



---

# ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE POMPAGE D'EAU

Manuel d'évaluation de l'efficacité énergétique

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 d'évaluation de l'efficacité énergétique\***

Première édition

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

© 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](mailto:agua@iadb.org) ou [secci@iadb.org](mailto:secci@iadb.org)

IDB-MG-112

# TABLE DES MATIÈRES

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| PRÉSENTATION.....              | vii |
| ACRONYMES ET DÉFINITIONS ..... | ix  |

## Chapitre 1

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Introduction</b> ..... | 1 |
|---------------------------|---|

## Chapitre 2

|                                                            |   |
|------------------------------------------------------------|---|
| <b>Principaux aspects de la gestion de l'énergie</b> ..... | 5 |
| 2.1. Comité pour l'efficacité énergétique.....             | 5 |
| 2.2 Politique d'efficacité énergétique .....               | 6 |
| 2.3. Évaluation de la performance .....                    | 7 |
| 2.4. Établissement des buts .....                          | 7 |

## Chapitre 3

|                                                           |   |
|-----------------------------------------------------------|---|
| <b>Méthodologie d'un audit énergétique détaillé</b> ..... | 7 |
|-----------------------------------------------------------|---|

## Chapitre 4

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Évaluation (diagnostic de l'efficacité énergétique)</b> .....                  | 13 |
| 4.1. Collecte des données .....                                                   | 13 |
| 4.1.1. <i>Secteur de l'eau et de l'énergie : Contexte national</i> .....          | 13 |
| 4.1.2. <i>Situation générale de la compagnie d'eau et d'assainissement.</i> ..... | 14 |
| 4.1.3. <i>Données de base</i> .....                                               | 14 |
| 4.2. Mesurage sur le terrain .....                                                | 18 |
| 4.2.1. <i>Mesures électriques</i> .....                                           | 19 |
| 4.2.2. <i>Mesures hydrauliques</i> .....                                          | 22 |
| 4.2.3. <i>Mesures de température</i> .....                                        | 27 |
| 4.2.4. <i>Mesures et observations pour l'audit d'entretien.</i> .....             | 28 |
| 4.2.5. <i>Gabarits des registres de données de terrain</i> .....                  | 28 |
| 4.3. Analyse des informations et évaluation d'efficacité .....                    | 28 |
| 4.3.1. <i>Calcul des pertes électriques du système électrique</i> .....           | 31 |
| 4.3.2. <i>Calcul des pertes et efficacité du moteur électrique.</i> .....         | 34 |
| 4.3.3. <i>Calcul des pertes et d'efficacité de la pompe.</i> .....                | 38 |
| 4.3.4. <i>Calcul des pertes du réseau de conduites de distribution.</i> .....     | 44 |
| 4.3.5. <i>Calcul des indicateurs d'énergie</i> .....                              | 47 |
| 4.3.6. <i>Bilan énergétique réel</i> .....                                        | 48 |
| 4.3.7. <i>Analyse des conditions de fonctionnement</i> .....                      | 49 |

## Chapitre 5

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Identifier les opportunités d'économies d'énergie</b> .....                               | 53 |
| 5.1. Mesures ayant trait au taux d'énergie .....                                             | 53 |
| 5.1.1. <i>Optimisation du taux de service électrique</i> .....                               | 53 |
| 5.1.2. <i>Contrôler la demande d'électricité.</i> .....                                      | 54 |
| 5.2. Mesures de réduction des pertes dans les installations électriques.....                 | 54 |
| 5.2.1. <i>Améliorer le refroidissement des transformateurs</i> .....                         | 54 |
| 5.2.2. <i>Modernisation des conducteurs électriques</i> .....                                | 55 |
| 5.2.3. <i>Optimiser le facteur de puissance</i> .....                                        | 55 |
| 5.3. Mesures pour augmenter l'efficacité des moteurs .....                                   | 55 |
| 5.3.1. <i>Corriger les déséquilibres de tension.</i> .....                                   | 55 |
| 5.3.2. <i>Remplacer le moteur électrique par un moteur électrique à haut rendement</i> ..... | 56 |
| 5.3.3. <i>Optimiser l'efficacité du moteur.</i> .....                                        | 56 |
| 5.3.4. <i>Remplacer l'ensemble moteur-pompe</i> .....                                        | 56 |

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4. Mesures pour augmenter l'efficacité des pompes . . . . .                                            | 58 |
| 5.4.1. Régler l'équipement de pompage par rapport au données de conception . . . . .                     | 58 |
| 5.4.2. Régler la position de la roue (ou impulseurs) dans les pompes à roue ouverte . . . . .            | 59 |
| 5.5. Réduction de perte de charge . . . . .                                                              | 60 |
| 5.5.1. Corriger les défauts de configuration et de fonctionnement des conduites de refoulement . . . . . | 60 |
| 5.5.2. Réduire les pertes par friction dans les conduites de conduction . . . . .                        | 60 |
| 5.6. Réduction des fuites . . . . .                                                                      | 61 |
| 5.6.1. Mise en œuvre d'une campagne de détection et de réparation des fuites . . . . .                   | 61 |
| 5.7. Améliorations de service . . . . .                                                                  | 61 |
| 5.7.1. Installation de convertisseurs de fréquence . . . . .                                             | 61 |
| 5.7.2. Installation des réservoirs de régulation . . . . .                                               | 63 |
| 5.8. Remplacement de la source d'alimentation électrique . . . . .                                       | 63 |
| 5.8.1. Sources d'énergie renouvelable . . . . .                                                          | 63 |
| 5.8.2. Production et usage de biogaz dans les usines de traitement des eaux usées . . . . .              | 65 |
| <b>Chapitre 6</b>                                                                                        |    |
| <b>Évaluation des mesures d'économie</b> . . . . .                                                       | 67 |
| 6.1. Évaluation des économies d'énergie (bilan énergétique attendu) . . . . .                            | 67 |
| 6.1.1. Analyse du taux de rendement de l'investissement . . . . .                                        | 68 |
| <b>Chapitre 7</b>                                                                                        |    |
| <b>Rapport d'audit de performance énergétique</b> . . . . .                                              | 69 |
| 7.1. Résumé d'orientation . . . . .                                                                      | 69 |
| 7.2. Description des installations évaluées . . . . .                                                    | 69 |
| 7.3. Analyse de la consommation énergétique . . . . .                                                    | 69 |
| 7.4. Recommandations de mesures d'épargne et de leurs coûts . . . . .                                    | 70 |
| <b>Chapitre 8</b>                                                                                        |    |
| <b>Maintenance : éléments essentiels</b> . . . . .                                                       | 71 |
| 8.1. Inventaire de l'équipement et des installation . . . . .                                            | 71 |
| 8.2. Activités et fréquence d'exécution . . . . .                                                        | 72 |
| 8.3. Calendrier du programme de maintenance . . . . .                                                    | 75 |
| 8.4. Équipement de surveillance suggéré . . . . .                                                        | 76 |
| <b>Chapitre 9</b>                                                                                        |    |
| <b>Élaboration du plan d'action</b> . . . . .                                                            | 77 |
| 9.1. Projets exécutifs . . . . .                                                                         | 77 |
| 9.2. Activités et chemin critique . . . . .                                                              | 78 |
| 9.3. Plan de financement . . . . .                                                                       | 81 |
| <b>Chapitre 10</b>                                                                                       |    |
| <b>Mise en application du plan d'action</b> . . . . .                                                    | 83 |
| 10.1. Supervision du plan d'action . . . . .                                                             | 83 |
| 10.2. Formation technique . . . . .                                                                      | 84 |
| <b>Chapitre 11</b>                                                                                       |    |
| <b>Suivi et évaluation</b> . . . . .                                                                     | 85 |
| <b>Liste des tableaux</b>                                                                                |    |
| Tableau 1 : Informations à collecter auprès de la compagnie d'eau et d'assainissement . . . . .          | 15 |
| Tableau 2 : Description de la campagne de mesurage . . . . .                                             | 19 |
| Tableau 3 : Calculs de la charge de pompage hydraulique totale et paramètres de mesure . . . . .         | 27 |
| Tableau 4 : Données et caractéristiques du tableur de catalogage du système électrique . . . . .         | 29 |
| Tableau 5 : Tableur de catalogage des mesures hydrauliques et électriques . . . . .                      | 30 |
| Tableau 6 : Exemple de résistance de différentes tailles de conducteurs et de chute de tension . . . . . | 32 |
| Tableau 7 : Exemple de calcul de perte d'énergie par effet Joule . . . . .                               | 32 |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 8 : Dépréciation de l'efficacité d'un rebobinage de moteur selon la température.....                                              | 36 |
| Tableau 9 : Valeur de rugosité absolue ( $\epsilon$ ) de différents matériaux .....                                                       | 43 |
| Tableau 10 : Viscosité dynamique de l'eau.....                                                                                            | 44 |
| Tableau 11 : Exemple de bilan énergétique d'un système de pompage .....                                                                   | 48 |
| Tableau 12 : Mesures recommandées pour améliorer l'état du transformateur .....                                                           | 54 |
| Tableau 13 : Actions recommandées pour corriger le déséquilibre de tension des moteurs électriques.....                                   | 56 |
| Tableau 14 : Actions recommandées pour corriger des conditions de fonctionnement inefficace du moteur électrique .....                    | 57 |
| Tableau 15 : Mesures recommandées pour régler la courbe de l'équipement de pompage par rapport aux conditions effectives de service ..... | 58 |
| Tableau 16 : Exemple de tableau de consommation d'énergie .....                                                                           | 62 |
| Tableau 17 : Exemple de récapitulatif d'économies d'énergie .....                                                                         | 68 |
| Tableau 18 : Fréquence recommandée pour les différentes activités de maintenance .....                                                    | 72 |
| Tableau 19 : Exemple de calendrier de maintenance .....                                                                                   | 75 |
| Tableau 20 : Principaux indicateurs à surveiller dans un système hydraulique.....                                                         | 85 |

## Liste des figures

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Composantes d'un programme d'efficacité énergétique.....                                                     | 2  |
| Figure 2 : Schéma d'un plan de gestion de l'efficacité énergétique réussi .....                                         | 5  |
| Figure 3 : Plan général de la méthodologie d'audit énergétique de catégorie investissement .....                        | 9  |
| Figure 4 : Consommation et pertes énergétiques type des systèmes des eaux et d'assainissement des Caraïbes.....         | 13 |
| Figure 5 : Mesure de tension de l'équipement de pompage .....                                                           | 21 |
| Figure 6 : Mesure de courant électrique.....                                                                            | 21 |
| Figure 7 : Mesure de la puissance réelle en amont de la batterie de condensateurs.....                                  | 22 |
| Figure 8 : Mesure de la puissance réelle en aval de la batterie de condensateurs .....                                  | 22 |
| Figure 9 : Position du débitmètre .....                                                                                 | 23 |
| Figure 10 : Mesures de pression avec un manomètre de type Bourdon.....                                                  | 24 |
| Figure 11 : Mesurage de la pression dans le refoulement.....                                                            | 25 |
| Figure 12 : Mesurage de la pression lorsque des manomètres d'aspiration et de refoulement sont installés .....          | 25 |
| Figure 13 : Mesure du niveau de pompe submersible.....                                                                  | 25 |
| Figure 14 : Mesure du niveau dynamique du bassin d'aspiration de pompage .....                                          | 26 |
| Figure 15 : Mesure du niveau dynamique d'un réservoir d'eau de niveau de base.....                                      | 26 |
| Figure 16 : Composantes d'un système électromoteur type dans un système de pompage.....                                 | 31 |
| Figure 17 : Flux d'énergie du moteur électrique .....                                                                   | 34 |
| Figure 18 : Efficacité type c. courbes de charge d'un moteur à induction à cage 1800 RPM .....                          | 35 |
| Figure 19 : Variation d'efficacité basée sur la différence relative à la tension originale d'un moteur électrique ..... | 36 |
| Figure 20 : Réduction de la capacité d'un moteur électrique basée sur le déséquilibre de tension.....                   | 37 |
| Figure 21 : Pertes dans les pompes centrifuges.....                                                                     | 39 |
| Figure 22 : Diagramme des efficacités, l'efficacité électromécanique .....                                              | 40 |
| Figure 23 : Nomogramme du calcul de la longueur équivalente des accessoires des conduites.....                          | 42 |
| Figure 24 : Diagramme de Moody .....                                                                                    | 43 |
| Figure 25 : Pompes centrifuges opérant en parallèle .....                                                               | 45 |
| Figure 26 : Capacité de charge des pompes centrifuges opérant en parallèle .....                                        | 45 |
| Figure 27 : Effet de plusieurs pompes en parallèle dans le système de conduction .....                                  | 46 |
| Figure 28 : Schéma des problèmes d'une pompe fonctionnant hors de son point de service .....                            | 50 |
| Figure 29 : Fonctionnement et efficacité de la pompe affectés par les variations des conditions d'exploitation.....     | 51 |
| Figure 30 : Courbes type de deux pompes aux fonctionnements H-Q différents.....                                         | 58 |
| Figure 31 : Schéma de pompe à turbine avec roue ouverte .....                                                           | 59 |
| Figure 32 : Diagramme d'un moteur à arbre creux raccordé à une pompe à turbine.....                                     | 60 |
| Figure 33 : Fonctionnement d'une éolienne pour l'extraction d'eau de la nappe phréatique .....                          | 65 |
| Figure 34 : Fiche technique pour l'équipement de pompage submersible .....                                              | 79 |
| Figure 35 : Exemple de plan d'efficacité énergétique.....                                                               | 80 |
| Figure 36 : Exemple d'un plan de financement .....                                                                      | 82 |



## PRÉSENTATION

Afin 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 et porte sur un jeu de quatre outils : un manuel d'évaluation de l'efficacité énergétique, un manuel de maintenance, une feuille de calcul et le présent document, qui est un guide pour la feuille de calcul. 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](http://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 Énergie durable et changement climatique (ECC) et de la division Eau et assainissement (WSA) 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 et Alliance to Save Energy—Arturo Pedraza et Ramón Rosas

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



## ACRONYMES ET DÉFINITIONS

Les acronymes et les définitions sont présentés ci-dessous pour établir les notions courantes pour les utilisateurs de ce manuel.

### ACRONYMES

|                    |                                                                             |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| A                  | Ampère, unité d'intensité électrique                                        |
| AWG                | American Wire Gauge units                                                   |
| BID                | Banque interaméricaine de développement                                     |
| cm                 | Centimètre, unité de longueur                                               |
| cm <sup>2</sup>    | Centimètre carré, unité d'aire                                              |
| D                  | Diamètre interne de la conduite                                             |
| D <sub>BI</sub>    | Déséquilibre d'intensité                                                    |
| D <sub>BV</sub>    | Déséquilibre de tension                                                     |
| Dr-m               | Distance au centre des manomètres                                           |
| EE                 | Efficacité énergétique                                                      |
| EPI                | Équipement de protection personnelle                                        |
| EUR                | Euro (devise monétaire de l'union européenne), unité monétaire              |
| FC                 | Facteur de charge                                                           |
| FP                 | Facteur de puissance                                                        |
| FS                 | Facteur de service                                                          |
| g                  | Accélération gravitationnelle (9.81 m/s <sup>2</sup> )                      |
| h                  | heure, unité de temps                                                       |
| hr,I               | Temps d'enregistrement, i (h)                                               |
| hp                 | Horse-power, unité de puissance                                             |
| hp <sub>nom</sub>  | Horse-power nominal, unité de puissance                                     |
| H <sub>t</sub>     | Hauteur (pression) de pompage hydraulique total                             |
| H <sub>tmb</sub>   | Produit réel de la pression hydraulique                                     |
| H <sub>tmb</sub> ' | Produit prévu de la pression hydraulique                                    |
| Hz                 | Hertz, unité dérivée de fréquence                                           |
| I <sub>a</sub>     | Intensité de la phase A                                                     |
| I <sub>avg</sub>   | Intensité moyenne dans les 3 phases                                         |
| I <sub>b</sub>     | Intensité de la phase B                                                     |
| I <sub>c</sub>     | Intensité de la phase C                                                     |
| ID                 | Numéro d'identification de la pompe                                         |
| Imae               | Investissement total pour la mise en place de propositions d'économies (\$) |
| K                  | Coefficient de perte de charge                                              |
| kg                 | Kilogramme, unité de masse                                                  |
| kg <sub>f</sub>    | Kilogramme force                                                            |
| km                 | Kilomètre, unité de longueur                                                |
| kPa                | Kilo pascal, unité de pression                                              |
| kW                 | Kilowatt, unité de puissance                                                |
| kWh                | Kilowattheure, unité d'énergie                                              |
| L                  | Longueur                                                                    |
| m                  | Mètre, unité de longueur                                                    |
| m                  | Mètre carré, unité d'aire                                                   |

|             |                                                                                                                                               |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $m^3$       | Mètre cube, unité de volume                                                                                                                   |
| $mH_2O$     | Mètre d'eau, unité de hauteur (pression)                                                                                                      |
| mm          | Millimètre, unité de longueur                                                                                                                 |
| $mm^2$      | Millimètre carré, unité d'aire                                                                                                                |
| nim         | nombre d'enregistrement durant la période de suivi                                                                                            |
| NPSH        | Différence entre la pression du liquide en au point à l'étude et sa pression de vapeur saturante (de l'anglais « Net Positive Suction Head ») |
| Nr          | Niveau de référence                                                                                                                           |
| $n_{ri}$    | Période d'amortissement (en années)                                                                                                           |
| Ns          | Niveau d'aspiration dynamique d'aspiration                                                                                                    |
| $\rho$      | Rho, unité de densité                                                                                                                         |
| P           | Pertes par effet joule (W)                                                                                                                    |
| Pa          | Puissance active (utile) (kW)                                                                                                                 |
| Pd          | Pression de refoulement                                                                                                                       |
| Pdg         | Pression manométrique de refoulement                                                                                                          |
| PeQm        | Puissance exigée avec le nouveau débit moyen                                                                                                  |
| P'eQm       | Puissance prévue avec le nouveau débit moyen                                                                                                  |
| Ph          | Pression de d'aspiration                                                                                                                      |
| Phg         | Pression manométrique d'aspiration                                                                                                            |
| Pm          | Puissance mécanique absorbée par la pompe                                                                                                     |
| Pop         | Pression optimale de service                                                                                                                  |
| Pr          | Puissance réactive (kVar)                                                                                                                     |
| Ps          | Pression d'aspiration                                                                                                                         |
| Pv          | Pression équivalente de vitesse                                                                                                               |
| PSI         | Livre par pouce carré (de l'anglais « Pound per Square Inch »), unité de pression                                                             |
| Q           | Débit d'eau                                                                                                                                   |
| R           | Résistance du conducteur ( $\Omega$ )                                                                                                         |
| Re          | Nombre de Reynolds                                                                                                                            |
| RPM         | Rotation par minute                                                                                                                           |
| S           | Puissance apparente (kVa)                                                                                                                     |
| SCADA       | Système de télésurveillance et d'acquisition de données (de l'anglais « Supervisory Control And Data Acquisition »)                           |
| Seco        | Total des économies de coût par an                                                                                                            |
| USD         | Dollars des États-Unis, unité monétaire                                                                                                       |
| v           | Vitesse                                                                                                                                       |
| V           | Volt, unité de tension                                                                                                                        |
| Van         | Tension de la phase A-N                                                                                                                       |
| Vab         | Tension de la phase A-B                                                                                                                       |
| Vavg        | Tension moyenne dans les 3 phases                                                                                                             |
| Vbn         | Tension de la phase B-N                                                                                                                       |
| Vbc         | Tension de la phase B-C                                                                                                                       |
| Vcn         | Tension de la phase C-N                                                                                                                       |
| Vca         | Tension de la phase C-A                                                                                                                       |
| $V_{DN}$    | Différence de tension originale du moteur                                                                                                     |
| $V_{PLATE}$ | Tension de conception                                                                                                                         |
| W           | Watt, unité de puissance                                                                                                                      |
| z           | Hauteur de liquide                                                                                                                            |

|                |                                                                |
|----------------|----------------------------------------------------------------|
| $\alpha$       | propriété du débit (eau $\alpha = 1$ )                         |
| $\varepsilon$  | Facteur de rugosité                                            |
| $f$            | Facteur de friction                                            |
| $\eta_b$       | Efficacité de la pompe                                         |
| $\eta_{em}$    | Efficacité électromécanique                                    |
| $\eta_m$       | Efficacité du moteur                                           |
| $\mu$          | Viscosité du fluide                                            |
| °C             | Degré Celsius, unité de température                            |
| °K             | Degré Kelvin, unité de température                             |
| $\Delta E$     | Énergie économisée durant la période de suivi                  |
| $\Delta Pa$    | Puissance électrique économisée                                |
| $\Delta Pa, I$ | Puissance électrique économisée durant l'enregistrement i (kW) |
| $\Delta Pd$    | Diminution de la pression de refoulement                       |
| \$             | dollar, unité monétaire                                        |

## DÉFINITIONS

**Bassin d'aspiration** – structure hydraulique supplémentaire du système hydraulique qui sert de plate-forme au pompage d'un fluide d'un niveau inférieur vers le niveau supérieur ; servant à l'eau potable, l'eau traitée, l'assainissement et le drainage des eaux de pluie.

**Capacité nette de refoulement** – somme de la charge statique et de la perte de charge d'une pompe refoulant un débit donné

**Charge dynamique** – poids de l'énergie cinétique par unité du fluide en mouvement.

**Débit** – volume d'eau débité en unité de temps, d'ordinaire exprimé en litres par secondes.

**Eau potable** – liquide incolore, inodore et sans goût que l'on trouve dans la nature ou produit par un processus de purification ; servant à la consommation humaine ou animale.

**Facteur de friction ( $f$ )** – facteur de friction de l'eau sur les parois de la conduite. Ce facteur est tributaire du coefficient de rugosité du matériau de construction de la conduite (le matériau interne de la conduite), du diamètre de la conduite, de la densité, de la viscosité et de la vitesse du fluide.

**Facteur de puissance (FP)** – relation entre la puissance active et la puissance apparente. Le facteur de puissance décrit la relation entre la puissance convertie en puissance réelle et utile et la puissance totale consommée.

**Fuites** – pertes d'eau d'un réseau de canalisations.

**Intensité électrique** – Intensité électrique en ampères (A) passant par un conducteur avec une résistance R dans un voltage U.

**Niveau d'aspiration** – distance verticale à partir du niveau de référence jusqu'au niveau de distribution le plus élevé lorsque le matériel de pompage est en exploitation.

**Niveau de référence** – niveau sélectionné pour référence pour toutes les mesures hydrauliques, d'ordinaire la base du support du système moteur-pompe.

**Pompe** – machine hydraulique qui convertit l'énergie mécanique en pression, transférée à l'eau.

**Puissance active** – énergie consommée par un moteur électrique qui devient une puissance utilitaire.

**Puissance apparente** – somme des puissances actives et réactives ou produit de l'intensité et du voltage.

**Puissance électrique** – puissance en watts nécessaire au moteur électrique rattaché à la pompe et en exploitation normale.

