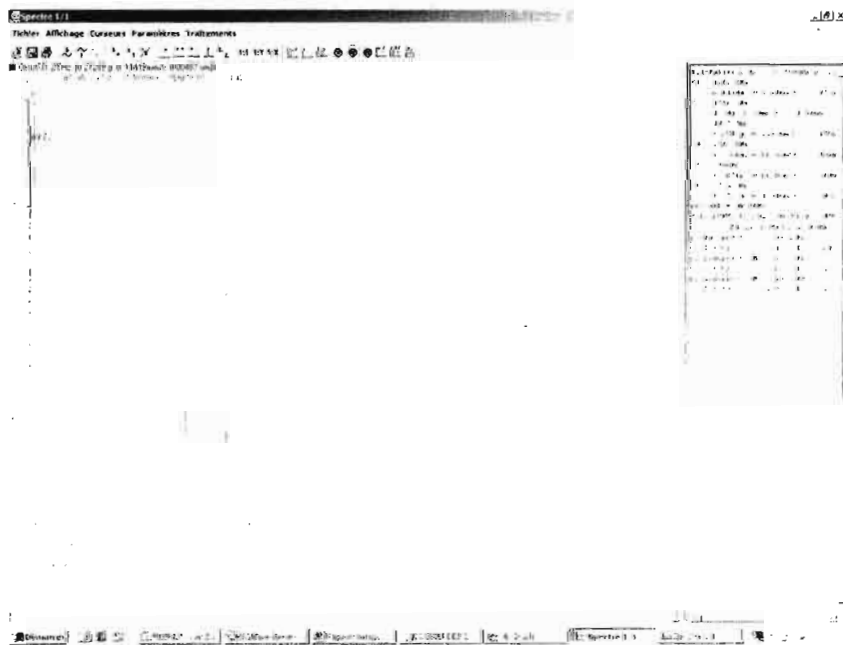
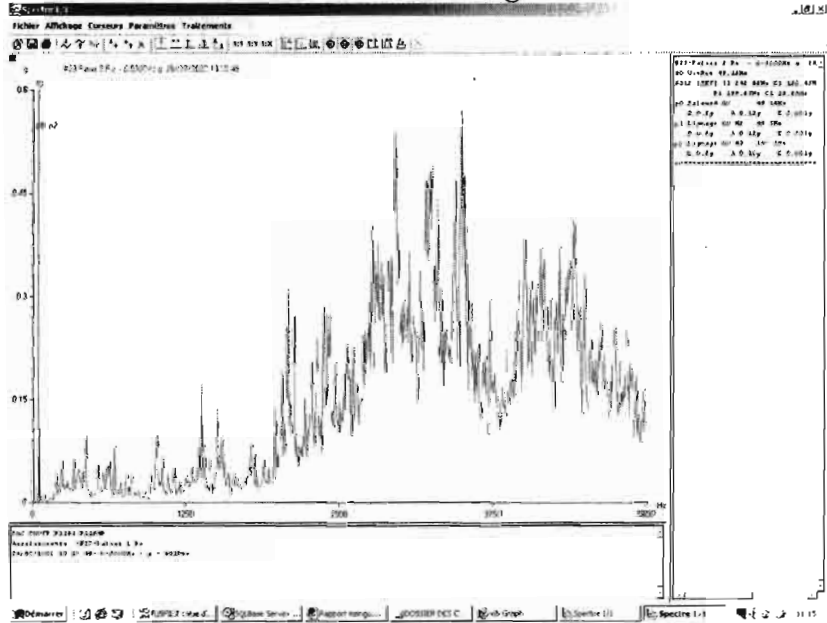


RAPPORT D'ANALYSE VIBRAVOIT

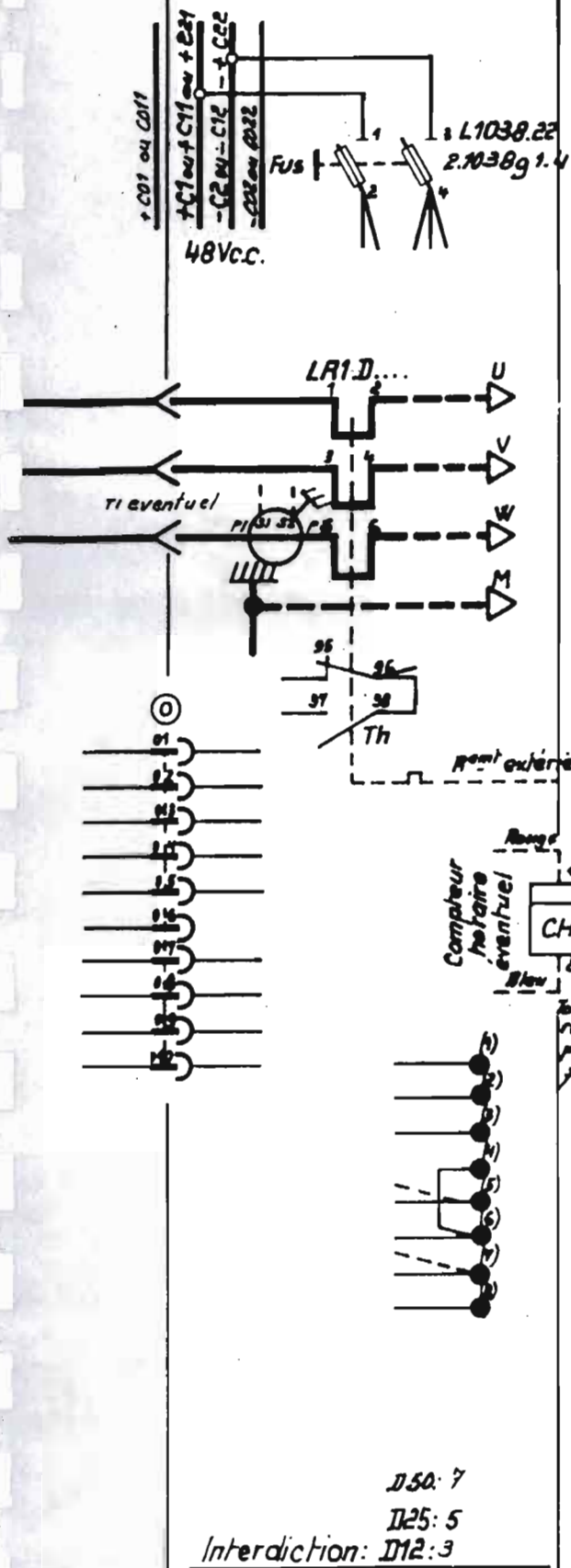
7/ P1164B

*Moteur électrique :

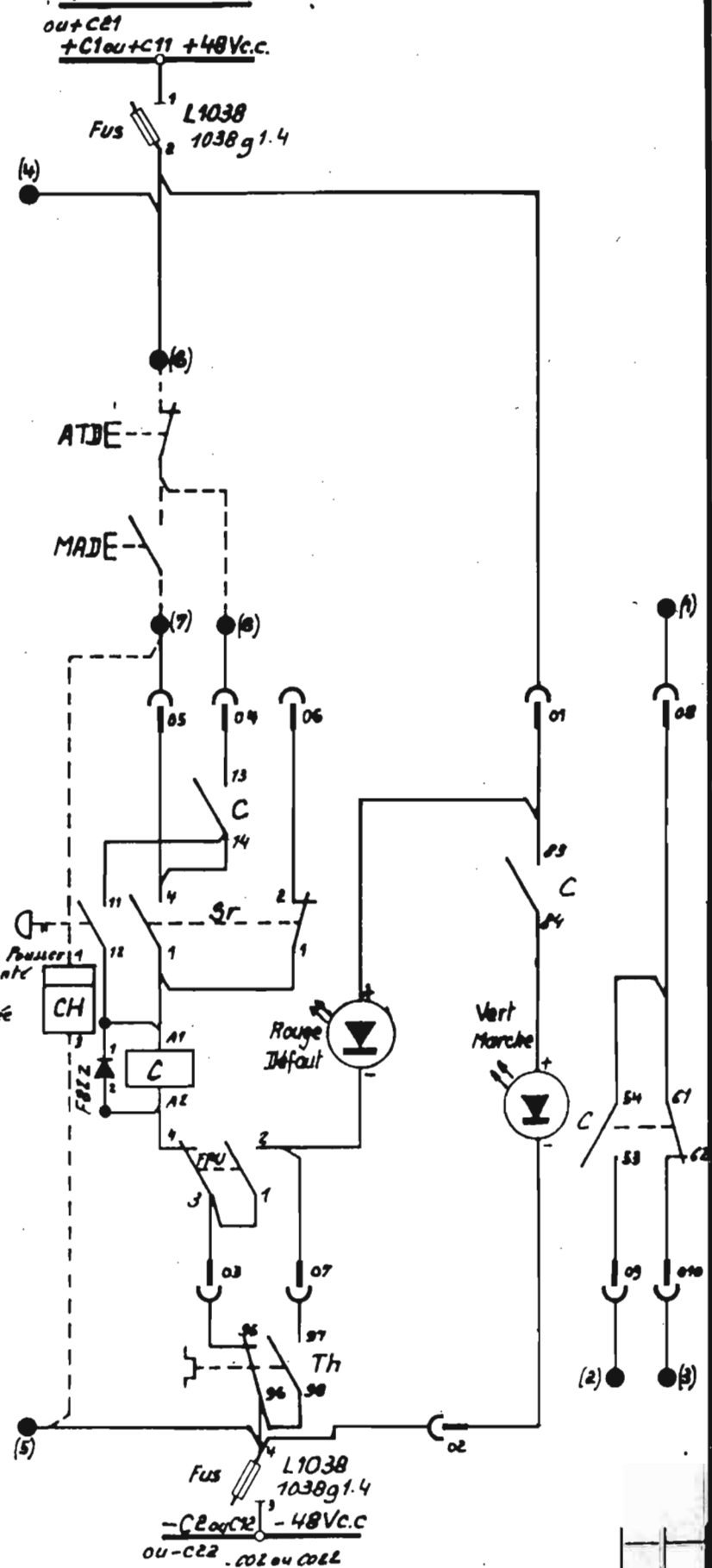
-Roulements du moteur sollicités : à graisser et à recontrôler.



