



ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE POMPAGE D'EAU

Manuel de maintenance

Première édition



Initiative eau et assainissement



Initiative pour l'énergie durable
et le changement climatique

Banque Interaméricaine de Développement

ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE POMPAGE D'EAU

Manuel de maintenance

Première édition

Initiative pour l'eau et l'hygiène
Initiative pour le changement climatique et l'énergie renouvelable
Washington
2011

© Banque Interaméricaine de Développement, 2011. Les points de vue et opinions exprimés dans la présente publication sont ceux des auteurs et ne reflètent pas nécessairement la position officielle de la Banque interaméricaine de Développement ou de ses pays membres.

Pour plus d'informations s'il vous plaît contacter: agua@iadb.org ou secci@iadb.org

IDB-MG-113

TABLE DES MATIÈRES

PRÉSENTATION.....	vii
RÉSUMÉ ANALYTIQUE.....	ix
TERMES.....	xi
SYMBOLES.....	xiii

Chapitre 1

Introduction	1
---------------------------	---

Chapitre 2

Impératifs en matière de sécurité avant la maintenance	3
---	---

Chapitre 3

Entretien anticipé	5
3.1 Entretien anticipé du transformateur.....	5
3.1.1 <i>Mesure et analyse des paramètres électriques</i>	5
3.1.2 <i>Analyse physique et chimique de l'huile diélectrique du transformateur</i>	5
3.1.3 <i>Mesure de la résistance de l'isolation</i>	5
3.1.4 <i>Tester le rapport du nombre de spires</i>	7
3.1.5 <i>Analyse thermographique</i>	7
3.2 Entretien anticipé du centre de commande du moteur.....	8
3.2.1 <i>Inspection de l'équipement</i>	8
3.2.2 <i>Analyse thermographique</i>	8
3.3 Entretien anticipé du réseau de mise à la terre.....	8
3.3.1 <i>Résistance électrique du réseau de mise à la terre</i>	8
3.3.2 <i>Tests de la solution de continuité physique du réseau de mise à la terre</i>	8
3.4 Entretien anticipé du moteur.....	9
3.4.1 <i>Mesure et analyse des paramètres électriques</i>	9
3.4.2 <i>Mesure et analyse des vibrations mécaniques</i>	9
3.4.3 <i>Tests de la résistance du bobinage</i>	10
3.4.4 <i>Analyse thermographique</i>	10
3.4.5 <i>Mesures électriques des condensateurs</i>	10
3.5 Entretien anticipé de la pompe.....	10
3.5.1 <i>Mesure de la pression et du débit</i>	10
3.5.2 <i>Coussinet</i>	11
3.5.3 <i>Presse-étoupe</i>	11
3.5.4 <i>Mesure et analyse des vibrations mécaniques</i>	11
3.6 Entretien anticipé de la tuyauterie de décharge.....	11
3.6.1 <i>Mesure et analyse des vibrations mécaniques</i>	11
3.7 Entretien anticipé des vannes.....	11
3.7.1 <i>Inspection visuelle des vannes</i>	11
3.7.2 <i>Mesure et analyse des vibrations mécaniques</i>	11
3.8 Entretien anticipé du puits.....	12
3.8.1 <i>Mesure du niveau</i>	12
3.8.2 <i>Inspection par vidéo</i>	12

Chapitre 4

Maintenance préventive	13
4.1 Maintenance préventive du transformateur.....	13
4.1.1 <i>Nettoyage des environs</i>	13
4.1.2 <i>Nettoyage de l'équipement</i>	13

4.1.3	<i>Resserrer les boulons et les vis des buses mécaniques et des bornes</i>	13
4.1.4	<i>Purification et filtrage de l'huile diélectrique</i>	13
4.1.5	<i>Ventilation</i>	14
4.2	Maintenance préventive du centre de commande du moteur	14
4.2.1	<i>Nettoyage de la carte de circuit imprimé</i>	14
4.2.2	<i>Resserrer les boulons et les vis des bornes mécaniques</i>	14
4.3	Maintenance préventive du moteur	14
4.3.1	<i>Nettoyage du moteur</i>	14
4.3.2	<i>Lubrification du roulement</i>	15
4.3.3	<i>Changement des roulements à billes de butée</i>	15
4.3.4	<i>Ajustement du couvercle</i>	15
4.4	Maintenance préventive de la pompe	15
4.4.1	<i>Changement du presse-étoupe</i>	15
4.4.2	<i>Lubrification du roulement et des supports de roulement</i>	16
4.4.3	<i>Lubrification de la partie supérieure de l'arbre</i>	16
4.4.4	<i>Lubrification de l'arbre de transmission</i>	16
4.5	Maintenance préventive de la tuyauterie de refoulement	17
4.5.1	<i>Inspection de la tuyauterie de refoulement</i>	17
4.5.2	<i>Nettoyage et peinture</i>	17
4.5.3	<i>Changements de la garniture d'étanchéité</i>	17
4.5.4	<i>Inspection de l'équipement de chloration</i>	17
4.6	Maintenance préventive des vannes	18
4.6.1	<i>Lubrification</i>	18
4.6.2	<i>Réglage du diaphragme de la membrane obturatrice des vannes électromagnétiques</i>	18
4.6.3	<i>Remplacement de la garniture d'étanchéité des robinets d'écoulement, tuyaux d'évent et de la vanne principale</i>	18
4.6.4	<i>Inspection et calibrage des manomètres</i>	18
4.6.5	<i>Nettoyage du ressort de commande de la membrane</i>	18
4.6.6	<i>Nettoyage du corps de vanne</i>	18
4.7	Maintenance préventive du puits	19
Chapitre 5		
Maintenance corrective		21
5.1	Maintenance corrective des transformateurs	21
5.1.1	<i>Remplacement de l'équipement</i>	21
5.1.2	<i>Réparation de l'équipement</i>	21
5.1.3	<i>Différentes actions de maintenance corrective pour les transformateurs</i>	22
5.2	Maintenance corrective du centre de commande du moteur	22
5.2.1	<i>Remplacement de l'équipement ou d'un élément</i>	22
5.2.2	<i>Réparation de l'équipement</i>	22
5.3	Maintenance corrective du moteur	22
5.3.1	<i>Remplacement de l'équipement</i>	22
5.3.2	<i>Réparation de l'équipement</i>	23
5.3.3	<i>Différentes mesures de maintenance corrective des moteurs</i>	23
5.4	Maintenance corrective du système de mise à la terre	23
5.5	Maintenance corrective des pompes	24
5.5.1	<i>Réparation ou remplacement des éléments</i>	24
5.5.2	<i>Remplacement de la pompe</i>	24
5.6	Maintenance corrective des vannes	24
Chapitre 6		
Plan de maintenance		25
6.1	Inventaire de l'équipement et des installations	25
6.2	Activités et fréquence	26
6.3	Programme de maintenance	29

Chapitre 7

Identification des problèmes	29
7.1 Inspection sensorielle (voir, toucher, sentir, entendre)	29
7.1.1 <i>Système électrique</i>	29
7.1.2 <i>Système de circulation de l'eau</i>	29
7.2 Analyse du système électrique	30
7.2.1 <i>Diagramme monofilaire</i>	30
7.2.2 <i>Analyse de distorsion harmonique</i>	30
7.2.3 <i>Analyse des mesures électriques</i>	31
7.2.4 <i>Analyse du système de mise à la terre</i>	34
7.3 Analyse du système des eaux	35
7.3.1 <i>Analyse de la pompe</i>	35
7.4 Analyse des températures	35
7.4.1 <i>Températures au niveau du transformateur</i>	35
7.4.2 <i>Températures au niveau de l'équipement de contrôle</i>	36
7.4.3 <i>Température du moteur</i>	36

ANNEXE	37
--------------	----

1 Méthodologie applicable aux audits de maintenance	39
1.1 Activités sur le terrain	39
1.2 Activités au bureau	40

2 Collecte des données	43
2.1 Système électrique	43
2.2 Données du moteur	44
2.3 Données nominales concernant la pompe	45
2.4 Inspection visuelle et auditive	45
2.5 Formulaires de collecte des données et de mesures sur le terrain	46
2.6 Formulaire pour l'audit du plan de maintenance	48

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fréquence de la maintenance	27
Tableau 2 : Programme de maintenance	28
Tableau B1 : Données relatives au système électrique (exemple)	46
Tableau B2 : Données relatives au moteur électrique (exemple)	47
Tableau B3 : Données sur la pompe (exemple)	47
Tableau B4 : Mesures électriques (exemple)	47
Tableau B5 : Formulaire de collecte des mesures hydrauliques	48
Tableau B6 : Formulaire de collection des mesures de température	48
Tableau B7 : Audit du plan de maintenance (exemple)	49

Liste des figures

Figure 1 : Processus du plan de maintenance intégrée	x
Figure 2 : Mesure de la résistance de l'isolation du transformateur	6
Figure 3 : Mesure de la résistance électrique de la mise à la terre	9
Figure 4 : Distorsion sinusoïdale	30
Figure A1 : Méthodologie à suivre pour la réalisation d'un audit de maintenance	39

PRÉSENTATION

A fin d'accroître et d'améliorer l'approvisionnement en eau potable dans les pays d'Amérique latine et des Caraïbes, l'Initiative pour l'énergie durable et le changement climatique (SECCI) de la Banque interaméricaine de développement (BID) a financé l'élaboration d'une méthodologie régionale visant à améliorer l'efficacité énergétique et la maintenance des compagnies des eaux dans le cadre de la coopération technique de la BID « Energy Efficiency for Caribbean Water and Sanitation Companies » (Efficacité énergétique pour les compagnies des eaux et d'assainissement des Caraïbes). Cette méthodologie, élaborée par les cabinets de consultants Econoler International et Alliance to Save Energy, se concentre principalement sur le rendement électromécanique des systèmes de pompage dans les Caraïbes. La présente publication est un manuel de maintenance. Un manuel d'évaluation de l'efficacité énergétique et une feuille de calcul de l'efficacité énergétique sont également disponibles sur le site Web de la Banque à www.iadb.org/publications et le portail de l'Initiative pour l'énergie durable et le changement climatique: <http://www.iadb.org/en/topics/water-sanitation/energy-efficiency-for-utilities,4492.html>.

Les personnes suivantes, de l'Unité de l'énergie durable et changement climatique (ECC) et de la Division eau et assainissement (WAS) ont supervisé la préparation du présent manuel : Christoph Tagwerker (ECC), Marcello Basani (WSA), Rodrigo Riquelme (WSA) et Gerhard Knoll (WSA). Le manuel a été élaboré par Econoler International et Alliance to Save Energy—Arturo Pedraza et Ramón Rosas.

Initiative pour l'eau et l'assainissement
Initiative pour l'énergie durable et le changement climatique

RÉSUMÉ ANALYTIQUE

Le plan de maintenance intégrée d'un système d'eau et d'assainissement implique qu'il faille élaborer une suite ordonnée d'actions visant à contribuer à maintenir et faire durer l'équipement et les installations dans un état de fonctionnement efficace. Le plan de maintenance intégré se compose essentiellement des trois éléments suivants :

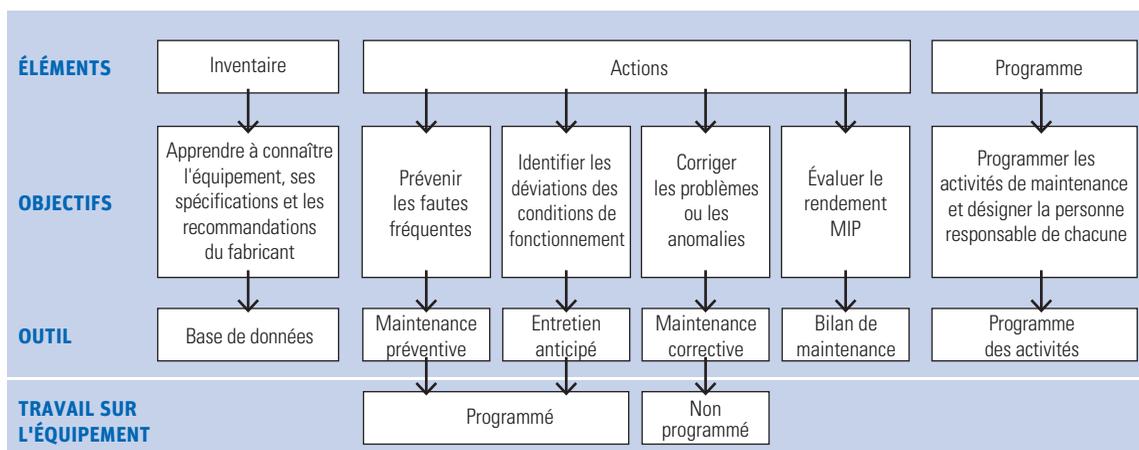
- Inventaire de l'équipement, qui doit comprendre ses spécifications et ses pièces ainsi que les recommandations du fabricant concernant son exploitation et sa maintenance ;
- Définitions des actions à entreprendre et leur fréquence d'exécution, qui doivent être axées sur les objectifs et structurées conformément au plan de maintenance ; et
- Un programme de travail, qui est une matrice avec des flèches sur un axe et des activités sur l'autre, désignant la personne responsable de chaque activité.

Les mesures à prendre pour la maintenance sont divisées en quatre types en fonction de la cible spécifique :

- Les activités visant à prévenir les problèmes : l'outil qui combine et articule ces activités sont la **maintenance préventive**. Les principales activités entreprises dans le cadre de ce type de maintenance sont l'inspection de l'équipement, le nettoyage, la lubrification et le remplacement des pièces.
- Les activités visant à identifier les problèmes : l'outil qui combine et articule ces activités est **l'entretien anticipé**. Il est basé sur la surveillance, l'enregistrement et l'analyse du comportement des principales variables du fonctionnement de l'équipement et des installations. L'entretien anticipé sert à corriger le fonctionnement de l'équipement en observant toute déviation de la normale afin de prévoir les activités de la maintenance corrective.
- Les activités visant à corriger les problèmes : l'outil qui combine et articule ces activités est la **maintenance corrective**. Ce travail peut être programmé ou non ; les activités programmées sont prévues à la suite de l'identification d'un problème potentiel, celles qui ne le sont pas doivent être entreprises pour corriger ou réparer un défaut quelconque dans l'équipement.
- Les activités d'évaluation du plan de maintenance intégré : l'outil qui combine et articule les activités de ce type est le **bilan de maintenance**. Il comprend la collecte des données et des mesures des paramètres de fonctionnement ainsi que l'évaluation du plan de maintenance appliqué aux installations. Les actions à entreprendre pour améliorer les choses sont déterminées sur la base de ces données afin de garantir que l'équipement est continuellement en service et d'éviter la réduction de son efficacité.

La Figure 1 montre le processus du plan de maintenance intégré et décrit l'interrelation qui existe entre les divers outils servant à intervenir sur l'équipement.

FIGURE 1: Processus du plan de maintenance intégrée



TERMES

Les définitions, termes et symboles ont pour but de faire en sorte que tous les utilisateurs du manuel aient un langage technique commun afin qu'ils puissent exécuter les concepts qui y sont présentés.

Capacitance – résistance des condensateurs purs au passage du ou des courants électriques alternatifs sans résistance interne.

Capacité totale de refoulement – somme algébrique de la pression au refoulement, du niveau d'aspiration du niveau au centre du manomètre (pompe de forage) ou de la pression d'aspiration (pompe de surpression), des pertes de charge singulières et dues à la friction, et de la vitesse de refoulement.

Condensateur – dispositif formé par deux plaques ou feuilles séparées par un matériau diélectrique, qui acquiert une charge spécifique lorsqu'il est mis sous tension électrique.

Conducteur électrique – fil de cuivre, d'aluminium ou autre métal qui est bon conducteur électrique.

Débit – volume d'eau mesuré en fonction d'une unité de temps, normalement exprimé en litres par seconde (l/s).

Disjoncteur – dispositif pouvant débrancher un circuit sous tension lorsqu'il y a un défaut électrique.

Durée de vie – le temps pendant lequel il est estimé que le travail ou élément du projet fonctionnera correctement.