**Puissance réactive** – puissance consommée par un moteur électrique pour produire le champ magnétique nécessaire à son fonctionnement. Dans le triangle des puissances, la puissance apparente (VA) est l'hypoténuse de la puissance active (W) et de la puissance réactive (VAR). Le facteur de puissance est obtenu en divisant la puissance active par la puissance apparente ; en effectuant le cosinus de l'angle entre la puissance active et la puissance apparente.

**Source d'eau** – site alimentant en eau potable le système de distribution.

**Tension électrique** – différence de tension électrique mesurée entre deux points d'un circuit.

# Chapitre 1

## INTRODUCTION

Le principal rôle des compagnies de traitement et de distribution des eaux consiste à approvisionner les populations et à gérer la ressource au maximum de leurs capacités. L'incessante croissance urbaine a abouti à une demande et à une exploitation accrues des ressources hydriques et, conséquemment, une grande part de l'énergie produite sert à extraire et à distribuer l'eau. Dans les Caraïbes, les limites des ressources énergétiques, de l'approvisionnement en eau ainsi que la protection de l'environnement constituent des défis pour les compagnies. Leur principale tâche est d'améliorer le service d'approvisionnement à coût modéré, tout en tentant de découpler les ressources énergétiques et hydriques et en réduisant au minimum les impacts environnementaux négatifs.

Le secteur du traitement et de la distribution des eaux dans les Caraïbes exige une modernisation constante des infrastructures et des contrôles. Le but étant de promouvoir l'utilisation efficace de l'eau et de l'énergie dans les systèmes d'eau potable. Les ressources économiques de la région sont lacunaires, ce qui empêche le développement d'un plan exhaustif et intégré pour résoudre cette problématique.

Les mesures d'efficacité énergétique, lorsqu'elles sont appliquées à un plan intégré, peuvent reporter et parfois même éliminer la nécessité d'investir dans une infrastructure supplémentaire. La création d'un plan exhaustif des améliorations en efficacité énergétique des services publics des eaux est un investissement viable, car son rendement se présente sous forme d'économies de coûts d'exploitation, tout en augmentant le niveau de service et en apportant à la compagnie sa pérennité financière.

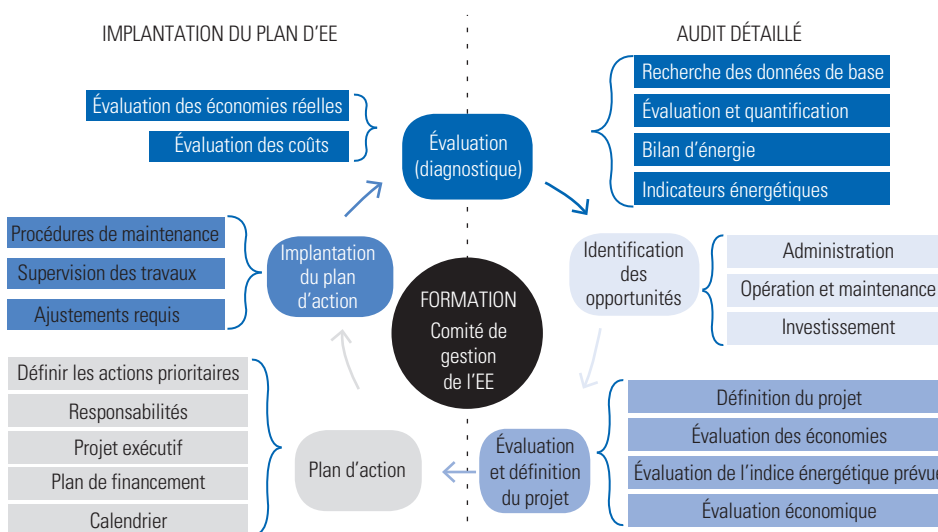
La Banque interaméricaine de développement (BID), consciente des problèmes que rencontrent les pays des Caraïbes, a lancé le projet « Efficacité énergétique pour les compagnies des eaux et d'assainissement des Caraïbes », pour appuyer chaque pays dans l'élaboration d'un plan d'efficacité énergétique dont les objectifs généraux consistent à améliorer le rendement énergétique tout en réduisant les coûts de l'énergie dans le secteur de traitement et de distribution de l'eau des Caraïbes.

Les objectifs spécifiques visant à fournir aux pays des Caraïbes une méthodologie générale, à élaborer un plan d'action pour augmenter l'efficacité énergétique pour permettre aux compagnies de services publics d'auto-évaluer leurs installations, à identifier et à évaluer les améliorations par l'utilisation des technologies et des pratiques existantes, à mettre en œuvre les projets et à suivre l'efficacité énergétique.

La réalisation d'un Programme d'EE pour un système des eaux et d'assainissement entraîne l'élaboration d'une suite d'étapes progressives pour déterminer les éléments suivants : où l'énergie sert-elle dans le système et quel est son volume, le degré d'efficacité, les mesures et les projets spécifiques nécessaires pour réduire cette consommation et ses coûts, les coûts-avantages ou rentabilité de ces actions, le plan de mise en œuvre, les méthodes d'évaluation et les résultats.

L'on peut diviser le programme d'EE en deux activités principales : un audit de l'efficacité énergétique et la mise en œuvre et la surveillance des actions visant une amélioration de l'efficacité énergétique. La Figure 1 présente les grandes lignes des composantes d'un programme d'EE.

**FIGURE 1 :** Composantes d'un programme d'efficacité énergétique



Ce processus englobe les éléments suivants :

- Obtention d'un engagement réel de la compagnie des eaux et d'assainissement, représenté par la création d'un comité de gestion de l'efficacité énergétique.
- Expertise de la performance réelle de la consommation électrique, y compris de la relation entre l'exploitation du système et son entretien.
- Détermination des possibilités de perfectionnement et d'économie, à partir de l'évaluation de la performance réelle.
- Évaluation des possibilités de perfectionnement identifiées pour définir les projets et les économies prévues.
- Conception d'un plan d'action comportant la définition des buts, la mise en place de calendriers. Les décideurs et les ressources à utiliser doivent être identifiés.
- Exécution du plan d'action, comprenant la supervision du travail défini, les procédures de mise en œuvre et de service, le déploiement de l'entretien et l'apport d'un retour d'information au cours des perfectionnements du déploiement.
- Évaluation et suivi des résultats, où il s'agit de mesurer périodiquement les progrès réalisés par le plan du processus, ainsi que les résultats ou les avantages réels obtenus, et identifier les améliorations pour poursuivre le cycle.

La mise en œuvre d'un programme d'EE est un processus d'amélioration continu qu'il convient de situer sur toute la durée de vie de la compagnie des eaux et d'assainissement, et elle doit être posée en qualité de programme permanent.

Ce document est destiné à établir la méthodologie de mise en œuvre d'un programme d'EE et à définir chacun de ses volets. En voici la structure : Le chapitre 2 établit les critères de création d'un

comité de gestion de l'efficacité énergétique, ainsi que les principes dudit comité. Le chapitre 3 présente la méthodologie pour réaliser un audit de l'efficacité énergétique et détaille l'évaluation ou l'inventaire de l'efficacité énergétique, l'identification des possibilités d'amélioration, et la définition ainsi que l'évaluation des projets d'amélioration, ce qui explique les résultats attendus. Les chapitres 4 à 7 développent les trois volets d'un audit de l'efficacité énergétique, ainsi que les principaux éléments d'un rapport d'audit. Le chapitre 8 recommande les principaux éléments des pratiques d'entretien. Le chapitre 9 couvre les conditions et les éléments constituant un plan d'action. Le chapitre 10 décrit les activités et les recommandations pour la mise en œuvre du plan d'action. Et enfin, le chapitre 11 décrit les méthodes et les techniques d'évaluation des économies une fois que le plan d'action a été mis en œuvre.



## Chapitre 2

### PRINCIPAUX ASPECTS DE LA GESTION DE L'ÉNERGIE

Pour une compagnie des eaux des Caraïbes, une gestion accomplie de l'énergie signifie l'application des principes suivants de gestion dans le domaine de l'efficacité énergétique :

1. Administration – administrer de façon efficace le programme d'EE et les projets.
2. Financement – produire des stratégies financières à court, moyen et long terme visant des mesures d'économie d'énergie ainsi qu'une rentabilité rapide de l'investissement.
3. Exploitation – rechercher en constance de meilleures façons, plus efficaces, de fournir aux populations, un service de distribution d'eau à coût modéré ; et,
4. Recettes – gérer les ressources de la vente d'eau pour améliorer l'efficacité énergétique et simultanément augmenter les profits.

L'objectif final de la gestion de l'énergie devrait être l'amélioration du bilan grâce à des efforts structurés. Il est essentiel de mobiliser les ressources humaines pour réaliser ces résultats grâce à un plan réel de suivi.

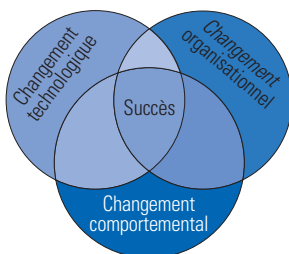
La première étape de la gestion de l'énergie sera, pour la compagnie des eaux et d'assainissement de prendre un véritable engagement quant à l'efficacité énergétique. Pour cela, tous les services de la compagnie des eaux doivent prendre part à un effort de changement de comportement. La Figure 2 indique l'interrelation des trois principaux volets d'une compagnie des eaux pour pouvoir appuyer cet engagement.

Quelle que soit la taille de la compagnie des eaux et d'assainissement, l'organisation en question doit s'engager à affecter des fonds et des effectifs suffisants pour réaliser des améliorations ininterrompues. La première étape essentielle, une fois cet engagement pris, sera de mettre en place un comité pour l'efficacité énergétique.

#### 2.1. COMITÉ POUR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Le comité pour l'efficacité énergétique devrait se composer d'un fonctionnaire supérieur, qui sera le **chef de file de l'énergie**, et d'effectifs chargés des fonctionnements. La nomination d'un chef de file de l'énergie est un élément essentiel d'un programme d'EE réussi. Ce chef de file de l'énergie, homme

**FIGURE 2 :** Schéma d'un plan de gestion de l'efficacité énergétique réussi



ou femme, fixe les objectifs, suit les progrès réalisés et fait la promotion du programme de gestion de l'énergie en établissant la performance énergétique à titre de valeur essentielle. Ce chef de file de l'énergie n'est pas nécessairement un expert en énergie, ni en systèmes techniques, mais pour bien s'acquitter de ses fonctions, il lui faut comprendre en quoi la gestion de l'énergie permettra à la compagnie des eaux et d'assainissement de réaliser ses buts et objectifs financiers et environnementaux. Selon la taille de la compagnie des eaux et d'assainissement, ces fonctions seront assurées par un poste permanent ou en sus des responsabilités existantes d'un fonctionnaire. Les obligations d'un chef de file de l'énergie englobent souvent les éléments suivants :

- Création et direction du comité pour l'énergie
- Fonctions de point de contact pour la direction supérieure
- Coordination et direction du programme énergétique dans son ensemble
- Mise en valeur de la visibilité de la gestion de l'énergie au sein de l'organisation
- Rédaction d'un projet de politique énergétique
- Évaluation de la valeur potentielle d'une gestion améliorée de l'énergie
- Obtention de ressources suffisantes pour mettre en œuvre la gestion de l'énergie stratégique
- Responsabilisation et engagement garantis des unités essentielles de l'organisation
- Identification des possibilités d'amélioration et mise en œuvre garantie (y compris la formation des effectifs)
- Mesure, suivi, évaluation et communication des résultats
- Constatation officielle des résultats

Si le chef de file de l'énergie ne relève pas directement d'un cadre supérieur, il est souvent utile qu'un cadre de la direction supérieure fasse office d'« allié au sein de la direction supérieure ». La participation de la direction supérieure est cruciale pour assurer la réussite des programmes. Avoir un allié permet d'avoir un lien direct avec la direction supérieure et d'officialiser l'engagement dans le sens d'une amélioration ininterrompue.

En plus de la planification et de la mise en œuvre d'améliorations spécifiques, **les effectifs du comité pour l'énergie** mesurent et font le suivi de la performance énergétique et communiquent les mises à jour à la direction, aux employés et aux autres parties intéressées. La taille du comité pour l'énergie dépend de la taille de la compagnie d'eau et d'assainissement. En plus du défenseur de l'énergie et du personnel qui lui est rattaché, il peut être utile d'inclure un représentant de chaque domaine d'exploitation ayant une incidence importante sur l'utilisation de l'énergie, par exemple l'ingénierie, les achats, les fonctionnements et l'entretien, la direction des installations et bâtiments, la santé et la sécurité environnementales, les services de propriété foncière et de crédit-bail de la société, la direction des chantiers, les entrepreneurs de travaux et les fournisseurs, ainsi que les services publics et informatiques.

## 2.2 POLITIQUE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

La deuxième étape importante pour la gestion de l'énergie consiste à établir un programme d'EE par le biais du comité pour l'énergie. Une politique d'efficacité énergétique constitue le fondement d'une gestion véritable de l'énergie. Elle officialise l'appui de la direction supérieure et explique au personnel, aux actionnaires, à la communauté et aux autres parties intéressées l'engagement de la compagnie en faveur de l'efficacité énergétique.

Un programme d'EE aboutie doit remplir les lignes directrices suivantes :

- Déclaration d'objectif – présenter un objectif clair, mesurable, reflétant l'engagement, la culture et les priorités de l'organisation.
- Affirmation de la responsabilisation – établir une filière de commandement, définir les rôles au sein de l'organisation, et donner l'autorité aux effectifs pour mettre en œuvre le plan de gestion de l'énergie.
- Garantie de la continuité des améliorations – inclure des dispositions concernant l'évaluation et la mise à jour de la politique pour refléter la mouvance des besoins et des priorités, et
- Promotion des buts – donner un contexte à la définition des buts de performance en reliant les buts énergétiques aux buts financiers et environnementaux d'ensemble de l'organisation.

Il est important d'inclure les effectifs essentiels au développement de la politique pour s'assurer de leur véritable participation. La politique devrait correspondre à la culture de l'organisation et que les employés et le grand public puissent la comprendre. De plus, un programme d'EE réussi doit tenir compte des compétences et des capacités de la direction et des employés, et inclure des détails portant sur les activités quotidiennes. Le dirigeant de la compagnie d'eau et d'assainissement devrait diffuser officiellement cette politique et encourager tout le personnel à y prendre part.

### 2.3. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE

Les organisations doivent comprendre l'utilisation présente et passée de l'énergie pour identifier les opportunités d'amélioration de la performance énergétique et dégager des avantages financiers. L'évaluation de la performance est le processus périodique consistant à évaluer l'utilisation de l'énergie de tous les principaux établissements et fonctions de l'organisation. Ce processus établit également une référence afin de mesurer les résultats futurs des efforts d'efficacité. L'évaluation de la performance énergétique permet ce qui suit :

- Classer par catégories l'utilisation actuelle de l'énergie, par type de combustible, division d'exploitation, établissement, ligne de produit, etc.
- Identifier et reproduire les installations possédant des pratiques de haute performance
- Établir les priorités de l'assistance à apporter aux installations ayant une faible performance
- Comprendre la contribution des dépenses énergétiques aux coûts d'exploitation
- Développer une perspective historique et un contexte pour les actions et décisions futures
- Établir des points de référence pour mesurer et récompenser les bonnes performances

### 2.4. ÉTABLISSEMENT DES BUTS

Les buts de performance pilotent les activités de gestion de l'énergie et encouragent des améliorations continues. L'établissement de buts clairs et mesurables est essentiel pour comprendre les résultats voulus, pour développer des stratégies efficaces et dégager des profits financiers. Des buts clairement présentés orientent la prise de décisions quotidiennes et forment la base du suivi et de la mesure des progrès. Des buts communiqués et affichés peuvent motiver le personnel à appuyer les efforts de gestion de l'énergie dans toute l'organisation. Des buts établis permettent au défenseur de l'énergie de :

- Donner le ton d'une amélioration dans toute l'organisation
- Mesurer le succès du programme de gestion de l'énergie
- Aider le comité pour l'énergie à identifier les progrès et les revers à l'échelon de l'installation
- Encourager l'appropriation de la gestion de l'énergie, produire un sentiment de but afin de motiver le personnel

- Démontrer l'engagement visant à réduire les impacts environnementaux
- Créer des calendriers des activités de modernisation et identifier les jalons importants

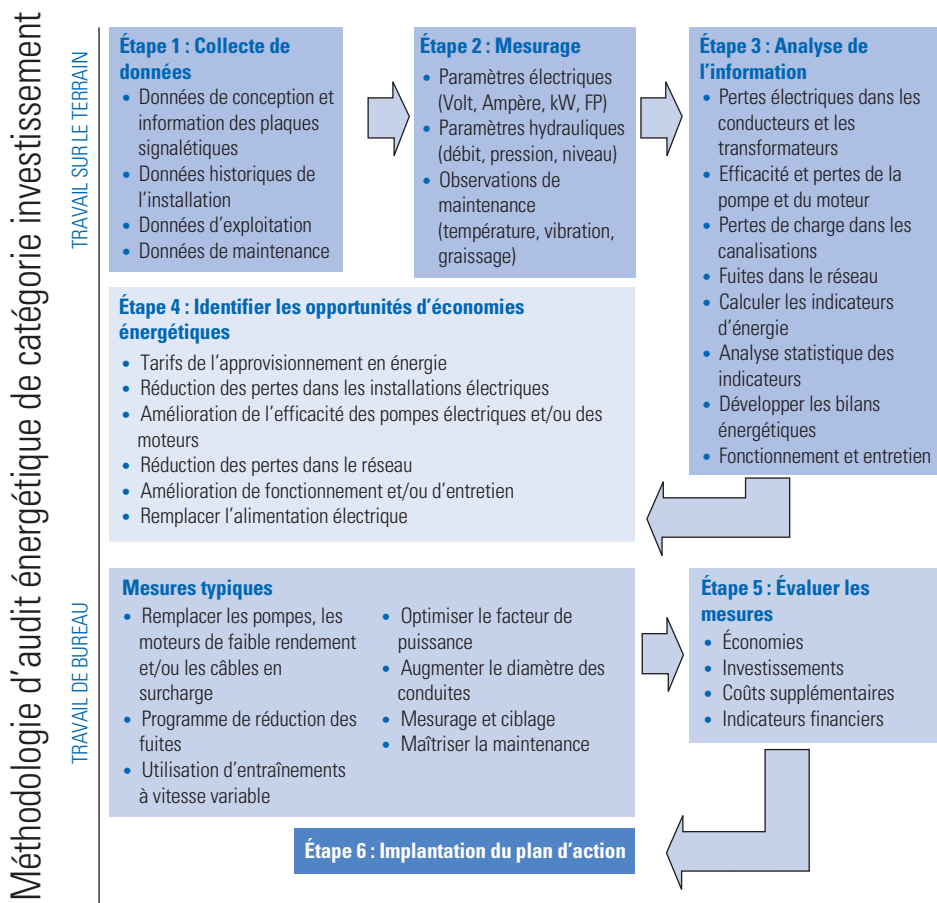
En établissant les buts, il est important d'utiliser la vaste gamme de connaissances du comité pour pouvoir fixer des buts réalistes mais pugnaces. La direction supérieure devrait passer en revue ces buts pour produire des informations en retour et leur accorder son appui.

## Chapitre 3

### MÉTHODOLOGIE D'UN AUDIT ÉNERGÉTIQUE DÉTAILLÉ

L'audit énergétique détaillé d'un système d'eau et d'assainissement consiste à mettre en œuvre un jeu de techniques pour déterminer la façon dont l'énergie est administrée et pour évaluer l'efficacité de chaque élément consommateur d'énergie des installations d'eau et d'assainissement. Un audit énergétique détaillé se compose d'une analyse critique de tous les éléments d'une installation consommatrice d'énergie pour déterminer où et comment l'énergie est utilisée et préciser la quantité d'énergie gaspillée. Le but final est d'identifier les mesures techniques et administratives rentables permettant des économies d'énergie des installations, dans le cadre de l'élaboration d'un plan exhaustif d'efficacité énergétique. Pour réaliser un audit énergétique détaillé, des activités réalisées en ordre logique donnent d'ordinaire de meilleurs résultats. L'ordonnancement recommandé exige des activités sur le terrain et au niveau de l'administration. La Figure 3 récapitule les principales activités nécessaires à la

**FIGURE 3 :** Plan général de la méthodologie d'audit énergétique de catégorie investissement



réalisation d'un audit énergétique détaillé dans une compagnie des eaux de la région des Caraïbes. La méthodologie devrait fonctionner en deux étapes, tout d'abord sur le terrain et ensuite dans les bureaux.

### 1<sup>ère</sup> étape – Collecte des données

La collecte des données établit les conditions de service générales d'une compagnie d'eau et d'assainissement et permet de déterminer les opportunités les plus efficaces d'économie de l'énergie. La collecte de données devrait être réalisée de deux façons :

**a) Évaluations préalables** – passer en revue les rapports préalables existants de la compagnie d'eau et d'assainissement, dans les domaines suivants : administration juridique, législative, sociale, politique et économique ayant trait à l'eau et à l'énergie. Examiner les audits ou les évaluations précédents pour déterminer quels systèmes et quels équipements pourraient tirer parti d'un audit énergétique détaillé.

**b) Données requises pour un audit énergétique détaillé** – recueillir les données de base des systèmes, moteurs, pompes, conduites, réservoirs, plans électriques et hydrauliques, conditions des fonctionnements, population et topographie.

### 2<sup>e</sup> étape – Mesures sur le terrain

**a) Planification des mesures sur le terrain** – à partir des informations obtenues à la première étape, dresser une liste des procédés selon leur volume de consommation énergétique. Une stratégie des mesures sur le terrain portant sur la consommation énergétique des procédés les plus consommateurs d'énergie devrait être développée.

**b) Mesures sur le terrain** – les mesures sur le terrain doivent se concentrer sur les paramètres électriques et hydrauliques permettant le calcul d'un bilan énergétique pour déterminer où se situent les principales pertes énergétiques. À partir de ces informations, déterminer les éléments et les équipements assortis de leurs potentiels en économie d'énergie et produire des propositions concernant ces mesures connexes d'économie d'énergie. Enregistrer également les relevés thermiques, les survibrations, la lubrification des éléments mécaniques, les fuites des vannes et l'état des principales conduites d'évacuation et des installations électriques, afin de définir les mesures d'entretien dans le plan d'action.