Zone de raccordement



Schema développé

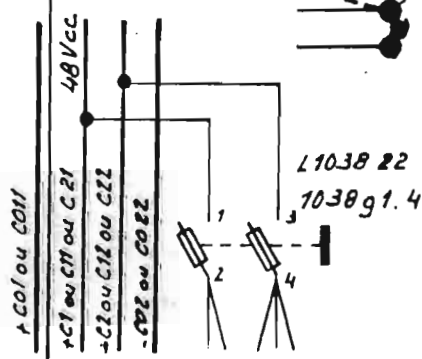
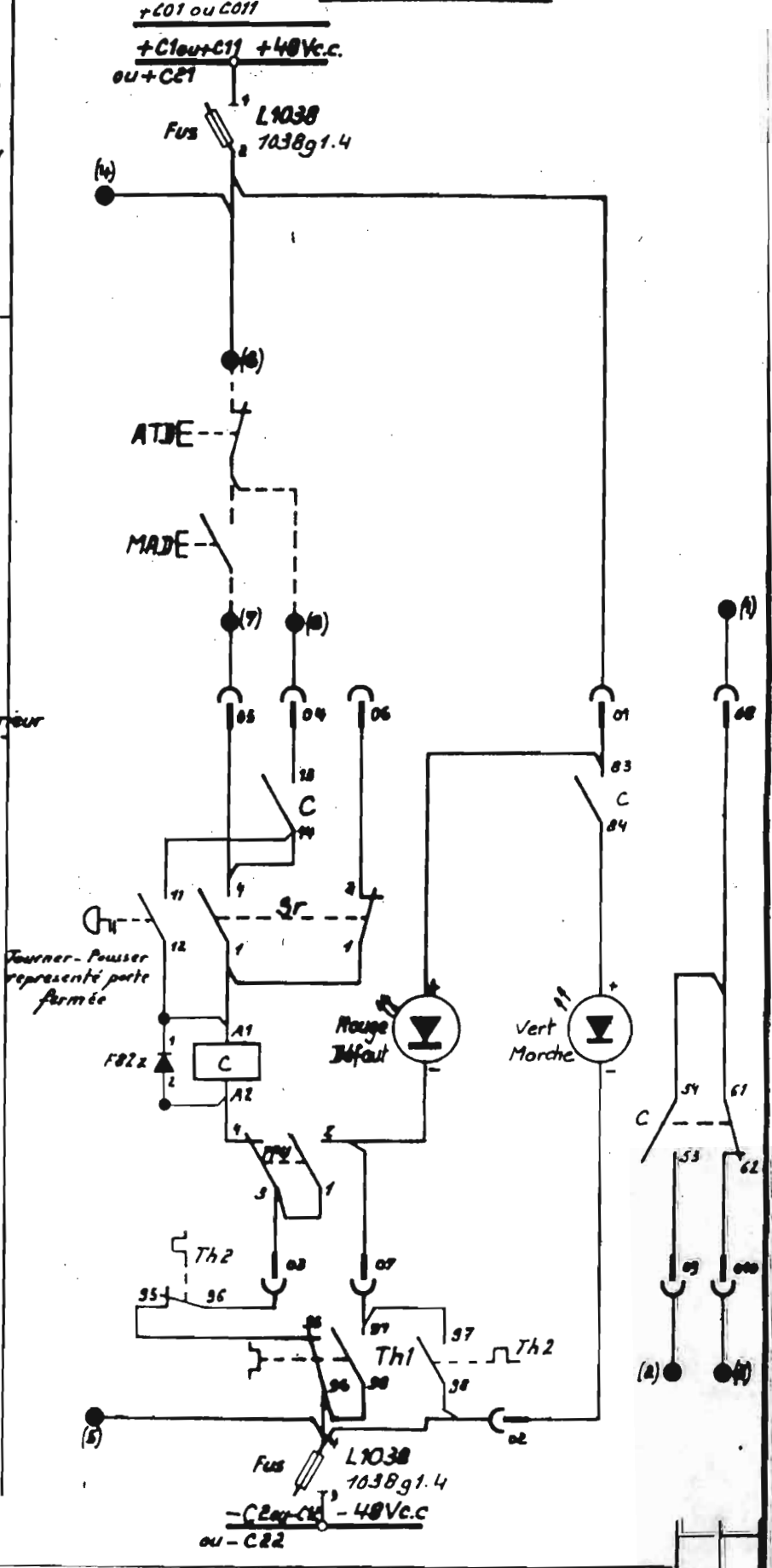
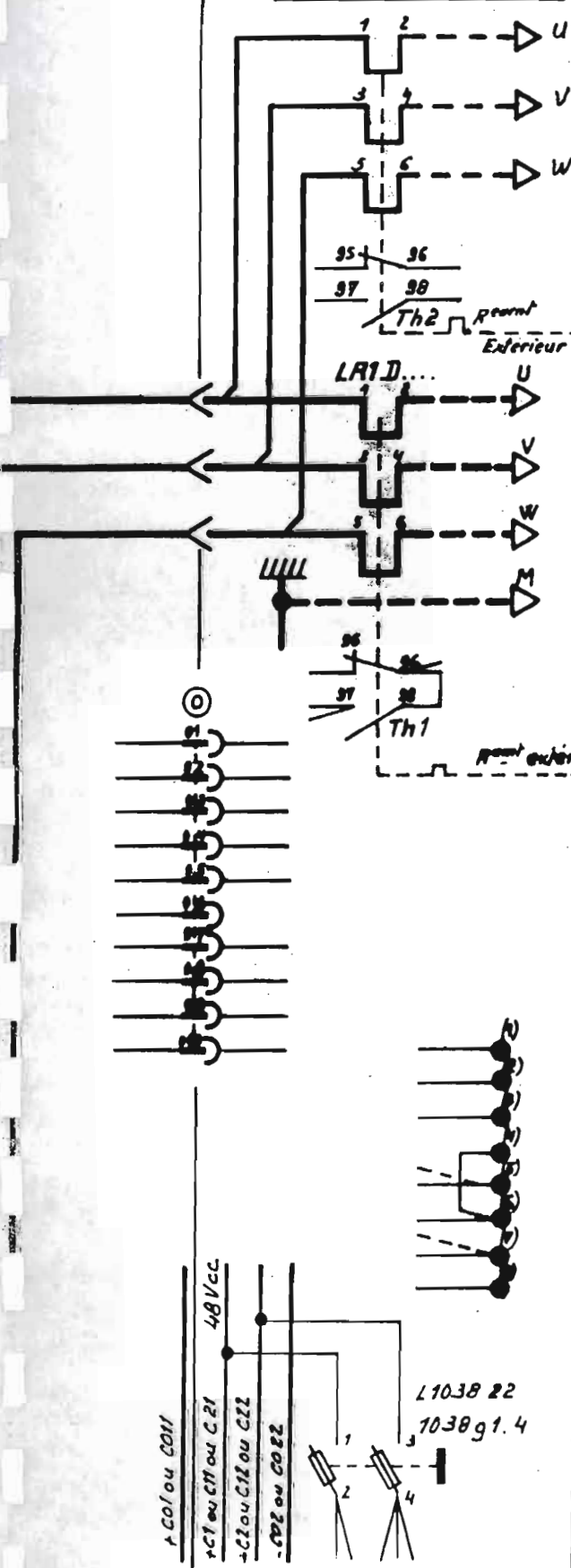


1 Première Issue
 A Ajouts Turner - Pousser
 Ind modification

		hazemeyer s.a. Saint-Quentin		FOLIO: 56	
C12 C25 C50		date dessiné vérifié		23	
Départ contacteurs LP11123 ou LP11253 ou D503		02.07.13 GABET [Signature]		01	
reproduction interdite sans notre autorisation		N° A3.6958.3.56		23 01 21 23 01 04	