Échauffement du transformateur – donnée figurant sur la plaque et indiquant la différence ou l'augmentation maximale de la température du transformateur par rapport à la valeur moyenne de la température ambiante.

Entretien anticipé – technique permettant de prévoir le moment où un problème pourra se poser pour une pièce d'équipement, de façon à ce que la pièce défectueuse puisse être remplacée avant que le problème ne survienne.

Facteur de puissance – relation qui existe entre la puissance active et la puissance apparente. Le facteur de puissance décrit la relation qui existe entre la puissance convertie en une puissance réelle et effective et la puissance totale consommée.

Intensité du courant électrique – le flux d'une charge électrique en ampères (A) qui passe dans un conducteur avec une résistance **R** sous une tension **U**.

Interrupteur à couteau – dispositif servant à ouvrir un circuit électrique qui n'est plus sous tension.

Ligne d'alimentation – conducteur par lequel l'énergie électrique est fournie.

Maintenance corrective – un ensemble d'actions entreprises pour corriger un mauvais fonctionnement ou un défaut affectant le fonctionnement du système.

Maintenance préventive – ensemble d’actions entreprises pour prévenir des problèmes pouvant affecter le fonctionnement du système de pompage.

Matériau diélectrique – les matériaux qui ne sont pas conducteurs de l’électricité.

Niveau au centre du manomètre – distance verticale entre le niveau de référence et l’emplacement du manomètre servant à mesurer les charges de pression de l’aspiration et du refoulement.

Niveau d’aspiration – distance verticale entre le niveau de référence et la surface de l’eau lorsque l’équipement de pompage fonctionne.

Niveau de référence – Niveau choisi en tant que point de référence pour toutes les mesures hydrauliques ; il s’agit habituellement du plan inférieur du socle de fixation de l’équipement de pompage.

Parafoudre – dispositif de protection qui envoie à la terre les décharges électriques atmosphériques.

Point chaud – point de température maximale sur la surface externe d’un équipement ou d’un dispositif.

Pompe – équipement hydraulique qui transforme une énergie mécanique en une énergie de pression, transmise à l’eau.

Pouvoir diélectrique de l’huile – résistance caractéristique de l’huile au passage du courant électrique.

Prise de terre – conducteur (normalement des tiges, des tubes ou des plaques) enterré dans le sol pour dissiper les défaillances électriques.

Réactance inductive – résistance offerte par inductance pure (bobines) au flux du ou des charges alternatives sans résistance interne.

Résistance d’isolement – résistance offerte par l’isolant au flux du courant électrique lorsqu’une tension continue est appliquée.

Sous-station compacte – transformateur se trouvant dans un boîtier métallique, qui permet à l’opérateur de le toucher de l’extérieur sans risque.

Température de conception maximale – température maximale que l’équipement ou que les pièces peuvent supporter.

Tension électrique (voltage) – la différence de potentiel électrique en volts (V) requise entre la borne de raccordement ou entre deux parties actives d’une installation pour que le courant électrique puisse y passer.

Transformateur – dispositif servant à accroître ou réduire les tensions électriques.

Vanne – dispositif mécanique servant à arrêter ou à contrôler le débit d’eau dans les conduites.

SYMBOLES

Les symboles suivants sont utilisés dans le manuel :

ÉLECTRICITÉ

D_{BI}	=	Déséquilibre en Intensité (-)
I_A	=	Intensité phase A (A)
I_B	=	Intensité phase B (A)
I_C	=	Intensité phase C (A)
I_{avg}	=	Intensité moyen triphasé (A)
D_{BP}	=	Déséquilibre de puissance (-)
P_A	=	Puissance phase A (kW)
P_B	=	Puissance phase B (kW)
P_C	=	Puissance phase C (kW)
P_{avg}	=	Puissance moyenne triphasée (kW)
P_a	=	Puissance active ; puissance requise par le moteur telle qu'elle est obtenue par les mesures effectuées sur le terrain (kW)
P_{NOM}	=	Puissance nominale du moteur (kW)
hp_{nom}	=	Puissance nominale du moteur (puissance réelle vérifiée sur le terrain) en horse-power (hp)
D_{BV}	=	Déséquilibre de tension (-)
V_{A-B}	=	Tension entre les phases A et B (V)
V_{B-C}	=	Tension entre les phases B et C (V)
V_{A-C}	=	Tension entre les phases A et C (V)
V_{avg}	=	Tension moyenne entre les phases (V)
V_{plate}	=	Valeur de la tension nominale figurant sur la plaque signalétique (V)
V_{DN}	=	Différence entre la valeur de la tension mesurée et celle de la tension nominale figurant sur la plaque signalétique (-)
R	=	Capacitance (Ω)
η_m	=	Efficacité du moteur ou son bon rendement tel qu'indiqué par le fabricant (-)

HYDRAULIQUE

DQ	=	Déviation hydraulique comparée à celle de fabrication (-)
D_{r-m}	=	Niveau de référence au centre du manomètre (m)
DT_{HT}	=	Déviation hydraulique par rapport à la pression hydraulique de conception
FC	=	Facteur de charge du fonctionnement du moteur tel que déterminé par le fabricant (-)
K	=	Pertes dues à la friction dans les conduites et à la longueur de ces dernières (mH_2O)
H_T	=	Pression hydraulique de pompage total (mH_2O)
H'_T	=	Pression hydraulique mesurée (mH_2O)
v	=	Vitesse de l'eau dans la conduite de refoulement (m/s)
mH_2O	=	Unité de pression manométrique dans la colonne d'eau en mètres (mH_2O)
N_s	=	Niveau d'aspiration dynamique de l'eau (m)
P_d	=	Pression de refoulement (kg/cm^2)
P_s	=	Pression d'aspiration (kg/cm^2)
Q	=	Débit hydraulique du modèle de pompage (l/s)
Q_b	=	Débit hydraulique mesuré (l/s)
RPM	=	Révolution par minute

Chapitre 1

INTRODUCTION

Un plan de maintenance intégré destiné à un système d'eau et d'assainissement tente d'élaborer une suite d'activités ordonnées qui visent à faire en sorte que tous les équipements et que toutes les installations soient tout le temps en état de fonctionnement idéal. Le bilan de maintenance d'un système d'eau et d'assainissement implique la collecte de données et une enquête, la mesure des paramètres de fonctionnement et apprendre à connaître le plan de maintenance en vigueur dans les installations. Les améliorations à apporter sont exécutées sur la base des données collectées et des observations faites lors du bilan de maintenance, ce qui garantit que l'équipement sera continuellement en service et évite des pertes inutiles de rendement. Le présent document compte sept chapitres et une annexe. Les sections 2, 3 et 4 se concentrent sur la sécurité avant la maintenance ainsi que sur l'entretien anticipé et la maintenance préventive. La section 5 donne le détail des étapes de la maintenance corrective et la section 6 évalue les activités actuelles de maintenance de la compagnie. Finalement, l'annexe présente la méthodologie permettant d'effectuer un bilan de maintenance du système de pompage d'eau de la compagnie.

Chapitre 2

IMPÉRATIFS EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ AVANT LA MAINTENANCE¹

Avant d'effectuer quelque opération de maintenance que ce soit sur de l'équipement électrique, il faut prendre des mesures de sécurité pour assurer que le personnel soit protégé contre les chocs électriques. Les étapes suivantes de neutralisation sont fournies pour aider à élaborer des procédures de sécurité.

- Lorsque les dispositifs isolants ne peuvent pas être neutralisés, il est possible d'utiliser l'étiquetage, à condition que la compagnie des eaux respecte les dispositions de la norme qui exige une formation supplémentaire et des inspections périodiques plus rigoureuses.
- Lorsque l'étiquetage est utilisé et que des dispositifs d'isolation peuvent être utilisés pour neutraliser les équipements, la compagnie des eaux doit assurer une protection totale pour l'employé ainsi qu'une formation supplémentaire et des inspections périodiques plus rigoureuses.

PROCÉDURES MINIMALES TYPES DE NEUTRALISATION

Ces procédures établissent le minimum requis pour le dispositif de verrouillage (ou neutralisation) électrique chaque fois qu'une opération de maintenance ou d'entretien est effectuée sur de l'équipement. Elles doivent être appliquées pour s'assurer que l'équipement est arrêté, isolé de toute source d'énergie potentiellement dangereuse et neutralisé avant toute opération de maintenance ou d'entretien lorsqu'un démarrage inattendu ou une libération d'énergie accumulée pourrait provoquer des blessures.

Tous les employés doivent se conformer aux restrictions et aux limitations indiquées lorsqu'ils effectuent le verrouillage. Lorsqu'ils voient de l'équipement qui a été neutralisé pour un entretien ou une maintenance, les employés ne doivent pas tenter de le faire démarrer, de le mettre sous tension ou de s'en servir. Ceux qui travaillent à la maintenance de l'équipement doivent porter un détecteur de tension sans contact pour vérifier que l'environnement de travail ne présente aucun danger en termes d'exposition à des circuits sous tension.

SÉQUENCE DES PROCÉDURES DE NEUTRALISATION

1. Notifier tous les employés affectés que de l'équipement doit faire l'objet d'une opération de maintenance ou d'entretien et doit être arrêté et verrouillé pour que cela puisse être fait. Préparer une liste des employés affectés (avec les noms et désignations d'emploi) et une méthode de notification.
2. Les employés autorisés doivent se référer à la procédure suivie par la compagnie pour identifier le type et l'importance de l'énergie utilisée par l'équipement et comprendre les dangers présentés par l'énergie ainsi que les méthodes permettant de la contrôler.
3. Si l'équipement fonctionne, l'arrêter en suivant la procédure normale (appuyer sur le bouton d'arrêt, ouvrir un interrupteur, fermer une vanne, etc.).
4. Désactiver le ou les dispositifs isolants pour que l'équipement soit isolé de la ou des sources d'énergie.
5. Verrouiller le ou les dispositifs isolants avec le ou les verrous individuels appropriés.

¹ http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9805

6. Dissiper ou restreindre l'énergie accumulée ou résiduelle (comme dans les condensateurs, les ressorts, les parties élevées de l'équipement, les volants d'inertie, les systèmes hydrauliques et la pression de l'air, de gaz, de vapeur ou d'eau, etc.) par mise à la terre, changement de position, blocage, purge, etc.
7. S'assurer que l'équipement n'est pas branché sur une ou des sources d'énergie en vérifiant qu'aucun membre du personnel n'est exposé. S'assurer que l'équipement a été mis hors tension et qu'il ne reste plus d'énergie résiduelle. De plus, prendre toutes les dispositions nécessaires afin d'assurer la sécurité des employés. Vérifier ensuite l'isolation de l'équipement en appuyant sur le bouton-poussoir ou la ou les autres commandes normales de fonctionnement et en effectuant un test avec un détecteur de tension ou autre outil pour assurer que l'équipement ne se mettra pas en marche. **Remettre la ou les commandes en position neutre ou « arrêt » après avoir vérifié l'isolation de l'équipement.**
8. La dernière étape consiste à mettre à la terre et à court-circuiter toutes les sources possibles d'alimentation électrique du côté qui n'est plus sous tension.

REMETTRE L'ÉQUIPEMENT EN SERVICE

Il faut suivre les étapes suivantes une fois que l'opération d'entretien ou de maintenance est terminée et que l'équipement est prêt à être remis en fonction normalement :

1. Inspecter l'équipement et ses environs immédiats pour assurer que les articles non essentiels ont été enlevés et que ses pièces sont intactes et en état de fonctionner.
2. Inspecter l'aide de travail pour assurer que tous les employés sont à une distance ne présentant pas de danger ou ont quitté les lieux.
3. Vérifier que les commandes sont en position neutre ou « arrêt ».
4. Enlever la mise à la terre et les courts-circuits.
5. Enlever les dispositifs de neutralisation et remettre l'équipement sous tension. N.B. : Après la suppression de certaines formes de blocage, il peut s'avérer nécessaire de remettre l'équipement sous tension avant une suppression sans danger.
6. Notifier tous les employés affectés que l'opération d'entretien ou de maintenance est terminée et que l'équipement est prêt à être utilisé.

Chapitre 3

ENTRETIEN ANTICIPÉ

L'entretien anticipé d'un système de pompage d'eau est basé sur la surveillance, l'enregistrement et l'analyse du comportement des principales variables du fonctionnement de l'équipement et des installations. Elle sert à vérifier que tout fonctionne correctement et à constater toute déviation des conditions normales de fonctionnement afin de programmer les activités correctives correspondantes.

3.1. ENTRETIEN ANTICIPÉ DU TRANSFORMATEUR

3.1.1. *Mesure et analyse des paramètres électriques*

Les mesures et analyses des paramètres électriques comprennent des mesures électriques souvent prises au transformateur avec de l'équipement numérique à mémoire interne pour détecter les problèmes et effectuer une maintenance corrective. Les mesures suivantes sont nécessaires :

- Tension, utiliser un voltmètre (V) ;
- Intensité, utiliser un ampèremètre (A) ;
- Puissance électrique, utiliser un wattmètre (kW) ;
- Facteur de puissance, utiliser un mesureur de facteur de puissance (ou $\cos \phi$) (FP) ;
- Distorsion harmonique, utiliser un analyseur NETWORK (taux de distorsion harmonique) ;
- Résistance de l'isolant, utiliser un mégohmmètre (ohms) ;

Effectuer les mesures tous les mois et prendre les précautions suivantes :

- Rester à bonne distance de ce qui est sous tension ou en mouvement ;
- Utiliser des vêtements et de l'équipement de sécurité appropriés aux niveaux de tension (voltage) ;
- Ne pas effectuer de réparation quelle qu'elle soit sur les circuits sous tension.

Calculer le facteur de charge et envisager de mesurer la puissance électrique requise. Les transformateurs fonctionnent le plus efficacement entre 35 et 40 % de la charge. Leur rendement est cependant très bon entre 30 et 90 % de charge. Il n'est pas recommandé de faire fonctionner des transformateurs avec des facteurs de charge de plus de 90 %, ce qui peut réduire le rendement et la durée de vie.

3.1.2. *Analyse physique et chimique de l'huile diélectrique du transformateur*

L'analyse physique et chimique de l'huile détermine l'état de celle-ci ainsi que s'il faut lui rendre ses propriétés physiques et chimiques. Cette analyse doit être faite tous les ans. Le niveau de l'huile diélectrique doit être constamment mesuré. Des niveaux trop bas ou trop élevés peuvent entraîner la surchauffe du transformateur.

3.1.3. *Mesure de la résistance de l'isolation*

Il faut effectuer des mesures de la résistance de l'isolation une fois par an ou plus pour tirer avantages des moments où le transformateur ne fonctionne pas. Les conducteurs qui constituent le bobinage des transformateurs doivent être parfaitement isolés pour empêcher les spires, les couches et les bobines

de haute et basse tension d'entrer en contact. Les conducteurs ne doivent pas toucher les autres conducteurs, les bobines ou le noyau.

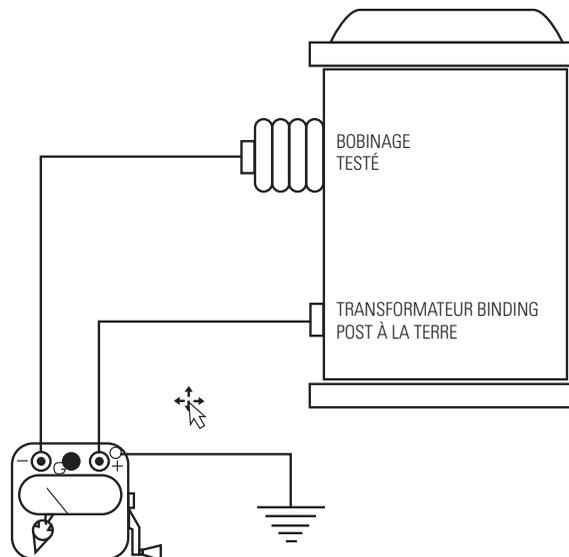
La qualité et l'état de l'isolation sont particulièrement intéressants lorsque l'on teste les transformateurs, car la durée de vie de l'équipement dépend de ses caractéristiques. Le premier test à effectuer pour déterminer son état est la mesure de la résistance. Cette valeur doit se situer aux environs de centaines de mégohms ($M\Omega$). Une valeur faible indiquerait que l'isolation peut être humide et zéro ohm signifie qu'il y a une usure considérable à un endroit quelconque du bobinage, ce qui indique qu'il y a une fuite de courant sur un autre élément.