### 3<sup>e</sup> étape – Analyse des informations

Pour identifier les éléments comportant le plus fort taux de pertes ou de faible efficacité, les données recueillies sur le terrain doivent être analysées en se fondant sur :

- Le calcul des pertes énergétiques des conducteurs et des transformateurs électriques, efficacité électrique et efficacité de pompage ; perte de charge des canalisations ; pourcentage de fuites dans le réseau de distribution d'eau ; et autres indicateurs énergétiques
- Analyse des indicateurs statistiques, opérations et pratiques d'entretien
- Élaboration des bilans énergétiques

### 4<sup>e</sup> étape – Opportunités d'économie d'énergie

Après avoir déterminé quels sont les éléments les plus consommateurs d'énergie, des mesures d'économie d'énergie peuvent être mises en œuvre grâce aux mesures ci-dessous :

- Changer les barèmes d’approvisionnement énergétique en se fondant sur une analyse antérieure
- Réduire les pertes des installations électriques
- Améliorer l’efficacité des moteurs et pompes électriques, des fonctionnements des systèmes d’eau, ainsi que les pratiques d’entretien, ou remplacer l’alimentation électrique
- Réduire les pertes dans le réseau
- Programme de réduction des fuites
- Modernisation technologique
- Incorporation d’énergies renouvelables

### **5<sup>e</sup> étape – Évaluation des mesures d’économie d’énergie**

L’évaluation des mesures d’économie d’énergie englobe :

- Le calcul des économies directes et indirectes d’énergie et de coûts et le total des investissements nécessaires à leur mise en œuvre
- L’estimation des coûts supplémentaires (matériels d’exploitation, d’entretien et d’équipements, par exemple lubrifiants et joints)
- La détermination des indicateurs financiers (recouvrement, valeur actualisée nette et analyse du cycle de vie du projet)

### **6<sup>e</sup> étape – Mise en œuvre du plan d’action**

Les chapitres ci-dessous développent la base théorique, les procédures et les activités spécifiques permettant à la compagnie des eaux et d’assainissement d’exécuter son audit énergétique détaillé des systèmes de pompage.



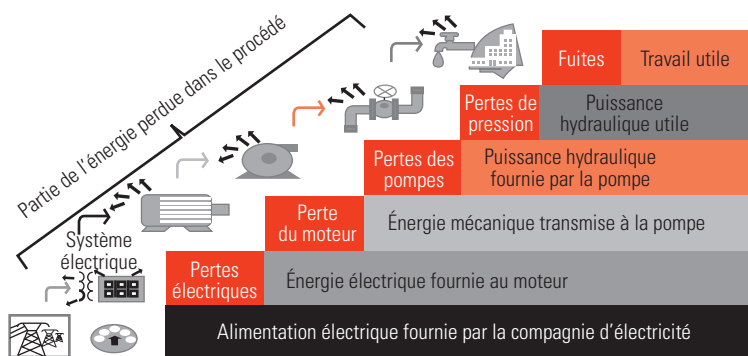
## Chapitre 4

### ÉVALUATION (DIAGNOSTIC DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE)

En ce qui concerne les systèmes des eaux et d'assainissement des Caraïbes, la Figure 4 illustre les principaux éléments de l'approvisionnement et de la transformation de l'énergie par les procédés de production d'eau. La figure présente en détail la chaîne d'équipement à partir du fournisseur d'électricité, puis la consommation et les pertes connexes d'énergie dans le transformateur et le système de contrôle électrique. L'énergie qui provient du distributeur est transférée au moteur, qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. Cette dernière sert à faire tourner l'impulseur de la pompe. L'énergie devient une pression d'eau. L'eau est distribuée dans le réseau grâce à cette pression. Il y a des pertes énergétiques au niveau des fuites et des pertes de charge dans le réseau, mais aussi au niveau de la pompe, du moteur et du système électrique lui-même.

Les sections ci-dessous décrivent les procédures nécessaires pour effectuer l'évaluation de la consommation et des pertes d'énergie, décrite à la Figure 4.

**FIGURE 4 :** Consommation et pertes énergétiques type des systèmes des eaux et d'assainissement des Caraïbes



#### 4.1. COLLECTE DES DONNÉES

Avant de réaliser un audit énergétique des systèmes de pompage, il est essentiel d'étudier la situation générale et la mission de la compagnie d'eau et d'assainissement, y compris la situation hydrique et énergétique du pays où la compagnie est basée, ainsi que les principales politiques du secteur des eaux et d'assainissement, ainsi que tous les autres aspects pertinents permettant de comprendre les difficultés auxquelles la compagnie d'eau et d'assainissement pourrait faire face. L'application de cette méthodologie peut permettre de situer des opportunités d'économies potentielles, qui devraient être brièvement analysées à cette étape. Il est également essentiel de collecter des données sur les antécédents de la compagnie d'eau et d'assainissement, dans le secteur de l'eau et de l'énergie.

##### 4.1.1. Secteur de l'eau et de l'énergie : Contexte national

L'enquêteur doit comprendre la position de la compagnie d'eau et d'assainissement dans le secteur de l'eau et de l'énergie du pays. Pour cela, il est important d'identifier les lois, les réglementations,

les statistiques nationales et le rôle que joue la compagnie dans ce secteur. Il faut donc recueillir les données suivantes :

- Données démographiques générales
- Situation énergétique actuelle, sources d'énergie et consommation énergétique par secteur
- Barème énergétique
- Problèmes particuliers d'énergie
- Types de compagnies des eaux (publiques, privées, etc.)
- Contexte juridique de l'eau
- Principales sources et sources disponibles d'eau
- Statistiques sur la demande en eau et la couverture des systèmes d'eau potable et des égouts
- Problèmes : approvisionnement en eau, y compris les caractéristiques topographiques et la distance à laquelle se trouvent les sources d'eau
- Cadre légal et institutionnel de l'efficacité énergétique

#### ***4.1.2. Situation générale de la compagnie d'eau et d'assainissement***

La recherche initiale de la compagnie d'eau et d'assainissement exige, en particulier, de passer en revue la taille du service public de l'eau, son mode d'exploitation, la technologie utilisée et les éléments spécifiques de l'eau et de l'assainissement couverts par la compagnie. Les informations ci-dessous devraient être recueillies :

- Infrastructure générale, nombre et type d'installations
- Impact du secteur de l'eau sur la consommation énergétique nationale
- Installations dont la consommation énergétique est la plus élevée et leur impact sur les coûts totaux
- Autres aspects pertinents, par exemple le niveau des pertes en eau et la structure de gestion de l'énergie

En raison de l'importance de ces données pour l'évaluation de la consommation énergétique, ces analyses permettent une meilleure planification au départ des systèmes de pompage à évaluer dans un audit énergétique détaillé, notamment les systèmes de pompage présentant un potentiel d'économie d'énergie. À la suite des analyses, les données de base concernant chaque système de pompage doivent être collectées pour réaliser l'audit énergétique détaillé.

#### ***4.1.3. Données de base***

Il est impossible de réaliser un audit énergétique sans collecter les données de base. Le Tableau 1 illustre les données nécessaires ainsi que les sources d'information sollicitées pour les collecter, ainsi que quelques observations d'ordre général.

Les informations devraient être aussi récentes que possible et de préférence sous format informatique. Vérifier le niveau de fiabilité des données et réaliser des visites sur le terrain pour recueillir et confirmer les données. Il est également recommandé d'avoir recours à des bases de données alternatives, par exemple l'Internet et « Google Earth ». Et enfin, faire des recherches sur les informations venant d'organismes nationaux, des états et des municipalités. Chaque élément d'équipement doit être évalué ; au cas où la compagnie d'eau et d'assainissement ne peut fournir toutes les informations nécessaires, elles devront être recueillies sur le terrain. Les données fondamentales qui doivent

**TABEAU 1 :** Informations à collecter auprès de la compagnie d'eau et d'assainissement

| Secteur de la compagnie d'eau et d'assainissement | Source d'information                                              | Informations nécessaires                              | Observations                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Généralités                                       | Base de données Clients de la compagnie d'eau et d'assainissement | Nombre de prises de service d'eau                     | Classement par type d'utilisation et avec/sans compteur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                   | Couverture et viabilité du service d'eau                          | Réseau de distribution d'eau et couverture d'ensemble | Pourcentage du pays et des populations desservies, zones de croissance prévue                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                   | Registres de l'État                                               | Statistiques démographiques                           | Trois derniers recensements nationaux                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Technique                                         | Production d'eau                                                  | Volumes fournis par le système                        | Récapitulatif mensuel au minimum d'une année antérieure ; mesure en mètres cubes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                   |                                                                   | Débit produit des sources d'eau                       | Moyenne annuelle, maximum journalier, maximums été et hiver en conditions météo extrêmes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                   |                                                                   | Caractéristiques des macromètres                      | Type, modèle, date d'installation et de calibrage, diamètre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                                   | Registres d'ingénierie                                            | Cartes du réseau de distribution d'eau                | Cartes complètes, géoréférencées, avec diamètres, matériaux, rugosité et longueurs des conduites ; dimensions topographiques des estimations ; types et emplacement des puits, des stations de pompage, des réservoirs et des soupapes                                                                                                                                                                           |
|                                                   |                                                                   | Plans en coupe verticale des conduites                | Avec indications du changement de diamètre et d'équipement ; emplacements des soupapes pneumatiques et de sortie                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                   |                                                                   | Projets d'investissement antérieurs                   | Données, schémas et mesures supplémentaires à obtenir                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Informations de facturation                       | ayant trait à l'énergie                                           | Données générales sur l'alimentation électrique       | Nom de la compagnie d'électricité, tension en volts, débit électrique par durée de pompage, facturation mensuelle, demande maximum (kW), consommation (kWh/mois), facteur de puissance, antécédents (année)                                                                                                                                                                                                      |
|                                                   | Plans, inventaire des équipements et déplacement sur le terrain   | Infrastructure électromécanique                       | Schéma unifilaire (calibre, protections, transformateurs, moteurs, condensateurs et générateurs) ; prise électrique (type, déconnexion, fusible) ; sous-station électrique (type, nombre de transformateurs, système de mise à la terre) ; transformateurs (identification, type, capacité originale de kVa, âge et relation de transformation) ; condensateur, batterie, type d'élément) ; équipement de mesure |
|                                                   |                                                                   | Statistiques du système de moteur électrique          | Démarrreur (type de capacité électrique) ; conducteurs électriques (nombre de fils, longueur, taille, matériau, type d'isolant) ; moteur électrique (marque, type, puissance calculée, tension, tension d'alimentation, intensité nominale, nombre de poteaux, débit en pleine charge, facteur de service, efficacité originale, vieillissement, nombre de rebobinages, température de service en °C             |
|                                                   |                                                                   | Statistiques du matériel de pompage hydraulique       | Pompes (identification, marque, type, modèle, matériau de carcasse, matériau de la broche, débit prévu, chute brute, efficacité et puissance calculées) ; aspiration (niveau dynamique en aquifère et en aquitard) ; caractéristiques de la conduite de décharge ; historique dynamique des niveaux par an                                                                                                       |

(suite à la page suivante)

**TABLEAU 1 : Informations à collecter auprès de la compagnie d'eau et d'assainissement (suite)**

| Secteur de la compagnie d'eau et d'assainissement | Source d'information | Informations nécessaires         | Observations                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Institutionnel                                    | Rapports exécutifs   | Indicateurs de gestion           | Indicateur d'efficacité physique, hydraulique et énergétique ; développements historiques en un an ; impacts ; avantages et coûts |
|                                                   |                      | Faisabilités et plans directeurs | Programmes prévus, investissements à court et à long terme, efficacité du développement et buts annuels                           |
|                                                   |                      | Organigramme de l'institution    | Décrire les fonctions, les services et les relations avec les autres secteurs                                                     |
|                                                   |                      | Programmes interinstitutionnels  | Programmes institutionnels de l'État et des localités                                                                             |

être obtenues ou confirmées sur le terrain concernant le système électrique, le moteur électrique et la pompe (cf. à l'annexe les formulaires et procédures détaillées de cette activité).

### Données du système électrique

Les données ci-dessous concernant le système électrique doivent être collectées :

**Schéma électrique** – Indiquer les grandes lignes des connexions unifilaires de l'équipement électrique, d'arrivée de l'énergie, du câblage, du transformateur, du commutateur principal et du démarreur, selon le cas.

**Alimentation électrique** – Saisir les informations suivantes relatives au fournisseur de service électrique et le contrat passé avec cette compagnie :

- Nom de la compagnie d'électricité
- Numéro de contrat figurant sur le récépissé ou la facture d'électricité pour le système de pompage
- La légende ou le nom du barème du contrat
- La tension de l'alimentation électrique

**Transformateur** – Remplir les informations suivantes concernant le transformateur :

- Type de transformateur qui alimente l'équipement électrique
- Puissance de tous les transformateurs d'alimentation (kVa)
- Tension d'arrivée et de sortie du transformateur (V)
- Si le transformateur a plus d'une tension de sortie, indiquer la tension réelle (celle à laquelle le transformateur fonctionne actuellement)

**Commutateur Principal** – Remplir les données suivantes relatives au commutateur principal qui est la source d'énergie venant du transformateur ou l'alimentation principale :

- Marque ou fabricant du commutateur
- Intensité nominale du commutateur (A)
- Si le commutateur est réglable, indiquer l'intensité nominale sur laquelle il est réglé (A).

**Démarreur** – Si le moteur a un démarreur, saisir les informations suivantes :

- Type de démarreur
- Puissance du démarreur (hp)

**Protection** – Saisir les informations concernant les données de protection du moteur contre les surcharges :

- Fabricant de l'élément thermomagnétique de protection du moteur.
- Intensité de l'élément thermomagnétique de protection du moteur (A).
- Point de réglage de l'élément thermomagnétique (A).

**Condensateur** – Si l'équipement a une batterie de condensateurs, noter la puissance totale de la batterie, en kVar. Identifier également le type de condensateurs et la méthode d'installation (par ex. : condensateurs pour équipement unique ou condensateurs pour un groupe d'équipements).

**Système de mise à la terre** – Vérifier qu'il y a un système de mise à la terre et qu'il est intégralement séparé du système neutre. Décrire le calibre du câble connecté à la terre.

**Conducteurs** – Collecter les données suivantes sur les conducteurs concernant la taille et la longueur des conducteurs en deux dérivations, la première allant de l'arrivée de service, soit un transformateur ou un approvisionnement direct, au démarreur ou au commutateur principal ; la seconde, va du démarreur ou du commutateur principal au moteur. Dans un cas comme dans l'autre, collecter les informations suivantes :

- Calibre du conducteur électrique (mm<sup>2</sup>) ou (AWG) (inscrire les données imprimées sur le revêtement du câble)
- Longueur totale des conducteurs pour le parcours décrit
- Description de la façon dont les conducteurs sont groupés.

### ***Données du moteur électrique***

Obtenir les données suivantes pour le moteur électrique et l'historique d'entretien :

**Données de la plaque signalétique** – obtenir les informations suivantes provenant de la plaque signalétique du moteur (si la plaque est illisible ou hors d'accès, se référer à la commande ou au document indiquant les caractéristiques du moteur)

- Marque du moteur
- Puissance nominale du moteur (hp)
- Vitesse de rotation du moteur (RPM)
- Tension nominale du moteur (V)
- Intensité du moteur (A)
- Rendement nominal du moteur (fabricant ou nouveau moteur) en pourcentage ( – )
- Type du moteur
- Type ou numéro de la carcasse du moteur
- Facteur de service (FS), qui mesure le rapport de surcharge qu'un moteur peut accepter sans dommages. Si le facteur de service ne se trouve pas sur la plaque, le FS est égal à (1) ; un facteur supérieur à 1 indique que le moteur peut résister à une surcharge supérieure.

**Historique** – les informations suivantes sont exigées sur l'historique d'entretien du moteur :

- Âge ou nombre d'années pendant lesquelles le moteur a été utilisé depuis son installation initiale
- Moyenne des heures de fonctionnement du moteur par an (h/an)
- Nombre total de rebobinages du moteur depuis son installation initiale

### ***Données nominales pour la pompe***

Les données ci-dessous sur la pompe sont également exigées (si les données provenant du terrain ne sont pas disponibles, ou si la plaque n'est pas lisible, se référer aux documents fournis avec la pompe au moment de son achat) :

**Bâti** – les données suivantes concernant le corps de la pompe sont nécessaires :

- Fabricant de la pompe
- Type de pompe, par exemple, submersible, à turbine verticale, horizontale ou centrifuge
- Modèle de la pompe, selon le fabricant
- Âge ou nombre d'années pendant lesquelles l'équipement fonctionne depuis son installation

**Roue (impulseur)** – les données suivantes doivent être obtenues concernant la roue (ou impulseur) de la pompe :

- Type de pompe motrice
- Matériau de la roue (impulseur)
- Diamètre nominal de la roue (impulseur) (mm)
- Âge ou nombre d'années depuis lequel la roue (impulseur) fonctionne (si elle a été remplacée pendant la durée de vie de la pompe, son âge peut être différent de celui de la pompe)

**Arbre** – indiquer les données relatives au diamètre et à la longueur de l'arbre de transmission entre le moteur et la pompe.

**Données de fabrication** – indiquer le modèle selon le fabricant et le fonctionnement optimal de la courbe caractéristique de la pompe. Collecter également au minimum la pression nominale et la capacité de débit.

**Caractéristiques du fluide** – obtenir les caractéristiques suivantes du fluide pompé, qui varient selon qu'il s'agit d'eau potable ou d'eau d'égout :

- Type de fluide (par ex. eau potable, eau non traitée ou eaux d'égout)
- Température de service du fluide (°C)
- Densité du fluide pompé (kg/m<sup>3</sup>)

Ces données de base doivent être collectées en même temps que le mesurage des paramètres clés. Ces derniers sont décrits au chapitre suivant (cf. annexe pour le gabarit de la saisie des données).

## **4.2. MESURAGE SUR LE TERRAIN**

Lorsque les données de base ont été collectées, planifier et réaliser la mesure des paramètres électriques et hydrauliques exigés pour l'audit des composantes électromécaniques des systèmes de

**TABLEAU 2 : Description de la campagne de mesurage**

| Campagne de mesure                                   | Activité                                             | Objectif                                                  | Équipements et outils nécessaires                                                                    |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mesures électromécaniques de l'équipement de pompage | Mesure des paramètres électriques                    | Déterminer la manœuvre motorisée et calculer l'efficacité | Analyseur des réseaux d'alimentation électrique ou matériel de mesure (voltmètre, ampèremètre, etc.) |
|                                                      | Mesure du débit de la pompe de refoulement           | Déterminer le débit du matériel d'opération               | Débitmètre ultrasonique ou électromagnétique                                                         |
|                                                      | Mesure de la pression de refoulement ou d'aspiration | Obtenir les charges du matériel d'opération               | Manomètre portable de Bourdon                                                                        |
|                                                      | Définition des données de base des pompes            | Obtenir la charge et les pertes de charge hydraulique     | Sonde électrique, mètre                                                                              |

pompage. Les rendements électromécaniques de l'ensemble moteur-pompe et des courbes de fonctionnement de l'équipement de pompage sont déterminés à partir des mesures sur le terrain. La campagne de mesure se divise en activités hydrauliques et travail électromécanique des systèmes de pompage (voir Tableau 2 : Description de la campagne de mesurage).

Pour que les mesures soient aussi exactes que possible, obtenir des valeurs d'efficacité précises. Les experts-géomètres doivent s'assurer que *les dispositifs de mesure sont calibrés et fonctionnent bien et que le système mesuré* est stable. La section ci-dessous comprend les détails et les recommandations, importants, pour prendre les mesures les plus exactes et éviter de perdre du temps pour effectuer de nouveaux calculs (cf. à l'annexe les gabarits et les procédures détaillées de cette activité).

#### 4.2.1. Mesures électriques

Toutes les mesures devraient être relevées par des effectifs formés, dans des conditions de service normales (pas au démarrage de la pompe). Pour éviter les dangers potentiels, suivre les procédures de sécurité interne et les directives et les pratiques d'installation ci-dessous.<sup>1</sup>

##### Directives d'installation :

- Évaluer l'environnement avant de relever les mesures.
- Ne pas travailler seul dans les zones dangereuses.
- Port de l'équipement de protection individuel (EPI) recommandé par le personnel de santé et de sécurité local.
- S'assurer que l'instrument de mesure est étalonné pour l'environnement mesuré.
- Connaître l'équipement et savoir comment s'en servir avant de relever des mesures difficiles.

##### Pratiques :

- Mesurer au point de tension le plus faible possible. Par exemple, en mesurant la tension sur un tableau de disjoncteurs, identifier le disjoncteur de puissance nominale la plus faible et y relever la mesure.
- Garder les yeux sur la zone sondée et garder les deux mains libres lorsque les conditions l'exigent.
- En monophasé, raccorder le neutre d'abord et le sous tension en second. Après avoir effectué le relevé, déconnecter la prise sous tension d'abord et la prise à la terre en second.

<sup>1</sup> [www.fluke.com/library](http://www.fluke.com/library)

- Pour mesurer la tension, utiliser la méthode en trois points ci-dessous pour vérifier que votre instrument de mesure fonctionne bien, ce qui est important pour votre sécurité personnelle :
  1. Mesurer un circuit sous tension analogue d'abord.
  2. Mesurer le « circuit à mesurer ».
  3. Remesurer le premier circuit sous tension connu.
- En relevant des mesures sur ou à proximité de tableaux de distribution triphasés à haute énergie, utiliser des sondes de mesure avec un volume minimum de métal exposé, par ex. des sondes à pointe métallique de 4mm. Cela réduit le risque d'un éclair d'arc des pointes de la sonde.
- Si possible, mesurer d'une main pour réduire la possibilité de production d'un circuit fermé entre vos deux mains. NE toucher AUCUNE structure mise à la terre en relevant des mesures sur les phases excitées.

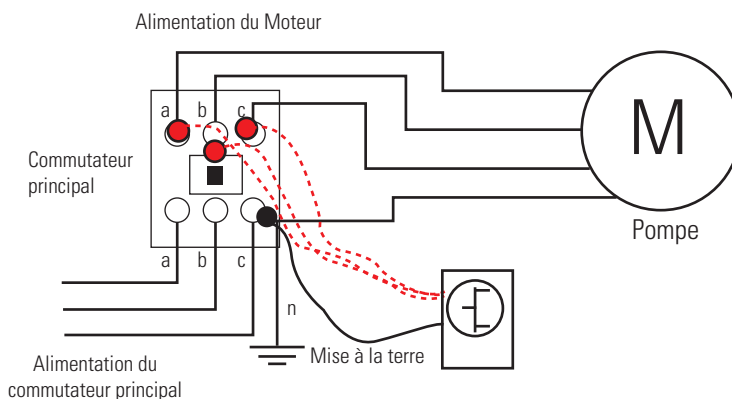
Les paramètres de mesure électrique sont la tension, l'intensité électrique, le facteur de puissance (FP), la puissance active ou réelle, et la puissance réactive. Pour relever ces mesures, utiliser les équipements appropriés : voltmètre, ampèremètre, wattmètre ou multimètre. Pour simplifier le processus, utiliser un analyseur de réseau électrique, qui peut mesurer les paramètres en phases et mettre les données en mémoire. Il peut ensuite intégrer ces mesures directement pour des valeurs triphasées, pour déterminer les tendances et, dans la plupart des cas, d'autres mesures de paramètres électriques, la distorsion harmonique.