Zone de raccordement

Schema developpe



1 Première Issue
 A Ajouté Tourner-Pousser
 Ind

modification

C12: 9
 C50: 26



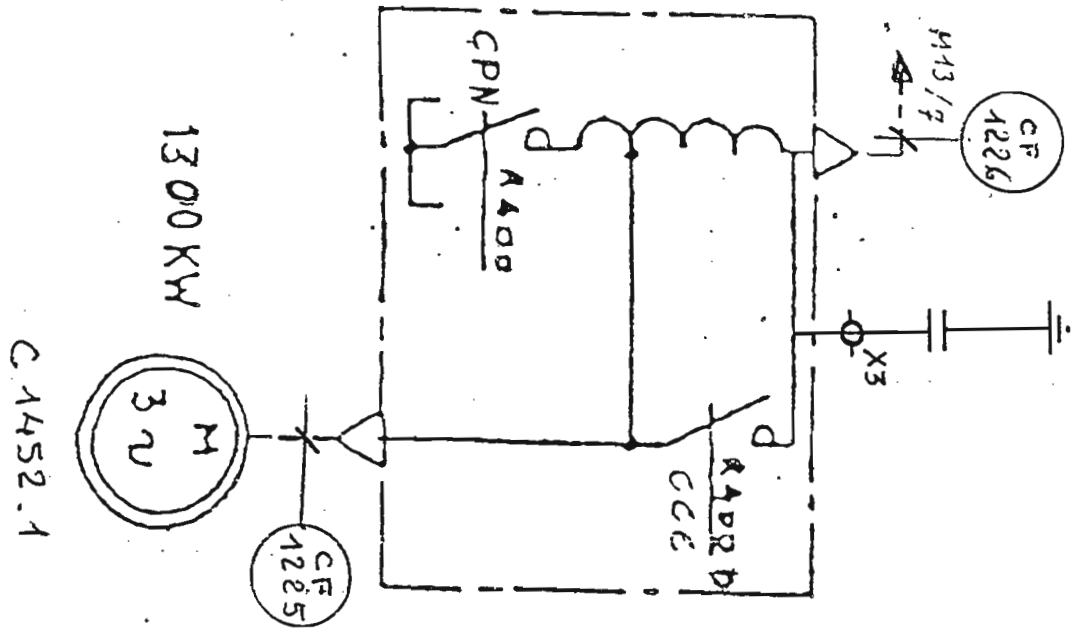
hazemeyer s.a. Saint-Quentin

FOLIO: 57

LP1D503 + 2RH C50
 Départ contacteur LP1D123 + 2RH C12

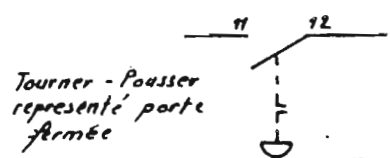
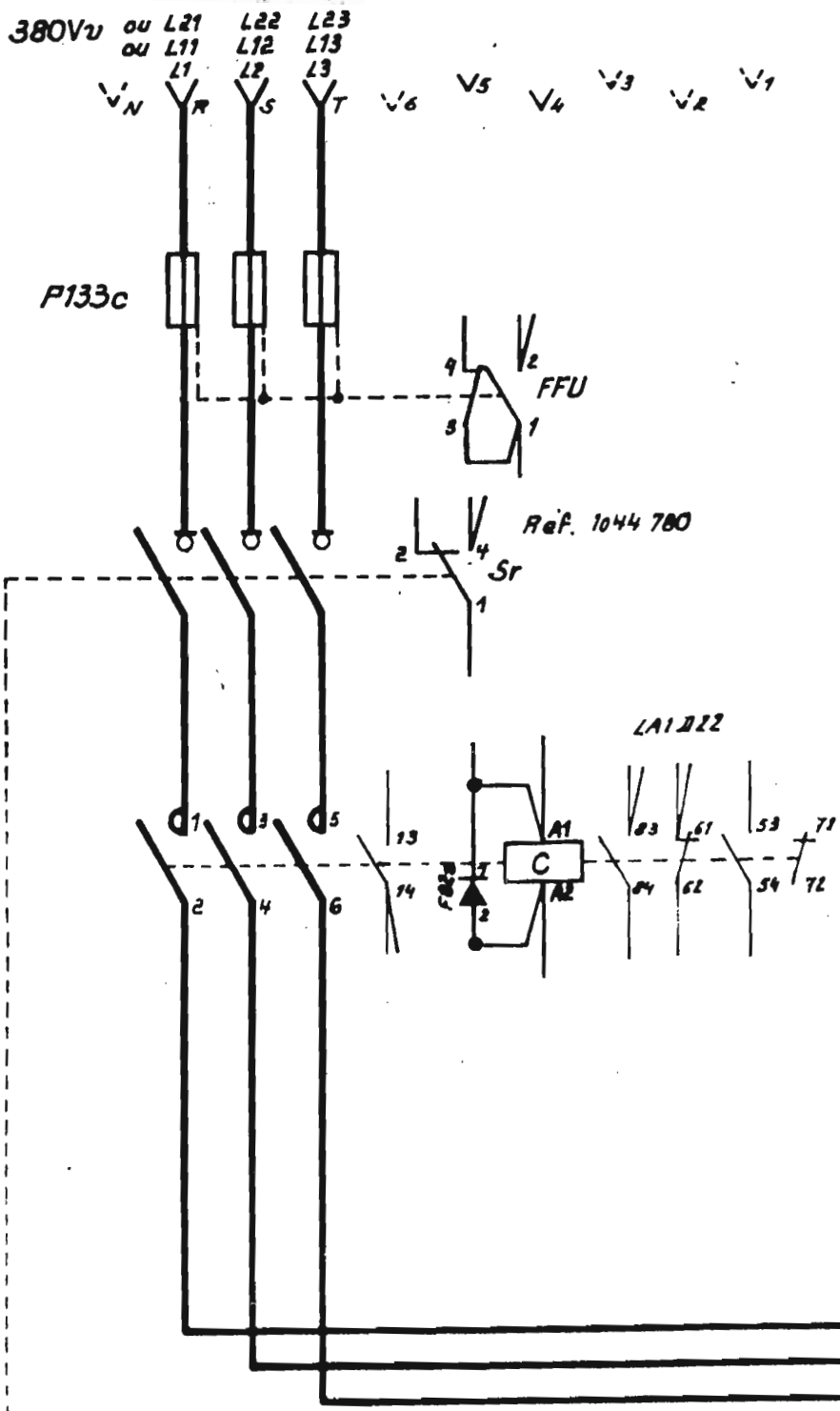
date	dessiné	verifié	
22.07.19	GABET	ARF	1
N° A3.6958.3-57			23 01 21 03 07 04

reproduction interdite sans notre autorisation



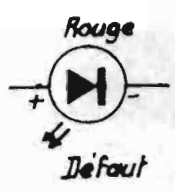
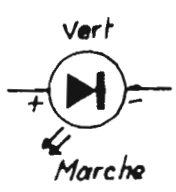
25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35

F: M13	A/B/C	B42/10 Mis à jour apres reception	C5/12/90 Mis à jour retour chantier	N° Commission: JE 5349	N° du Plan Ind		INDUSTRIES CHIMIQUES DU SENEGAL
		A17-9-90 Revisé par 0215 + 22 90 Annule 296116 J. J. J.					
MERLIN GERIN		Grenoble France.					



Face avant

Sr
523

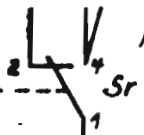


380Vv ou L21 L22 L23
ou L11 L12 L13
V6 V5 V4 V3 V2 V1

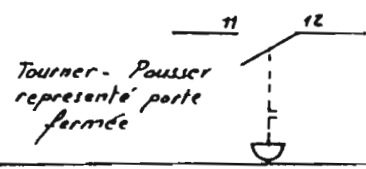
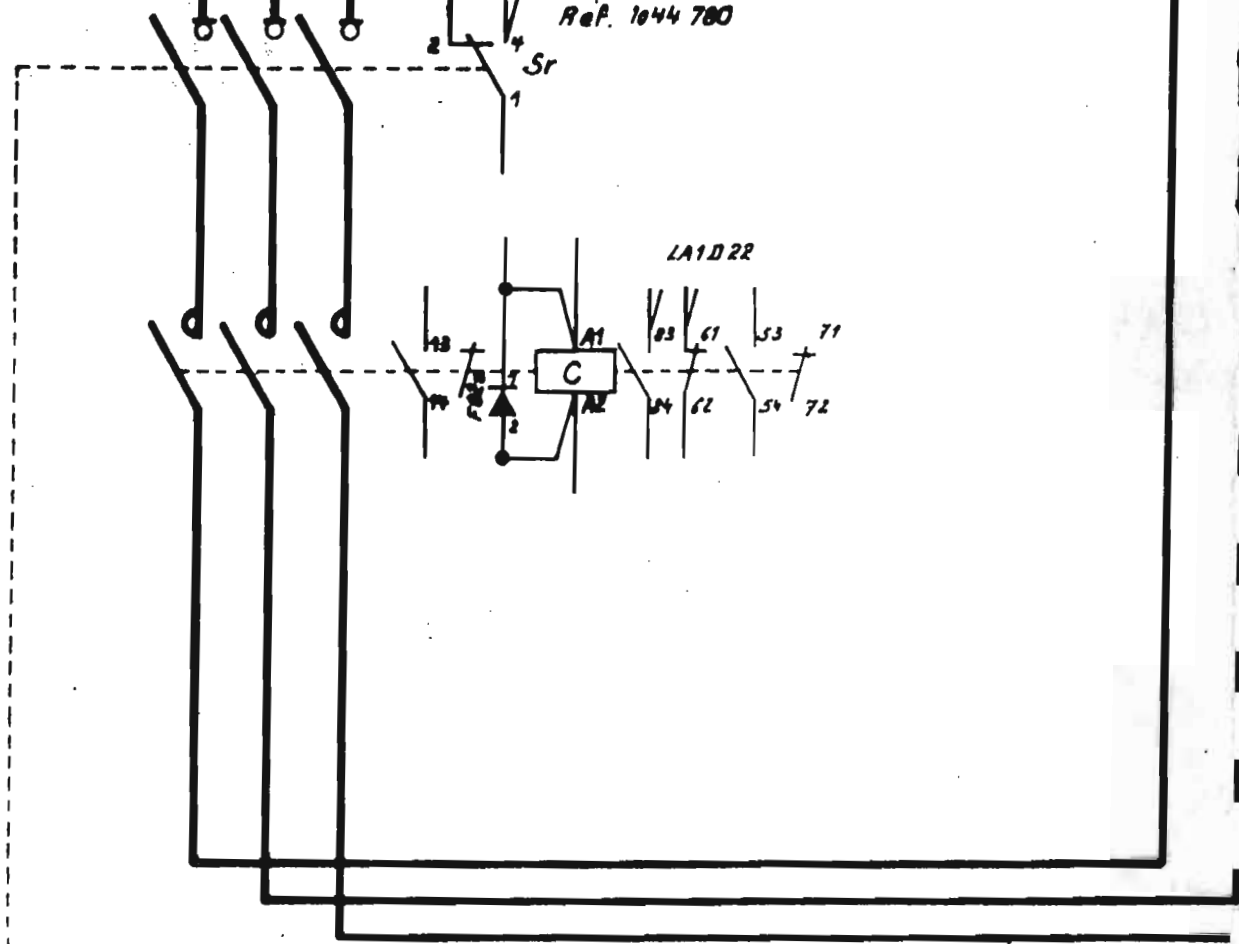
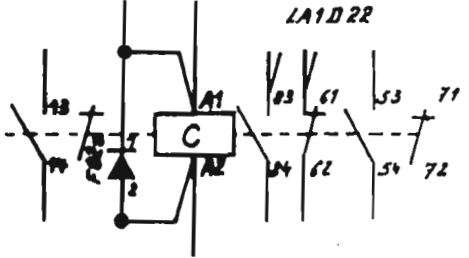
P133c