L'isolation doit être mesurée entre les bobines de haute et basse tension, entre la haute tension et la terre et entre la basse tension et la terre. Ces mesures sont faites avec un mégohmmètre. Il s'agit d'appareils qui produisent de hautes tensions (typiquement 500 ou 2 000 volts) et montrent directement sur le cadran la valeur de la résistance de l'isolation en fonction de l'intensité des courants de fuite.

Il est recommandé de court-circuiter les bornes de haute et basse tension, car des fluctuations possibles dans le voltage produit peuvent induire des tensions dans le bobinage du transformateur, ce qui peut donner des erreurs de lecture. Effectuer le test comme suit :

1. Consulter les instructions du manuel du mégohmmètre.
2. Identifier les bornes de haute tension du transformateur et les court-circuiter avec un cavalier. Faire de même avec les bornes de basse tension ;
3. Localiser un endroit où il est possible d'avoir un bon branchement à la terre. Il peut se trouver au niveau du noyau, s'il est accessible, ou dans le réservoir s'il ne l'est pas.

FIGURE 2 : Mesure de la résistance de l'isolation du transformateur



Procédures :

1. Brancher le mégohmmètre sur les bornes de haute et basse tension.
2. Mettre le mégohmmètre sous tension et noter ce qu'il indique.
3. Brancher le mégohmmètre sur les bornes de haute tension et de terre.
4. Mettre le mégohmmètre sous tension et noter ce qu'il indique.
5. Brancher le mégohmmètre sur les bornes de basse tension et de terre.
6. Mettre le mégohmmètre sous tension et noter ce qu'il indique.

3.1.4. Tester le rapport du nombre de spires

Tester le rapport du nombre de spires a pour but de déterminer les problèmes au niveau des spires en se basant sur le rapport de transformation. Le rapport du nombre de spires doit être déterminé pour toutes les prises ainsi que pour tous les branchements possibles des bobinages du transformateur.

Le test du rapport du nombre de spires doit être effectué sous tension nominale ou moins et à une fréquence nominale ou plus importante et sans charge. Pour obtenir le rapport de transformation des transformateurs, utiliser l'équipement appelé rapport du nombre de spires.

Pour tester le rapport de transformation, il faut s'assurer que le transformateur n'est absolument plus sous tension et qu'il est débranché et vérifier que les disjoncteurs et/ou les interrupteurs à couteau sont en position ouverte. Si le transformateur est à proximité de l'équipement de test et sous haute tension, mettre une borne de chaque bobinage et du rapport du nombre de spires à la terre.

L'équipement du rapport du nombre de spires utilise les méthodes suivantes pour les tests :

- La méthode à deux voltmètres : Le dispositif a quatre bornes — deux qui sont reliés à l'entrée et à la sortie du bobinage à haute tension et deux à celui de la basse tension. Il effectue au niveau interne la mesure de la tension entre l'entrée et la sortie, ce qui requiert deux voltmètres. Le rapport entre les tensions est le rapport de transformation. Ceci est répété pour les trois fils du transformateur et les résultats doivent coïncider.
- Méthodes du transformateur normal : Le rapport du nombre de spires doit être testé et certifié en laboratoire en utilisant un transformateur constituant un échantillon, dont le rapport de transformation doit être connu. Le test est effectué pour déterminer le niveau de précision du rapport du nombre de spires.
- Méthode du pont de rapport : Le pont de rapport est le résultat de la mesure de la tension. La mesure du rapport des spires d'un transformateur triphasé consiste à prendre des mesures d'une seule phase pour déterminer le rapport entre les bobines principales et secondaires de chaque phase.

3.1.5. Analyse thermographique

La thermographie infrarouge est une technique qui permet aux utilisateurs de voir avec précision la température d'une surface sans qu'il y ait de contact physique avec celle-ci. Les utilisateurs peuvent convertir les mesures du rayonnement infrarouge en mesures de température en mesurant le rayonnement émis dans la plage infrarouge du spectre électromagnétique par la surface de l'objet et en convertissant le résultat en un signal électrique.

L'analyse thermographique consiste à prendre une radiographie du spectre infrarouge du transformateur. Les différentes températures seront vues en couleurs différentes, indiquant les éléments qui surchauffent

et qui sont endommagés. Il est nécessaire de mesurer au niveau du boîtier du transformateur, du radiateur, des branchements mécaniques et des bornes électriques (incluant les buses). Si aucune caméra thermographique n'est disponible, les mesures peuvent être prises avec un thermomètre infrarouge.

3.2. ENTRETIEN ANTICIPÉ DU CENTRE DE COMMANDE DU MOTEUR

3.2.1. Inspection de l'équipement

L'armoire de la commande du moteur doit être inspectée tous les mois pour en vérifier l'état en ce qui concerne la peinture, le finissage et le couplage. Ceci doit comprendre les activités suivantes :

1. Vérifier le fonctionnement des témoins lumineux ;
2. S'assurer que les appareils de mesure donnent les indications correctes ;
3. Toucher la surface des portes, des côtés et non sous tension avec la paume de la main, en se concentrant principalement le disjoncteur et les interrupteurs généraux. Toute chaleur ressentie par la main peut indiquer un problème grave.

3.2.2. Analyse thermographique

L'analyse thermographique consiste à prendre une radiographie du spectre infrarouge de la commande moteur. Les différentes températures seront vues avec des couleurs différentes, indiquant les éléments endommagés ou les branchements lâches ou mal serrés. Les mesures doivent être prises au moins aux points suivants : arrivée et sortie du disjoncteur, arrivée et sortie du démarreur, contacteurs et joints. Un échauffement anormal indique un branchement lâche.

3.3. ENTRETIEN ANTICIPÉ DU RÉSEAU DE MISE À LA TERRE

3.3.1. Résistance électrique du réseau de mise à la terre

La mesure de la résistance électrique du réseau de mise à la terre doit être prise au moins une fois par an, bien qu'il soit conseillé de le faire tous les six mois. Avant d'effectuer les mesures, s'assurer que le conducteur et la tige de terre sont placés dans le puits ou la barre omnibus de mise à la terre et que le conducteur et la tige sont reliés.

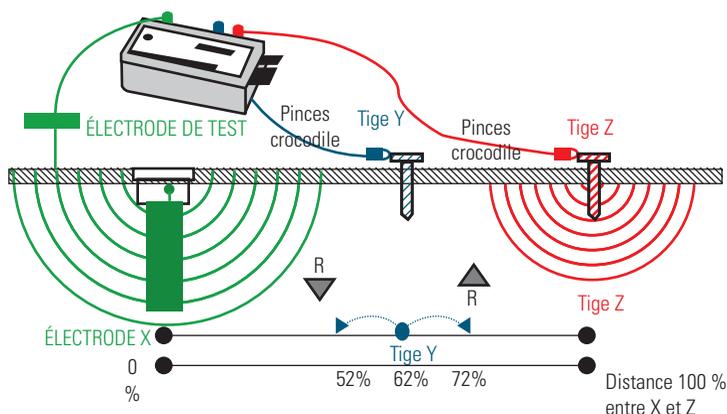
Les mesures du système de mise à la terre donnent un paramètre garantissant que la valeur de la résistance électrique est toujours faible. Ceci facilite le passage du courant électrique en cas de problème dû à des décharges atmosphériques et de contacts accidentels entre des conducteurs sous tension et le boîtier de l'équipement, ce qui protège le personnel contre les chocs électriques.

3.3.2. Tests de la solution de continuité physique du réseau de mise à la terre

Il est nécessaire de vérifier la continuité entre le conducteur et l'équipement de mise à la terre. Il faut aussi s'assurer que le puits a du matériau de renforcement de mise à la terre et que le nœud de connexion est soudé.

Prévoir des tests annuels du réseau de mise à la terre. Si la valeur de la mesure est supérieure à cinq (5) ohms, traiter le sol avec un produit de renforcement pour réduire la résistance électrique, améliorer celle de champ et stabiliser la résistance totale des électrodes.

FIGURE 3 : Mesure de la résistance électrique de la mise à la terre



3.4. ENTRETIEN ANTICIPÉ DU MOTEUR

3.4.1. Mesure et analyse des paramètres électriques

Prendre des mesures continues du moteur permet aux utilisateurs de détecter des problèmes qui peuvent être résolus facilement. Les principaux points de mesure peuvent être les suivants :

- Tension différente de celle de conception du moteur ;
- Déséquilibre de tension ;
- Déséquilibre de courant ;
- Déséquilibre de puissance ;
- Distorsion harmonique ;
- Faible facteur de puissance.

Lors de la surveillance de ces paramètres, il faut prendre les précautions suivantes :

- *Rester à distance minimale de sécurité des pièces sous tension ou en mouvement ;*
- *Utiliser des vêtements et un équipement appropriés à la tension fournie.*

Tenant compte des mesures de la puissance électrique requise, calculer le facteur de charge auquel le moteur fonctionne. Un facteur de charge faible (moins de 40 %) signifie un rendement faible alors qu'un facteur de charge élevé (plus de 100 %) entraîne un vieillissement prématuré du bobinage du moteur.

3.4.2. Mesure et analyse des vibrations mécaniques

Les vibrations mécaniques ont pour conséquence une augmentation des efforts et des tensions, des pertes de puissance et l'usure des matériaux. L'endommagement de l'équipement et l'augmentation du bruit sur les lieux de travail sont encore plus graves. Les paramètres mesurés des vibrations sont la fréquence, le déplacement, la vitesse et l'accélération ainsi que la direction. Ces mesures doivent être prises tous les ans avec un appareil portable de mesure des vibrations. Des vibrations anormales peuvent indiquer ce qui suit :

- Fixation lâche du moteur ;
- Couplages ne correspondant pas ou mal alignés, moteur décentré ou déséquilibré ;
- Roulement en mauvais état ;
- Usure d'une pièce ;
- Problèmes de lubrification.

Certains membres du personnel d'entretien possèdent l'expérience requise pour faire la distinction entre les différents bruits produits par le moteur et déterminer la cause du problème. Il se peut que dans de tels cas, un vibromètre ne soit pas requis.

3.4.3. Tests de la résistance du bobinage

Le but principal de la mesure de la résistance du bobinage est de détecter des défauts. Les recommandations pour la prise de ces mesures sont les suivantes :

- Prendre les mesures tous les ans ;
- Respecter tous les protocoles relatifs à la sécurité qui s'imposent ;
- Mesurer la résistance du bobinage du moteur entre chaque paire de bornes du stator ;
- Brancher les bornes de test sur le moteur pour mesurer la résistance du bobinage à la terre ; il faut mesurer chaque phase à la terre ;
- S'il s'agit d'une connexion en étoile et que la lecture est de phase à phase, diviser de moitié pour obtenir la résistance ohmique par phase ;
- Mesurer en enregistrer la température ambiante à laquelle la mesure a été faite ;
- Maintenir la connexion entre le bâti et la terre.

3.4.4. Analyse thermographique

Les mesures de l'analyse thermographique peuvent se faire avec un appareil photo thermographique ou un thermomètre infrarouge. Il faut mesurer ce qui suit :

- Bâti : toute chaleur excessive enregistrée implique un problème ; il peut y avoir une surcharge ou le bobinage peut être endommagé.
- Roulement : une température élevée implique un problème, qui peut être une lubrification inadéquate, une friction ou une surcharge.

3.4.5. Mesures électriques des condensateurs

S'il y a des batteries de condensateurs pour compenser le facteur de puissance, mesurer l'intensité du courant par phase tous les mois pour détecter tout problème au niveau de toute batterie de condensateurs.

3.5. ENTRETIEN ANTICIPÉ DE LA POMPE

3.5.1. Mesure de la pression et du débit

Il est recommandé de mesurer la pression et le débit, ainsi que de calculer la hauteur de refoulement, tous les mois. Si la hauteur de refoulement et le débit varient de plus de 10 % des valeurs de fabrication de la pompe, il faut prendre des mesures correctives.

3.5.2. Coussinet

Chaque fois qu'une opération de maintenance préventive ou corrective est faite sur la pompe, il faut rechercher des signes d'usure du manchon de l'arbre. S'il est rayé ou strié, il faut le changer.

3.5.3. Presse-étoupe

Le presse-étoupe sert à éliminer les fuites de liquide au niveau de la pompe et à empêcher l'air d'arriver dans les espaces d'aspiration. Lors de son inspection, il faut rechercher toute fuite de liquide. Il faut noter qu'il y aura normalement une petite fuite lors de l'utilisation des presse-étoupe, ce qui est acceptable. Par contre, en ce qui concerne les étanchéités mécaniques, il ne doit pas y avoir de fuite *quelle qu'elle soit*.

3.5.4. Mesure et analyse des vibrations mécaniques

Les vibrations mécaniques ont, pour les pompes, des conséquences similaires à celles qui sont mentionnées ci-dessus pour les moteurs. Les paramètres mesurés sont la fréquence, le déplacement, la vitesse et l'accélération et la direction. Une augmentation de leur valeur indique une usure, un mauvais alignement, un déséquilibre mécanique, un défaut de roulement, une lubrification inadéquate et ainsi de suite. Ces mesures sont faites avec un vibromètre portable et doivent être prises au moins une fois par an.

3.6. ENTRETIEN ANTICIPÉ DE LA TUYAUTERIE DE DÉCHARGE

3.6.1. Mesure et analyse des vibrations mécaniques

Les vibrations mécaniques ont, pour la tuyauterie de décharge, des conséquences similaires à celles qui sont mentionnées ci-dessus pour les moteurs. Les mêmes paramètres doivent aussi être mesurés. Les mesures respectives doivent être prises tous les ans avec un vibromètre mécanique portable. Des vibrations anormales peuvent indiquer une tuyauterie lâche, une cavitation dans les vannes ou la transmission des vibrations de la pompe. Le vibromètre n'est pas nécessaire lorsque le personnel de l'entretien a l'expérience nécessaire pour faire la différence entre les bruits et déterminer la cause du problème.

3.7. ENTRETIEN ANTICIPÉ DES VANNES

3.7.1. Inspection visuelle des vannes

Il est recommandé d'inspecter les assemblages, les branchements et les garnitures d'étanchéité ou les joints d'étanchéité pour détecter les fuites.

3.7.2. Mesure et analyse des vibrations mécaniques

Les conséquences des vibrations mécaniques dans les vannes sont similaires à celles qui sont mentionnées ci-dessus pour les autres éléments. Les paramètres les plus importants à mesurer dans les vannes sont le niveau de bruit et la fréquence. Le niveau de bruit peut avoir trois raisons :

1. Vibrations mécaniques des garnitures d'étanchéité ;
2. Cavitation dans la vanne ;
3. Obturation de la vanne.

3.8. ENTRETIEN ANTICIPÉ DU PUIITS

3.8.1. *Mesure du niveau*

Les niveaux statique et dynamique du puits doivent être mesurés tous les mois. L'abaissement, soit la différence entre les deux niveaux, doit aussi être calculé. Un accroissement de l'abaissement est habituellement dû à une obstruction des ouvertures du puits ou à des sols avec graviers. Si un tel abaissement est constaté, il faut prendre une vidéo et prévoir la maintenance du puits.

3.8.2. *Inspection par vidéo*

Pour prendre une vidéo, placer une caméra dans le puits pour vérifier l'état de son coffrage et sa profondeur. Cette activité doit être entreprise avec un équipement spécialisé et il faut prendre des mesures pour empêcher la contamination du puits pendant l'inspection. Il est aussi recommandé, après les opérations de maintenance préventive ou corrective, de prendre une autre vidéo du nouvel état du puits.