#### 4.2.1.1. Tension

Pour mesurer la tension électrique des équipements de pompage, se servir d'un voltmètre. Se reporter à Figure 5 et procéder comme suit :

1. Relever la mesure au niveau des câbles d'arrivée du commutateur principal du moteur-pompe.
2. Placer le câble rouge du vérificateur sur la pointe de la sortie du commutateur sur la ligne « a ».
3. Placer le câble noir du vérificateur sur la pointe du neutre « n ».
4. Enregistrer le relevé de la tension de la phase « a »
5. Répéter, en mettant le câble rouge du vérificateur sur les pointes de sortie « b » et « c » du commutateur (le noir étant raccordé à la terre, neutre) et enregistrer les relevés respectifs de tension ( $V_{bn}$ ) de la phase « b », et la tension ( $V_{cn}$ ) de la phase « c ».

**FIGURE 5 :** Mesure de tension de l'équipement de pompage



6. En mesurant la tension entre les phases, répéter la procédure ci-dessus en plaçant le câble rouge du voltmètre sur le commutateur de sortie en « a » et le câble noir à l'extrémité « b » ; puis entre « a » et « c » ; et enfin, entre « b » et « c ».
7. La valeur de la tension triphasée (V) peut être calculée avec la moyenne de ces trois valeurs. Prendre trois relevés de chaque câble pour confirmer les données. Définir la variabilité réaliste des valeurs minimum et maximum acceptables.

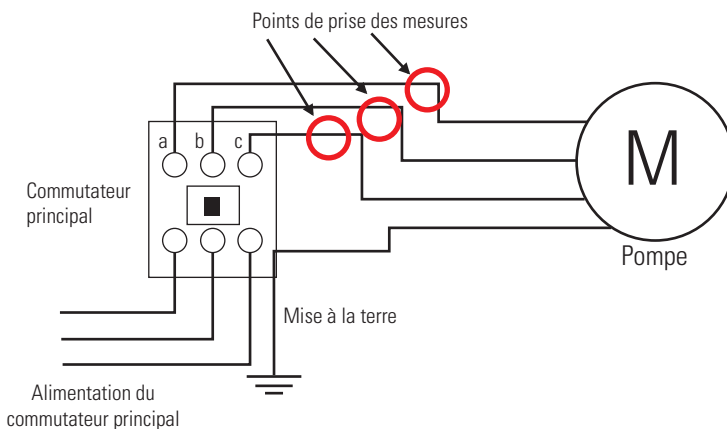
#### 4.2.1.2. Mesures d'intensité électrique

Mesurer l'intensité électrique à l'aide d'un ampèremètre. Se reporter à la Figure 6 et procéder comme suit :

À l'aide de l'ampèremètre, effectuer des relevés de l'intensité électrique monophasée, un par un, en plaçant l'ampèremètre sur chacun des trois câbles sortant du commutateur principal ou du démarreur et d'arrivée au moteur. Les relevés de chaque câble seront les phases de débit Ia, Ib et Ic et l'intensité électrique totale triphasée est calculée à l'aide de ces trois valeurs. Prendre trois relevés de chaque câble pour confirmer les données.

Si un analyseur de réseau électrique est disponible, effectuer les relevés d'intensité électrique individuellement, mais placer les trois ampèremètres simultanément sur chacun des câbles en sortie du commutateur (entrée au moteur). Les intensités électriques de chaque relevé de câble sont obtenues directement par l'analyseur en ligne.

**FIGURE 6 :** Mesure de courant électrique



#### 4.2.1.3. Mesure du facteur de puissance et calcul de l'énergie électrique

Pour mesurer le FP, suivre les mêmes procédures que celles de la mesure de l'intensité ou de la tension, en suivant un processus analogue à la mesure de la résistance des réseaux électriques. Cette méthode est utile, car il n'y a parfois pas de wattmètre à disposition. Ainsi, la valeur du FP est obtenue en se servant uniquement du wattmètre ou du voltmètre, et en appliquant des formules mathématiques (loi des sinus et des cosinus).

#### 4.2.1.4. Puissance active

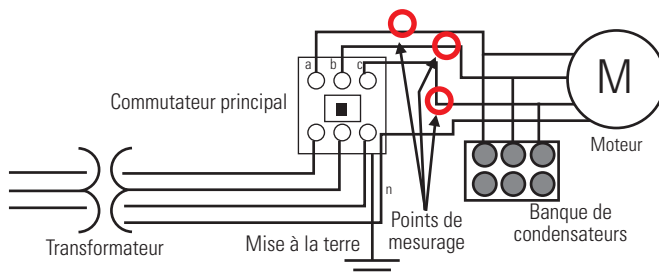
Un wattmètre, posé au câble du commutateur de sortie, sert pour mesurer la puissance réelle d'arrivée au moteur. La procédure de mesure de la valeur de la puissance réelle ou active est la suivante :

1. Mettre le wattmètre au fil de la phase « a » des bornes de tension.
2. Poser une autre borne de tension au fil neutre sur « n »,
3. Insérer le crochet de l'ampèremètre dans le fil de la phase « a ».

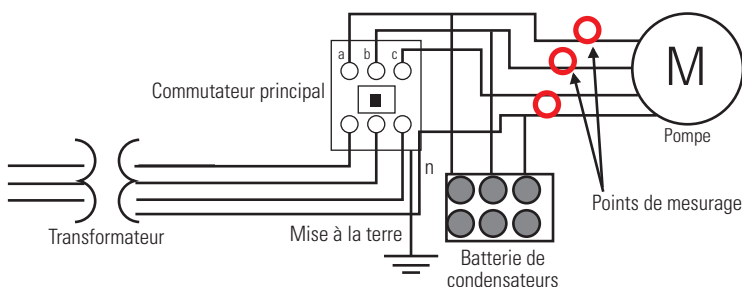
La puissance réelle ou active est enregistrée directement dans le wattmètre. Répéter le processus ci-dessus pour obtenir la puissance réelle des phases « b » et « c ». Si l'équipement de pompage utilise une batterie de condensateurs, prendre deux mesures (cf. Figure 7 et Figure 8).

La première de ces mesures doit être en aval du point de raccordement de la batterie de condensateurs, de l'entraînement à fréquence variable, s'il y a lieu et de la pompe elle-même pour que les mesures ne soient pas influencées par l'effet de compensation des condensateurs et reflètent la situation réelle du moteur électrique évalué. La deuxième mesure doit être prise en aval du condensateur. Cette mesure décrira l'effet de compensation du FP sur le réseau électrique.

**FIGURE 7 :** Mesure de la puissance réelle en amont de la batterie de condensateurs



**FIGURE 8 :** Mesure de la puissance réelle en aval de la batterie de condensateurs



#### 4.2.2. Mesures hydrauliques

Les paramètres hydrauliques devraient également être mesurés à l'aide d'équipements de mesure calibrés. Le système ne doit subir aucune perturbation lors du mesure. Pour les unités telles que les

puits ou les installations des équipements de pompage, les mesures sont réalisées directement dans les canalisations de refoulement. Pour les installations qui comprennent plusieurs éléments d'équipement de pompage, les paramètres hydrauliques doivent être mesurés individuellement pour chaque élément dans sa propre canalisation de refoulement. Les mesures suivantes sont nécessaires pour obtenir les données et les paramètres hydrauliques :

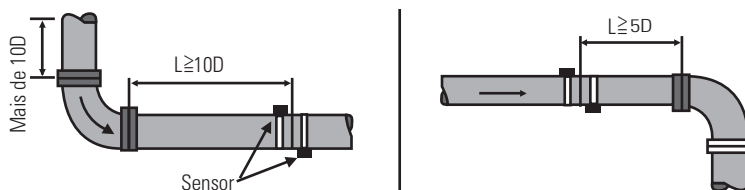
- Mesure du débit au refoulement de la pompe (Q)
- Mesure de la pression aux manomètres d'aspiration (Ps) et de refoulement (Pd)
- Définition du niveau de référence (Nr)
- Mesure du niveau dynamique d'aspiration (N<sub>s</sub>)
- Mesures des distances au centre des manomètres (D<sub>r-m</sub>), y compris l'aspiration et le refoulement

#### 4.2.2.1. Mesures du débit de refoulement

La mesure du débit est relevée dans chaque installation de production d'eau du système hydraulique, en différents endroits, par ex. les puits, sources, barrages et stations de filtration, et devrait être effectuée au point exact des conduites à l'entrée du réseau de distribution d'eau. Dans les stations d'épuration, les réservoirs ou les postes de pompage, il est intéressant de mesurer le débit uniquement dans les canalisations de refoulement. Il est recommandé d'exploiter les débitmètres installés dans le système, mais il est important d'obtenir l'exactitude des erreurs de cet équipement avant de relever les mesures. S'il n'existe pas de débitmètre sur le site, se servir d'un débitmètre ultrasonique ou électromagnétique portable, homologué par un laboratoire d'essais accrédité, avec un niveau élevé d'exactitude et de souplesse d'emploi.

La position du débitmètre dans la conduite devrait se situer dans un segment droit de la conduite et de préférence à l'horizontale. Il ne devrait y avoir aucun obstacle avant, ni après le compteur : aucun coude, vanne, joint, évasement, ni pompes, pouvant déformer la vitesse de l'eau dans la section mesurée. Les courbes éventuelles doivent se situer à 10 diamètres au minimum en amont et 5 diamètres en aval de l'axe du compteur (cf. Figure 9). Il existe des compteurs sur le marché qui peuvent réduire ces distances, selon les catalogues des fabricants respectifs.

**FIGURE 9 :** Position du débitmètre



La mesure du débit peut être réalisée en un court laps de temps, 15 à 30 minutes. Si les variations de débit sont inférieures à  $\pm 5\%$  sur toute une journée, le débit moyen est celui qui est enregistré. Si la fluctuation du débit est supérieure à ce pourcentage, une mesure continue devrait être réalisée sur au moins 24 heures, pour établir la valeur de débit moyen par jour.

**FIGURE 10 :** Mesures de pression avec un manomètre de type Bourdon



#### 4.2.2.2. Mesure de la pression d'aspiration et de refoulement

Pour la mesure de la pression d'aspiration ( $P_s$ ) et de refoulement ( $P_d$ ), utiliser un manomètre de type Bourdon (cf. images à la Figure 10), de préférence contenant de la glycérine. S'assurer également d'un bon calibrage et choisir des gammes de manomètres telles que les pressions d'opération sont au tiers de l'échelle, là où l'exactitude est optimale.

À des fins pratiques, les calculs de la pression de refoulement devraient être exprimés en mètres d'eau- $\text{mH}_2\text{O}$ , bien que les manomètres aient d'ordinaire des échelles en  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ , le PSI et le  $\text{kPa}$  ( $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}^2$ ). . Les formules d'équivalence de ces unités sont :

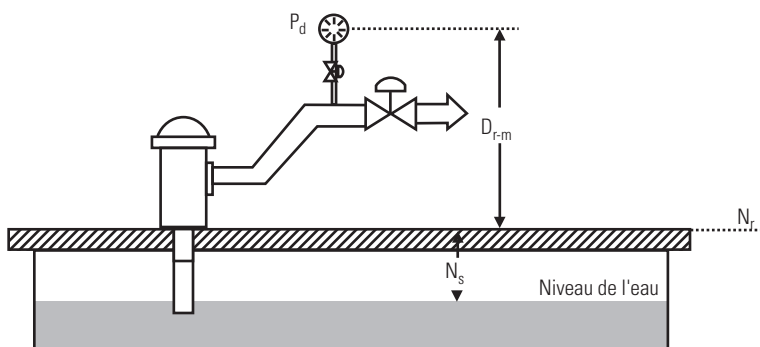
- $(\text{kgf}/\text{cm}^2) = 0.1000$  en  $\text{mH}_2\text{O}$
- 1 PSI = 1.4228  $\text{mH}_2\text{O}$
- 1  $\text{kPa}$  = 0.1020  $\text{mH}_2\text{O}$

Aussi, la plupart des manomètres donnent un résultat manométrique ; il faut donc ajouter l'équivalent d'une atmosphère à la valeur lue. Les mesures de pression d'aspiration et de refoulement doivent être prises aussi près que possible de la pompe. S'il n'est pas possible de relever une mesure de pression d'aspiration parce qu'il s'agit d'une pompe submersible ou parce qu'il n'y a pas de points de mesure accessibles, l'indiquer dans le registre des mesures. Il est toutefois essentiel de mesurer la pression dans la canalisation de refoulement.

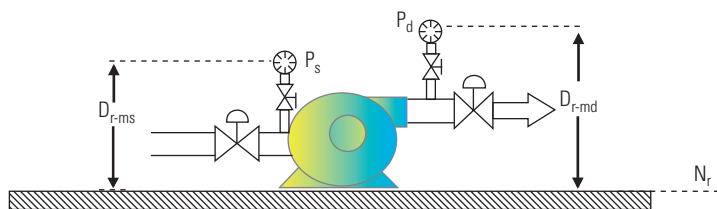
#### 4.2.2.3. Définition du niveau de référence

Pour calculer la charge de pompage hydraulique totale, établir une référence par rapport à laquelle les autres niveaux pourront être mesurés. D'ordinaire, le niveau de référence est situé sur le bâti du moteur (cf. Figure 12 et Figure 13), mais dans le cas d'équipements de pompage submersibles, le niveau de référence est d'ordinaire le niveau de l'eau dans l'aquifère, ou encore la pompe submersible elle-même (cf. Figure 13).

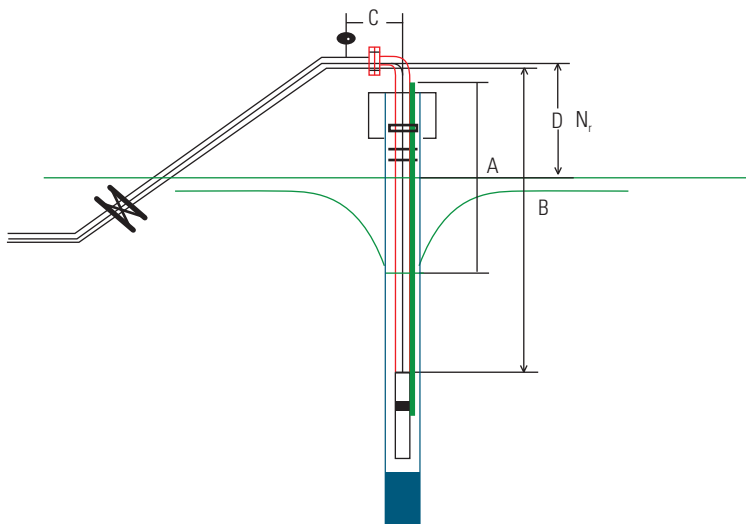
**FIGURE 11 :** Mesurage de la pression dans le refoulement



**FIGURE 12 :** Mesurage de la pression lorsque des manomètres d'aspiration et de refoulement sont installés



**FIGURE 13 :** Mesure du niveau de pompe submersible



**FIGURE 14 :** Mesure du niveau dynamique du bassin d'aspiration de pompage



**FIGURE 15 :** Mesure du niveau dynamique d'un réservoir d'eau de niveau de base



#### 4.2.2.4. Mesure de niveau dynamique

Le niveau d'aspiration ( $N_s$ ) est la distance entre le niveau de référence et la surface de l'eau d'où l'eau est pompée dans des conditions de service normale et stable. Relever les mesures avec une sonde ou un mètre souple. En relevant les mesures d'une pompe avec un bassin d'aspiration ou un réservoir d'eau de niveau de base, le niveau d'aspiration dynamique est le niveau de la surface de l'eau dans le bassin d'aspiration ou le réservoir d'eau. Dans le cas d'un puits, le niveau d'aspiration correspond au niveau dynamique de l'aquifère. La Figure 14 et la Figure 15 montrent la mesure des niveaux dynamiques avec une sonde électrique.

Si le niveau change nettement de position lors de la mesure d'un bassin d'aspiration ou d'un réservoir d'eau, il est important de prendre simultanément des mesures de débit, de pression et des paramètres électriques. La valeur peut être négative ou positive, selon que le niveau est en-dessous ou au-dessus du niveau de référence.

#### 4.2.2.5. Mesure des niveaux aux centres des manomètres

La Figure 11 et la Figure 12 illustrent comment situer les niveaux aux centres des manomètres. Le niveau du manomètre de refoulement est nommé Dr-md alors que celui du manomètre d'aspiration est nommé Dr-ms, s'ils sont mesurés.

#### 4.2.2.6. Détermination de la puissance de pompage hydraulique totale (Ph)

Les niveaux décrits aux paragraphes 4.2.2.2. à 4.2.2.5 et les mesures de pression servent à calculer la puissance de pompage hydraulique totale ( $P_h$ ).

Pour provoquer l'écoulement de liquide, la pompe doit élever le liquide au point le plus haut du réseau. L'énergie nécessaire pour déplacer le liquide peut être calculée selon l'équation suivante :

$$P_h = \rho g H_t Q$$

La puissance nécessaire à la pompe pour fonctionner est obtenue en divisant l'énergie nécessaire pour déplacer le liquide par l'efficacité de la pompe. À l'inverse, il arrive souvent que la demande de la pompe soit mesurée à l'aide de pinces ampérométriques et que l'efficacité de la pompe soit calculée.

Le tableau 3 décrit le processus de calcul et les paramètres à considérer pour déterminer la charge de pompage totale, selon le type d'équipement et l'application des paramètres.

**TABEAU 3 :** Calculs de la charge de pompage hydraulique totale et paramètres de mesure

| Cas                                                                | Formule                                    | Paramètres                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uniquement lorsque la pression de refoulement est mesurée          | $H_b = p_d + N_s + D_{r-m} + h_{fs} + h_v$ | <p><math>H_b</math> = charge de pompage hydraulique totale (mH<sub>2</sub>O)<br/> <math>p_d</math> = pression de refoulement (mH<sub>2</sub>O)<br/> <math>N_s</math> = niveau d'aspiration dynamique (mH<sub>2</sub>O)<br/> <math>D_{r-m}</math> = distance verticale (hauteur) du niveau de référence à la jauge (mH<sub>2</sub>O)<br/> <math>h_{fs}</math> = pertes de charge d'aspiration dues à la friction d'écoulement et accessoires dans la canalisation d'aspiration (mH<sub>2</sub>O)<br/> <math>h_v</math> = charge de vélocité (mH<sub>2</sub>O)</p> |
| Lorsque les pressions de refoulement et d'aspiration sont mesurées | $H_b = p_d - p_s + D_{r-ms} + D_{r-md}$    | <p><math>p_d</math> = pression de refoulement (mH<sub>2</sub>O)<br/> <math>p_s</math> = charge de pression d'aspiration (mH<sub>2</sub>O)<br/> <math>D_{r-ms}</math> = distance verticale (hauteur) du niveau de référence à la jauge d'aspiration (mH<sub>2</sub>O)<br/> <math>D_{r-md}</math> = distance verticale (hauteur) du niveau de référence à la jauge de refoulement (mH<sub>2</sub>O)</p>                                                                                                                                                            |

#### 4.2.3. Mesures de température

Les mesures de température donnent des informations complémentaires sur l'état du système moteur-pompe et indiquent s'il faut effectuer un entretien du système électrique. Les mesures de température devraient être relevées pour l'équipement de contrôle, le moteur et le transformateur.

**ÉQUIPEMENT DE CONTRÔLE**– Prendre les mesures de température suivantes pour déterminer s'il y a surcharge des conducteurs et s'assurer que toutes les vis et les attaches de bornes sont correctement réglées :

- Les bornes des conducteurs arrivant du transformateur au commutateur principal pour chaque phase A, B et C
- Les bornes du commutateur principal vers la sortie moteur pour chaque phase A, B et C
- Les bornes de l'arrivée au démarreur pour chacun de ses conducteurs de phase A, B et C
- Les conducteurs aux bornes de sortie le long du démarreur du moteur pour chacune de ses phases A, B et C

**MOTEUR** – La température du moteur peut déterminer s'il a besoin d'un entretien et indiquer si l'arbre est équilibré. Le cartier et le roulement devraient être mesurés.

**TRANSFORMATEUR** – Comme pour l'équipement de contrôle, mesurer les températures du transformateur, pour voir s'il y a une surcharge des conducteurs et s'assurer que toutes les attaches de bornes sont correctement réglées ou s'il faut procéder un entretien. Mesurer les températures aux endroits suivants :

- Aux bornes d'alimentation qui relient le côté haute tension du transformateur pour chaque phase ( $X_1$ ,  $X_2$  et  $X_3$ ).
- Au transformateur du côté basse tension, à la sortie de la borne neutre  $X_0$  comme pour chacune des phases  $X_1$ ,  $X_2$  et  $X_3$ .
- En haut et en bas du cartier pour déterminer la température de fonctionnement du transformateur et s'il y a surcharge.
- En haut et en bas du radiateur pour déterminer la température de l'huile du différentiel du transformateur.

#### 4.2.4. Mesures et observations pour l'audit d'entretien

Les mesures des températures donnent des informations supplémentaires sur le comportement, le fonctionnement et indiquent s'il est nécessaire de procéder à l'entretien des systèmes électriques et de pompage. D'autres types d'observations relatives à l'entretien seront présentés au chapitre 8 de ce document.

#### 4.2.5. Gabarits des registres de données de terrain

Il est important de se servir de tableurs formatés pour enregistrer le système électromécanique et les équipements de pompage pour conserver leurs valeurs originales et les données dans la même campagne de mesures. Le Tableau 3 est un exemple du tableur suggéré pour l'enregistrement des données du système électromécanique et de la pompe originale, ainsi que les caractéristiques du moteur. Le Tableau 5 présente un exemple pouvant servir aux variables hydrauliques et électriques de mesures relevées des équipements de pompage.