Rep. 1044 780



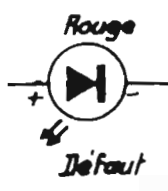
LA1D22



Tourner - Pousser
represente poste
fermee

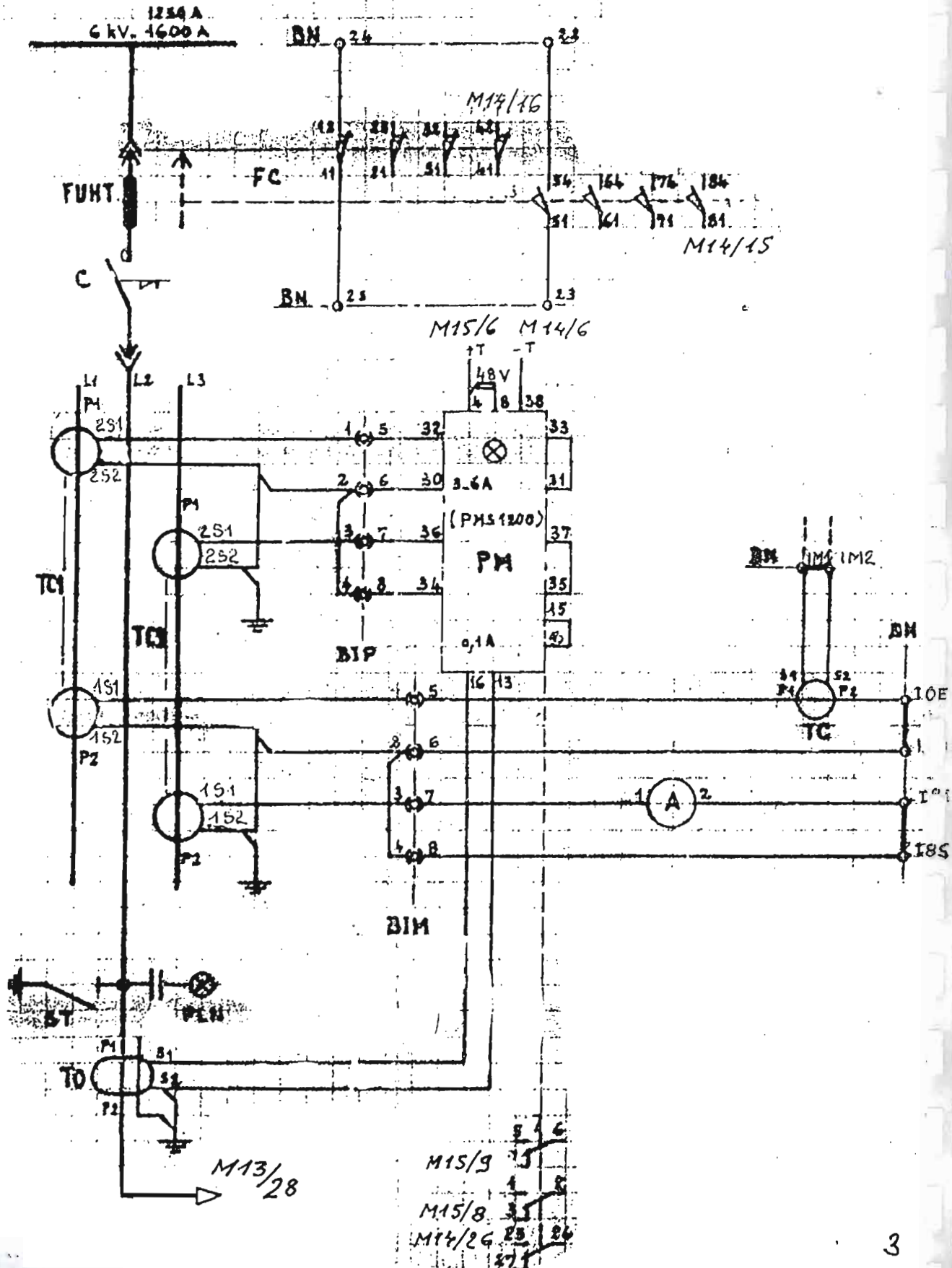
Face avant

Sr
523



Interdic

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Circuit de puissance										Protection moteur					Ampèremètres			Mesure distance		





MOTEURS ÉLECTRIQUES
Spécification

Tableau 3-20. Avantages et inconvénients des différents types de moteurs

	Moteur à courant continu (MCC)	Moteur synchrone (MS)	Moteur asynchrone (MAS)
Alimentation	Nécessité d'un réseau continu ou d'un convertisseur.	Alimentation alternative. Alimentation continue (convertisseur) pour excitation.	Alimentation alternative.
Construction	Complexe.	Complexe. Entrefer relativement important.	Simple pour le moteur à cage. Le moteur à cage est très robuste et adapté aux atmosphères explosives. Problèmes mécaniques dus à l'entrefer relativement réduit pour les vitesses lentes.
Démarrage	Couple de démarrage élevé. Démarrage par variation de tension aux bornes de l'induit ou de l'inducteur.	Moteur à pôles feuilletés-couple analogue à MAS. Moteur à pôles saillants massifs-couple de démarrage important - peut démarrer de fortes inerties grâce à la grande capacité thermique des pôles. Appel de courant en général plus faible que MAS. Couples transitoires importants au démarrage.	Couple de démarrage suffisant en général. Couple plus important avec rotor bobiné. Démarrage d'inerties importantes par rotor bobiné et dissipation d'énergie dans le rhéostat.
Surcharges	Surcharges instantanées importantes.	Surcharges moins importantes que MCC ou MAS.	Surcharges temporaires importantes.
Facteur de puissance Energie réactive		Facteur de puissance déterminé à l'avance. Peut être élevé et voisin de 1. Le moteur peut fournir du réactif.	Facteur de puissance plus bas que celui d'un MS. Varie avec la charge. Moteur asynchrone synchronisé : idem MS. Le moteur absorbe du réactif.
Stabilité face aux creux de tension		Stabilité meilleure que MAS car possibilité de surexcitation. Risque de décrochage et nécessité de redémarrer si chute de tension trop importante.	Moins bonne stabilité que MS, mais possibilité de réaccélérer.
Vitesse	Variation de vitesse par variation de tension d'induit ou d'inducteur. Précision des vitesses obtenues. Plage importante de variation. Variation en permanence. Limitation vers les hautes vitesses pour le collecteur.	Vitesse fixe pour une fréquence donnée. Vitesse variable (cf. tableau 3-8).	Léger glissement. Possibilité de plusieurs vitesses par bobinage stator spécial et changement de couplage des enroulements. Vitesse variable (cf. tableau 3-8).
Coût	Elevé, surtout si l'on inclut le coût de l'alimentation continue.	Elevé, surtout si l'on inclut le coût de l'excitation en courant continu.	Faible, comparé aux autres types de moteurs : le MAS se suffit le plus souvent à lui-même.

Tableau 3-21. Spécifications liées à l'environnement



Spécifications des contraintes de réseau et des contraintes d'environnement		Spécifications du variateur de vitesse (variateur électronique)
Réseau d'alimentation électrique	Environnement	
<p>■ Pour tous les moteurs</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Tension d'alimentation du moteur; variations de tension, fortuites, voulues. ● Régime de neutre (cf. chapitre 6). ● Chute de tension admissible au démarrage (préciser à quel endroit du réseau usine). <p>■ Pour les moteurs de puissance supérieure à 200 kW environ</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Description succincte du réseau alimentant l'usine et du réseau dans l'usine : alimentation aérienne ou souterraine, tensions nominales, minimales, maximales, caractéristiques des transformateurs, longueurs et sections des conducteurs, correction du facteur de puissance ($\cos \varphi$),... ● Puissance de court-circuit au point de livraison. ● Transformateur alimentant le moteur : puissance, tensions, tension de court-circuit, pertes cuivre, nombre de prises, transformateur individualisé ou autres charges sur le même transformateur (préciser leur puissance, leur $\cos \varphi$, la simultanéité de fonctionnement avec le moteur). 	<ul style="list-style-type: none"> ● Température et humidité à l'endroit précis d'installation (valeurs minimales, moyennes, maximales). ● Installation en bâtiment, à l'extérieur (couvert/non couvert). ● Type de génie civil. ● Poussières. ● Agressivité chimique. ● Explosivité. ● Niveau de bruit admissible. ● Disponibilité en eau de refroidissement (température admissible, qualité, débit disponible, pression). ● Altitude (si celle-ci dépasse 1 000 m). ● Sismicité. ● Autres conditions particulières à préciser. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Plage de réglage de la vitesse et stabilité de cette dernière en régime établi. ● Contrôle de l'accélération et du ralentissement. ● Pilotage et régulation envisagés. ● Freinage par récupération (le cas échéant). ● Protection et fonctions additionnelles de l'électronique de commande et de puissance. ● Secours ou redondance de certains modules, dispositifs assurant la reprise au vol automatique du fonctionnement lors de coupures brèves de l'alimentation réseau, etc. (cf. en particulier chapitre 7).