Chapitre 4

MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La maintenance préventive d'une installation de pompage est un entretien programmé qui est effectué pour prévenir les problèmes. Les principales activités entreprises à cette fin sont l'inspection, le nettoyage et la lubrification de l'équipement ainsi que le remplacement des pièces.

4.1. MAINTENANCE PRÉVENTIVE DU TRANSFORMATEUR

Lors de tout travail avec un transformateur, il faut s'assurer qu'il ne soit plus sous tension. Suivre les procédures de débranchement.

4.1.1. *Nettoyage des environs*

L'endroit où se trouve le transformateur ou la sous-station doit être nettoyé une fois par semaine, ce qui comprend enlever les feuilles, les débris et agents qui pourraient perturber le fonctionnement correct du transformateur ou de l'équipement. Il faut aussi nettoyer la zone de la barre omnibus de mise à la terre et enlever toute obstruction.

4.1.2. *Nettoyage de l'équipement*

Brancher les bornes sur la mise à la terre du transformateur pour empêcher tout contact électrique possible lors du nettoyage mensuel.

- Nettoyer au moins une fois par mois avec du solvant diélectrique, de l'eau ou une solution d'eau légèrement savonneuse. Ne pas utiliser de détergent ou de solvant. Respecter toutes les mesures de sécurité, comme fournir des détecteurs de potentiel, gants isolants et ainsi de suite.
- Retirer les débris accumulés avec une brosse, un chiffon humide et de l'air sous pression, si possible.
- Vérifier que de mauvaises fixations aux bornes ou de mauvaises connexions du transformateur n'ont pas provoqué de dommages ou ne donnent pas d'étincelles.
- Vérifier qu'il n'y a pas de fuite d'huile au niveau des vannes, des radiateurs, des soudures, des garnitures d'étanchéité, de la tuyauterie de l'échangeur de chaleur ou des protections.
- Vérifier l'état de la peinture du transformateur.
- Vérifier si le transformateur n'émet pas de bruits ou de vibrations anormaux.

4.1.3. *Resserrer les boulons et les vis des buses mécaniques et des bornes*

Chaque fois que le transformateur est hors service, effectuer un « entretien parce que l'occasion s'en présente » en resserrant les buses mécaniques et les bornes.

4.1.4. *Purification et filtrage de l'huile diélectrique*

La purification et le filtrage de l'huile diélectrique constitue l'exécution d'opérations de maintenance préventive appropriée, qui prolonge la durée de vie de l'équipement, élimine les polluants et permettent de vérifier les changements de couleur pour déterminer la contamination de l'huile. Il est conseillé de le faire au moins une fois par an. Des nettoyages plus fréquents peuvent s'avérer nécessaires si le pouvoir diélectrique est près de la limite inférieure. Cette procédure doit être effectuée par un laboratoire spécialisé.

4.1.5. Ventilation

Si le transformateur est à l'intérieur, s'assurer que le bâtiment est bien ventilé pour empêcher une surchauffe, qui réduira sa durée de vie et son rendement.

4.2. MAINTENANCE PRÉVENTIVE DU CENTRE DE COMMANDE DU MOTEUR

4.2.1. Nettoyage de la carte de circuit imprimé

La maintenance des cartes de circuits imprimés doit avoir lieu tous les ans. Cette opération comprend l'inspection des schémas et manuels requis pour la maintenance. Il est crucial de bien mettre la carte de circuit imprimé à la terre ou la dériver pendant la maintenance ou le nettoyage.

Les principaux éléments de la carte de circuit imprimé sont les suivants :

- Clavier marche/arrêt ;
- Contacteurs de puissance ;
- Relais à maximum ;
- Système de mise à la terre ;
- Disjoncteurs et démarreurs.

Le processus de nettoyage devrait être le suivant :

- Nettoyer les bornes d'entrée et de sortie du disjoncteur et du démarreur et les resserrer mécaniquement ;
- Nettoyer les surfaces de la carte du circuit imprimé avec de la toile de jute ou une gaze humidifiée avec du tétrachlorure ou un solvant diélectrique. Ne pas utiliser de produits abrasifs ;
- Nettoyer la salle où se trouve le centre de commande du moteur pour éliminer les débris et les ordures.

4.2.2. Resserrer les boulons et les vis des bornes mécaniques

Resserrer les bornes mécaniques et électriques prévient les points chauds dus à une résistance élevée des contacts. Il est recommandé de le faire au moins une fois par an.

4.3. MAINTENANCE PRÉVENTIVE DU MOTEUR

4.3.1. Nettoyage du moteur

Effectuer la maintenance préventive tous les ans pour garantir une longue durée de vie de l'équipement.

- Nettoyer la surface externe et le registre de ventilation.
- Rajuster les vis et les boulons d'ancrage.
- Enlever la rouille et retoucher et peindre du bâti si nécessaire. S'il faut la repeindre, s'assurer que la vieille peinture a été enlevée et que la nouvelle couche est fine.
- Nettoyer la boîte de connexion.
- Rajuster le câble de mise à la terre de la boîte de connexion.
- Vérifier les connexions aux bornes du câble d'alimentation.
- Vérifier l'alignement et l'usure des pièces de couplage.
- Changer la graisse sèche et sans huile.

4.3.2. *Lubrification du roulement*

La maintenance du roulement permet aux utilisateurs de maintenir l'équipement en bon état et prévient des arrêts inutiles. Leur maintenance est recommandée comme suit, toutes les semaines :

- Vérifier le palier supérieur côté non entraînement
- Vérifier le palier inférieur côté entraînement
- Enlever, nettoyer et installer le tube de graissage. Mettre de la nouvelle graisse jusqu'à ce que l'ancienne sorte du tube de décharge. Ceci ne s'applique qu'aux roulements qui ne sont pas scellés.

Dans la plupart des moteurs, les roulements sont de type scellé et il faut les changer en fonction du nombre maximal d'heures de fonctionnement indiqué par le fabricant. Si les roulements sont lubrifiés avec de l'huile, noter que celle-ci doit être remplacée au moins tous les trois à six mois ou lorsqu'une inspection montre qu'elle a perdu ses propriétés ou est contaminée. Le niveau d'huile ne doit pas excéder la marque du niveau supérieur, autrement le bobinage sera exposé à des risques.

4.3.3. *Changement des roulements à billes de butée*

Le changement en temps opportun et programme des roulements à billes de butée prévient les arrêts inutiles. Ceci contribue à de bonnes pratiques en matière de maintenance préventive. Il est important de tenir compte des arrêts de l'équipement lorsque l'on programme le changement de roulements à billes de butée. Les roulements durent normalement longtemps, bien qu'il vaille mieux les changer avant qu'ils ne tombent en panne, ce qui requiert une maintenance corrective. La mesure des vibrations mécaniques est une méthode utilisée pour détecter les signes de problèmes.

- Utiliser l'équipement adéquat et approprié pour extraire chaque type de roulement à billes et ne pas utiliser d'attaches supplémentaires qui pourraient endommager l'arbre d'accouplement.
- Utiliser les roulements à billes de butée corrects pour le type d'utilisation, c'est-à-dire pour température élevée ; en position verticale ou horizontale ; ou des roulements spéciaux, comme ceux qui sont coniques. Ces roulements doivent être ceux qui figurent sur la plaque de moteur ou indiqués dans les spécifications du fabricant.

4.3.4. *Ajustement du couvercle*

Il faut effectuer chaque jour une inspection sonore ou visuelle des couvercles pour assurer que ce sont les bons ou qu'ils ne sont pas usés par des pièces cassées ou non appariées. Il faut effectuer ce qui suit :

- Nettoyer les environs pour garantir le bon fonctionnement de l'équipement.
- Si les roulements à billes sont usés, les ajuster en conséquence.
- Revisser et remettre en place les vis et les boulons.

4.4. MAINTENANCE PRÉVENTIVE DE LA POMPE

4.4.1. *Changement du presse-étoupe*

Le presse-étoupe a pour but d'éliminer les fuites de liquide au niveau de la pompe et d'empêcher l'air de passer dans les espaces d'aspiration. Il doit être vérifié pour assurer qu'il n'y a pas de fuite et que l'air n'arrive pas à l'aspiration. La garniture d'étanchéité du presse-étoupe doit être changée

périodiquement. La fréquence de ce changement dépend du nombre d'heures de fonctionnement de la pompe ainsi que du matériau et de la qualité de la garniture d'étanchéité. Si la pompe fonctionne continuellement, la garniture d'étanchéité doit être remplacée tous les trois à six mois.

4.4.2. Lubrification du roulement et des supports de roulement

La fréquence de la lubrification dépend de l'état de l'équipement et de l'endroit où il fonctionne. En général, il faut faire ce qui suit :

- Changer les lubrifiants lorsque leur couleur change ou qu'ils sont contaminés par des particules poussiéreuses, de l'eau, des particules métalliques ou qu'ils se décomposent en raison d'une température ou d'une humidité élevée.
- Ajouter une petite quantité de graisse toutes les 400 heures de fonctionnement.
- Le support de roulement doit être plein aux deux tiers (si cela s'applique).
- Il n'est pas recommandé d'utiliser des solvants chlorés pour nettoyer du support.
- Utiliser des lubrifiants appropriés et normalisés pour chaque composant en fonction des températures de fonctionnement et des spécifications du fabricant.
- Resserrer les vis et les boulons.

4.4.3. Lubrification de la partie supérieure de l'arbre

La partie supérieure de l'arbre est celle de la pompe qui doit transmettre le couple du moteur lors du pompage ; en même temps, elle tient la pompe et les autres pièces tournantes. Elle doit être inspectée tous les jours pour mieux prévenir tout dommage et maintenir au minimum les frais de maintenance. Celle de la partie supérieure de l'arbre se fait comme suit :

- Utiliser des lubrifiants adéquats et normalisés ; les appliquer à la fréquence recommandée par le fabricant.
- Nettoyer l'arbre avec de la toile de jute, une gaze ou des liquides adéquats ; ne pas utiliser d'agents oxydants.
- Vérifier que toutes les pièces de couplage sont bien serrées et les resserrer si elles ne le sont pas.

4.4.4. Lubrification de l'arbre de transmission

La fréquence de la lubrification dépendra du régime de marche et de l'environnement dans lequel l'équipement fonctionne ; elle doit donc être prévue en fonction de l'expérience acquise. Les activités à entreprendre sont les suivantes :

- Les lubrifiants doivent être changés en cas de contamination par les débris ou l'humidité ou lorsqu'ils sont soumis à des températures élevées.
- Il est recommandé d'ajouter une petite quantité de graisse toutes les 400 heures de fonctionnement.
- Le support de roulement doit être rempli de graisse aux deux tiers.
- Pour nettoyer les roulements sans les déposer, faire passer de l'huile légèrement chauffée à entre 82 et 93 ° C dans le support de roulement pendant que l'arbre est tourné lentement.
- Il n'est pas recommandé d'utiliser des solvants chlorés pour nettoyer les roulements.

En cas de nouvelle lubrification avec de la graisse, suivre les étapes suivantes :

1. Nettoyer soigneusement les graisseurs et l'extérieur du support de roulement.
2. Enlever le bouchon de purge ou de vidange.
3. Injecter la nouvelle graisse propre et jusqu'à ce que la vieille sorte.
4. Faire démarrer la pompe et continuer à la faire fonctionner pendant un temps suffisant pour que la graisse excédentaire sorte.
5. Nettoyer la graisse excédentaire avec un morceau de chiffon et remettre le bouchon de purge en place.

Dans le cas des turbopompes avec moteurs verticaux, le fluide pompé lubrifie les supports de roulement de transmission.

4.5. MAINTENANCE PRÉVENTIVE DE LA TUYAUTERIE DE REFOULEMENT

4.5.1. Inspection de la tuyauterie de refoulement

Vérifier l'installation de la tuyauterie à la recherche de problèmes avec le joint d'étanchéité et le palier ou le roulement, pouvant être dus à des supports et des ancrages mal installés, à une déformation thermique, à la conception du joint d'étanchéité, à une mauvaise sélection, à des variations de dimensions, à la charge des supports de tuyauterie ou aux coups de bélier.

4.5.2. Nettoyage et peinture

La tuyauterie de refoulement doit être nettoyée et peinte tous les ans conformément aux normes. Il faut d'abord appliquer la couche anticorrosive, la laisser sécher et passer ensuite une couche de peinture secondaire. Vérifier que les pièces mécaniques ou d'entraînement ne sont pas couvertes d'éclaboussures de peinture. Enlever la saleté toutes les semaines pour empêcher l'accumulation de débris, ce qui peut attirer l'humidité et causer une corrosion.

4.5.3. Changements de la garniture d'étanchéité

Il faut changer au moins une fois par an les garnitures entre les raccords à bride, les vannes, les jauges, le dispositif de mesure, les vannes de maintien de pression et celles de commande. Elles doivent être vérifiées une fois par mois et toutes les fuites et tout changement à apporter doivent être signalés pour éviter les frais dus aux arrêts pour effectuer des réparations d'urgence.

4.5.4. Inspection de l'équipement de chloration

La maintenance doit être effectuée tous les jours et les mesures de sécurité correspondantes doivent être respectées en raison des risques posés par la forte toxicité du chlore. Il faut considérer ce qui suit lors de l'inspection de l'équipement :

- La tension appliquée au chlorateur ne doit pas dépasser 10 % de celle qui est permise.
- L'équipement doit toujours être libre de toute saleté qui pourrait perturber son fonctionnement.
- Analyser l'égouttage du chlorure conformément au dosage en parties par million qui doit être maintenu pour chaque système de pompage.
- S'assurer que le clapet anti-retour du chlorateur n'est pas fermé.

4.6. MAINTENANCE PRÉVENTIVE DES VANNES

Les vannes sont des pièces clés de la tuyauterie de refoulement ; elles évitent les déversements inutiles et les réparations nécessitées par une rupture des tuyaux du réseau. Elles ne doivent pas demeurer immobiles pendant des périodes prolongées en raison de l'accumulation de sédiments et de leur blocage possible. Si cela peut se faire, il faut les faire fonctionner à intervalles réguliers pour assurer leur fonctionnement correct et continu.

4.6.1. *Lubrification*

Dans bien des cas, la fréquence de la lubrification des vannes est basée sur l'expérience du personnel de maintenance. Il est cependant recommandé de lubrifier le roulement de l'arbre au moins une fois par mois. Le type de lubrifiant utilisé dépendra de l'état fonctionnement de la vanne, comme la température et le type de fluide.

4.6.2. *Réglage du diaphragme de la membrane obturatrice des vannes électromagnétiques*

L'ouverture et la fermeture des vannes électromagnétiques requièrent un réglage précis de la membrane. Il faut l'effectuer une fois par an et signaler tout problème qui se pose ou potentiel. Elle doit aussi être nettoyée une fois par an conformément aux instructions particulières du fabricant.

4.6.3. *Remplacement de la garniture d'étanchéité des robinets d'écoulement, tuyaux d'évent et de la vanne principale*

La fréquence de remplacement de la garniture d'étanchéité devrait être laissée à la discrétion de l'utilisateur en fonction de son expérience, mais il est recommandé de la changer une fois par an.

4.6.4. *Inspection et calibrage des manomètres*

Les manomètres doivent être inspectés et ajustés une fois par an. Il faut tenir à jour un carnet de maintenance, de calibrage et des problèmes survenus, avec les solutions apportées.

4.6.5. *Nettoyage du ressort de commande de la membrane*

Les commandes doivent être nettoyées tous les mois ; il faut que les ressorts et les commandes de vanne soient réglées avec précision en tout temps. Il faut tenir à jour un carnet de maintenance et des problèmes possibles, avec leurs solutions.

4.6.6. *Nettoyage du corps de vanne*

Le nettoyage doit être fait tous les mois pour assurer que l'ouverture et la fermeture de la vanne ne soient pas affectées par des objets étrangers et qu'elle est lubrifiée avec le produit recommandé par le fabricant en fonction de son utilisation et de ce à quoi elle sert.

4.7. MAINTENANCE PRÉVENTIVE DU PUIITS

La maintenance préventive du puits se fait par chasse d'eau en suivant les étapes suivantes :

- Enlever tout matériau adhérent au tubage du puits.
- Appliquer du diffuseur d'argile pour décompacter la glissière.
- Écouvillonner une fois le niveau statique pour nettoyer et rajuster le filtre à gravier.
- Enlever toute la boue accumulée au fond du puits.