### 4.3. ANALYSE DES INFORMATIONS ET ÉVALUATION D'EFFICACITÉ

L'étape suivante consiste à analyser les mesures des données. Cette évaluation détermine les pertes d'énergie et l'efficacité des différentes composantes du système de pompage. À partir des pertes de distribution décrites au début de ce chapitre, l'audit énergétique d'un système d'eau potable devrait inclure une analyse des systèmes suivants, par ordre d'importance :

1. Alimentation électrique, y compris les caractéristiques du contrat d'approvisionnement
2. Système électromoteur, y compris le transformateur
3. Ensemble pompe-moteur, y compris les efficacités, les conditions de fonctionnement et les aspects concernant l'entretien

**TABEAU 4 : Données et caractéristiques du tableur de catalogage du système électrique**

| Audit énergétique de système de pompage                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---|-----|-----|--|--|--|--|--------------------------|--------------------------|--|--|--|--|--------------------------|--------------------------|-----------|--|--|--|--------------------------|--------------------------|-----------|---|--|--|--------------------------|--------------------------|-----------|--|--|
| Site : Plaines du Sud                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                            | Date : Plaines du Sud                                                                   |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| UTILITY : Service des eaux et d'assainissement du Nord                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                            | ÉQUIPEMENT : Puits profond PP14                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| SYSTEM : Plaines du Sud-Est                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| 1.1. SYSTÈME ÉLECTRIQUE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| <b>ALIMENTATION ÉLECTRIQUE:</b><br>Fournisseur : ABCD<br>Service N° : D-3364605<br>Tarif du contrat : 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| <b>TRANSFORMATEUR</b><br>Type : Triphasé sur poteau<br>Puissance : 3 x 25 kVA<br>Tension nominale : 13 800/440 V                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| <b>COMMUTATEUR PRINCIPAL</b><br>Make : EFGH Électrique<br>Puissance : 40A<br>Réglage : 32-40A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| <b>DÉMARREUR :</b><br>Type : Démarreur statorique à résistances<br>Puissance : 40 HP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| <b>PROTECTION</b><br>Make : EFGH Électrique<br>Puissance : 32-40A<br>Réglage : 37 A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| <b>CONDENSATEURS</b><br>Puissance : — kVar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>CONDUCTEURS</b><br>Branchement de l'abonné au démarreur<br>Calibre : 10 mm <sup>2</sup><br>Longueur : 15 m<br>Groupement :<br>Branchement du démarreur au moteur<br>Calibre : 12 AWG<br>Longueur : 53 m<br>Groupement : 3W/Tube isolant |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| <b>SYSTÈME DE MISE À LA TERRE</b><br>Y a-t-il un système de mise à la terre ?<br>Le neutre et la mise à la terre sont-ils séparés ?<br>Transformateur avec mise à la terre ?<br>Démarreur avec mise à la terre ?<br>Moteur avec mise à la terre ?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;">OUI</th> <th style="width: 10%;">NON</th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Calibre :</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Calibre :</td> <td>6</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Calibre :</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   | OUI | NON |  |  |  |  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |  |  |  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Calibre : |  |  |  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Calibre : | 6 |  |  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Calibre : |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | OUI                                                                                                                                                                                                                                        | NON                                                                                     |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                | Calibre : |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                | Calibre : | 6 |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                | Calibre : |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| REMARQUES :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| 1.2 DONNÉES NOMINALES POUR LE MOTEUR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| Données de la plaque signalétique du moteur :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| Marque : ABC<br>Puissance : 10 HP<br>Vitesse : 3 450 tr/min                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Tension : 440 V<br>Intensité : 15,0 A<br>Rendement : 79,0 %                                                                                                                                                                                | Type : SUBMERSIBLE<br>Bâti :<br>FS : 0,85                                               |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| HISTORIQUE : 1 an(s) Nb. de rebobinages : 0 Fonct. : 8 760 heures/an<br>Âge :<br>REMARQUES : Il y a eu surcharge du moteur, qui s'est arrêté cinq fois cette année pendant 2 heures.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| 1.3 DONNÉES NOMINALES POUR LA POMPE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| <b>BÂTI</b><br>Marque : ABC<br>Type : SUBMERSIBLE<br>Modèle : Sp 45-4N<br>Âge : 1 an(s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                            | <b>ROUE (IMPULSEUR)</b><br>Type : fermée<br>Matériau :<br>Diamètre : m<br>Âge : 1 an(s) |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |
| ARBRE DE TRANSMISSION : Diamètre : 22 m<br>CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION : Hauteur de charge : 22 m<br>REMARQUES : La pompe a été arrêtée pendant 24 heures. L'âge de la pompe est inconnu.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                            | Longueur : m<br>Débit nominal : 18,61 l/s                                               |           |   |     |     |  |  |  |  |                          |                          |  |  |  |  |                          |                          |           |  |  |  |                          |                          |           |   |  |  |                          |                          |           |  |  |

**TABLEAU 5 : Tableau de catalogage des mesures hydrauliques et électriques**

| 1.4. CARACTÉRISTIQUES DU FLUIDE |     |                     |                                  |
|---------------------------------|-----|---------------------|----------------------------------|
| Fluide :                        | eau | Température : 21 °C | Densité : 1.000kg/m <sup>3</sup> |
| REMARQUES :                     |     |                     |                                  |

## 2.1. MESURES HYDRAULIQUES

### NIVEAUX :

|                                                       |         |                                            |         |
|-------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------|---------|
| Niveau d'aspiration du réservoir (A) :                | 32,42 m | Longueur de la conduite d'aspiration (B) : | 39,95 m |
| Distance de la jauge de pression de refoulement (C) : | 0,28 m  | Hauteur de la jauge (D) :                  | 0,98 m  |

Le schéma illustre la configuration hydraulique d'un puits. Une pompe est immergée dans le puits. Les points de mesure sont indiqués : A (niveau d'aspiration), B (longueur de la conduite d'aspiration), C (distance de la jauge de pression de refoulement), D (hauteur de la jauge). Un manomètre est connecté au point C. Le niveau dynamique est également indiqué.

|             | Diamètre (m) | Matériau         | Pression (kg/cm <sup>2</sup> ) | Débit (l/s) | Vitesse (m/s) |
|-------------|--------------|------------------|--------------------------------|-------------|---------------|
| Aspiration  | 0,1          | Acier inoxydable |                                | 4,70        | 0,598         |
| Refoulement | 0,1          | Acier inoxydable | 1,3                            | 4,70        | 0,598         |

TOPOGRAPHIE : Élévation de la pompe : 1 045 masl (mètres au-dessus du niveau moyen de la mer)  
Élévation du point de refoulement le plus haut : 1 047 masl (mètres au-dessus du niveau moyen de la mer)

REMARQUES : Le puits est dévié, ce qui fait que la pompe doit être submersible.

| 2.2. MESURES ÉLECTRIQUES                    |                                                                                                                                       |                               |                   |       |                   |       |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| TENSION DES PHASES :                        | Van :                                                                                                                                 | 260,4                         | Vbn :             | 261,9 | Vcn :             | 255,8 |
| INTENSITÉ PAR PHASE :                       | Ia :                                                                                                                                  | 13,92                         | Ib :              | 14,14 | Ic :              | 12,93 |
| PUISSANCE ACTIVE :                          | Pa :                                                                                                                                  | 2,92                          | Pb :              | 2,86  | Pc :              | 2,61  |
| FACTEUR DE PUISSANCE :                      | F <sub>Pa</sub> :                                                                                                                     | 0,806                         | F <sub>Pb</sub> : | 0,774 | F <sub>Pc</sub> : | 0,791 |
| DISTORSION HARMONIQUE :                     | THD-V :                                                                                                                               |                               | THD-I :           |       |                   |       |
| POINT DE MESURAGE :                         | Circuit principal                                                                                                                     |                               |                   |       |                   |       |
| VÉRIFICATION DES BANQUES DE CONDENSATEURS : | Ia :                                                                                                                                  | 28                            | Ib :              | 31    | Ic :              |       |
| SYSTÈME DE MISE À LA TERRE :                | Continuité :                                                                                                                          | <div>OUI</div> <div>NON</div> | Intensité :       | A     | Résistance :      | Ω     |
| REMARQUES :                                 | Pas trouvé de continuité dans le câble de mise à la terre, de sorte qu' aucune mesure n'a été prise pour le courant et la résistance. |                               |                   |       |                   |       |

| 2.3. MESURES DES TEMPÉRATURES |                     |           |                       |                    |    |                         |                   |    |    |                  |     |           |     |
|-------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|--------------------|----|-------------------------|-------------------|----|----|------------------|-----|-----------|-----|
| Équipement de contrôle        | Arrivée commutateur |           |                       | Sortie commutateur |    |                         | Arrivée démarreur |    |    | Sortie démarreur |     |           |     |
|                               | A                   | B         | C                     | A                  | B  | C                       | A                 | B  | C  | A                | B   | C         |     |
|                               | 40                  | 41        | 39                    | 53                 | 49 | 40                      | 46                | 44 | 52 | 43               | 42  | 54        |     |
| MOTEUR                        |                     |           | TRANSFORMATEURS       |                    |    |                         |                   |    |    |                  |     |           |     |
| Carter                        | Roulements          |           | Bornes d'alimentation |                    |    | Bornes de basse tension |                   |    |    | Bâti             |     | Radiateur |     |
|                               | Supérieur           | Inférieur | X1                    | X2                 | X3 | X0                      | X1                | X2 | X3 | Haut             | Bas | Haut      | Bas |
| 42                            | 48                  | 40        | 38                    | 39                 | 39 | 36                      | 40                | 38 | 39 | 41               | 40  | 41        | 39  |
| REMARQUES :                   |                     |           |                       |                    |    |                         |                   |    |    |                  |     |           |     |

### 4.3.1. Calcul des pertes électriques du système électrique

#### 4.3.1.1. Calcul des pertes électriques du conducteur électrique

L'ensemble qui se compose d'entraînements, de contrôles, de protections, de transformateurs, de démarreurs et d'autres éléments qui alimentent en énergie les équipements qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique (moteur) se nomme le système électromoteur (cf. Figure 16)

**FIGURE 16 :** Composantes d'un système électromoteur type dans un système de pompage



Les principaux aspects à noter et à évaluer dans un audit d'efficacité énergétique sont les pertes dans les conducteurs électriques qu'entraîne la haute résistance du cuivre contenu dans les conducteurs électriques. En effet, ces derniers se comportent en résistance pure ; c'est-à-dire qu'ils absorbent la puissance conformément à l'expression suivante :

$$P = R * I^2$$

Où :

- $P$  est les pertes par l'effet Joule (W)
- $R$  est la résistance du conducteur ( $\Omega$ )
- $I$  est l'intensité électrique circulant dans le conducteur (A)

Cette résistance entraîne une chute de tension, calculée en se fondant sur l'intensité. Le calcul des pertes du conducteur fait partie de l'évaluation d'efficacité énergétique.

**Exemple :** Calculer les pertes dans un conducteur électrique qui alimente un moteur de 150A raccordé à une pompe submersible. Le calibre des conducteurs installés est 1/0 avec quatre fils en 440 V. Le câble fait 130 m de long. Calculer les pertes par l'effet Joule dans le conducteur qui alimente la pompe submersible en 440 V et 150 A. Le Tableau 6 présente le calcul des pertes et la chute de tension pour différentes tailles de conducteurs et les pertes relatives à la distance et l'ampérage de l'exemple ci-dessus.

**TABLEAU 6 :** Exemple de résistance de différentes tailles de conducteurs et de chute de tension

| Calibre | Résistance             |               |              | $\Delta V$ |        |
|---------|------------------------|---------------|--------------|------------|--------|
|         | ( $\Omega/\text{km}$ ) | Longueur (km) | ( $\Omega$ ) | (V)        | %      |
| 1.0.    | 0,3290                 | 0,13          | 0,04277      | 6,42       | 1,46 % |
| 2/0     | 0,2610                 | 0,13          | 0,03393      | 5,09       | 1,16 % |
| 3/0     | 0,2070                 | 0,13          | 0,02691      | 4,04       | 0,92 % |
| 4/0     | 0,1640                 | 0,13          | 0,02132      | 3,20       | 0,73 % |
| 250     | 0,1390                 | 0,13          | 0,01807      | 2,71       | 0,62 % |
| 300     | 0,1157                 | 0,13          | 0,01504      | 2,26       | 0,51 % |
| 350     | 0,0991                 | 0,13          | 0,01288      | 1,93       | 0,44 % |
| 400     | 0,0867                 | 0,13          | 0,01127      | 1,69       | 0,38 % |
| 500     | 0,0695                 | 0,13          | 0,00904      | 1,36       | 0,31 % |
| 600     | 0,0578                 | 0,13          | 0,00751      | 1,13       | 0,26 % |
| 750     | 0,0463                 | 0,13          | 0,00602      | 0,90       | 0,21 % |

Lorsque ces valeurs sont calculées selon Tableau 7 : Exemple de calcul de perte d'énergie par effet Joule, la perte opérationnelle sur 6 000 heures par an, avec un indice de coût énergétique moyen de 1,4 \$/kWh est de 27 720 \$.

**TABLEAU 7 :** Exemple de calcul de perte d'énergie par effet Joule

| Calcul                            | Résultat        |
|-----------------------------------|-----------------|
| Tension – V =                     | 440V            |
| Intensité – I =                   | 150 A           |
| Chute de tension – $\Delta V$ =   | 22V             |
|                                   | 5,0 %           |
| Résistance – $R = \Delta V / I =$ | 0,1467 $\Omega$ |
| Pertes – $P_j = I^2 \times R =$   | 3300 Watts      |
|                                   | 3,3 kW          |
| Exploitation =                    | 6 000 h/an      |
| Pertes d'énergie                  | 19 800 kWh/an   |
|                                   | \$27 720/an     |

N. B. : Ce calcul ne tient pas compte de l'effet des températures sur la résistance du conducteur.

#### 4.3.1.2. Analyse du facteur de puissance

La grande majorité des équipements électriques consomment non seulement de la puissance active ou utile ( $P_a$ , en kW), c'est-à-dire la puissance électrique que l'équipement transforme en travail utile, mais aussi de la puissance réactive ( $P_r$ , en kVar). Il en va de même pour les moteurs électriques à induction de type cage d'écureuil utilisés notamment dans les systèmes des eaux et d'assainissement. La puissance réactive fournit entre autres le flux magnétique nécessaire au fonctionnement des équipements à induction, mais n'est pas transformée en travail utile. La racine carrée de la somme des carrés de la puissance active et de la puissance réactive est appelée puissance apparente  $S$  (exprimée en kVa).

L'impact du FP sur la valeur de l'intensité exigé dans le système produit des pertes principalement dues à l'effet Joule et la chute de tension. Les pertes accrues produites par l'effet Joule basé sur le carré de l'intensité, augmentent les pertes d'énergie des conducteurs électriques allant du compteur au commutateur principal, dans les bobines des transformateurs de distribution, et dans les dispositifs de service et de protection. Un accroissement de la chute de tension entraîne une insuffisance d'alimentation électrique et une réduction de la puissance de sortie. Cette chute de tension accroît la puissance apparente et réduit la capacité de la charge installée, ce qui est important dans le cas des transformateurs de distribution. Ces pertes affectent le producteur et le distributeur d'énergie électrique. Pour cette raison, certaines compagnies d'électricité pénalisent les utilisateurs pour la consommation électrique en imposant des redevances plus élevées.

Par rapport à un audit d'efficacité énergétique, si la compagnie d'électricité mesure le FP et facture une redevance, ou s'il y a crédit, enregistrer la valeur statistique de la période de FP évaluée en conjonction avec les statistiques de facturation pour déterminer le comportement dans le temps du FP et son impact sur l'analyse de coût. Puis, mesurer le FP propre aux équipements audités. Si l'instrument de mesurage n'enregistre pas directement une valeur de FP en trois phases, il faut alors le calculer à partir de la puissance réelle et des valeurs de puissance réactive réelle en relevant les mesures, en se servant de l'équation suivante :

$$PF = \frac{P_a}{\sqrt{(P_a^2 - P_r^2)}}$$

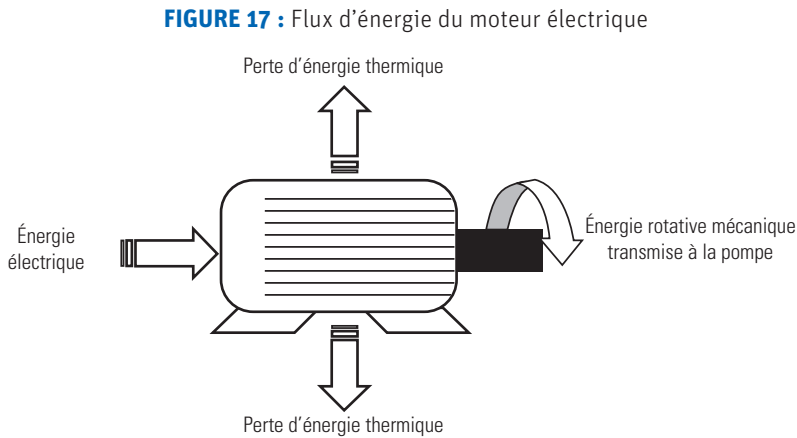
Où :

- $PF$  est le facteur de puissance (–)
- $P_a$  est la puissance active mesurée (kW)
- $P_r$  est la puissance réactive mesurée (kVar)

Certains systèmes, d'ordinaire la batterie de condensateurs, peuvent compenser le FP. Vérifier si, et où, des condensateurs sont installés.

#### 4.3.2. Calcul des pertes et efficacité du moteur électrique

Les moteurs électriques convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique rotative, transmise alors à la pompe (cf. Figure 17).



Dans les systèmes d'eau, les systèmes de pompage sont les charges électriques type, même s'il existe également d'autres types de charges : ventilateurs, soufflantes, agitateurs et convoyeurs, servant au traitement des eaux usées et dans les stations d'épuration des eaux. Parmi les différentes variétés de moteurs électriques, les moteurs à induction sont les plus prisés en raison de leur polyvalence et de leur faible coût. Ils servent souvent dans les systèmes de pompage centrifuges et pour le pompage des eaux municipales. Ils sont souvent mal entretenus, ce qui entraîne des inefficacités élevées.

##### 4.3.2.1. Pertes type d'un moteur électrique

En général, les pertes des moteurs électriques se produisent sous la forme suivante :

- Pertes électriques, dans le stator et le rotor, variant selon la charge
- Pertes de fer (induit), indépendantes de la charge
- Pertes mécaniques (friction et système de refroidissement, le cas échéant), indépendantes de la charge et qui se produisent dans les roulements, les ventilateurs et les balais du moteur
- Perte de charge par dispersion, se composant de plusieurs petites pertes de facteurs tels que les intensités sous écoulement du moteur et la distribution de flux non uniforme dans le stator et le rotor.

Ces pertes combinées constituent près de 10 à 15 % de la perte totale du moteur et tendent à augmenter la charge. Dans des conditions normales de tension et de fréquence, les pertes mécaniques et magnétiques restent presque constantes, indépendamment de la charge. Ce qui n'est pas le cas des pertes de puissance, qui varient selon la puissance nécessaire à l'arbre.

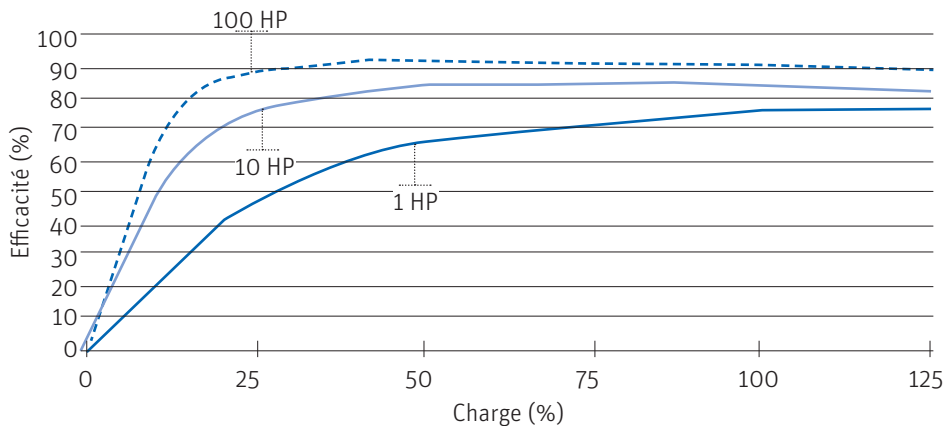
#### 4.3.2.2. Évaluation de l'efficacité du moteur

L'efficacité d'un moteur électrique est la mesure de sa capacité à convertir la puissance électrique amenée en puissance mécanique utile. Elle s'exprime d'ordinaire en pourcentage de la puissance mécanique sur la puissance électrique.

$$\eta_m = \frac{\text{Puissance mécanique}}{\text{Puissance électrique}} \times 100$$

Tous les facteurs décrits influent sur la valeur réelle de l'efficacité d'un moteur en service, mais l'efficacité maximum se situe lorsqu'il fonctionne entre 75 et 95 % de sa capacité nominale d'origine. la Figure 18 présente la courbe type d'efficacité des moteurs à induction à cage de différentes capacités, qui servent également à l'évaluation d'une méthodologie d'efficacité réelle de moteur.

**FIGURE 18 :** Efficacité type c. courbes de charge d'un moteur à induction à cage 1800 RPM



Dans le cadre de l'audit d'efficacité énergétique, il est recommandé d'évaluer séparément l'efficacité du moteur normalement raccordé à la pompe pour déterminer s'il y a gaspillage d'énergie. Il est utile d'évaluer l'efficacité de chaque composante, séparément, pour prendre de meilleures décisions quant aux mesures à incorporer dans un plan d'économies d'énergie.

La méthodologie a pour but central de déterminer l'efficacité ( $\eta_m$ ) et donc le niveau d'énergie gaspillée dans les moteurs électriques. L'utilisation de la courbe du moteur est très efficace. Il s'agit d'une procédure par itération fondée sur une comparaison entre l'efficacité calculée et la courbe d'efficacité basée sur le facteur de charge du moteur (FC). La courbe d'efficacité appropriée, identifiée à la Figure 18, est tirée des paramètres nominaux originaux du moteur (hp, RPM et V). En prenant la mesure de la puissance active du moteur, calculer le FC en se servant de l'équation :

$$FC = \frac{P_a / \eta_m}{hp_{nom} * 0.746}$$

Où :

- FC est le facteur de charge du moteur (–)
- $P_a$  est la puissance active du moteur à partir des mesures relevées sur le terrain (kW)
- $\eta_m$  est l'efficacité du moteur (–)
- $hp_{nom}$  est la puissance originale du moteur (la vérifier sur la plaque du moteur)

Vérifier l'efficacité du moteur pour voir si elle correspond au FC calculé. Si ce n'est pas le cas, répéter l'étape précédente en utilisant l'efficacité qui correspond à la courbe d'efficacité du FC calculé, jusqu'à ce que les deux valeurs concordent. Les dernières valeurs d'efficacité et le FC sont les valeurs réelles du moteur. Lorsque l'efficacité originale et le FC sont cernés, l'efficacité doit être dépréciée en suivant les critères suivants :

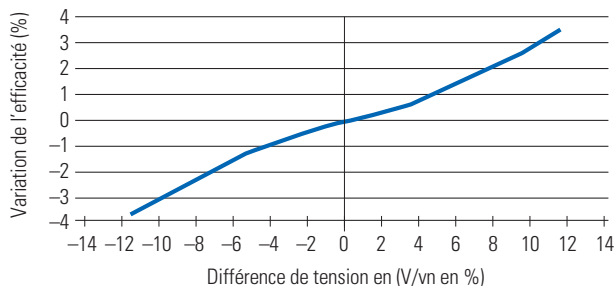
- Si le moteur a plus de 10 ans, sa dépréciation est d'un pour cent.
- Si le moteur a été rebobiné, sa dépréciation sera de deux pour cent.
- Si la température du moteur pendant son rebobinage est connue, sa dépréciation d'efficacité se fera conformément au Tableau 8.