Tableau 3-22. Spécification technique d'un moteur

Machine entraînée	Moteur électrique et annexes
<ul style="list-style-type: none"> ● Fonctions. ● Caractéristiques mécaniques principales ; puissance, vitesse de rotation, précision sur la vitesse,... ● Dispositifs de régulation. ● Variation de la charge : puissance absorbée nominale, minimale et maximale (en exploitation normale). ● Fréquence des démarrages (à froid, à chaud); éventuellement durée minimale ou maximale admissible. Démarrage à vide ou en charge. Nombre d'heures de fonctionnement annuel et répartition. ● Courbe de couple résistant en fonction de la vitesse (éventuellement plusieurs courbes selon le dispositif de régulation retenu; évolution du couple résistant dans le temps). ● Couple instantané maximal admissible. ● Moment d'inertie ramené à l'arbre d'entraînement. ● Dispositif mécanique éventuel entre moteur et machine entraînée : description succincte (multiplicateur, coupleur, poulies-courroies,...). ● Type d'accouplement entre moteur et machine entraînée. ● La machine doit-elle être exploitée à vitesse variable? (Préciser la plage de vitesse, et pour chaque vitesse la puissance ou le couple). ● Synchronisation avec une autre machine? Comment? ● Vibrations générées : amplitude, fréquence. ● Freinage : durée, fréquence. ● Risque de blocage (description), de dévissage (durée). 	<ul style="list-style-type: none"> ● Réserve de puissance. ● Tension d'alimentation. ● Vitesse de rotation, éventuellement vitesse nominale et vitesse maximale. ● Degré de protection. ● Efforts radiaux et poussée axiale sur le bout d'arbre. ● Mode de refroidissement, éventuellement caractéristiques du fluide de refroidissement. ● Forme de construction, fixation par pattes ou brides, axe horizontal ou vertical. ● Moteur à haut rendement. ● Classe d'échauffement (au-dessus de l'ambiance). ● Un ou deux sens de rotation. ● Couplage électrique du stator (D ou Y). Neutre sorti. Extrémités des bobinages sorties. ● Qualification du personnel d'entretien électrique. ● Pour les moteurs à courant continu : tension et courant d'induit, C_{max}/C_n, tension d'excitation, plage de variation de vitesse, type d'alimentation (si fournie par d'autres). ● Pour les moteurs synchrones : caractéristiques de l'excitation. ● Type de paliers. ● Contraintes particulières de montage ou d'entretien : position de la boîte à bornes, type de raccordement,... ● Essais à effectuer par le constructeur. ● Dispositif de démarrage. ● Comportement à assurer en cas de creux de tension, d'interruption de l'alimentation électrique (cf. chapitre 7). ● Freinage : durée, fréquence; récupération d'énergie cinétique. ● Fourniture de puissance réactive. ● Réglage du couple moteur. ● Tableau de contrôle-commande : local ou salle de contrôle. ● Appareillage de protection thermique : sur les bobinages, sur les paliers. ● Appareillage de protection mécanique : sur les paliers (vibrations), survitesse. ● Appareillage de protection électrique : disjoncteur, fusibles, relais thermique, relais magnétique, contrôleur d'isolement, réchauffeur électrique anticondensation, etc. (cf. 3-61).

H5 - Identification, vues éclatées et nomenclature

H5.1 - PLAQUES SIGNALÉTIQUES

 MOT. 3 ~ FLSC 90L TR N° 999999 JJ0001							
IP55	IK08	cl.F	40°C	S.S1	kg 21		
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos	A		
λ 380	50	1420	1.50	0.86	3.4		
Δ 230	50	1428	1.50	0.82	5.7		
λ 400	50	1428	1.50	0.82	3.3		
λ 415	50	1435	1.50	0.79	3.4		
λ 440	60	1710	1.80	0.85	3.6		
λ 460	60	1720	1.80	0.84	3.3		

 MOT. 3 ~ FLS 200 L4 N° 685702 JJ001						kg : 260	 (EFF 2)
IP55	IK08	I cl.F	40°C	S1	%	d/h	
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A		
Δ 380	50	1467	30	0.86	58		
Δ 400	-	1471	-	0.85	56		
Y 690	-	-	-	-	33		
Δ 415	-	1472	-	0.83	55		
Δ 440	60	1762	34.5	0.86	58		
Δ 460	-	1767	-	-	55		

GRAISSE ESSO UNIREX N3

DE 6313 C3	23 cm ³	9000 / 7000 H 50/60 Hz
NDE 6313 C3	23 cm ³	9000 / 7000 H 50/60 Hz

* D'autres logos peuvent être réalisés en option :
 une entente préalable à la commande est impérative.


▼ Définition des symboles des plaques signalétiques

 Repère légal de la conformité du matériel aux exigences des Directives Européennes.

MOT 3 ~ : Moteur triphasé alternatif
 FLS : Série FLS
 FLSC : Série FLS finition Corroblock
 90 : Hauteur d'axe
 L : Symbole de carter
 TR : Indice d'imprégnation

N° moteur

N° : Numéro série moteur
 J : Année de production
 J : Mois de production
 001 : N° d'ordre dans la série

 : Label du rendement

IP 55 IK 08 : Indice de protection
 I cl. F : Classe d'isolation F
 40 °C : Température d'ambiance maxi de fonctionnement, selon CEI 34-1
 S...% : Service - Facteur de marche
 ...d/h : Nombre de démarrages par heures
 kg : Masse
 V : Tension d'alimentation
 Hz : Fréquence d'alimentation
 min⁻¹ : Nombre de tours par minute
 kW : Puissance nominale
 cos φ : Facteur de puissance
 A : Intensité nominale
 Δ : Branchement triangle
 Y : Branchement étoile

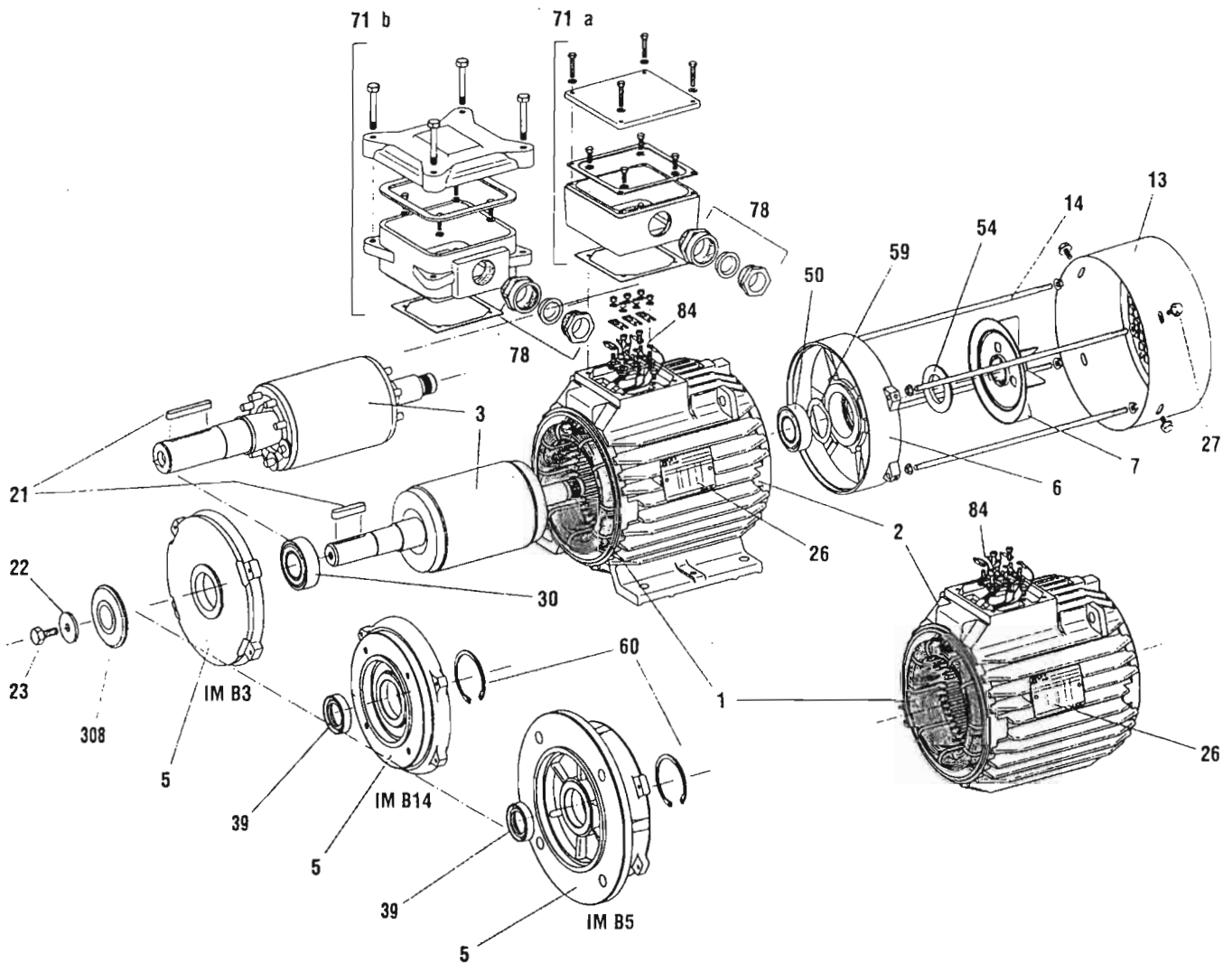
Roulements

DE : Drive end
 Roulement coté entraînement
 NDE : Non drive end
 Roulement coté opposé à l'entraînement
 23 cm³ : Quantité de graisse à chaque relubrification (en cm³)
 9000 / 7000 H : Périodicité de relubrification (en heures) pour θ amb 40 °C à fréquence 50 Hz / 60 Hz
 ESSO UNIREX N3 : Type de graisse