La maintenance devrait être faite une fois par an, tous les deux ans ou même tous les trois ans en fonction des caractéristiques du puits et de la qualité de l'eau.

Chapitre 5

MAINTENANCE CORRECTIVE

La maintenance corrective est effectuée pour réparer toute panne de l'équipement et inclut les catégories suivantes :

- **Prévue** : Les réparations nécessaires sont connues à l'avance et donc tous les éléments requis sont disponibles au moment de la réparation.
- **Imprévue** : Requis en cas de problème qui provoque une panne de l'équipement essentiel. Connue également sous le nom de maintenance d'urgence ou « en cas de panne ».

La maintenance corrective est fréquemment réalisée dans des conditions d'urgence et avec pour seul objectif : le rétablissement du service.

5.1. MAINTENANCE CORRECTIVE DES TRANSFORMATEURS

5.1.1. Remplacement de l'équipement

Le remplacement du transformateur est recommandé lorsque ce dernier a pour une raison ou pour une autre, perdu son efficacité ou sa fiabilité. On trouvera ci-après une liste des causes de la perte d'efficacité du transformateur :

- Facteur de charge élevé – Un facteur de charge élevé fait fonctionner le transformateur de manière inefficace, en outre, la chaleur dégagée par le courant électrique requis par la charge endommage les propriétés de l'huile et provoque des inefficacités. Des facteurs de charge élevés peuvent provoquer un court-circuit et endommager le transformateur de manière irréparable.
- Déséquilibre de tension, d'intensité et de puissance – Dans certaines circonstances, il est préférable de remplacer le transformateur si ces déséquilibres ne peuvent être résolus.

Un système défectif de protection, combiné à un problème électrique, peut provoquer une défaillance au niveau du transformateur, qu'il faudra alors peut-être remplacer.

5.1.2. Réparation de l'équipement

La réparation de l'équipement est nécessaire dans les cas suivants :

- Lorsqu'il est déterminé que les conducteurs du bobinage doivent être remplacés après un test de cavitation ou un test du rapport du nombre de spires ;
- Lorsque des températures élevées sont détectées en fonctionnement, qui peuvent indiquer que le niveau d'huile est bas et doit être rempli ;
- Lorsque le transformateur a été physiquement endommagé par une cause extérieure ; et
- Lorsque le transformateur est endommagé par un problème électrique combiné à une défaillance des systèmes de protection.

5.1.3. Différentes actions de maintenance corrective pour les transformateurs

Ci-après figure une liste d'actions de maintenance corrective pour les transformateurs sur la base de différents problèmes :

- Chaleur aux raccords – Resserer les vis et les connections ;
- Surcharge – Utiliser un autre transformateur pour partager la charge électrique ou le remplacer avec un transformateur ayant une puissance adéquate ;
- Température anormale dans la gaine du transformateur due à des niveaux d'huile trop bas ou trop élevés ou à une mauvaise ventilation – Modifier les niveau d'huile et ventiler ;
- Modifications des propriétés de l'huile – Filtrer ou remplacer l'huile diélectrique ;
- Distorsions harmoniques – Installer le filtre harmonique.

5.2. MAINTENANCE CORRECTIVE DU CENTRE DE COMMANDE DU MOTEUR

5.2.1. Remplacement de l'équipement ou d'un élément

Si l'équipement du centre de commande du moteur a besoin d'être remplacé, procéder comme suit :

- Remplacer les conducteurs endommagés par la présence de températures élevées dans l'isolant. Si le problème a été causé par un faux contact dans les connecteurs, rectifier le problème en resserrant les vis et les boulons. Si la surchauffe est due à une surchauffe interne du conducteur, le remplacer par un conducteur du calibre adéquat pour permettre au courant électrique de passer sans endommager l'isolant.
- Remplacer tout panneau de contrôle ayant subi des dommages mécaniques ou électriques.
- Remplacer le disjoncteur en cas de bruit électrique dû à une décharge électrostatique provoquée par un faux contact dans le disjoncteur.

5.2.2. Réparation de l'équipement

Il est recommandé de réparer l'équipement s'il a subi des dommages mineurs et s'il peut être réparé sans affecter la fiabilité générale de l'équipement.

5.3. MAINTENANCE CORRECTIVE DU MOTEUR

5.3.1. Remplacement de l'équipement

Le remplacement du moteur électrique est recommandé dans les cas ci-après :

- Si le moteur tourne plus de 4 000 heures par an, est d'une efficacité standard ou a enregistré une réduction de son efficacité attribuable à son âge et/ou à de multiples rebobinages, il doit être remplacé par un moteur à haute efficacité de capacité similaire.
- Si le moteur a tourné pendant plus de cinq ans, tourne pendant plus de 3 000 heures par an, est d'une efficacité standard ou a été brûlé des suites d'un problème, il doit être remplacé par un moteur à haute efficacité de capacité similaire.
- Si le moteur tourne avec un facteur de charge inférieur à 40 % ou supérieur à 100 %, il doit être remplacé par un moteur à haute efficacité de capacité similaire qui devra être remplacé par un moteur à haute efficacité de capacité similaire qui tournera avec un facteur de charge situé entre 65 et 85 %. Si la puissance nominale du nouveau moteur est de moins de 10 hp, le facteur de charge doit être entre 75 et 90 %.

5.3.2. Réparation de l'équipement

Le moteur doit être réparé dans les cas des figures suivantes :

- **Rebobinage** – Si les tests des bobines donnent des résultats défavorables ou en présence de déséquilibres importants de l'intensité du courant, le moteur devra être rebobiné. Si le moteur a été rebobiné plus de deux fois et que son efficacité chute de plus de 3 ou 4 %, il est préférable de le remplacer.
- **Changement du roulement** – Si le roulement est usé, il doit être remplacé. Au moment du son remplacement, ne pas toucher le roulement à mains nues dans la mesure où l'acide de la peau risque d'endommager le roulement et contaminer la graisse ou l'huile.

5.3.3. Différentes mesures de maintenance corrective des moteurs

Les mesures de maintenance correctives doivent être prises en cas de déficiences au niveau du moteur :

- Roulement :
 - Si les propriétés du lubrifiant sont inadéquates pour l'application, remplacer le lubrifiant par un autre ayant les propriétés recherchées. Il ne doit rester aucun résidu du lubrifiant remplacé.
 - Si le lubrifiant est inadéquat, il est recommandé de procéder à une lubrification fréquente, conformément aux recommandations pour le type de roulement concerné.
 - En cas d'ajustement incorrect du roulement, procéder à une rectification s'il n'y a pas de dommage ; sinon remplacer le roulement.
- En cas de dommages aux bobines, rebobiner ou remplacer le moteur.
- Si la vitesse de fonctionnement est inférieure à la vitesse à pleine charge, vérifier la tension de fonctionnement et corriger les problèmes du roulement ou remplacer le moteur.
- En cas de surcharge, rectifier le problème ou remplacer le moteur par un moteur de capacité supérieure.
- La surcharge du moteur peut être détectée par un calcul du facteur de charge.
- Si la tension d'alimentation est différente de la tension nominale, en identifier la raison.
- En cas de chute de tension dans le réseau d'alimentation, demander au fournisseur de rectifier le problème. Si le pourcentage de tension est inférieur à 5 %, modifier le shunter de tension du transformateur, ou demander au fournisseur d'énergie ou au propriétaire du transformateur de le faire.
- En cas de déséquilibres de la tension, de l'intensité ou de la puissance, prendre les mesures suivantes :
 - En cas de déséquilibre dans les terminaux connectés au transformateur, demander au fournisseur de résoudre le problème.
 - En cas de déséquilibre dans les terminaux du transformateur dans le vide, procéder à la maintenance.
 - En cas de déséquilibre attribuable au moteur électrique, remplacer le moteur.
- En cas de faible facteur de puissance, remplacer la batterie de condensateurs ou en installer une nouvelle.

5.4. MAINTENANCE CORRECTIVE DU SYSTÈME DE MISE À LA TERRE

Si le système de mise à la terre fonctionne mal, prendre les mesures suivantes :

- Si le conducteur de mise à la terre est déconnecté, le rattacher avec un soudage aluminothermique.
- Si la résistance électrique est supérieure à cinq ohms, utiliser des intensificateurs de terre.
- La présence de courant dans le conducteur mis à la terre indique un déséquilibre électrique dans le système. Identifier la cause du déséquilibre et la corriger.
- Changer le calibre du conducteur de mise à la terre si nécessaire.

5.5. MAINTENANCE CORRECTIVE DES POMPES

5.5.1. Réparation ou remplacement des éléments

Prendre les mesures suivantes pour réparer les défaillances des éléments.

- **Presse-étoupe** : En cas de fuite majeure, remplacer la garniture ou les joints mécaniques ;
- **Coussinet** : Retirer l'intégralité de l'ancienne garniture d'étanchéité à l'aide d'un extracteur de garniture. Vérifier et nettoyer le presse-étoupe ainsi que les conduites de refroidissement. Vérifier l'attache et le dégagement de la gaine ou de l'arbre, qui ne doit pas dépasser 0,762 mm ;
- **Roue (impulseur)** : Une variation de plus de 10 % du débit et de la charge par rapport à leurs valeurs conceptuelles indique que la roue (impulseur) est usée. Dans ce cas, remplacer la roue (impulseur) ;
- **Conduite d'aspiration** : Lorsque la conduite d'aspiration est fortement corrodée, la remplacer pour éviter une fuite susceptible d'affecter les opérations du système.

5.5.2. Remplacement de la pompe

La pompe doit être remplacée dans tous les cas de figure ci-dessous :

- Le corps de la pompe présente des dommages graves dus à la corrosion, l'encrassement, les coups de bélier, ou à la friction ;
- Les conditions de fonctionnement ne correspondent pas aux caractéristiques conceptuelles de la pompe, et le résultat en est une efficacité de fonctionnement limitée.

5.6. MAINTENANCE CORRECTIVE DES VANNES

Si la vanne a subi des dommages sur quelconque de ses éléments, la reconditionner comme suit :

1. Démontez la vanne et nettoyez les éléments avec des produits chimiques ou par grenailage ou sablage ;
2. Inspectez attentivement les éléments et décidez en faveur de la réparation ou du remplacement des parties usées ;
3. Soudez pour remplir les surfaces usagées ou produire de nouvelles surfaces ; les pièces semi-finies et réparées (pièces de rechange) doivent être stockées pour la production de nouvelles pièces ;
4. Assemblez la vanne et avec les nouvelles garnitures d'étanchéité et, si nécessaires, avec de nouveaux écrous.
5. Vérifiez que la vanne est remontée par rapport aux spécifications de la nouvelle vanne.

Chapitre 6

PLAN DE MAINTENANCE

6.1. INVENTAIRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DES INSTALLATIONS

La première étape de création d'un plan de maintenance consiste à préparer un inventaire des installations et de l'équipement, qui doit contenir au moins les informations suivantes :

Installations électriques

- Mise à jour ou création d'un diagramme à ligne unique.
- Inclure des informations concernant la longueur et le calibre des conducteurs électriques de chaque section. Indiquer également si les conducteurs électriques passent par un tube isolant ou un plateau et les nombre de conducteurs que peut acheminer le tube isolant ou le plateau.
- Inclure les données d'identification de chaque transformateur et toutes les données embarquées.

Inclure les données suivantes concernant l'équipement :

Moteurs électriques

- Identification du moteur ;
- Constructeur du moteur ;
- Année de fabrication/installation ;
- Instructions du constructeur concernant la puissance, la tension, l'intensité du courant, les révolutions par minute (rpm) et le cos phi ;
- Âge, dates et nombres de rebobinages subis par le moteur et description générale des réparations faites au moteur ;
- Spécifications des roulements, y compris la date du dernier remplacement ;
- Spécifications du système de contrôle, y compris le démarreur, le disjoncteur, et les caractéristiques de protection ; et
- Diagramme du système de contrôle et dates de modifications.

Pompes

- Identification de la pompe ;
- Constructeur de la pompe ;
- Année de fabrication/installation ;
- Spécifications de la pompe, y compris le modèle, le matériau, la vitesse de fonctionnement et les courbes de caractéristiques ;
- Données de fabrication, par ex. la charge dynamique totale et le débit ;
- Spécifications de la roue (impulseur), par ex. le type et le diamètre et la date d'installation ;
- Spécifications des roulements, du presse-étoupe et des joints mécaniques, y compris la date du dernier remplacement ; et
- Diagramme de l'alimentation en eau, conduites de refoulement et vannes.

Réservoirs

- Identification ;
- Dimensions et capacité ;
- Matériaux de construction et âge ;
- Schéma ou diagramme ; et
- Système de contrôle ou de niveau.

Système de circulation de l'eau

- Diagramme du système de circulation de l'eau, y compris la longueur et les diamètres, le matériau des conduites, et l'emplacement des corps des vannes ;
- Âge des conduites et statistiques de ruptures/fuites ; et
- Inventaire des vannes indiquant les spécifications de chacune d'entre elles et leurs emplacements.

6.2. ACTIVITÉS ET FRÉQUENCE

Pour préparer le programme de maintenance, il est impératif de déterminer au préalable la fréquence d'exécution de la maintenance préventive ou de l'entretien anticipé, qui est fondée sur l'expérience du personnel chargé de la maintenance, des conditions ambiantes et de l'emplacement de l'équipement, ainsi que des recommandations des fournisseurs de l'équipement. Le tableau 1 présente la fréquence recommandée pour l'exécution des différentes activités. Ce tableau peut être utilisé comme ligne directrice et adapté aux conditions spécifiques de la compagnie et de l'équipement.

TABLEAU 1 : Fréquence de la maintenance

Sous-système	Équipement	Action recommandée	Fréquence de la maintenance				Non effectuée	
			Quot.	Hebdom.	Mens.	Ann.		
Électrique	Transformateurs	Nettoyage de l'équipement			X			
		Nettoyage du secteur		X				
		Resserrage des écrous et des boulons des borniers à vis			X			
		Purification et filtration de l'huile diélectrique par centrifugation, par filtration, par déshydratation ou par dégazage du contenu				X		
		Mesurage et analyse des paramètres électriques			X			
		Analyse physicochimique de l'huile				X		
		Test du rapport des nombres de spires (TTR)				X		
		Tests électriques				X		
						X		
						X		
	Centre de commande des moteurs	Nettoyage des panneaux avec un solvant diélectrique					X	
		Nettoyage et lubrification des éléments mécaniques (ressorts, claviers numériques)					X	
		Resserrement des écrous et des boulons aux borniers à vis et aux connecteurs électriques					X	
		Mesure et analyse des paramètres électriques			X			
		Tests d'endurance électrique sur le réseau de mise à la terre					X	
		Tests de continuité dans le réseau de mise à la terre					X	
		Analyse thermographique					X	
	Moteurs électriques	Nettoyage des bobines avec un solvant diélectrique					X	
		Lubrification des roulements			X			
		Remplacement des roulements axiaux					X	
		Réglages du bâti					X	
		Ponçage et peinture des carters					X	
		Mesure et analyse des paramètres électriques					X	
		Mesure et analyse des vibrations mécaniques					X	
		Test flash (vaporisation instantanée par détente)					X	
		Test d'endurance des bobines					X	
		Analyse thermographique					X	
	Mécanique	Pompes	Lubrification du roulement et du support du roulement			X		
Lubrification de la partie supérieure de l'arbre				X				
Remplacement du coussinet du joint							*	
Rectification des supports de raccordement intermédiaires							*	
Remplacement du coussinet à l'aspiration							*	
Rectification de l'arbre d'entraînement							*	
Remplacement de la partie supérieure de l'arbre							*	
Remplacement du palier lisse							*	
Remplacement du palier à chapeau							*	
Rectification de l'arbre de la pompe							X	
Mesure et analyse des vibrations mécaniques							X	
Mesure et analyse de la pression à l'écoulement et de la pression de refoulement					X			
Mesure et analyse du débit					X			
Inspection du palier à chapeau				X				
Inspection des presse-étoupes		X						
Conduites de refoulement		Nettoyage et inspection des conduites de refoulement		X				
		Peinture des conduites de refoulement				X		
		Remplacement des garnitures d'étanchéité endommagées entre les raccords à bride, les vannes, l'appareillage de mesure et vérification des soutiens de pression.			X			
		Remplacement des vannes					*	
		Inspection du fonctionnement et de la calibration de l'appareillage de macro-mesure				X		
		Inspection de l'équipement de chloration	X					
		Nettoyage des solénoïdes et des vannes de purge d'air			X			
	Mesure et analyse des vibrations mécaniques					X		

(suite à la page suivante)

Chapitre 7

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

La section suivante présente le détail des activités requises pour procéder à l'identification des problèmes, ce qui implique la détermination des difficultés ou carences spécifiques au niveau de la maintenance des divers éléments du système en vue d'y apporter une solution dans les meilleurs délais.