**TABEAU 8 :** Dépréciation de l'efficacité d'un rebobinage de moteur selon la température

| Température (°C)                  | Valeur de réduction d'efficacité |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 633                               | 0,0053                           |
| 683                               | 0,0117                           |
| 733 (avec fer à souder)           | 0,0250                           |
| Utilisation de produits chimiques | 0,0040                           |

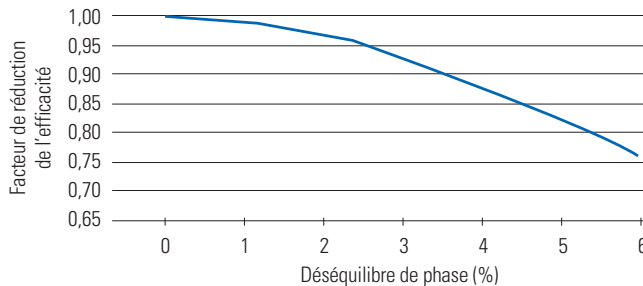
En relevant la mesure, si la tension d'arrivée du moteur est différente de la tension de design du moteur (de la plaque signalétique), appliquer une réduction d'efficacité en suivant la courbe présentée à la Figure 19.

**FIGURE 19 :** Variation d'efficacité basée sur la différence relative à la tension originale d'un moteur électrique



Si la tension d'arrivée est déséquilibrée, ajuster l'efficacité conformément à la courbe à la Figure 20.

**FIGURE 20 :** Réduction de la capacité d'un moteur électrique basée sur le déséquilibre de tension



Utiliser les équations pour calculer le déséquilibre de tension et d'intensité, et la différence de tension du moteur original.

### Déséquilibre de tension $D_{BV}$

Le déséquilibre de tension est calculé à partir des mesures prises de tension entre les phases, en se servant de l'équation suivante :

$$D_{BV} = \max((\max(V_{A-B}, V_{B-C}, V_{C-A}) - V_{avg}), (V_{avg} - \min(V_{A-B}, V_{B-C}, V_{C-A})))$$

Où :

- $D_{BV}$  est le déséquilibre de tension (-)
- $V_{A-B}$  est la tension entre les phases A et B (V)
- $V_{B-C}$  est la tension entre les phases B et C (V)
- $V_{C-A}$  est la tension entre les phases C et A (V)
- $V_{avg}$  est la tension moyenne entre les phases (V)

### Déséquilibre d'intensité $D_{BI}$

Le déséquilibre d'intensité est calculé à partir des mesures d'intensité prises entre chaque phase, en se servant de l'équation suivante :

$$D_{BI} = \max((\max(I_A, I_B, I_C) - I_{avg}), (I_{avg} - \min(I_A, I_B, I_C)))$$

Où :

- $D_{BI}$  est le déséquilibre d'intensité (-)
- $I_A$  est l'intensité en phase A (A)
- $I_B$  est l'intensité en phase B (A)
- $I_C$  est l'intensité en phase C (A)
- $I_{avg}$  est la moyenne de l'intensité dans les trois phases (A)

## Différence de tension au moteur original (VDN)

La différence de tension au moteur original est calculée en pourcentage par l'équation suivante :

$$VDN = \frac{(V_{avg} - V_{Plate})}{V_{Plate}} * 100$$

Où :

- VDN est la différence de la tension originale du moteur ou  $V/V_n$  (-)
- $V_{avg}$  est la tension moyenne des phases (V)
- $V_{Plate}$  est la valeur de tension d'entrée originale du moteur, indiquée dans la plaque signalétique (V) du moteur

### 4.3.3. Calcul des pertes et d'efficacité de la pompe

L'un des principaux points de perte d'énergie se produit au stade où l'énergie électrique est convertie en énergie mécanique par le système de pompage. Il est important de faire le diagnostic de différents aspects qui peuvent entraîner une consommation d'énergie excessive, tout en recherchant des possibilités d'économie d'énergie à faible coût. Voici les principaux aspects devant faire l'objet d'un diagnostic relatif aux systèmes de pompage :

1. Efficacité électromécanique effective
2. Conditions de fonctionnement du système
3. Caractéristiques des installations et perte d'énergie du système de conduction

#### 4.3.3.1. Calcul des pertes d'efficacité et des pompes

Les pompes produisent des pertes naturelles en cours de fonctionnement, résultant de l'interaction entre le fluide et le mécanisme frictionnel qui se produit à l'intérieur et à l'extérieur de ses composantes. Pour comprendre d'où viennent ces pertes en service, passer en revue les différents types de pertes qui se produisent dans les pompes, classées pertes intérieures ou extérieures.

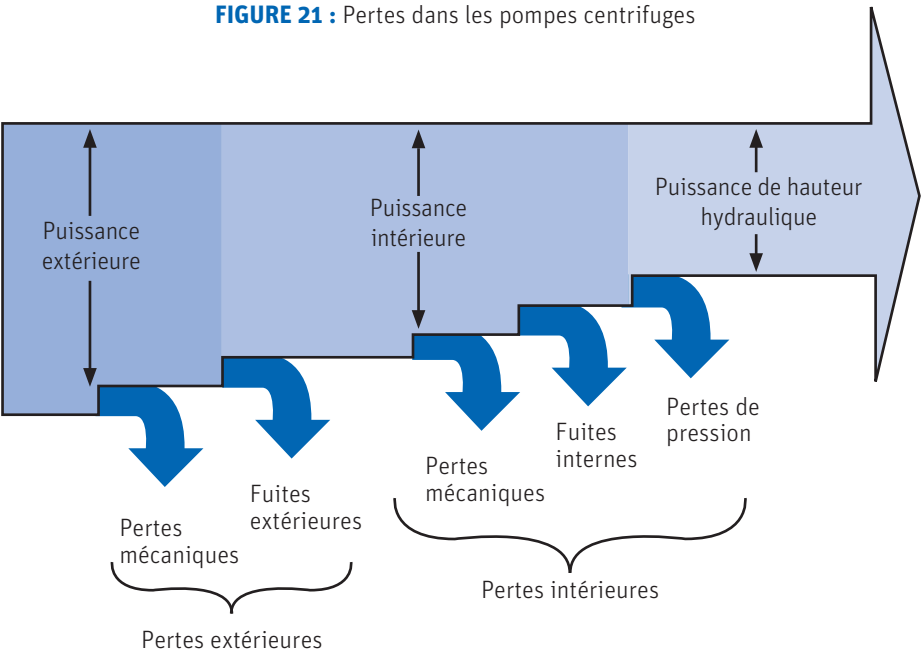
#### Pertes intérieures

- Pertes de charge : produites par la viscosité et la turbulence du fluide. Un exemple : le choc à l'entrée du diffuseur.
- Pertes par fuites : produites par l'écart qui existe obligatoirement entre les pièces en mouvement et les pièces fixes.
- Pertes par friction intérieure : une roue (impulseur) de pompe centrifuge comporte des surfaces inactives, indépendantes de son travail de transmission d'énergie au fluide, produisant une augmentation de la friction visqueuse. Ce qui entraîne des pertes par friction intérieure dans le fluide.

#### Pertes extérieures

- Fuites extérieures : elles se produisent là où l'arbre traverse le cartier de la machine. Une partie du débit qui arrive à la pompe est détournée de son arrivée à l'entraînement et il y a déperdition.
- Pertes par friction extérieure : produites par la friction mécanique dans la garniture de l'arbre ou le roulement de la pompe.

La Figure 21 présente les pertes de pression et la performance d'une pompe centrifuge type dans un diagramme de Sankey.



L'efficacité d'ensemble de la pompe en service est alors calculée avec la puissance de sortie totale  $P_d$  (pression du manomètre de sortie), divisée par la puissance mécanique absorbée  $P_m$ , identifiée à la Figure 21 comme puissance extérieure. La formule de l'efficacité est la suivante :

$$\eta_b = \frac{\text{Pression du manomètre à la sortie } (P_h)}{\text{Puissance mécanique absorbée } (P_m)} * b$$

Où

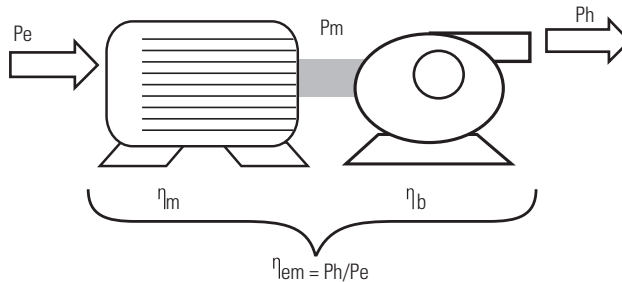
- $\eta_b$  est l'efficacité de la pompe en pourcentages (-)
- $P_h$  est  $Q \cdot r \cdot g \cdot H_t / 746$  (hp)
- $P_m$  égale la puissance mécanique absorbée par la pompe en hp
- $Q$  est le débit (m³/s)
- $\rho$  est la densité d'eau pompée (kg/m³)
- $g$  est l'accélération de la gravité (m/s²)
- $H_t$  est la hauteur de pompage totale (mH₂O)

En raison de la difficulté de mesurer la puissance mécanique séparément pour déterminer ensuite l'efficacité de la pompe, il est recommandé d'évaluer l'efficacité électromécanique de l'ensemble moteur-pompe.

#### 4.3.3.2. Évaluation de l'efficacité électromécanique

L'efficacité électromécanique correspond à l'efficacité de l'assemblage moteur-pompe (cf. Figure 22).

**FIGURE 22 :** Diagramme des efficacités, l'efficacité électromécanique



Premièrement, calculer la puissance hydraulique de pompage en utilisant l'équation :

$$P_h = \frac{H_t * Q * \rho * g}{1000}$$

Où :

- $P_h$  est la puissance de jauge (kW)
- $H_t$  est la charge totale de pompage (mH<sub>2</sub>O)
- $Q$  est le débit (m<sup>3</sup>/s)
- $\rho$  est la densité de l'eau (kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  est l'accélération de la gravité (m/s<sup>2</sup>)

La valeur  $Q$  est basée sur les mesures relevées sur le terrain. Les valeurs  $\rho$  et  $g$  sont presque constantes dans l'amplitude thermique de service type et ont d'ordinaire les valeurs de 1 000 et 9,81, respectivement. La charge totale de pompage est la combinaison de différentes charges partielles calculées.

#### Calcul de la hauteur totale de pompage $H_t$

Elle représente la différence de pression entre le refoulement ( $P_d$ ) et l'aspiration ( $P_s$ ). Ces dernières égalent les pressions lues sur les compteurs plus la pression atmosphérique plus les pressions équivalentes de la vitesse ( $P_{vd}$  et  $P_{vs}$ ) (*velocity head*) Ainsi :

$$\begin{aligned} P_d &= P_{dg} + atm + P_{vd} \\ P_s &= P_{sg} + atm + P_{vs} \\ H_t &= P_d + P_{vd} - P_s - P_{vs} \end{aligned}$$

Les pressions équivalentes de vitesse (*velocity head*) représentent la hauteur à partir de laquelle le liquide doit s'écouler en chute libre pour atteindre une vitesse donnée. Elles sont obtenues par la formule suivante :

$$P_v = \frac{v^2}{2g}$$

Où la vitesse est obtenue en divisant le débit volumique par l'aire interne de la conduite.

La pression à l'aspiration, au refoulement ainsi que la pression hydraulique totale peuvent toutes être obtenues à l'aide de l'équation de Bernoulli :

$$P_d \text{ ou } P_s \text{ ou } H_t = \alpha_2 \frac{\rho v_2^2}{2} - \alpha_1 \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho(z_2 - z_1) + K \frac{\rho v^2}{2}$$

Dans le cas du calcul pour la charge à l'aspiration ou au refoulement, la vitesse dans la conduite de refoulement étant considérée constante ( $v_1 = v_2$ ) et le débit uniforme ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ ) la formule peut être simplifiée ainsi :

$$P_d \text{ ou } P_s = \rho(z_2 - z_1) + K \frac{\rho v^2}{2}$$

Où  $z_2$  est la hauteur la plus élevée dans le réseau et  $z_1$  est la hauteur la plus basse. K est le coefficient de perte de charge total (*velocity head loss coefficient*). V est la vitesse de référence utilisée lors de la détermination des coefficients de perte de charge. Pour une conduite droite :

$$K = 4fLD$$

Où  $f$  est le facteur de friction, L la longueur de la conduite et D le diamètre de la conduite. Pour chaque coude, point d'étranglement, valve, union, etc., une valeur K doit être additionnée à la valeur K totale. Chacun des points de pertes de charge peuvent aussi être exprimés en longueur de conduite équivalente et l'équation peut être utilisée directement pour la longueur équivalente de conduite.

Pour les conduites lisses, le facteur de friction est fonction du nombre de Reynolds et peut être obtenu selon les équations suivantes :

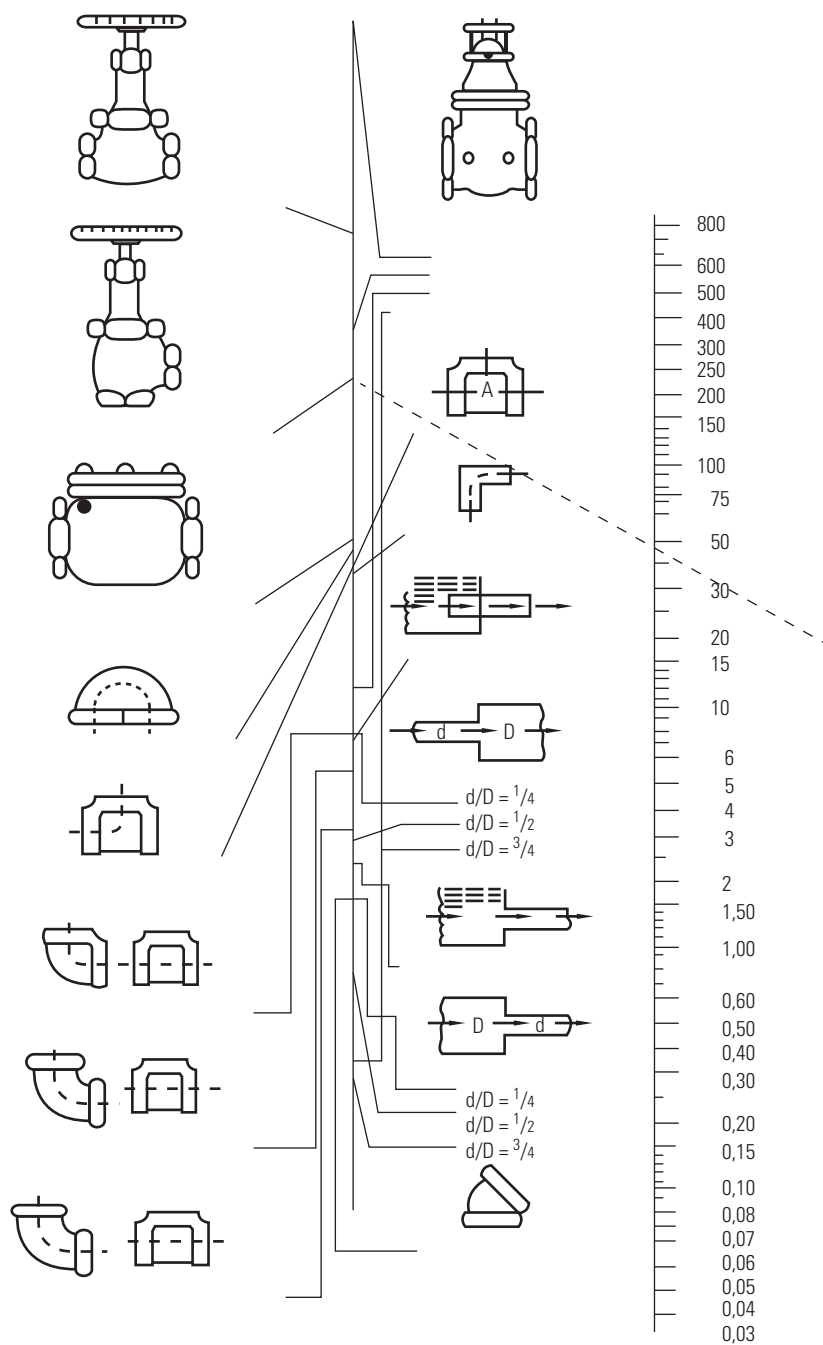
$$f = \frac{16}{Re} \text{ quand } Re < 2100$$

$$f = \frac{0,079}{Re^{0,25}} \text{ quand } Re < 4000$$

Pour les conduites rugées, le facteur de rugosité,  $\epsilon/D$ , doit aussi être intégré à l'équation lorsque l'écoulement est turbulent ( $Re > 2100$ ):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left( \frac{0,27\epsilon}{D} + \left( \frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right) \text{ quand } Re > 4000$$

**FIGURE 23 :** Nomogramme du calcul de la longueur équivalente des accessoires des conduites



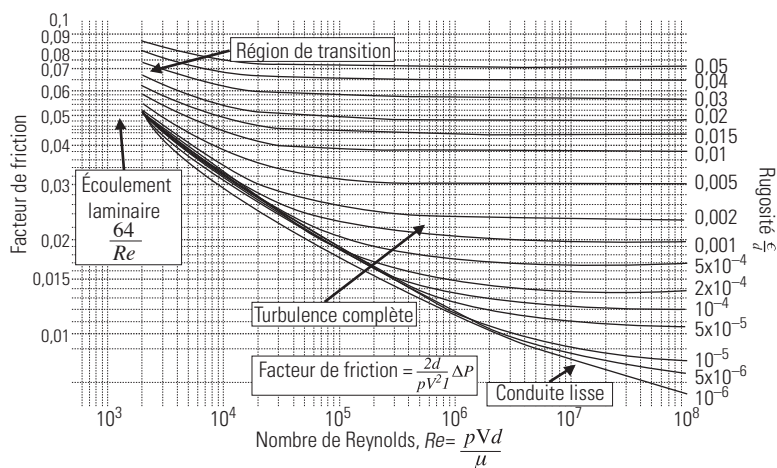
**TABLEAU 9 :** Valeur de rugosité absolue ( $\epsilon$ ) de différents matériaux

| Matériaux des conduites | $\epsilon$ (mm) |
|-------------------------|-----------------|
| Acier                   | 0,9–9           |
| Béton                   | 0,3–3           |
| Fonte                   | 0,25            |
| Fer galvanisé           | 0,15            |
| Fer d'asphalte forgé    | 0,12            |
| Fer forgé               | 0,046           |
| (PVC)                   | 0,0015          |

Pour les conduites où la turbulence est complète, le facteur de friction devient indépendant du nombre de Reynolds.

Dans tous les cas, le facteur de friction peut être obtenu à l'aide du diagramme de Moody :

**FIGURE 24 :** Diagramme de Moody



| Matériaux                  | $\epsilon$ (mm) |
|----------------------------|-----------------|
| Béton, brut                | 0,25            |
| Béton, neuf lisse          | 0,025           |
| Tubes étirés               | 0,0025          |
| Verre, plastique, perspex  | 0,0025          |
| Fonte                      | 0,015           |
| Égouts, anciens            | 3,0             |
| Acier, revêtement mortier  | 0,1             |
| Acier, rouillé             | 0,5             |
| Acier profilé ou forgé     | 0,025           |
| Conduites d'eau, anciennes | 1,0             |

Le nombre de Reynolds se calcule ainsi :

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Où  $\mu$  est la viscosité dynamique de l'eau à la température d'écoulement.

**TABLEAU 10 :** Viscosité dynamique de l'eau

| Température<br>(°C) | Viscosité<br>(mPa·s) |
|---------------------|----------------------|
| 10                  | 1,308                |
| 20                  | 1,002                |
| 30                  | 0,7978               |
| 40                  | 0,6531               |
| 50                  | 0,5471               |
| 60                  | 0,4668               |

#### Calcul de l'efficacité électromécanique $\eta_{EM}$

Avec la valeur calculée de  $P_h$  et la puissance active du moteur mesurée sur le terrain, la valeur de l'efficacité électromécanique est calculée avec l'équation suivante :

$$\eta_{EM} = P_h / P_e \times 100$$

Où :

- $\eta_{EM}$  est l'efficacité électromécanique (–)
- $P_h$  est la puissance de pompage (kW)
- $P_a$  est la puissance active du moteur (kW)

#### Calcul de l'efficacité de la pompe $\eta_b$

Lorsque l'efficacité électromécanique  $\eta_{EM}$ , est calculée et l'efficacité effective du moteur  $\eta_m$  a été évaluée, l'efficacité de la pompe  $\eta_b$  peut être calculée comme suit :

$$\eta_B = \eta_{EM} / \eta_M$$

Cette valeur est calculée pour tout l'équipement de pompage faisant l'objet de l'audit et elle sert de base à l'élaboration d'un plan d'efficacité énergétique.

#### 4.3.4. Calcul des pertes du réseau de conduites de distribution

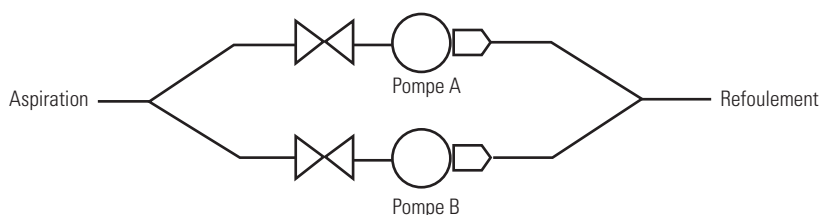
L'énergie excédentaire est souvent consommée dans les installations de pompage, notamment le réseau de conduites d'eau associées à chaque système de pompage. Les principaux points évalués au cours de l'audit d'efficacité énergétique comprennent la configuration matérielle des conduites des puits et des systèmes de conduction d'eau aux stations de pompage ou dans les systèmes de pompage de source en surface, par exemple les prises fluviales, les sources, les barrages ou les galeries de filtres.

Les principaux points à relever sont les conditions d'aspiration et les caractéristiques du système de conduites. À de nombreuses occasions, l'efficacité du système est réduite en raison de l'insuffisance de la force d'aspiration à la prise de la pompe, concept connu sous l'appellation de charge nette absolue à l'aspiration (NPSH – *net positive suction head*). Au cours de l'audit d'efficacité énergétique, il est important de vérifier que les paramètres de NPSH adéquats sont réalisés.

Il est fréquent que les réseaux de distribution n'aient pas la pression nécessaire au transport de l'eau pour différentes raisons. Voici les quatre principales :

1. Le premier problème est la surpression qu'entraîne le débit venant d'une source ou d'un système de pompage supplémentaire raccordé. Cela se produit lorsque plus d'une source alimente en eau la même canalisation, mais à des pressions différentes.
2. Le deuxième problème est la réduction de la capacité de refoulement prévue des trains de pompes. Ce problème se produit souvent dans les systèmes où deux pompes, ou plus, fonctionnent en parallèle, en présumant fournir un débit supplémentaire au réseau, sans s'assurer au préalable des capacités individuelles de chaque pompe. Lorsque cela se produit, l'équipement ne fournit pas le débit prévu et son efficacité est nettement réduite (cf. Figure 25).