Informations à rappeler pour toute commande de pièces détachées

Moteurs asynchrones Fonte FLS Maintenance / Installation

H5.2 - HAUTEUR D'AXE : 80 à 132



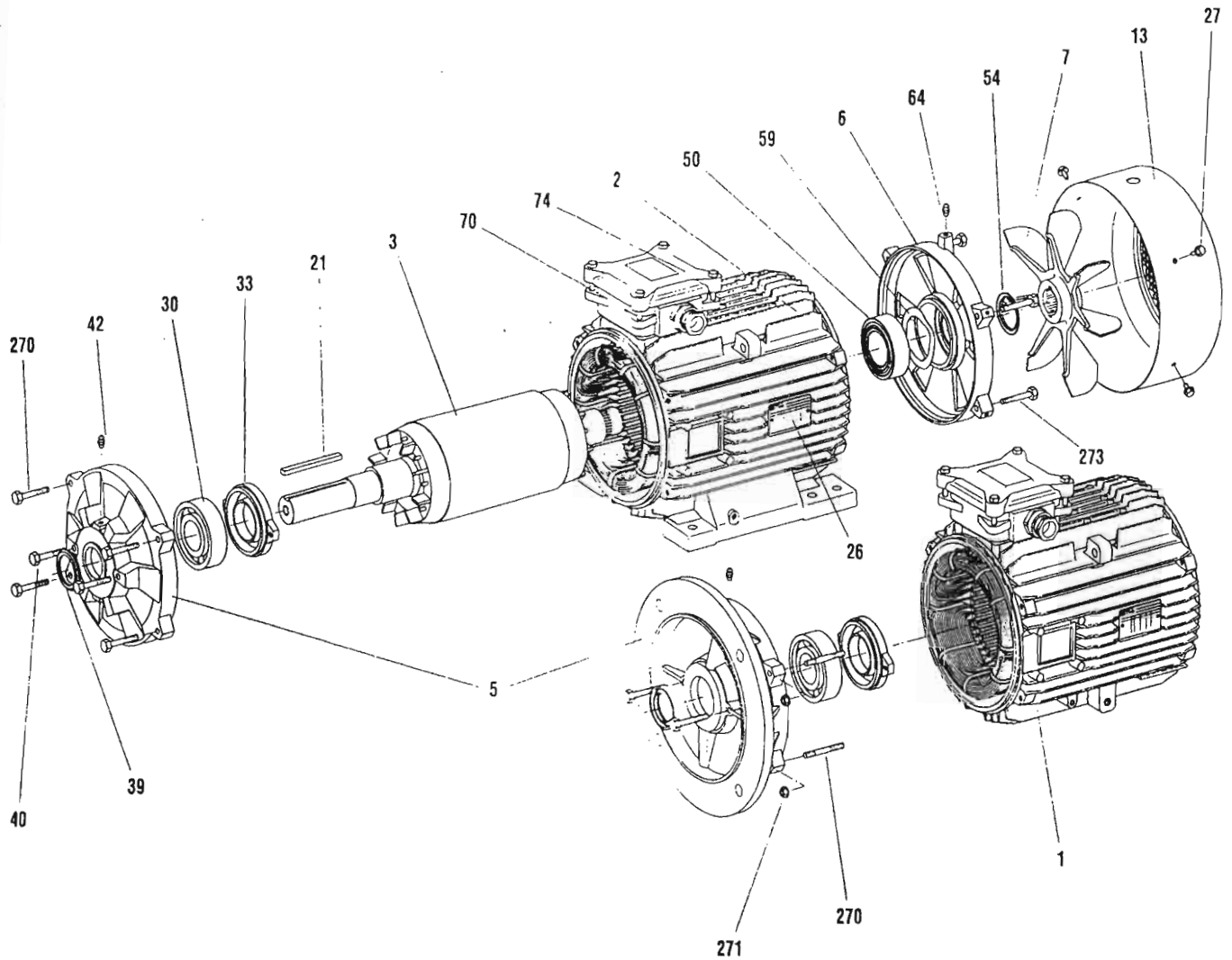
Hauteur d'axe : 80 à 132

Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	21	Clavette de bout d'arbre	54	Joint arrière
2	Carcasse	22	Rondelle de bout d'arbre	59	Rondelle de précharge
3	Rotor	23	Vis de bout d'arbre	60	Segment d'arrêt
5	Flasque côté accouplement (DE)	26	Plaque signalétique	71 a	Boîte à bornes FLSC
6	Flasque arrière (NDE)	27	Vis de fixation de capot	71 b	Boîte à bornes FLSC
7	Ventilateur	30	Roulement côté accouplement	78	Presse étoupe
13	Capot de ventilation	39	Joint côté accouplement	84	Planchette à bornes
14	Tiges de montage	50	Roulement arrière	308	Chicane

Nota : La représentation des pièces ci-dessus ne préfigure pas des détails, formes et volumes de celles-ci.

Moteurs asynchrones Fonte FLS Maintenance / Installation

H5.3 - HAUTEUR D'AXE : 160 - 180



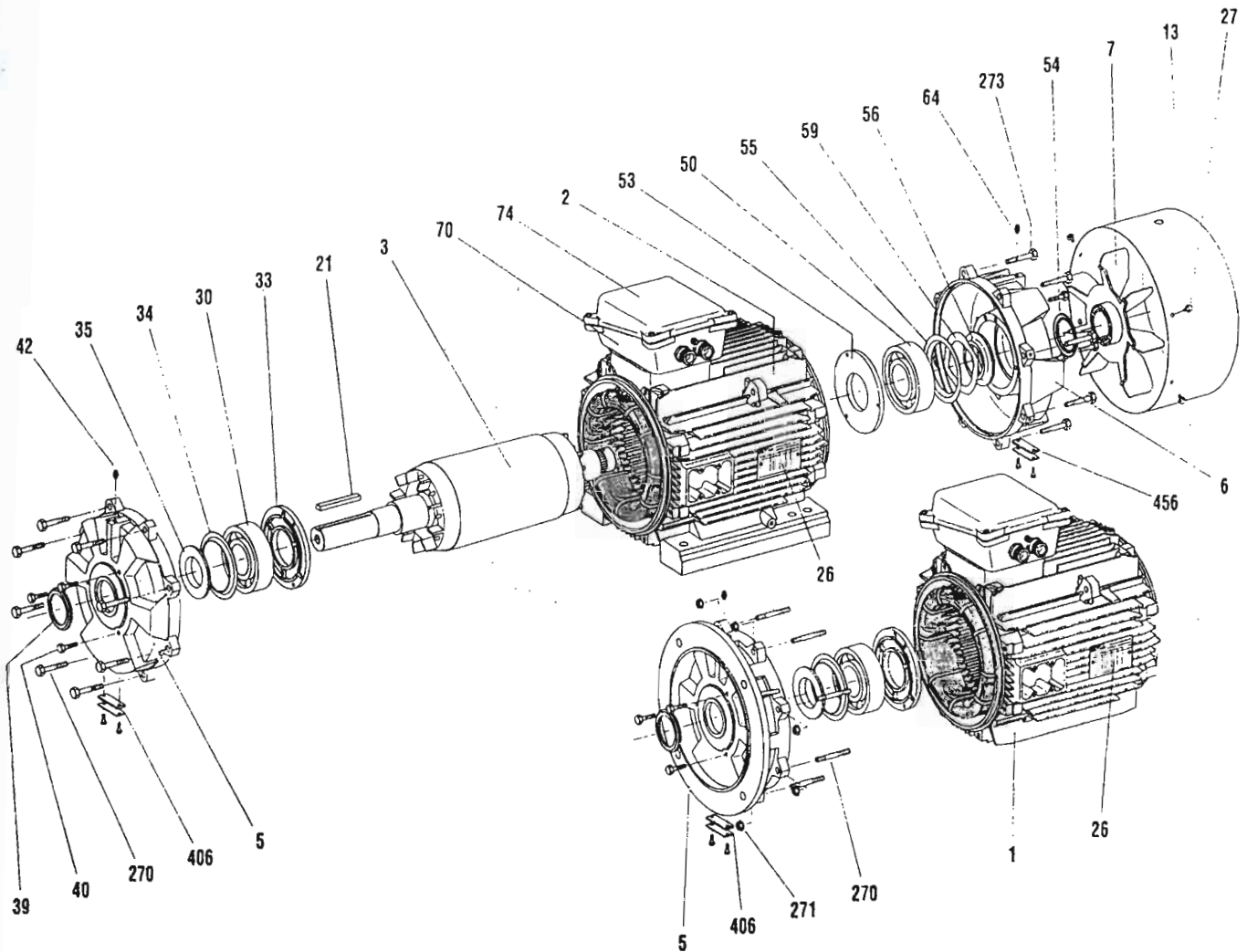
Hauteur d'axe 160 - 180

Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	26	Plaque signalétique	54	Joint d'étanchéité NDE
2	Carcasse	27	Vis de fixation du capot	59	Rondelle de précharge NDE
3	Rotor	30	Roulement côté accouplement	64	Graisseur NDE (arrière)
5	Flasque côté accouplement (DE)	33	Couvercle intérieur DE (avant)	70	Corps de boîte à bornes stator
6	Flasque arrière (NDE)	39	Joint d'étanchéité DE	74	Couvercle de boîte à bornes
7	Ventilateur	40	Vis de fixation des couvercles	270	Vis de fixation du flasque DE
13	Capot de ventilation	42	Graisseur DE (avant)	271	Ecrou de fixation du flasque DE
21	Clavette de bout d'arbre	50	Roulement NDE (arrière)	273	Vis de fixation du flasque NDE

Nota : La représentation des pièces ci-dessus ne préfigure pas des détails, formes et volumes de celles-ci.