7.1. INSPECTION SENSORIELLE (VOIR, TOUCHER, SENTIR, ENTENDRE)

Identification des problèmes au niveau de la maintenance actuelle de l'équipement ou des installations par détection sensorielle. Prêter une attention toute particulière aux principaux aspects et activités suivants :

7.1.1. *Système électrique*

Transformateur

- Écouter pour détecter tout bruit ou vibration anormal.
- S'assurer que la peinture est en bon état.
- S'assurer que les conducteurs de mise à la terre sont correctement mis à la terre.
- S'assurer qu'il n'y a pas de fuite de l'huile diélectrique.
- Voir si les buses sont endommagées.

Disjoncteur

- S'assurer qu'il n'y a pas de bruits électriques.
- Vérifier qu'il n'y a pas d'odeur de brûlé ou de surchauffe.
- Voir si la surface présente des indications de craquelures.
- Toucher la surface pour voir s'il y a surchauffe.

Conducteurs

- Voir si l'isolant présente des dommages.
- Vérifier qu'il n'y a pas d'odeur de brûlé ou de surchauffe.
- Toucher la surface pour voir s'il y a surchauffe.

Moteur

- Écouter pour détecter tout bruit ou vibration anormal.
- Vérifier qu'il n'y a pas d'odeur de brûlé ou de surchauffe.
- Toucher la surface pour voir s'il y a surchauffe.

7.1.2. *Système de circulation de l'eau*

Pompe

- Écouter pour détecter tout bruit ou vibration anormal.
- S'assurer qu'il n'y a pas de boulons desserrés.

- Voir s'il y a des indications de corrosion.
- Détecter les fuites éventuelles dans les raccords et les presse-étoupes.
- Inspecter les presse-étoupes pour détecter toute présence de coupeaux métalliques.

Hauteur de refoulement

- S'assurer que l'équipement de mesure, y compris les indicateurs de tension et le manomètre fonctionnent.
- Détecter les fuites éventuelles.
- S'assurer que la vanne d'éjection d'air fonctionne.
- Détecter les dommages physiques éventuels au niveau des éléments.

7.2. ANALYSE DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE

7.2.1. Diagramme monofilaire

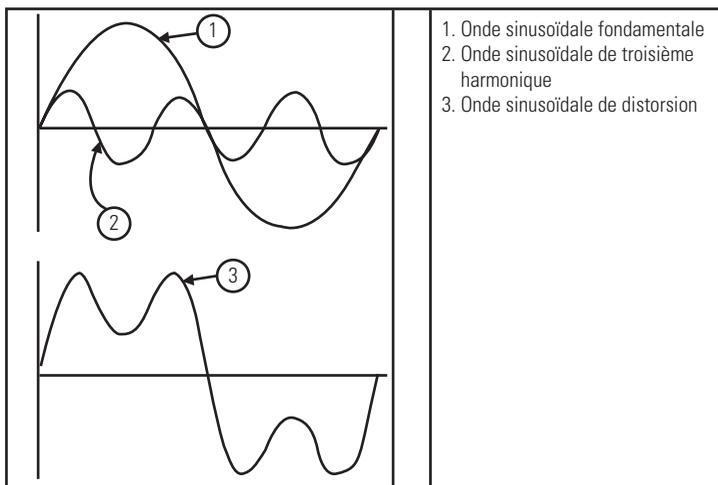
Le diagramme monofilaire d'une installation électrique est un instrument d'une grande utilité pour de nombreuses actions de maintenance. Il est donc important que ce diagramme soit tenu et mis à jour dans le cadre de l'analyse du programme. Enregistrer la date de la dernière mise à jour et les coordonnées de la personne qui l'a effectuée.

7.2.2. Analyse de distorsion harmonique

La protection de l'équipement contre les dommages exige une surveillance minimum de 24 heures (recommandée pour au moins sept jours) de la distorsion harmonique totale, de la tension et de l'intensité du courant pour s'assurer que les valeurs ne dépassent pas 4 % pour la tension et 20 % pour l'intensité.

- **Moteur électrique :** Les harmoniques provoquent une distorsion de la tension sinusoïdale (voir la Figure 4), ce qui produit un bruit dans le moteur. Ceci se produit lorsque le champ magnétique ne connecte pas correctement le rotor, ce qui provoque une réduction de la durée de vie utile. Par ailleurs,

FIGURE 4 : Distorsion sinusoïdale



les harmoniques de séquence négative, dont les deuxième, cinquième, huitième, etc. provoquent un couple antagoniste dans le moteur, qui en réduit la capacité de puissance et peut faire brûler le moteur.

- **Condensateurs** : Les harmoniques supérieures (neuvième, onzième, treizième, etc.) peuvent être en résonance avec le condensateur, ce qui peut causer des dommages, voire blesser des membres du personnel.
- **Conducteurs électriques** : Dans les systèmes triphasés tels ceux utilisés dans les installations de pompage, les harmoniques à séquence nulle sont ajoutées dans le conducteur neutre et envoient un courant élevé dans le câble neutre. Si le conducteur neutre n'est pas conçu pour gérer de telles intensités élevées de courant, il risque de surchauffer et de flamber.

Les charges non-linéaires dans le système électrique provoquent des distorsions harmoniques. Dans les installations de pompage, ces charges peuvent être les commandes des variateurs de vitesse. Il est recommandé d'installer des filtres d'harmoniques pour résoudre ce problème.

7.2.3. Analyse des mesures électriques

L'analyse des mesures électriques est d'une utilité précieuse pour identifier les problèmes potentiels suivants :

La tension d'approvisionnement est différente de la tension nominale – V_{DN}

Un moteur électrique alimenté avec une tension différente de la tension nominale précisée sur la plaque enregistre une réduction de son efficacité opérationnelle. Le pourcentage d'écart de tension par rapport à la tension nominale est calculé suivant la formule ci-dessous :

$$V_{DN} = \frac{(V_{avg} - V_{plate})}{V_{plate}} * 100$$

Où :

- V_{DN} = Différence en pourcentage entre la valeur de la tension d'approvisionnement et la tension nominale précisée sur la plaque signalétique (-)
- V_{avg} = Tension moyenne entre phases (V)
- V_{plate} = Valeur de l'approvisionnement en tension nominale indiquée sur la plaque signalétique (V)

Ce problème peut avoir une source extérieure, par exemple, si la tension d'arrivée est différente de la tension nominale ou de la tension interne. Un transformateur en mauvais état, trop petit, ou avec une relation de transformation inadéquate peut être la cause du problème interne. Une autre cause peut être une forte baisse de tension dans les conducteurs électriques. Ce problème peut être résolu en prenant les mesures ci-dessous :

- S'il s'agit d'un problème externe, il est probable que la relation de transformation (rapport de transformation) du transformateur est modifiée avec le shunter de tension, ce qui peut être réparé ou dont l'effet peut être atténué. La compagnie d'électricité doit être notifiée afin de fournir une solution en cas de déviation considérable ou de variations importantes de la tension.
- La maintenance ou le remplacement deviennent nécessaires si le problème est dû à une mauvaise condition de fonctionnement du transformateur.
- Si le transformateur est trop petit, il doit être remplacé.

- Si le rapport de transformation est incorrect, il doit être modifié avec le shunter de tension.
- Si le problème est une chute considérable de la tension dans les conducteurs, remplacer ces conducteurs par une taille supérieure.

Note : Les shunter de tension d'un transformateur sont des sélecteurs mécaniques qui ajoutent un certain nombre de révolutions au premier bobinage de manière à ce que la tension de sortie soit conforme à la tension réglementaire.

Déséquilibre de tension – D_{BV}

Un moteur électrique alimenté par une tension déséquilibrée enregistrera une réduction de sa capacité de conversion de la puissance électrique en puissance mécanique, ainsi que de son efficacité de transformation. Pour détecter une tension d'entrée déséquilibrée dans un moteur, procéder aux mesures de tensions entre phases et calculer le déséquilibre à l'aide de l'équation suivante :

$$D_{BV} = \frac{\max \left\{ \left[\max (V_{A-B}, V_{B-C}, V_{C-A}) - V_{avg} \right] \cdot \left[(V_{avg} - \min (V_{A-B}, V_{B-C}, V_{C-A})) \right] \right\}}{V_{avg}}$$

Où :

- D_{BV} = Déséquilibre de tension (-)
- V_{A-B} = Tension entre les phases A et B (V)
- V_{B-C} = Tension entre les phases B et C (V)
- V_{C-A} = Tension entre les phases C et A (V)
- V_{avg} = Tension moyenne entre les phases (V)

Si le déséquilibre de la tension d'arrivée dans un moteur électrique est causé par un problème extérieur au moteur, son origine doit en être identifiée. Les principales causes d'un déséquilibre du moteur sont les suivantes :

- Déséquilibre des charges à l'intérieur d'une même installation ;
- Problèmes au niveau du transformateur qui provoque un changement dans les rapports de transformation par phase ; et
- Un déséquilibre de la charge au niveau de la ligne d'approvisionnement de l'installation (si ce problème se pose, contacter la compagnie d'électricité pour résolution).

Déséquilibre d'intensité – D_{BI}

Lorsque les intensités du courant requises pour chaque phase du moteur sont différentes, cela indique l'existence de déséquilibres d'intensité, signalant un dommage possible aux bobines du moteur ou de différences problématiques au niveau des bobines. Le déséquilibre d'intensité est calculé à partir des mesures d'intensité par phase à l'aide de l'équation suivante :

$$D_{BI} = \frac{\max \left[\left(\max (I_A, I_B, I_C) - I_{avg} \right) \cdot \left(I_{avg} - \min (I_A, I_B, I_C) \right) \right]}{I_{avg}}$$

Où :

- D_{BI} = Déséquilibre de courant (-)
- I_A = Intensité de phase A (A)
- I_B = Intensité de phase B (A)
- I_C = Intensité de phase C (A)
- I_{avg} = Intensité moyenne sur les trois phases (A)

Les causes les plus fréquentes sont les suivantes :

- Contact des transformations du même bobinage au cours de l'une quelconque des phases causé par un dommage à l'isolant électrique ; et
- Le moteur a été réparé ou rebobiné, mais le nombre original de transformations à l'intérieur du moteur n'a pas été placé.

Déséquilibre de puissance – D_{BP}

Une différence au niveau des mesures de puissance pour chaque phase du moteur indique un déséquilibre électrique. Il s'agit généralement du résultat d'un déséquilibre d'intensité du courant. Un déséquilibre électrique similaire ou supérieur au déséquilibre d'intensité est une indication que le problème se situe au niveau du moteur et les causes sont celles indiquées dans la section Déséquilibre de d'intensité.

S'il n'y a pas de déséquilibre électrique mais qu'il y a un déséquilibre d'intensité, il est très probable qu'il s'agisse d'un problème de déséquilibre de tension sans rapport avec le moteur. Le déséquilibre électrique est calculé à partir des mesures électriques par phase grâce à l'équation suivante :

$$D_{BP} = \frac{\max \left[\left(\max (P_A, P_B, P_C) - P_{avg} \right) \cdot \left(P_{avg} - \min (P_A, P_B, P_C) \right) \right]}{P_{avg}}$$

Où :

- D_{BP} = Déséquilibre de puissance (-)
- P_A = Puissance en phase A (kW)
- P_B = Puissance en phase B (kW)
- P_C = Puissance en phase C (kW)
- P_{avg} = Puissance moyenne sur les trois phases (kW)

Facteur de charge – FC

Le facteur de charge du moteur électrique indique le pourcentage de puissance mécanique fournie par rapport à la capacité nominale. Un facteur de charge supérieur à 100 % indique que le moteur est en situation de surcharge, ce qui provoque une surchauffe du bobinage et une réduction de l'efficacité de fonctionnement et de la durée de vie utile. Le facteur de charge recommandé pour le fonctionnement du moteur se situe entre 65 et 80 % et est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$FC = \frac{(P_o / \eta_{nom})}{hp_{nom} * 0,746}$$

Ou

$$FC = \frac{(P_a / \eta_m)}{P_{nom}}$$

Où :

- FC = Facteur de charge du fonctionnement du moteur (-)
- P_a = Puissance active du moteur en kilowatts (kW)
- η_m = Efficacité du fonctionnement du moteur (-)
- hp_{nom} = Puissance nominale du moteur en horse-power (hp)
- P_{nom} = Puissance nominale du moteur en kilowatts (kW)

Le facteur de service indiqué sur la plaque signalétique du moteur indique jusqu'à quel point le moteur est à même de résister aux surcharges. Par suite, un facteur de service de 1,15 signifie que le moteur est conçu pour fonctionner avec une surcharge de 15 % par rapport à sa puissance nominale. Ceci ne doit se produire que pendant de brèves périodes. Dans la mesure où le fonctionnement en surcharge est constant, la durée de vie utile du moteur est réduite puisque l'isolant du bobinage sera endommagé.

Intensité du condensateur

La mesure de l'intensité du courant du condensateur par phase indique si les phases fonctionnent correctement. L'intensité dans chaque phase doit être la même. Si des intensités différentes sont détectées, c'est une indication du fait que la batterie de condensateurs est en mauvais état de fonctionnement et doit être réparée ou remplacée.

La capacité de la batterie de condensateurs doit être sélectionnée de manière à réduire au minimum les courants réactifs qui circulent dans les conducteurs électriques ; par exemple, la capacité de la batterie de condensateurs doit être sélectionnée de manière à obtenir un facteur de puissance proche de la valeur minimum requise par la compagnie d'électricité. Cette batterie doit être installée aussi près de la charge que possible.

7.2.4. Analyse du système de mise à la terre

Un bon système de mise à la terre assure la sûreté et la sécurité du personnel qui travaille pour la compagnie d'eau et d'assainissement et la protection de l'équipement. Une mise à la terre de l'équipement garantit qu'en cas de contact avec les conducteurs électriques ou la structure de l'équipement sous tension, le courant est absorbé par le système de mise à la terre. En cas de décharge atmosphérique, ceci garantit l'absence de courant électrique en cas de contact entre le personnel et l'équipement. Les paramètres d'analyse du système de mise à la terre incluent les suivants :

- **Continuité et résistance électrique** : La première étape consiste à s'assurer qu'il y a une connexion physique entre le conducteur de mise à la terre et le système de mise à la terre et pas de sulfatation dans le soudage. Si les conditions qui précèdent sont remplies, procéder à la mesure avec un mégohmmètre, la valeur de la résistance électrique du système de mise à la terre ne doit pas dépasser cinq ohms.
- **Courant** : Un courant électrique allant du niveau neutre au sol mesuré dans le système de mise à la terre indique l'existence d'un déséquilibre électrique dans l'équipement.

7.3. ANALYSE DU SYSTÈME DES EAUX

7.3.1. Analyse de la pompe

L'analyse de l'eau de la pompe en fonctionnement détermine l'écart entre la pompe et les valeurs conceptuelles. Lorsque le débit et la charge des opérations sont différentes des valeurs conceptuelles, cela peut être attribuable à l'une des causes suivantes :

- Un mauvais réglage de la roue (ou impulseur), indiquant que la roue (ou impulseur) ne fonctionne pas comme prévu.
- Une roue (ou impulseur) usée, indiquant que la roue (ou impulseur) pousse l'eau hors du puits ou du puisard ; une usure marquée affaiblit la puissance et provoque une réduction du débit et de la pression de décharge.
- Une vitesse de fonctionnement différente de celle prévue pour la pompe ; si la vitesse de la pompe varie, les vitesses de la courbe de la pompe, de sa pression et de son débit varieront également.