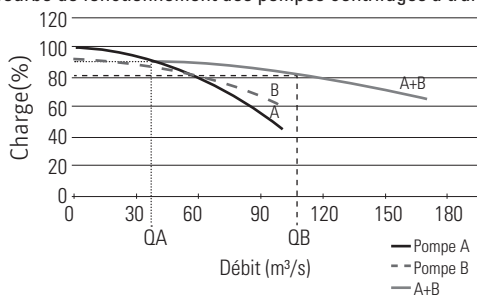
**FIGURE 25 :** Pompes centrifuges opérant en parallèle



À tort, la courbe de service de la situation à la Figure 25 est conçue en ajoutant simplement les capacités de chaque pompe dans des conditions de charge égales. Le résultat se trouve à la Figure 26.

**FIGURE 26 :** Capacité de charge des pompes centrifuges opérant en parallèle

Courbe de fonctionnement des pompes centrifuges à transmission



L'équation de capacité de charge suppose alors que :  $Q_{AB} = Q_A + Q_B$

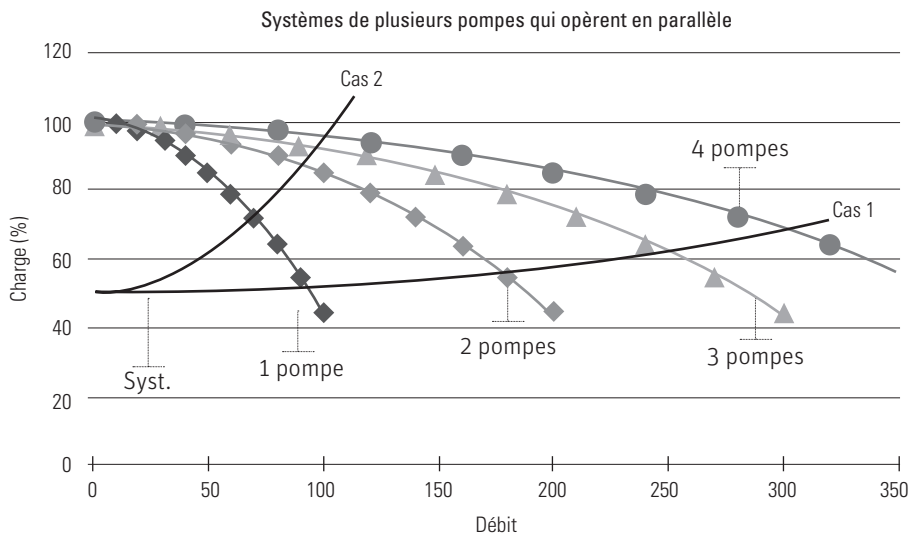
Où :

$Q_{AB}$  est le débit résultant du fonctionnement parallèle de la pompe A et de la pompe B  
 $Q_A$  est le débit de la pompe A  
 $Q_B$  est le débit de la pompe B

Une autre idée fausse : en ajoutant une autre pompe, on multiplie par deux le débit, une troisième pompe le multiplie par trois, etc. à chaque pompe qu'on ajoute. En augmentant le débit dans les conduites d'un même réseau, la perte de charge augmente également. L'effet de chaque pompe supplémentaire entraîne une réduction du débit des pompes individuelles. La Figure 27 illustre cet effet avec deux cas différents :

- Dans le premier, la courbe du système est relativement ouverte sur quatre pompes. L'ajout de deux pompes augmente le débit, mais la charge n'enregistre aucune modification importante.
- Dans le deuxième cas, la courbe du système n'est pas aussi ouverte que la première. L'ajout d'une quatrième pompe n'augmente pas le débit total, mais le répartit entre les quatre pompes. Aucun des deux cas ne fait la démonstration d'une relation linéaire simple entre le nombre de pompes et le débit de refoulement qui en résulte.

**FIGURE 27 :** Effet de plusieurs pompes en parallèle dans le système de conduction



- Dans certains systèmes de distribution, les pertes d'énergie par friction dans les canalisations sont importantes. Pour évaluer cette possibilité, exécuter la procédure ci-dessous au cours de l'audit d'efficacité énergétique :
  - Avec les données collectées au cours de la campagne de mesures et de l'inspection sur le terrain, évaluer la vitesse du fluide dans les conduites principales de conduction des réseaux d'approvisionnement et de distribution.

- b. Dans les conduites de conduction où les vitesses du fluide sont supérieures à 2,0 m/s, évaluer l'énergie perdue. Intégrer ces informations ensuite dans le portefeuille de projets d'efficacité énergétique proposés.

Les options ci-dessous permettent de réaliser une évaluation des pertes par friction dans les conduites de conduction :

1. Calculs basés sur les méthodes de modélisation hydraulique des méthodes d'analyse des canalisations, qui exigent la réalisation de ce modèle avant l'évaluation
2. Procédure classique d'une évaluation rapide des économies potentielles aux premières étapes du plan pour éviter d'avoir à attendre l'accès au modèle de simulation

La méthode classique présentée à la section 4.3.3.2.

#### 4.3.5. Calcul des indicateurs d'énergie

Il existe de nombreux indicateurs pour mesurer l'efficacité et l'efficience d'un système d'eau, mais en termes d'efficacité énergétique, il est essentiel de surveiller la consommation énergétique spécifique (kWh/m<sup>3</sup>) et l'indicateur du coût énergétique par unité d'énergie (\$/kWh). Il est important de mesurer, enregistrer et analyser ces indicateurs en permanence dans les compagnies des eaux et d'assainissement, car les résultats peuvent refléter les progrès réalisés et permettre d'établir d'autres politiques et programmes pour accroître l'efficacité énergétique.

##### 4.3.5.1. Consommation énergétique spécifique (kWh/m<sup>3</sup>)

La consommation spécifique représente la relation entre l'énergie utilisée par le système de pompage dans un système d'eau potable et le volume total d'eau produit et amené au réseau de distribution. Le volume d'eau produit est exprimé en mètres cube par an. La quantité d'énergie consommée dans le système de pompage est déterminée à partir des relevés de facturation de la compagnie locale d'électricité. La consommation en (kWh) est un total calculé sur une base annuelle. La consommation spécifique est calculée comme suit :

$$EI = \frac{\text{Énergie totale consommée par l'équipement (kWh)}}{\text{Eau totale produite et fournie au système (m}^3\text{)}}$$

Il n'existe pas de valeur de référence de consommation spécifique, car cette valeur dépend du type de source hydraulique disponible dans le système d'approvisionnement en eau et de la topographie de la ville. Les systèmes situés dans des topographies montagneuses qui amènent l'eau uniquement par des postes de pompage auront des valeurs de consommation spécifiques plus élevées. De plus, les systèmes où les fuites dans le réseau sont nombreuses présenteront une augmentation de la production et de l'approvisionnement en eau, et donc une consommation plus forte d'énergie. Mais la consommation spécifique d'une compagnie des eaux régressera avec l'installation d'équipements de pompage plus efficaces et en réduisant au minimum les fuites dans le réseau.

##### 4.3.5.2. Coût énergétique par unité d'énergie (\$/kWh)

Le coût énergétique par unité d'énergie représente le coût unitaire de l'énergie consommée, qui dépend de plusieurs facteurs, notamment le type de barème de facturation d'électricité, le facteur de

charge spécifique (reflétant les heures d'exploitation effective par rapport à une exploitation à plein temps de 24h sur 24), et d'autres facteurs affectant l'énergie, par exemple les crédits ou les pénalités de facturation en raison du FP des installations électriques. Le coût énergétique par unité d'énergie est calculé sur la base de la consommation annuelle totale d'énergie (kwh/an) et le total des factures d'énergie (\$/an) perçu par la compagnie des eaux sur un an.

Coût énergétique par unité d'énergie = 
$$\frac{\text{Énergie totale facturée (\$/an)}}{\text{Consommation totale d'énergie (kWh/an)}}$$

Tout comme la consommation spécifique, il n'existe pas de valeur moyenne de référence. Ces indicateurs sont basés sur l'infrastructure électromécanique et les coûts respectifs, et doivent être fixés pour chaque compagnie des eaux.

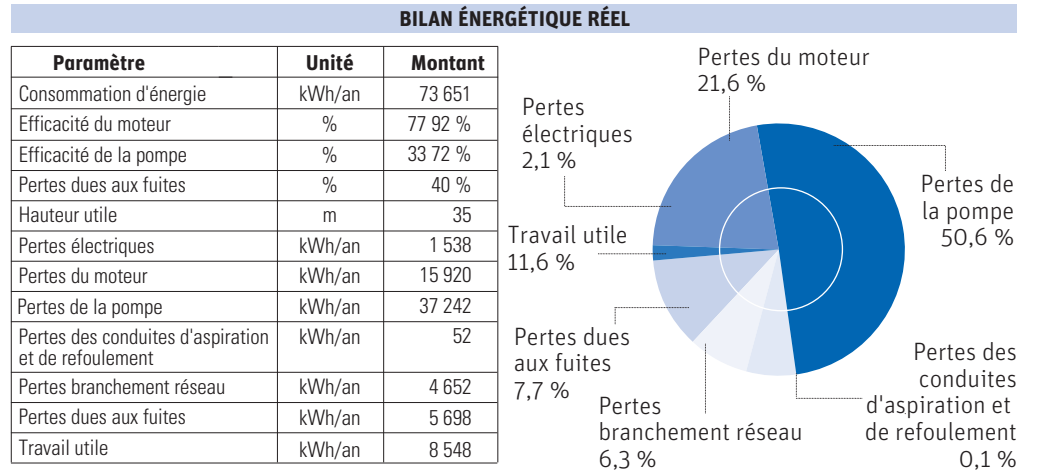
4.3.6. Bilan énergétique réel

Lorsque les efficacités énergétiques des composantes du système de pompage sont évaluées, le bilan énergétique réel des équipements doit être déterminé. Il est un indicateur des éléments du système de pompage qui consomment le plus d'énergie et est à la base de la planification des mesures d'économie.

L'élément le plus important obtenu grâce à cet indicateur est la ventilation de toute les pertes énergétiques et de, par le fait même, de toute l'utilisation d'énergie. Cette ventilation fait la distinction par rapport au travail utile, l'énergie de pompage et l'énergie résiduelle, l'énergie perdue. Elle indique la distribution d'énergie et les points où elle a le plus grand impact, et où se trouvent les meilleures opportunités d'économies d'énergie.

Le bilan énergétique effectif calcule les pertes d'énergie et les efficacités de tous les composants du système de pompage, conformément aux sections 4.3.1 à 4.3.5 de ce document. Les pertes et les efficacités énergétiques figurent au Tableau 11, où la valeur de chaque élément de consommation d'énergie est alors ventilée dans le bilan énergétique effectif.

TABLEAU 11 : Exemple de bilan énergétique d'un système de pompage



**Consommation d'énergie** – l'énergie électrique totale consommée par le système de pompage au cours d'une année entière d'exploitation (kWh).

**Efficacité du moteur** – l'efficacité effective du moteur (-).

**Efficacité de la pompe** – l'efficacité effective de la pompe (-).

**Pertes par fuites** – une estimation de la déperdition d'eau des fuites du réseau de distribution, conformément aux études antérieures du réseau (-).

**Hauteur utile** – la pression de la pompe résultant des élévations physiques et topographiques et la distance verticale entre le point d'aspiration et le plus haut point du réseau, exprimés en mètres de colonne d'eau (mH<sub>2</sub>O).

**Pertes électriques** – pertes électriques dans les composantes électriques, ici en raison des pertes d'énergie du conducteur.

**Pertes du moteur** – pertes d'énergie dans le moteur en se fondant sur l'efficacité effective du moteur.

**Pertes de la pompe** – pertes d'énergie produites par l'inefficacité de la pompe.

**Pertes des conduites d'aspiration et de refoulement** – Pertes de pression produites par la friction du fluide dans les conduites d'aspiration et de refoulement.

**Pertes de charge du réseau** – pertes totales de charge de pompage calculées par la différence entre la charge de pompage nette et l'écart de pression correspondant.

**Pertes par fuites** – pertes d'énergies estimées à partir des fuites de fluide dans le réseau de distribution, calculées sur la base du facteur de fuite.

**Travail utile** – travail effectif exprimé en unités d'énergie réellement nécessaire au système de pompage ou, en d'autres termes, l'énergie utilisée dans le système de pompage pour amener le fluide.

Lorsque les pertes sont calculées pour chacun des éléments du système de pompage, un diagramme à secteurs peut être réalisé, comme au Tableau 11, pour donner une meilleure perception du bilan énergétique effectif.

#### **4.3.7. Analyse des conditions de fonctionnement**

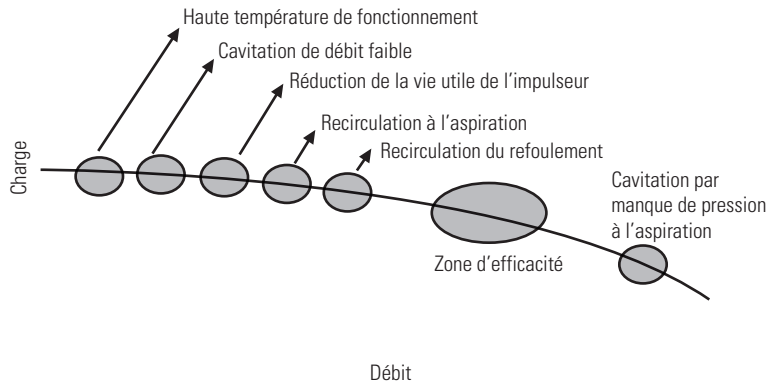
En faisant une analyse des conditions de fonctionnement, deux observations importantes s'imposent. La première sera les conditions de fonctionnement charge-débit réelles des systèmes de pompage, pour voir si elles sont constantes ou si elles changent selon les périodes. La deuxième sera la régulation des niveaux d'eau dans les fosses d'aspiration et les réservoirs de régulation.

Selon leur conception, toutes les pompes ont un point de fonctionnement de charge-débit optimal, où toutes les pertes décrites dans les sections précédentes sont réduites au minimum. Si le fonctionnement effectif de la pompe n'y correspond pas, c'est peut-être pour les raisons suivantes :

- Faible efficacité du moteur
- Usure des composantes, particulièrement les éléments d'entraînement et les bagues d'usure
- Cavitation par faible aspiration
- Autres conditions d'exploitation en dehors de celles présentes lors de la conception de la pompe

La Figure 28 présente les problèmes types produits par l'exploitation d'une pompe en dehors de son point de service.

**FIGURE 28 :** Schéma des problèmes d'une pompe fonctionnant hors de son point de service

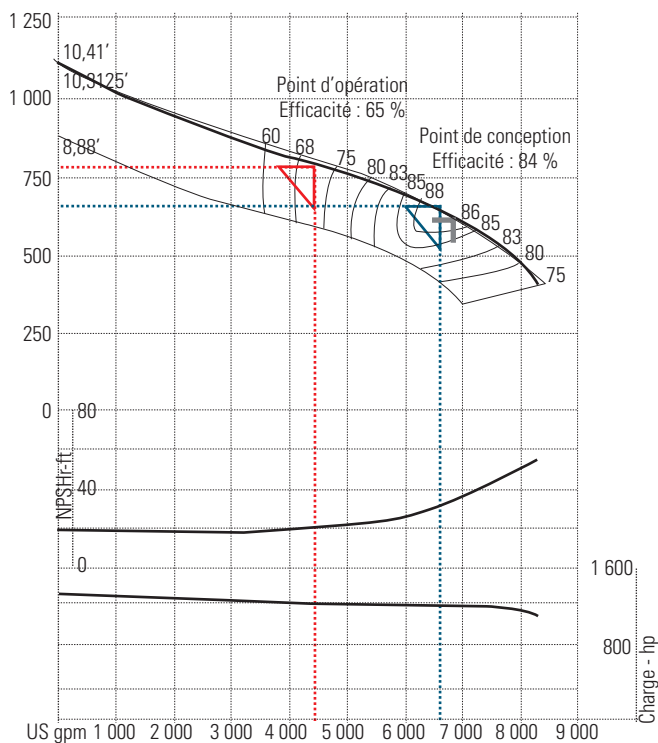


Les systèmes de pompage fonctionnent d'ordinaire sous différentes conditions que celles pour lesquelles ils ont été conçus. Les causes de ce problème comprennent notamment :

- **Approvisionnement discontinu** – il est courant de trouver des systèmes de pompage qui approvisionnent différents points ou zones du réseau de distribution, pendant une même journée. Une exploitation discontinue approvisionne directement le réseau un jour et le lendemain, elle approvisionne un réservoir ou une autre région démographique.
- **Réparations d'urgence** – en raison du manque d'entretien préventif, des réparations urgentes sont souvent nécessaires, mais les compagnies ne disposent pas des pièces correctes pour exécuter les réparations nécessaires ou pour remplacer l'équipement. En lieu et place, elles se servent des pièces disponibles, mais dans la plupart des cas, celles-ci ont été conçues pour d'autres conditions d'exploitation.

La Figure 29 montre qu'une importante variation de charge-débit des conditions de fonctionnement peut avoir jusqu'à 20 % d'incidence sur l'efficacité de la pompe.

**FIGURE 29 :** Fonctionnement et efficacité de la pompe affectés par les variations des conditions d'exploitation



L'observation suivante sera de déterminer la méthode servant à contrôler les niveaux d'eau d'aspiration et de refoulement des réservoirs reliés au système de pompage. D'ordinaire, les niveaux d'eau des fosses d'aspiration sont mesurés manuellement, ce qui entraîne des pratiques non efficaces, par exemple des déversements dans les réservoirs. En résultat, l'équipement finit par fonctionner pendant de longues périodes dans des conditions de charge défavorables, ce qui a une incidence directe sur l'efficacité électromécanique. Dans cette situation, il est très important de réaliser les tâches suivantes au cours de l'audit d'efficacité énergétique :

1. Identifier clairement les conditions d'exploitation des équipements, y compris les conditions de fonctionnement de charge-débit de différentes périodes de la journée ou toutes les semaines.
2. Obtenir les paramètres nominaux ou, si possible la courbe nominale d'origine de l'équipement installé pour proposer des recommandations appropriées à chaque situation.



## Chapitre 5

### IDENTIFIER LES OPPORTUNITÉS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

À partir de l'analyse des informations obtenues au cours de l'audit d'efficacité énergétique, y compris les résultats de conditions de fonctionnement et d'entretien, définir un portefeuille de projets possibles pour couvrir toutes les opportunités d'économies d'énergie et économiques, y compris des mesures d'investissements faibles, moyens ou élevés. Pour les projets qui exigent des investissements supérieurs, évaluer les coûts-avantages à partir soit d'une analyse de recouvrement de l'investissement ou une analyse détaillée basée sur la valeur présente nette et la durée de vie du bien acheté, examinée ci-dessous. D'ordinaire, les mesures identifiées dans chaque projet sont destinées à contrôler et à optimiser les variables affectant la consommation et le coût de l'énergie. Dans ce manuel, les mesures d'économie sont classées selon les groupes suivants :

- **Mesures ayant trait au taux d'énergie**
- **Mesures de réduction des pertes dans les installations électriques**
- **Mesure pour augmenter l'efficacité des moteurs**
- **Mesures pour augmenter l'efficacité des pompes**
- **Réduction de perte de charge**
- **Réduction des fuites**
- **Améliorations du fonctionnement**
- **Remplacement de la source d'alimentation électrique**
- **Entretien (cf. chapitre 8)**

Une description détaillée de chaque mesure d'économie, sa base technique spécifique, et les critères servant à la mise en œuvre de ces mesures sont décrits dans la section suivante.

#### 5.1. MESURES AYANT TRAIT AU TAUX D'ÉNERGIE

##### 5.1.1. *Optimisation du taux de service électrique*

Une opportunité d'économie intéressante dans les systèmes de pompage consiste à trouver un taux moins onéreux auprès d'une compagnie d'électricité différente. Pour cela, il est important de réaliser une étude du barème des tarifs pendant l'audit énergétique.

Les tarifs de l'électricité pour les compagnies des eaux et d'assainissement varient selon les accords établis avec les compagnies d'alimentation en électricité. Pour trouver le meilleur taux, identifier d'abord les tarifs de chaque service de la compagnie des eaux et d'assainissement, ainsi que la demande et la consommation de chaque établissement. Puis, évaluer les économies potentielles des coûts de l'électricité selon différents tarifs. Comparer les montants qui seraient versés selon chaque taux. Il est important d'étudier tous les coûts associés à chaque tarif. Par exemple, pour changer l'alimentation électrique et passer d'une faible tension à une tension moyenne ou haute, tenir compte du changement de tarif et du coût des investissements nécessaires pour acheter et installer les transformateurs électriques, ainsi que les coûts associés à l'entretien de ces transformateurs.

### 5.1.2. Contrôler la demande d'électricité

Dans la plupart des pays des Caraïbes, le coût de l'électricité varie selon l'heure où l'électricité est utilisée pendant la journée. Le type de redevance qui est souvent stipulé dans le contrat de service des systèmes des eaux et d'assainissement se nomme une redevance horaire. Ce type de taux comprend des heures de demande de pointe, où le coût unitaire de l'énergie est d'ordinaire nettement supérieur à celui du restant de la journée.

Dans les établissements où ce taux est appliqué pour l'approvisionnement en électricité, comparer les alternatives pour la mise en œuvre d'une mesure qui gère la consommation lorsque la demande est à sa pointe. Il s'agit d'un plan de contrôle de la demande connu, fondé sur une diminution du fonctionnement hydraulique et donc de la charge d'électricité pendant heures de pointe. En résultat, le coût total de l'approvisionnement en électricité chute. Il est possible de mettre en place un contrôle de la demande grâce aux mesures suivantes :

1. Modification des procédures d'exploitation pour réduire la consommation aux périodes de demande de pointe.
2. Installation de minuteries pour stopper certains équipements avant le début des heures de pointe et pour programmer leur redémarrage à la fin des heures de pointe.
3. Introduction d'un système permettant de mettre hors tension les équipements à forte consommation d'électricité pour contrôler la demande globale en électricité de l'installation (principalement pendant les heures de pointe), sans affecter les paramètres du processus, par exemple la pression ou le niveau des réservoirs.

## 5.2. MESURES DE RÉDUCTION DES PERTES DANS LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

### 5.2.1. Améliorer le refroidissement des transformateurs

Si les températures enregistrées dans le transformateur sont élevées ou leur amplitude varie en dehors de la normale au cours des mesures réalisées sur le terrain, cela peut mener à une perte importante de puissance électrique. Dans ce cas, il faudrait évaluer le coût de la correction de la défaillance.

**Situation observée pendant l'audit :** Déterminer si les pertes électriques du transformateur sont supérieures à deux pour cent de la consommation totale d'énergie pendant l'audit.