Moteurs asynchrones Fonte FLS Maintenance / Installation

H5.4 - HAUTEUR D'AXE : 200 à 225 MT



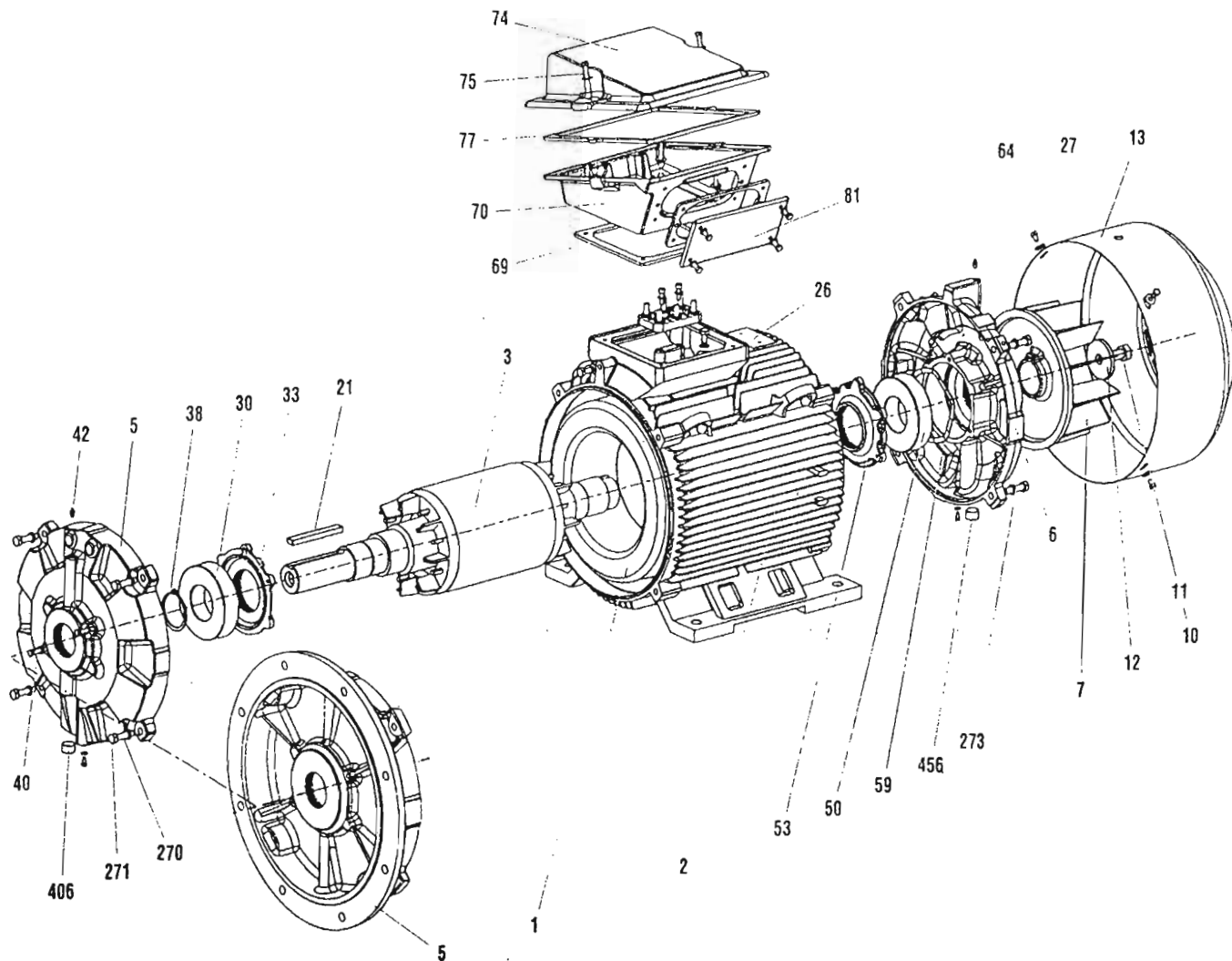
Hauteur d'axe : 200 à 225 MT

Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	33	Couvercle intérieur DE (avant)	59	Rondelle de précharge NDE
2	Carcasse	34	Partie fixe de soupape à graisse DE (avant)	64	Graisseur NDE (arrière)
3	Rotor	35	Partie mobile de soupape à graisse DE (avant)	70	Corps de boîte à bornes stator
5	Flasque côté accouplement (NDE)	39	Joint d'étanchéité DE	74	Couvercle de boîte à bornes stator
6	Flasque arrière (NDE)	40	Vis de fixation des couvercles	270	Vis de fixation du flasque DE
7	Ventilateur	42	Graisseur DE (avant)	271	Ecrou de fixation du flasque DE
13	Capot de ventilateur	50	Roulement NDE (arrière)	273	Vis de fixation du flasque NDE
21	Clavette de bout d'arbre	53	Couvercle intérieur NDE (arrière)	406	Plaque de fermeture de soupape à graisse DE (avant)
26	Plaque signalétique	54	Joint d'étanchéité NDE	456	Plaque de fermeture de soupape à graisse NDE (arrière)
27	Vis de fixation du capot	55	Partie fixe de soupape à graisse NDE (arrière)		
30	Roulement côté accouplement	56	Partie mobile de soupape à graisse NDE (arrière)		

Nota : La représentation des pièces ci-dessus ne préfigure pas les détails, formes et volumes de celles-ci.