Ce qui précède implique une consommation supérieure d'énergie, dans la mesure où l'efficacité de la pompe diminue de manière considérable.

Détermination de la déviation de la pression hydraulique par rapport aux données de référence

$$DH_T = \frac{H'_T - H_T}{H_T} * 100$$

Où :

- DH_T = Déviation hydraulique par rapport à la pression de conception (-)
- H_T = Pression hydraulique de conception de la pompe (mH₂O)
- H'_T = Mesure de la pression hydraulique de pompage (mH₂O)

Détermination de l'écart de débit

$$DQ_b = \frac{Q'_b - Q_b}{Q_b} * 100$$

Où :

- DQ_b = Écart de débit par rapport au débit prévu (-)
- Q_b = Débit hydraulique du modèle de pompage (l/s)
- Q'_b = Débit hydraulique de pompage mesure (l/s)

7.4. ANALYSE DES TEMPÉRATURES

7.4.1. Températures au niveau du transformateur

Une température élevée au niveau du transformateur indique la présence d'un problème dans le transformateur. Voici les principaux problèmes pouvant être détectés en mesurant la température dans le transformateur :

- **Température élevée dans les terminaux d'alimentation ou terminaux primaires :** Indique un décalage au niveau des terminaux, qui peut provoquer une résistance au contact, une surchauffe et un mauvais contact. Un transformateur en situation de surcharge peut également être l'une des causes du problème.
- **Température élevée aux terminaux secondaires :** Indique un décalage au niveau des terminaux qui peut provoquer une résistance au contact, une surchauffe et un mauvais contact. Un transformateur en situation de surcharge peut également être l'une des causes du problème.
- **Température élevée dans le corps du transformateur :** Indique des problèmes d'élimination de la chaleur pouvant être attribuée à une surcharge, à des niveaux d'huile trop faibles ou trop élevés, à une huile usée ou contaminée par l'humidité ou l'oxygène.
- **Différentiel de température entre les parties inférieure et supérieure du radiateur :** Indique des problèmes d'élimination de la chaleur.

7.4.2. Températures au niveau de l'équipement de contrôle

Une augmentation des températures de différents éléments est essentiellement attribuable à un desserrement des vis au niveau des terminaux du conducteur et à une surcharge du moteur. Surveiller la température des éléments suivants : entrée et sortie du disjoncteur ; entrée et sortie du démarreur.

7.4.3. Température du moteur

Roulements

La température des roulements ne doit pas excéder 60 à 65 % de la température de la pièce. Tout dépassement de ces températures provoque un problème au niveau des roulements. Le problème peut être causé par l'un des facteurs suivants :

- Un lubrifiant aux propriétés inadéquates ou différentes de celles du modèle original ;
- Une lubrification inadéquate ou un manque de lubrification du roulement du moteur ;
- Une surcharge du roulement, dont la température est directement liée à celle du bobinage ;
- Un ajustement incorrect du roulement, qui causera une friction accrue et une surchauffe ;
- Un mauvais alignement de la pompe et du moteur.

Tubage

Des températures anormales du moteur peuvent être dues aux problèmes suivants :

- Des bobines endommagées ;
- Une vitesse de fonctionnement inférieure à la vitesse de maximale ; lorsque la vitesse est inférieure, une intensité de courant plus importante est générée au niveau du bobinage ce qui provoque une surchauffe et endommager l'isolant ;
- Une surcharge, qui provoque une chaleur produite par le courant électrique circulant à l'intérieur du moteur ;
- Lorsqu'un variateur de vitesse opère le moteur, le ralentissement des révolutions réduit la ventilation forcée, ce qui provoque une augmentation de la température. Il est recommandé d'utiliser des moteurs conçus spécialement pour ce type d'équipement ;
- Un ventilateur de refroidissement du moteur endommagé.

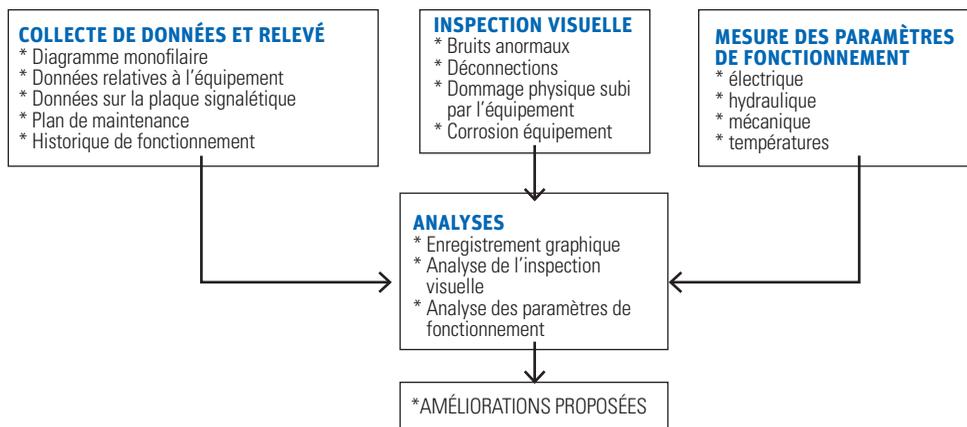
ANNEXE

1 MÉTHODOLOGIE APPLICABLE AUX AUDITS DE MAINTENANCE

Un audit de maintenance dans un système de pompage de l'eau est un processus qui permet d'évaluer la manière dont est effectuée la maintenance des éléments électriques, mécaniques et hydrauliques. Il se compose des éléments suivants : collecte de données, mesure des paramètres d'équipement et des paramètres de fonctionnement, et l'analyse de l'information collectée pour identifier les domaines où des améliorations pourraient être apportées. En outre, l'objectif ultime est de formuler des propositions spécifiques visant à améliorer le plan de maintenance et à l'intégrer au sein de la compagnie. Des plans de maintenance adéquats contribuent à un accroissement de l'efficacité opérationnelle, de la disponibilité de l'équipement et de la productivité dans son ensemble.

L'obtention des meilleurs résultats possibles exige le suivi d'une séquence ordonnée lors de l'audit de maintenance d'un système de pompage de l'eau, ce qui exige un travail de terrain et de bureau. La Figure A.1 indique les principales activités devant être réalisées, tant sur le terrain qu'au bureau, pour la réalisation d'un audit efficace.

FIGURE A1: Méthodologie à suivre pour la réalisation d'un audit de maintenance



1.1. ACTIVITÉS SUR LE TERRAIN

Collecte de données

La collecte de données permet de se familiariser avec l'équipement de base des systèmes de pompage, notamment les transformateurs, les systèmes de contrôle, les moteurs, les pompes, les conduites d'eau, les conducteurs électriques, et les condensateurs. En outre, à ce stade de l'audit, il convient de recueillir les informations relatives aux plans et programmes de maintenance en place dans l'entreprise.

Mesures sur le terrain

Dans le cadre du travail sur le terrain, il faut procéder à une campagne de mesure des paramètres électriques, hydrauliques, mécaniques et des températures d'opération ; les résultats ainsi obtenus indiqueront la condition de l'équipement et les réparations à effectuer ou les pièces à remplacer. Les mesures suivantes doivent être prises :

Paramètres électriques

- Mesure des harmoniques dans la canalisation ;
- Mesures de tension, intensité, puissance, et facteur de puissance dans les moteurs électriques ;
- Mesure de l'intensité dans les condensateurs ;
- Tests des transformateurs ;
- Mesures du système de mise à la terre.

Paramètres hydrauliques

- Mesures du débit dans les pompes ;
- Mesures de pression d'aspiration et de refoulement dans les pompes ;
- Mesures des niveaux d'eau et des paramètres requis pour déterminer la pression de refoulement ;
- Mesures de la longueur et du diamètre des conduites.

Mesure des températures

- Mesures des températures au niveau des bornes d'alimentation et des bornes à basse tension, et dans le container et le radiateur du transformateur ;
- Mesures des températures au niveau des bornes de raccordement (démarreurs et disjoncteurs) du système de contrôle du moteur.

1.2. ACTIVITÉS AU BUREAU

Analyse et évaluation des informations de maintenance

Analyse des informations provenant des activités sur le terrain en vue d'identifier les domaines où des améliorations pourraient être apportées. L'analyse doit porter sur deux aspects : la correction des problèmes particuliers identifiés lors des activités sur le terrain et la formulation de propositions d'améliorations aux plans et programmes de maintenance de l'entreprise.

Proposition d'améliorations

Proposer des possibilités d'amélioration au niveau de l'entretien anticipé et de la maintenance préventive, ainsi qu'au niveau des mesures spécifiques de maintenance corrective découlant des problèmes identifiés lors des activités sur le terrain. Pour formuler ces propositions, prendre en considération les éléments suivants :

- **Améliorations à la maintenance préventive**

Les mesures proposées doivent viser l'établissement d'un programme solide de maintenance préventive, dans le but d'éviter les problèmes et les pannes d'équipement.

- **Améliorations à l'entretien anticipé**

Les mesures proposées doivent viser l'établissement d'un programme solide d'entretien anticipé, dans le but d'éviter les problèmes et les pannes d'équipement.

- ***Améliorations à la maintenance corrective***

Les mesures proposées doivent viser l'élimination des pratiques inadéquates et l'établissement de modalités solides de maintenance corrective.

- ***Résolution des problèmes identifiés***

Lorsque des problèmes spécifiques sont identifiés dans le cadre des activités sur le terrain, il convient de formuler des propositions de mesures correctives.

2 COLLECTE DES DONNÉES

Un audit de maintenance ne peut avoir lieu sans que soient collectées les données nécessaires. La plupart des informations figurent sur les fiches d'inventaire, les fiches techniques ou les bons de commande de l'équipement. Si les informations qui ne peuvent être obtenues de cette manière, elles doivent être recueillies par des activités sur le terrain. La présente section propose une description des données fondamentales requises et des emplacements où se les procurer.

2.1. SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Diagramme unifilaire

Le diagramme unifilaire de l'installation est utilisé pour la réalisation de tout type de maintenance et il doit inclure les éléments suivants : équipement, connecteur, câblage, transformateur et le principal disjoncteur. Il doit préciser s'il existe ou non un démarreur.

Transformateur

En ce qui a trait au transformateur, les informations nécessaires sont les suivantes :

- **Type** : Le type de transformateur qui alimente l'équipement ou une description des éléments qui alimentent le transformateur dans les systèmes à basse tension.
- **Puissance** : La puissance du ou des transformateurs ; en présence de plusieurs transformateurs, préciser la puissance de chacun d'entre eux (kVA).
- **Relation de transformation** : La tension à l'entrée et à la sortie du transformateur, où la relation de tension de transformation, doit être exprimée en volts (V) séparée par une barre oblique, par exemple 13200/415/220V. Si le transformateur a plus d'une tension de sortie, préciser la tension à laquelle fonctionne actuellement le transformateur.

Principal disjoncteur

En ce qui a trait au disjoncteur, les informations nécessaires sont les suivantes :

- **Marque de fabrique** : Enregistrer la marque de fabrique ou le nom du fabricant du disjoncteur.
- **Intensité** : Noter l'intensité nominale du disjoncteur en ampères (A).
- **Ajustement** : Indiquer l'intensité nominale à laquelle est réglé le disjoncteur (s'il s'agit d'un disjoncteur réglable) en ampères (A).
- **Tension** : Indiquer la tension maximum à laquelle le disjoncteur doit fonctionner (V).

Démarreur

En ce qui a trait au démarreur, les informations nécessaires sont les suivantes :

- **Type** : Enregistrer la marque de fabrique ou le nom du fabricant.
- **Puissance** : Enregistrer la puissance du démarreur (HP) ou (kW).
- **Méthode de démarrage** : Indiquer la méthode de démarrage, par exemple : directe, autotransformateur, star-delta (Y-D), à vitesse variable, etc.

Protection thermique

En ce qui a trait à la protection thermique, les informations nécessaires sont les suivantes :

- **Marque de fabrique** : Enregistrer la marque de fabrique ou le nom du fabricant de l'élément de protection thermique.
- **Intensité** : Indiquer la fourchette d'intensité de l'élément thermique en ampères (A).
- **Réglage** : Enregistrer le point d'étalonnage de l'élément thermique.

Condensateurs

Si l'équipement dispose d'une batterie de condensateurs, indiquer la puissance totale de la batterie (kVAr).

Système de mise à la terre

Préciser de mise et de non mise à la terre ainsi que le calibre des câbles.

Conducteurs électriques

Il convient de recueillir les données du conducteur sur les sections suivantes : du transformateur à l'équipement de contrôle et de l'équipement de contrôle au moteur. Les données devant être recueillies sont les suivantes :

- **Calibre** : Précise le diamètre du conducteur (mm²) ou (AWG), indiqué sur son isolant.
- **Longueur** : Enregistre la longueur totale des conducteurs dans la section décrite.
- **Câblage et groupage** : Décrit le regroupement des conducteurs, les méthodes de câblage utilisées et ses mesures. Il précise la ventilation des conducteurs électriques.
- **Température de fabrication** : Note la température de fabrication de l'isolant.

2.2. DONNÉES DU MOTEUR

Données sur plaque

- **Marque de fabrique** : Indique le nom commercial du moteur ou celui de son fabricant.
- **Puissance** : Indique la puissance nominale du moteur (hp) ou (kW).
- **Vitesse** : Indique la vitesse de rotation du moteur en révolutions par minute (RPM).
- **Tension** : Enregistre la tension nominale du moteur en volts (V).
- **Intensité** : Enregistre l'intensité nominale du moteur en ampères (A).
- **Efficacité** : Indique l'efficacité de fabrication du nouveau moteur en pourcentage (-).
- **Type** : Précise le type de moteur.
- **Bâti** : Enregistre le type ou le numéro du bâti du moteur.
- **F.S** : Indique les informations relatives au facteur de service.

Données de fonctionnement

- **Âge** : Indiquer la durée de fonctionnement du moteur depuis sa première installation, en années.
- **Fonctionnement** : Enregistrer le nombre moyen d'heures de fonctionnement du moteur chaque année (h/an).
- **Nombre de rebobinages** : Indiquer le nombre de rebobinages subis par le moteur.

2.3. DONNÉES NOMINALES CONCERNANT LA POMPE

La présente section contient des détails sur les données concernant la pompe figurant sur la plaque signalétique et devant être relevés.

Données relatives au corps de pompe

Recueillir les données suivantes concernant le corps de pompe :

- **Marque de fabrique** : Enregistrer la marque de fabrique ou le nom du fabricant.
- **Type** : Préciser le type de pompe (par ex. submersible, à turbine verticale, horizontale, et centrifuge, entre autres.
- **Modèle** : Noter le modèle de pompe tel qu'indiqué par le fabricant.
- **Âge** : Enregistrer la durée de fonctionnement de l'équipement depuis sa mise en service, en années.

Données concernant la roue (impulseur)

Recueillir les données suivantes concernant la roue (impulseur) :

- **Type** : Indiquer le type de roue (impulseur)
- **Matériau** : Noter le matériau de fabrication de la roue (impulseur).
- **Diamètre** : Enregistrer le diamètre nominal de la roue (impulseur) (m).
- **Âge** : Enregistrer la durée de fonctionnement de la roue (impulseur) depuis son entrée en service en années. Noter que l'âge de la roue (impulseur) peut être différent de celui de la pompe, si la roue (impulseur) a été remplacée depuis l'entrée en service de la pompe.

Données conceptuelles

Préciser les caractéristiques hydrauliques utilisées pour la sélection de l'équipement :

- **Pression hydraulique** : pression hydraulique de conception (mH₂O).
- **Débit** : débit conceptuel (l/s).