Moteurs asynchrones Fonte FLS Maintenance / Installation

H5.5 - HAUTEUR D'AXE : 225 M à 280



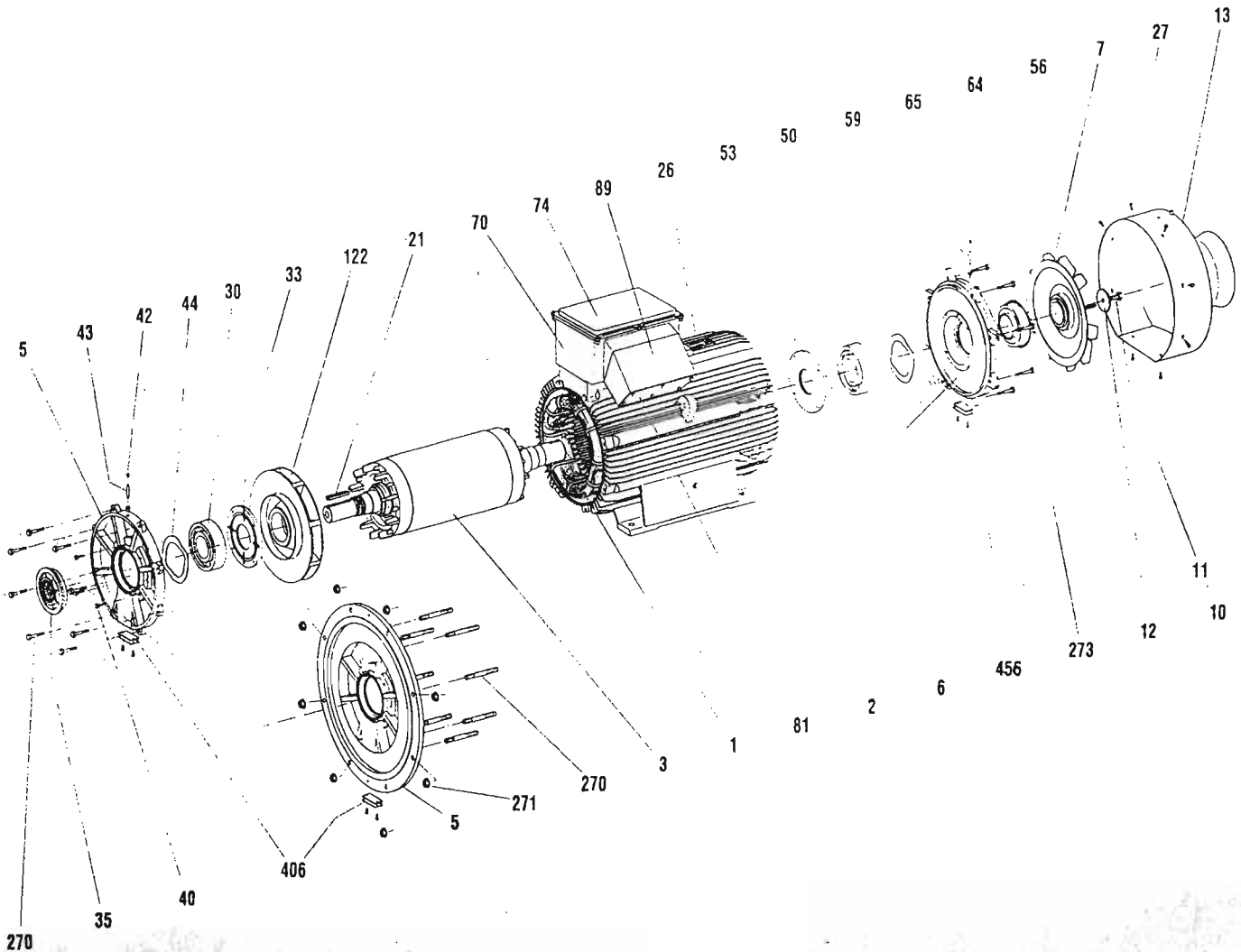
Hauteur d'axe : 225 M à 280

Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	26	Plaque signalétique	69	Joint d'embase boîte à bornes
2	Carcasse	27	Vis de fixation du capot	70	Corps de boîte à bornes stator
3	Rotor	30	Roulement côté accouplement	74	Couvercle de boîte à bornes stator
5	Flasque côté accouplement (DE)	33	Couvercle intérieur DE (avant)	75	Vis de fixation du couvercle de boîte à bornes
6	Flasque arrière (NDE)	38	Circlips roulement DE (avant)	81	Plaque support de presse-étoupe
7	Ventilateur	40	Vis de fixation des couvercles	270	Vis de fixation du flasque DE
10	Vis de turbine ou de ventilateur (280 - 4p)	42	Graisseur DE (avant)	271	Ecrou de fixation du flasque DE
11	Rondelle frein (non représentée) (280 - 4p)	50	Roulement NDE (arrière)	273	Vis de fixation du flasque NDE
12	Rondelle de blocage (280 - 4p)	53	Couvercle intérieur NDE (arrière)	406	Plaque de fermeture de soupape à graisse DE (avant) - (bouchon)
13	Capot de ventilation	59	Rondelle de précharge NDE	456	Plaque de fermeture de soupape à graisse NDE (arrière) - (bouchon)
21	Clavette de bout d'arbre	64	Graisseur NDE (arrière)		

Nota : La représentation des pièces ci-dessus ne préfigure pas des détails, formes et volumes de celles-ci.

Moteurs asynchrones Fonte FLS Maintenance / Installation

H5.6 - HAUTEUR D'AXE : 315 à 355 LD



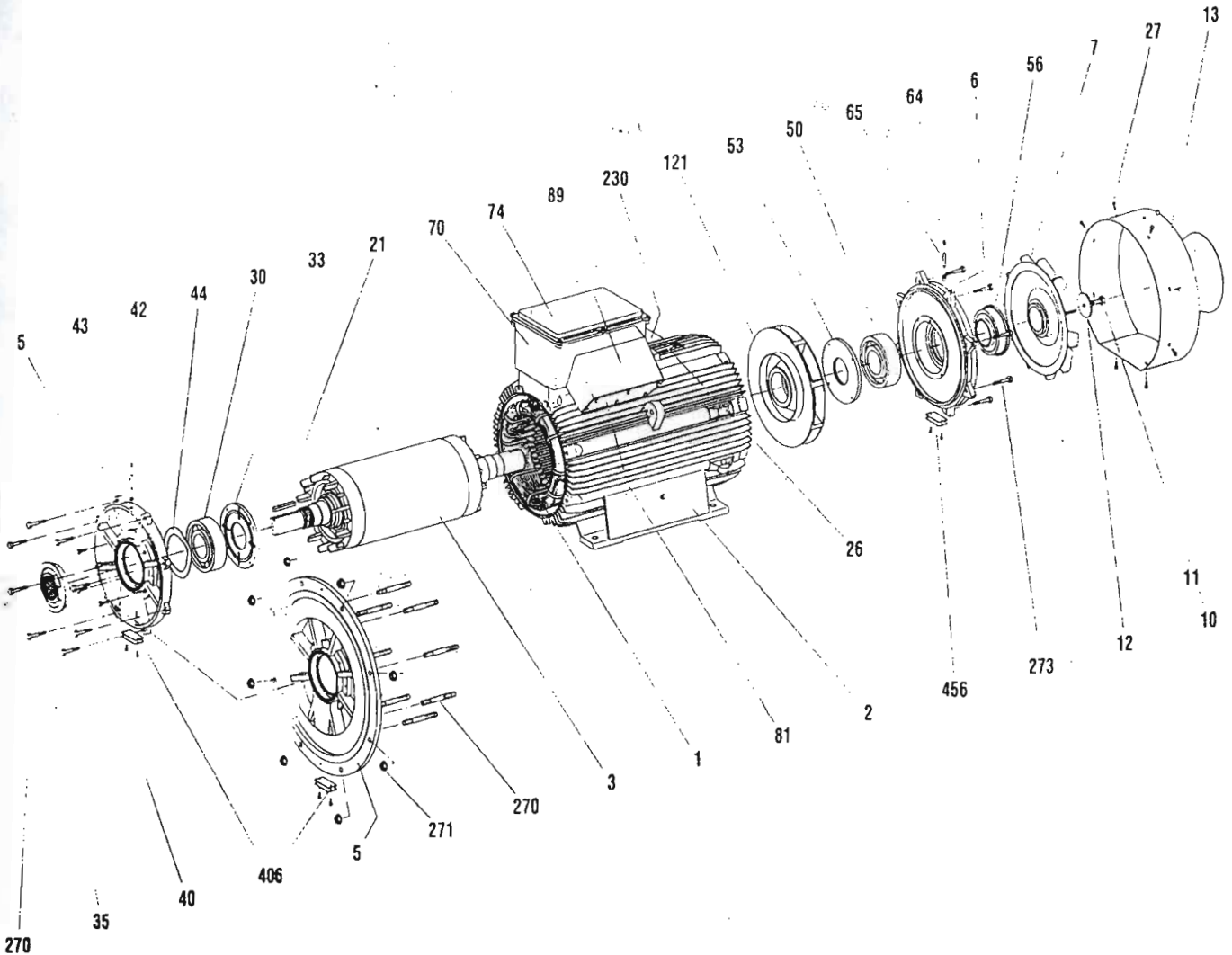
Hauteur d'axe : 315 à 355 LD

Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	27	Vis de fixation du capot	64	Graisseur NDE (arrière)
2	Carcasse	30	Roulement côté accouplement	65	Rallonge de graisseur NDE
3	Rotor	33	Couvercle intérieur DE (avant)	70	Corps de boîte à bornes stator
5	Flasque côté accouplement (DE)	35	Partie mobile de soupape à graisse DE (avant)	74	Couvercle de boîte à bornes stator
6	Flasque arrière (NDE)	40	Vis de fixation des couvercles	81	Plaque support de presse-étoupe
7	Ventilateur	42	Graisseur DE (avant)	89	Raccord - Cornet de boîte à bornes (option)
10	Vis de turbine ou de ventilateur	43	Rallonge de graisseur DE	122	Brasseur (uniquement du 315 M au 355 LD)
11	Rondelle frein (non représentée)	44	Rondelle de précharge DE (à partir du 315 M)	270	Vis de fixation du flasque DE
12	Rondelle de blocage	50	Roulement NDE (arrière)	271	Ecrou de fixation du flasque DE
13	Capot de ventilation	53	Couvercle intérieur NDE (arrière)	273	Vis de fixation du flasque NDE
21	Clavette de bout d'arbre	56	Partie mobile de soupape à graisse NDE (arrière)	406	Plaque de fermeture de soupape à graisse DE (avant)
26	Plaque signalétique	59	Rondelle de précharge NDE (315 ST)	456	Plaque de fermeture de soupape à graisse NDE (arrière)

Nota: La représentation des pièces ci-dessus ne préfigure pas des détails, formes et volumes de celles-ci.

Moteurs asynchrones Fonte FLS Maintenance / Installation

H5.7 - HAUTEUR D'AXE : 355 LK au 450



Hauteur d'axe : 355 LK au 450

Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	27	Vis de fixation du capot	65	Rallonge de graisseur NDE
2	Carcasse	30	Roulement côté accouplement	70	Corps de boîte à bornes stator
3	Rotor	33	Couvercle intérieur DE (avant)	74	Couvercle de boîte à bornes stator
5	Flasque côté accouplement (DE)	35	Partie mobile de soupape à graisse DE (avant)	81	Plaque support de presse-étoupe
6	Flasque arrière (NDE)	40	Vis de fixation des couvercles	89	Horn - Cornet de boîte à bornes
7	Ventilateur	42	Graisseur DE (avant)	121	Brasseur
10	Vis de turbine ou de ventilateur	43	Rallonge de graisseur DE	230	Boîte à bornes auxiliaire (du 355 LK au 450)
11	Rondelle frein (non représentée)	44	Rondelle de précharge DE	270	Vis de fixation du flasque DE
12	Rondelle de blocage	50	Roulement NDE (arrière)	271	Ecrou de fixation du flasque DE
13	Capot de ventilation	53	Couvercle intérieur NDE (arrière)	273	Vis de fixation du flasque NDE
21	Clavette de bout d'arbre	56	Partie mobile de soupape à graisse NDE (arrière)	406	Plaque de fermeture de soupape à graisse DE (avant)
26	Plaque signalétique	64	Graisseur NDE (arrière)	456	Plaque de fermeture de soupape à graisse NDE (arrière)

Nota : La représentation des pièces ci-dessus ne préfigure pas des détails, formes et volumes de celles-ci.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- Encyclopédie des sciences industrielles QUILLET

- 2- Catalogue technique LEROY SOMER

- 3- Notice technique ABB Motors

- 4- Catalogue technique ABB 1997

- 5- Notes de cours Installations électriques (Elec 421 ESPT)

- 6- Techniques de l'ingénieur, traité Génie électrique

- 7- Guide de Ingénierie électriques SOLIGNAC

- 8- Séminaire sur l'optimisation des systèmes d'entraînement 18 Avril 2002 KHALID
ZEKRI de ABB

- 9- La fonction maintenance F. MONCHY