2.4. INSPECTION VISUELLE ET AUDITIVE

Formuler des observations de base pendant l'inspection de l'équipement suivant :

Système électrique

- **Transformateur** : Fournir toutes les informations pertinentes sur la connexion à la terre, les bruits ou vibrations anormaux, l'état de la peinture, les fuites d'huile diélectriques, et les buses endommagées.
- **Disjoncteur** : Détecter tout bruit attribuable au facteur d'utilisation en raison d'un usage intensif.
- **Conducteurs** : Noter tout dommage à l'isolant.
- **Moteur** : Détecter tout bruit ou vibration anormal causé par un mauvais roulement, des composants déséquilibrés ou un désalignement du moteur.

Système hydraulique

- **Pompe :** Détecter tout bruit ou vibration anormal dû aux sédiments, à une roue (impulseur) desserrée ou déséquilibrée, et/ou à des boulons à tête desserrés si la pompe est une roue (turbine) verticale.

2.5. FORMULAIRES DE COLLECTE DES DONNÉES ET DE MESURES SUR LE TERRAIN

La réalisation des objectifs de manière claire et ordonnée exige l'emploi de formulaires organisés pour enregistrer les caractéristiques du système électromécanique et les données nominales concernant la pompe et le moteur. Les tableaux B1, B2 et B3 présentent des exemples de la manière d'enregistrer ces caractéristiques. Les tableaux B4, B5 et B6 présentent le formulaire qui peut être utilisé pour les paramètres hydrauliques, électriques et de température en ce qui a trait à l'équipement de pompage. L'utilisation de formulaires organisés pour la collecte et la mesure des différents paramètres sont essentiels pour la réalisation d'un audit rapide et efficace.

TABLEAU B1 : Données relatives au système électrique (exemple)

DONNÉES NÉCESSAIRES																																									
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">ALIMENTATION ÉLECTRIQUE</th> </tr> <tr> <td>Fournisseur :</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>No de service (compteur électrique) :</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Tarifs souscrits :</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <th colspan="2">TRANSFORMATEUR</th> </tr> <tr> <td>Type :</td> <td>OA (ABC)</td> </tr> <tr> <td>Puissance :</td> <td>150 kVA</td> </tr> <tr> <td>Ratio du transf. :</td> <td>13200/440/254 V.</td> </tr> <tr> <th colspan="2">DISJONCTEUR PRINCIPAL</th> </tr> <tr> <td>Marque :</td> <td>ABC</td> </tr> <tr> <td>Intensité :</td> <td>250 A</td> </tr> <tr> <td>Réglage :</td> <td>1100-2500-50%</td> </tr> <tr> <th colspan="2">DÉMARREUR</th> </tr> <tr> <td>Type :</td> <td>DANFOSS VLT AQUA</td> </tr> <tr> <td>Puissance :</td> <td>150 hp</td> </tr> <tr> <td>Méthode de démarrage :</td> <td>Star-Delta (Y-D)</td> </tr> <tr> <th colspan="2">PROTECTION</th> </tr> <tr> <td>Marque :</td> <td>ABC</td> </tr> <tr> <td>Intensité :</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Réglage :</td> <td>-----</td> </tr> </table>	ALIMENTATION ÉLECTRIQUE		Fournisseur :	-----	No de service (compteur électrique) :	-----	Tarifs souscrits :	-----	TRANSFORMATEUR		Type :	OA (ABC)	Puissance :	150 kVA	Ratio du transf. :	13200/440/254 V.	DISJONCTEUR PRINCIPAL		Marque :	ABC	Intensité :	250 A	Réglage :	1100-2500-50%	DÉMARREUR		Type :	DANFOSS VLT AQUA	Puissance :	150 hp	Méthode de démarrage :	Star-Delta (Y-D)	PROTECTION		Marque :	ABC	Intensité :	-----	Réglage :	-----	<p>DIAGRAMME MONOFLAIRE</p> <p>5 kVA</p> <p>20 kVAr</p> <p>40 kVAr</p> <p>OA AZOTEA, 150 kVA</p> <p>EM</p> <p>SIEMENS, 250 A</p> <p>DANFOSS VLT, 150HP</p> <p>M B-01</p>
ALIMENTATION ÉLECTRIQUE																																									
Fournisseur :	-----																																								
No de service (compteur électrique) :	-----																																								
Tarifs souscrits :	-----																																								
TRANSFORMATEUR																																									
Type :	OA (ABC)																																								
Puissance :	150 kVA																																								
Ratio du transf. :	13200/440/254 V.																																								
DISJONCTEUR PRINCIPAL																																									
Marque :	ABC																																								
Intensité :	250 A																																								
Réglage :	1100-2500-50%																																								
DÉMARREUR																																									
Type :	DANFOSS VLT AQUA																																								
Puissance :	150 hp																																								
Méthode de démarrage :	Star-Delta (Y-D)																																								
PROTECTION																																									
Marque :	ABC																																								
Intensité :	-----																																								
Réglage :	-----																																								
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">CONDENSATEURS</th> </tr> <tr> <td>Puissance :</td> <td>40/20 kVAr</td> </tr> </table>	CONDENSATEURS		Puissance :	40/20 kVAr	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">CONDUCTEURS</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Transformateur – Démarreur</td> </tr> <tr> <td>Calibre :</td> <td>1HXF-4/0</td> </tr> <tr> <td>Longueur :</td> <td>7 m.</td> </tr> <tr> <td>Groupe :</td> <td>C-3H+1N4</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Démarrage – Moteur</td> </tr> <tr> <td>Calibre :</td> <td>1HXF-4/0</td> </tr> <tr> <td>Longueur :</td> <td>9 m.</td> </tr> <tr> <td>Groupe :</td> <td>C-3H</td> </tr> </table>	CONDUCTEURS		Transformateur – Démarreur		Calibre :	1HXF-4/0	Longueur :	7 m.	Groupe :	C-3H+1N4	Démarrage – Moteur		Calibre :	1HXF-4/0	Longueur :	9 m.	Groupe :	C-3H																		
CONDENSATEURS																																									
Puissance :	40/20 kVAr																																								
CONDUCTEURS																																									
Transformateur – Démarreur																																									
Calibre :	1HXF-4/0																																								
Longueur :	7 m.																																								
Groupe :	C-3H+1N4																																								
Démarrage – Moteur																																									
Calibre :	1HXF-4/0																																								
Longueur :	9 m.																																								
Groupe :	C-3H																																								
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">SYSTÈME DE MISE À LA TERRE</th> </tr> <tr> <td>Existe-t-il un système de mise à la terre ?</td> <td>Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Le neutre et la prise de terre sont ils séparés ?</td> <td>Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Le transformateur est-il mis à la terre ?</td> <td>Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Calibre : 8</td> </tr> <tr> <td>Le démarreur est-il mis à la terre ?</td> <td>Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Calibre : 4</td> </tr> <tr> <td>Le moteur est-il mis à la terre ?</td> <td>Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Calibre : -</td> </tr> </table>		SYSTÈME DE MISE À LA TERRE		Existe-t-il un système de mise à la terre ?	Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Le neutre et la prise de terre sont ils séparés ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/>	Le transformateur est-il mis à la terre ?	Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Calibre : 8	Le démarreur est-il mis à la terre ?	Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Calibre : 4	Le moteur est-il mis à la terre ?	Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Calibre : -																												
SYSTÈME DE MISE À LA TERRE																																									
Existe-t-il un système de mise à la terre ?	Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>																																								
Le neutre et la prise de terre sont ils séparés ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/>																																								
Le transformateur est-il mis à la terre ?	Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Calibre : 8																																								
Le démarreur est-il mis à la terre ?	Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Calibre : 4																																								
Le moteur est-il mis à la terre ?	Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Calibre : -																																								
<p>NOTES : _____</p>																																									

TABLEAU B2 : Données relatives au moteur électrique (exemple)

DONNÉES FIGURANT SUR LA PLAQUE SIGNALÉTIQUE OU DONNÉES NOMINALES DE CONCEPTION					
Marque :	ABC	Tension :	440 V	Type :	Vitesse T
Puissance :	150 hp	Intensité :	180 A	Bâti :	1445TP
Vitesse :	s/o RPM	Efficacité :	s/o	F.S.	1.15
HISTORIQUE					
Âge :	20 ans	Fonctionnement :	8760 h/an	Nb de rebobinages :	2
NOTES :	Modèle XXX				

TABLEAU B3 : Données sur la pompe (exemple)

DONNÉES SUR LA POMPE					
CORPS			ROUE (IMPULSEUR)		
Marque commerciales :	s/o	Type :	quasi-ouvert		
Type :	Roue verticale	Matériel :	s/o		
Modèle :	s/o	Diamètre :	s/o	m	
Âge :	ans	Âge :	s/o	ans	
DATE :	Diamètre : s/o	pouces	Longueur :	s/o m	
DONNÉES CONCEPTUELLES	Charge :	158 mH ₂ O	Débit :	14	l/s
NOTES :					

TABLEAU B4 : Mesures électriques (exemple)

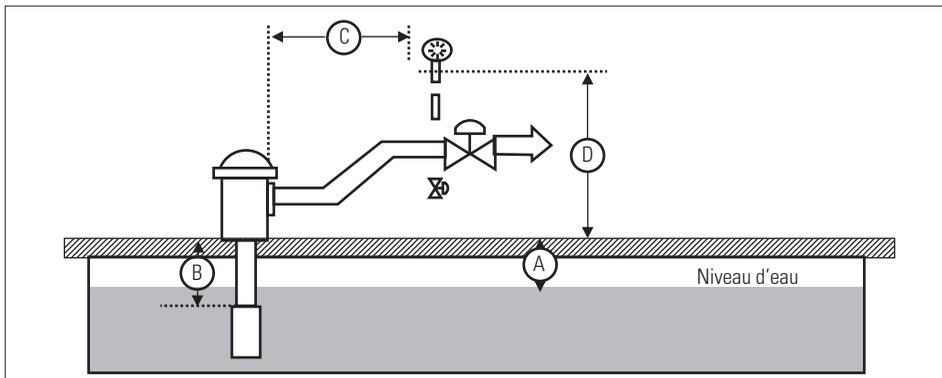
MESURES ÉLECTRIQUES						
TENSION ENTRE PHASES (V)	Vab :	461	Vbc :	462	Vac :	460
INTENSITÉ PAR PHASE (Amp) :	Ia :	71,7	Ib :	71,5	Ic :	69,2
PUISSANCE ACTIVE (kW) :	Pa _a :	14,9	Pab :	14,9	Pa _c :	14,3
FACTEUR DE PUISSANCE :	Fpa :	-0,78	FPb :	-0,76	FPc :	-0,78
DISTORSION HARMONIQUE	THD-V :	1 %	THD-I :	32,60 %		
Point de mesure :	Dans le contacteur de sortie au moteur dans le déphaseur.					
INTENSITÉ DU CONDENSATEUR (Amp) :	Ia :	58,1	Ib :	54,4	Ic :	38,5
MISE À LA TERRE :	Continuité :	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	Intensité :	30,32 mA	Résistance :	10,36 Ω
NOTES :	Batterie de condensateurs surdimensionnée et condensateur de phase C endommagé.					

TABLEAU B5 : Formulaire de collecte des mesures hydrauliques

MESURES HYDRAULIQUES

NIVEAUX :

Limite supérieure du niveau d'eau (A) 150 m. Longueur de la conduite d'aspiration (B) 158,60 m.
 Distance de refoulement au manomètre (C) 1 m. Hauteur de refoulement au manomètre (D) 0,1 m.



	Diamètre	Matériel	Pression (kg/cm ²)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)
Aspiration	0,2032	AC	–	12,6	0,3885
Refoulement	0,2032	AC	0,61	12,6	0,3885

NOTES :

TABLEAU B6 : Formulaire de collection des mesures de température

MESURES DE TEMPÉRATURE

Équipement de contrôle (température en °C)	Disjoncteur (entrée)			Disjoncteur (sortie)			Démarreur (entrée)			Démarreur (sortie)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	34	34	32	34	33	33	33	33	33	31	33	34

MOTEUR			TRANSFORMATEUR										
Carter	Roulement		Bornier d'alimentation			Bornier à basse tension				Conteneur		Radiateur	
	Supérieur	Inférieur	X1	X2	X3	X0	X1	X2	X3	Supérieur	Inférieur	Supérieur	Inférieur
37	37	36	—	—	—	34	36	36	35	38	31	36	32

NOTES : Présence de fuites d'huile diélectrique sur la partie basse tension du transformateur.

2.6. FORMULAIRE POUR L'AUDIT DU PLAN DE MAINTENANCE

Liste des mesures appropriées prises au cours de la maintenance de l'équipement de pompage. Informations fournies par la compagnie des eaux (voir le tableau B.7).

TABLEAU B7 : Audit du plan de maintenance (exemple)

Sous-système	Équipement	Action recommandée	Fréquence de la maintenance				Non effectuée
			Quot.	Hebdom.	Mens.	Ann.	
Électrique	Transformateurs	Nettoyage de l'équipement					
		Nettoyage du secteur					
		Resserrage des écrous et des boulons des borniers à vis					
		Purification et filtration de l'huile diélectrique par centrifugation, par filtration, par déshydratation ou par dégazage du contenu					
		Mesurage et analyse des paramètres électriques					
		Analyse physicochimique de l'huile					
		Test du rapport des nombres de spires (TTR)					
		Tests électriques					
		Analyse thermographique					
	Centre de commande des moteurs	Nettoyage des panneaux avec un solvant diélectrique					
		Nettoyage et lubrification des éléments mécaniques (ressorts, claviers numériques)					
		Resserrement des écrous et des boulons aux borniers à vis et aux connecteurs électriques					
		Mesure et analyse des paramètres électriques					
		Tests d'endurance électrique sur le réseau de mise à la terre					
		Tests de continuité dans le réseau de mise à la terre					
		Analyse thermographique					
	Moteurs électriques	Nettoyage des bobines avec un solvant diélectrique					
		Lubrification des roulements					
		Remplacement des roulements axiaux					
		Réglages du bâti					
		Ponçage et peinture des carters					
		Mesure et analyse des paramètres électriques					
		Mesure et analyse des vibrations mécaniques					
		Test flash (vaporisation instantanée par détente)					
		Test d'endurance des bobines					
	Analyse thermographique						

TABLEAU B7: Audit du plan de maintenance (suite)

Sous-système	Équipement	Action recommandée	Fréquence de la maintenance				Non effectuée
			Quot.	Hebdom.	Mens.	Ann.	
Mécanique	Pompes	Lubrification du roulement et du support du roulement					
		Lubrification de la partie supérieure de l'arbre					
		Remplacement du coussinet du joint					
		Rectification des supports de raccordement intermédiaires					
		Remplacement du coussinet à l'aspiration					
		Rectification de l'arbre d'entraînement					
		Remplacement de la partie supérieure de l'arbre					
		Remplacement du palier lisse					
		Remplacement du palier à chapeau					
		Rectification de l'arbre de la pompe					
		Mesure et analyse des vibrations mécaniques					
		Mesure et analyse de la pression à l'écoulement et de la pression de refoulement					
		Mesure et analyse du débit					
		Inspection du palier à chapeau					
		Inspection des presse-étoupes					
	Conduites de refoulement	Nettoyage et inspection des conduites de refoulement					
		Peinture des conduites de refoulement					
		Remplacement des garnitures d'étanchéité endommagées entre les raccords à bride, les vannes, l'appareillage de mesure et vérification des soutiens de pression.					
		Remplacement des vannes					
		Inspection du fonctionnement et de la calibration de l'appareillage de macro-mesure					
		Inspection de l'équipement de chloration					
		Nettoyage des solénoïdes et des vannes de purge d'air					
	Mesure et analyse des vibrations mécaniques						
	Vannes	Nettoyage et évaluation du diaphragme					
		Nettoyage et évaluation du ressort de contre-piston du diaphragme					
		Nettoyage du joint anti-poussière					
		Lubrification du roulement de l'arbre					
		Nettoyage du corps des vannes					
		Nettoyage des solénoïdes					
		Remplacement des conducteurs électriques de contrôle					
Mesure et analyse des vibrations mécaniques							



www.iadb.org