**Mesures recommandées :** Selon le problème concerné, appliquer les mesures indiquées au Tableau 12.

**TABLEAU 12 :** Mesures recommandées pour améliorer l'état du transformateur

| Problème observé                                                                                                     | Mesure recommandée                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Le transformateur est en service depuis de nombreuses années et/ou est en mauvais état.                              | Faire l'entretien général du transformateur, et en cas de dégâts irréversibles, le remplacer par un transformateur neuf à faibles pertes.                                 |
| La température du transformateur est élevée en raison du manque de ventilation dans la salle où il est installé.     | Améliorer la ventilation dans la salle où se trouve le transformateur, soit en installant des extracteurs ou en ouvrant les fenêtres pour aérer par ventilation la salle. |
| La température du transformateur est élevée pendant son fonctionnement en raison des températures ambiantes élevées. | Installer un système de ventilation forcée par transformateur.                                                                                                            |

### 5.2.2. Modernisation des conducteurs électriques

Si le calibre des conducteurs ne correspond pas aux paramètres de l'équipement de pompage, sélectionner un conducteur qui remplit la norme internationale et produit des économies d'énergie.

**Situation observée pendant l'audit :** Les conducteurs électriques sont en mauvais état et/ou sont surchargés et à la limite de leur capacité.

**Mesures recommandées :** Remplacer les conducteurs actuels par des conducteurs de haut calibre remplissant les normes internationales et de sécurité.

### 5.2.3. Optimiser le facteur de puissance

L'objectif de cette mesure est d'éliminer les problèmes que produit un facteur de puissance faible. Si la valeur est inférieure à 90 %, améliorer le FP pour maximiser la capacité de l'unité.

**Situation observée pendant l'audit :** Le FP de l'équipement de pompage est inférieur à 0,90 ou 90 %.

**Mesures recommandées :** Si le faible FP vient d'un surdimensionnement du moteur ou d'un moteur fonctionnant mal, le remplacer par un moteur neuf à haut rendement, ayant une capacité de service de 75 % environ de sa charge.

Lorsque les problèmes de moteurs sont réglés, compenser le FP par une batterie de condensateurs avec les mesures suivantes :

1. Mesurer le FP.
2. Proposer l'installation d'une batterie de condensateurs pour réaliser un facteur de puissance de 0,97.
3. Installer les condensateurs proposés en aval du démarreur du moteur pour qu'ils ne soient en service que lorsque le moteur l'est.

## 5.3. MESURES POUR AUGMENTER L'EFFICACITÉ DES MOTEURS

### 5.3.1. Corriger les déséquilibres de tension

**Situation observée pendant l'audit :** Le moteur fonctionne à une efficacité sous-optimale en raison d'un déséquilibre de tension de son alimentation électrique.

**Mesures recommandées :** Selon la source du déséquilibre de tension, les mesures à mettre en œuvre sont précisées dans le Tableau 13 : Actions recommandées pour corriger le déséquilibre de tension des moteurs électriques

**TABLEAU 13 : Actions recommandées pour corriger le déséquilibre de tension des moteurs électriques**

| Source des déséquilibres de tension                                                                                                                 | Mesures de correction                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Déséquilibre de l'intensité électrique nécessaire au moteur, ce qui produit une chute de tension à chaque phase et donc un déséquilibre de tension. | Procéder à un entretien régulier du moteur. Si les dégâts sont irréversibles, remplacer le moteur par un moteur à haut rendement.            |
| Déséquilibre de la source d'énergie à partir de la compagnie d'électricité                                                                          | Demander que la compagnie d'électricité règle le problème.                                                                                   |
| Déséquilibre produit par le transformateur de la sous-station elle-même                                                                             | Procéder à un entretien régulier du transformateur. Si les dégâts sont irréversibles, remplacer par un transformateur neuf à faibles pertes. |
| Déséquilibre entraîné par des charges de travail inégales du transformateur                                                                         | Équilibrer ces charges de travail                                                                                                            |

### 5.3.2. Remplacer le moteur électrique par un moteur électrique à haut rendement

Si le moteur est en panne et qu'il faut le réparer, le remplacer par un moteur électrique à haut rendement. Ces moteurs diffèrent des moteurs standards en raison des caractéristiques suivantes :

- Fabrication en acier magnétique et matériaux isolants de haute qualité
- Réduction des espaces entre le carter et les pièces mobiles, pour réduire la possibilité de pertes intérieures
- Accroître le calibre des entraînements.
- Utiliser des ventilateurs et des systèmes de refroidissement plus efficaces.

### 5.3.3. Optimiser l'efficacité du moteur

L'audit d'efficacité énergétique calculera l'efficacité de service des moteurs électriques. Le Tableau 14 : Actions recommandées pour corriger des conditions de fonctionnement inefficace du moteur électrique présente les grandes lignes des mesures correctives recommandées à prendre en cas de résultats anormaux.

La mise en œuvre de ces mesures peut sensiblement améliorer l'efficacité du moteur et réduire ainsi les pertes énergétiques. Par exemple, une réduction de 30 % des pertes d'un moteur de 10 hp avec une efficacité de 82 % pour faire remonter sa valeur à 87 %, ce qui peut également représenter une augmentation des économies d'énergie.

### 5.3.4. Remplacer l'ensemble moteur-pompe

Cette mesure est recommandée lorsque l'efficacité électromécanique est nettement inférieure à ce qui est optimal, et le potentiel d'économies d'énergie est supérieur à 20 %. Dans tous les cas, l'efficacité du moteur doit pouvoir être augmenté de 5 %. Il est donc important de passer en revue les valeurs d'efficacité effective et estimative du moteur.

Choisir une pompe à partir des recommandations suivantes :

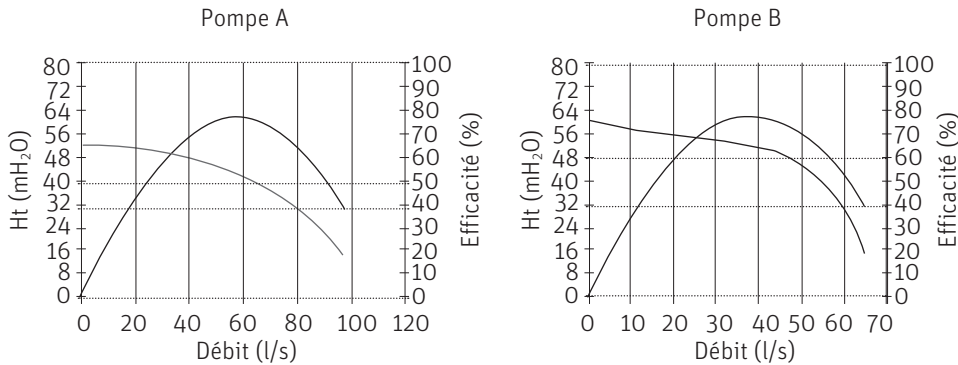
- Ne pas calculer des facteurs de sécurité irréalistes ; ne pas inclure d'informations inappropriées dans les spécifications.

**TABEAU 14 :** Actions recommandées pour corriger des conditions de fonctionnement inefficace du moteur électrique

| Problème observé                                                                               | Diagnostic                                                                                                                                    | Mesure de correction                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tension d'alimentation inférieure à l'originale.                                               | La tension au point de raccordement du fournisseur est inférieure à l'originale.                                                              | a) Corriger les dispositifs de réglage de tension du transformateur ou les ports d'accès du transformateur. (Les ports d'accès servent à régler la relation de transformation de tension et à régler la tension de sortie au moteur pour absorber les variations des composantes du fournisseur/changeur). |
|                                                                                                |                                                                                                                                               | b) Demander au fournisseur de régler le problème.                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                | La tension au point de raccordement du fournisseur enregistre des variations de plus de 5%.                                                   | Demander au fournisseur de régler le problème.                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                                                | La tension au point de raccordement du fournisseur est la même que la tension originale du moteur et ne présente aucune variation importante. | a) Corriger les ports d'accès du transformateur.<br>b) Faire le diagnostic et administrer l'entretien du transformateur.                                                                                                                                                                                   |
| déséquilibre de tension dans l'arrivée d'alimentation du moteur                                | La tension au point de raccordement du fournisseur est déséquilibrée.                                                                         | Demander au fournisseur de régler le problème.                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                                                | La tension d'entrée est équilibrée et la tension de sortie est déséquilibrée.                                                                 | Faire le diagnostic et faire l'entretien du transformateur, selon le cas.                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                | La tension des bornes du transformateur secondaire est équilibrée et la puissance au moteur est déséquilibrée.                                | a) Examiner la mise à la terre du transformateur et le raccordement au moteur. Corriger les problèmes détectés.                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                |                                                                                                                                               | b) Examiner le moteur de commande central, le démarreur et le moteur et les raccordements. Corriger les problèmes détectés.                                                                                                                                                                                |
| Équilibre de la demande de puissance du moteur.                                                | Le déséquilibre de puissance est inversement proportionnel au déséquilibre de tension.                                                        | Corriger le déséquilibre de tension.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                                                                                | Le déséquilibre est produit par une demande de puissance déséquilibrée des phases du moteur.                                                  | a) Si le déséquilibre est inférieur à 5 %, exécuter l'entretien du moteur.                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                |                                                                                                                                               | b) Si le déséquilibre est supérieur à 5%, remplacer le moteur par un moteur à haut rendement.                                                                                                                                                                                                              |
| La vitesse de fonctionnement du moteur est inférieure à la vitesse originale en pleine charge. | Problèmes de roulement                                                                                                                        | Lubrifier et remplacer les pièces à l'origine du problème.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Haute température et/ou fortes vibrations du roulement                                         |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Le moteur a une efficacité standard et est en exploitation depuis plus de 10 ans.              | Faible efficacité du moteur.                                                                                                                  | Remplacer le moteur actuel par un moteur à plus grande efficacité, fonctionnant à 75 % environ de son efficacité.                                                                                                                                                                                          |
| Le moteur a été réparé (rebobiné) plus de deux fois.                                           | Dépréciation de l'efficacité du moteur.                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Le moteur fonctionne actuellement à un facteur de charge de moins de 45 %.                     | Faible efficacité du moteur.                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Le moteur fonctionne actuellement à un facteur de charge supérieur à 100 %.                    | Faible efficacité du moteur.                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

- Si la pompe sera en service avec plus d'un point de charge, la choisir pour que toutes les conditions d'opération présentent une « efficacité raisonnablement élevée ». La Figure 30 illustre cette recommandation en utilisation deux pompes aux fonctionnements H-Q différents. La pompe B présente une courbe ouverte et est adéquate pour les changements fréquents de niveau dynamique, alors que la pompe B se-rait plus indiquée lorsque le niveau dynamique est plus stable.

**FIGURE 30 :** Courbes type de deux pompes aux fonctionnements H-Q différents



Lorsque la pompe est installée, vérifier le point de fonctionnement et effectuer les réglages nécessaires.

## 5.4. MESURES POUR AUGMENTER L'EFFICACITÉ DES POMPES

### 5.4.1. Régler l'équipement de pompage par rapport au données de conception

Définit au minimum deux points de la courbe de la pompe où l'équipement de pompage est en service. Évaluer les caractéristiques de l'équipement installé pour savoir si elles remplissent les conditions réelles de fonctionnement exigées ; par exemple, réduire la dimension du bâti, régler les roues (impulseurs), les changer ou remplacer l'équipement de pompage. Le Tableau 15 fait la liste des mesures appropriées pouvant être adoptées pour accroître l'efficacité de la pompe en se fondant sur les observations.

**TABEAU 15 :** Mesures recommandées pour régler la courbe de l'équipement de pompage par rapport aux conditions effectives de service

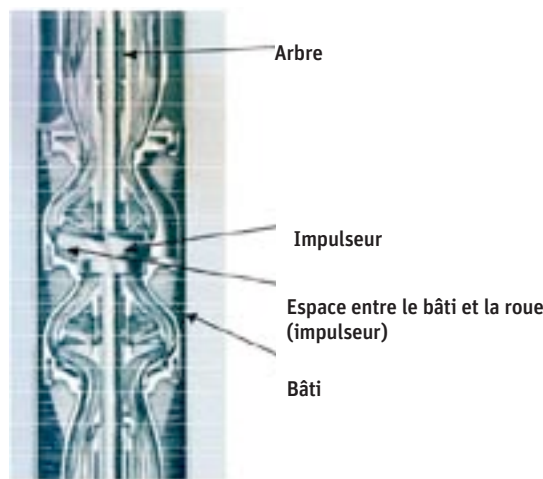
| Type de pompe                       | Position de point de fonctionnement | Actions                                                                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pompe verticale à plusieurs paliers | Au-dessus de la courbe de la pompe  | Augmenter les paliers de la pompe                                                           |
|                                     |                                     | Remplacer les roues (impulseurs) par des roues (impulseurs) d'un plus grand diamètre        |
|                                     | En-dessous de la courbe de la pompe | Diminuer les paliers de la pompe                                                            |
|                                     |                                     | Raccourcir les roues (impulseurs)                                                           |
| Horizontal                          | Au-dessus de la courbe de la pompe  | Remplacer les roues (impulseurs) par des roues (impulseurs) neuves d'un plus grand diamètre |
|                                     | En-dessous de la courbe de la pompe | Raccourcir les roues (impulseurs)                                                           |

#### 5.4.2. Régler la position de la roue (ou impulseurs) dans les pompes à roue ouverte

Cette mesure ne s'applique qu'aux pompes à roue ouverte ayant une faible efficacité de fonctionnement.

Régler l'arbre et les roues (impulseurs) dans la section du bâti de la pompe en soulevant ou en abaissant l'arbre avec l'écrou de réglage. La Figure 31 présente la batterie de roues (impulseurs) dans le corps des cuvettes de la pompe. Ce réglage des roues (impulseurs) est calibré avec l'arbre selon les spécifications du fabricant au moment de l'installation. Un positionnement erroné des roues (impulseurs) au moment de l'installation, ou un repositionnement naturel au fil du temps réduira l'efficacité de la pompe.

**FIGURE 31 :** Schéma de pompe à turbine avec roue ouverte



Les mesures ci-dessous devraient être prises pour régler l'arbre en position nominale.

**1<sup>ère</sup> étape :** Retirer la bâche du moteur vertical pour situer l'écrou de réglage de l'arbre (cf. Figure 32).

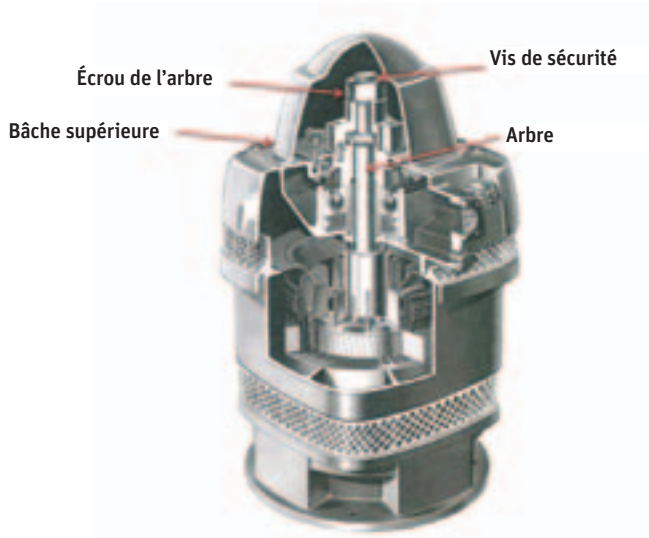
**2<sup>e</sup> étape :** Démonter la vis de sécurité qui empêche l'écrou de bouger.

**3<sup>e</sup> étape :** Une fois l'écrou dégagé, le desserrer jusqu'à ce qu'il ne porte plus le poids de l'arbre. Puis le resserrer à la main jusqu'à ce qu'il soit fixe et mesurer alors la longueur de l'arbre qui est au-dessus du niveau de l'écrou.

**4<sup>e</sup> étape :** Soulever l'arbre en resserrant l'écrou de réglage jusqu'à ce qu'il atteigne le rebord supérieur du bâti. Relever la mesure correspondante entre l'écrou de réglage et le haut de l'arbre. La distance mesurée est l'espace total effectif de la roue (impulseur) dans le bâti. Si la distance ne concorde pas avec la valeur fournie par le fabricant, la roue (impulseur) est usée.

**5<sup>e</sup> étape :** Desserrer l'arbre jusqu'à ce que la roue (impulseur) atteigne le haut du bâti. Ensuite, resserrer l'écrou pour régler l'arbre selon la distance précisée par le fabricant, qui dépend du diamètre de l'arbre et de la charge hydraulique.

**FIGURE 32 :** Diagramme d'un moteur à arbre creux raccordé à une pompe à turbine\*



Source: Byron Jackson Manual for Turbine Pumps

## 5.5. RÉDUCTION DE PERTE DE CHARGE

### 5.5.1. Corriger les défauts de configuration et de fonctionnement des conduites de refoulement

Si l'audit a déterminé qu'il existe un problème de configuration des canalisations de refoulement et qu'il entraîne une baisse d'efficacité de l'une des pompes, corriger la configuration et le fonctionnement des conduites de refoulement. Cette mesure devrait être appliquée aux systèmes de pompage en cas de contre-pressions inutiles ou pour prévenir le refoulement du débit venant des équipements de pompage. Modifier alors la conduite de refoulement ou la configuration de la conduite principale pour éviter les problèmes mentionnés ci-dessus.

### 5.5.2. Réduire les pertes par friction dans les conduites de conduction

Les pertes entraînées par la friction de l'eau sur les parois de la conduite peuvent aller jusqu'à 30 % de la puissance nécessaire aux équipements de pompage dans certains cas, notamment dans les conduites à haute vélocité hydraulique. La vitesse de fluide recommandée dans une conduite est inférieure à 2,0 m/s. Si la vitesse du fluide est supérieure à cette valeur des mesures doivent être prises pour réduire la vitesse du fluide dans les conduites.

Évaluer les mesures ci-dessous et choisir les plus rentables :

- Si la canalisation est exploitée depuis plusieurs années et qu'elle est en mauvais état, la remplacer par une conduite de plus grand diamètre permettant des vitesses de fluide allant de 1,0 à 1,5 m/s.
- Si la conduite est en bon état, analyser les deux options suivantes :

1. Installer une canalisation parallèle à la canalisation en place, avec un diamètre permettant de réduire la vitesse à une valeur de 1,0 à 1,5 m/s dans les deux canalisations.
2. Remplacer la canalisation en place par une canalisation de plus grand diamètre, permettant une vitesse hydraulique entre 1,0 et 1,5 m/s.

## 5.6. RÉDUCTION DES FUITES

### 5.6.1. Mise en œuvre d'une campagne de détection et de réparation des fuites

L'objectif de la neutralisation des fuites est de réduire au minimum l'intervalle entre l'apparition d'une fuite et sa réparation, et à contribuer à l'amélioration continue de la conservation et de l'entretien du réseau de distribution.

La neutralisation des fuites est une activité continue fondée sur la surveillance du réseau des eaux, la collecte des rapports de fuites détectées par les utilisateurs, la recherche systématique de fuites dissimulées, et une évaluation régulière des bilans massiques. À partir d'un échantillonnage de données récentes et de statistiques de terrain, évaluer les pertes et produire un bilan pour faire l'estimation de la consommation d'eau pouvant être diminuée par une réduction des fuites.

1. Collecter les informations et les données décrivant les efforts actuels de réduction des fuites, par exemple des informations sur les effectifs, le budget, les procédures, les équipements, les résultats et les indicateurs.
2. Analyser les données et planifier les mesures à court et moyen terme. Les causes des pertes d'eau peuvent être cernées et réglées grâce à des équipements et des ressources humaines adéquats.
3. Mettre en place un programme de neutralisation et d'élimination des fuites, qui devrait comprendre des activités générales et prioritaires, des coûts et avantages programmes et des sources de financement.
4. Mettre en œuvre des mesures de court terme, par exemple l'élaboration d'un département chargé de neutraliser les fuites, des enquêtes sur les fuites signalées par le grand public, les achats d'équipements et la formation des effectifs.
5. Suivre la performance et garder des registres des opérations.
6. Calculer un bilan d'eau tous les ans et l'évaluer périodiquement en référant le pourcentage de fuites potentielles et la relations coûts-avantages de la neutralisation des fuites.

## 5.7. AMÉLIORATIONS DE SERVICE

### 5.7.1. Installation de convertisseurs de fréquence

L'utilisation d'entraînements à vitesse variable dans les équipements de pompage est recommandée pour les systèmes où l'eau est amenée directement au réseau de distribution, la demande en eau est variable et une évaluation a indiqué un potentiel d'économies d'énergie élevé. Cette mesure englobe la mise en place d'un système de contrôle de la pression du débit avec un entraînement électronique à vitesse variable pour contrôler la vitesse du moteur électrique. Suivre les étapes suivantes pour bien mettre en œuvre cette mesure et calculer les économies ultérieures :

**1<sup>ère</sup> étape :** Choisir un équipement viable et tenir compte de sa consommation d'énergie en exploitation sans l'entraînement à fréquence variable. Tenir aussi compte des pressions et des débits sur 24 heures et enregistrer les données de la pression de refoulement (kg/cm<sup>2</sup>), du débit (m<sup>3</sup>/s), et de la puissance électrique nécessaire au moteur (kW) sur une base horaire (cf. Tableau 16).

**TABLEAU 16** : Exemple de tableau de consommation d'énergie

| Date | Heure<br>hh:mm:ss<br>(Au moins 24 h) | Pression<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Débit<br>(m <sup>3</sup> /s) | Puissance électrique<br>(kW) |
|------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|      |                                      |                                   |                              |                              |
|      |                                      |                                   |                              |                              |
|      |                                      |                                   |                              |                              |

**2<sup>e</sup> étape** : Choisir la pression de service optimale pour chaque système de distribution d'eau, fondée sur les éléments suivants :

- La pression de service optimale est la pression la plus basse à laquelle le système peut fonctionner et desservir en tout point du réseau, est c'est d'ordinaire la valeur la plus basse enregistrée au cours de la surveillance. Cette valeur doit être vérifiée sur le terrain ou par un modèle de simulation hydraulique afin de s'assurer que l'eau continue à être amenée aux points les plus élevés du réseau.
- Si la pression minimum enregistrée au cours de la surveillance est suffisante et que l'eau arrive à tous les points du réseau, c'est la pression de service optimale.
- Si la pression minimum enregistrée au cours de la surveillance est insuffisante pour que l'eau desserve tous les points du réseau, il faudrait augmenter la pression jusqu'à ce que l'eau arrive à tous les points du réseau.

**3<sup>e</sup> étape** : Calculer les économies d'énergie comme suit :

Pour chaque enregistrement pris pendant la surveillance, calculer la diminution de pression de refoulement grâce à l'équation suivante :

$$\text{Si } p_{op} > p_d \rightarrow \Delta p_d = 0.0$$

$$\text{Si } p_{op} < p_d \rightarrow \Delta p_d = p_d - p_{op}$$

Où :

- $p_{op}$  est la pression optimale de service (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $p_d$  est la pression de refoulement enregistrée pendant la surveillance (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\Delta p_d$  est la diminution de pression de refoulement (kg/cm<sup>2</sup>)

Pour chaque enregistrement obtenu pendant la surveillance, utiliser l'équation suivante pour calculer les économies d'énergie avec l'entraînement à vitesse variable installé pour maintenir la pression au niveau optimal obtenu à l'étape précédente :

$$\Delta Pa = \Delta Pd * Q * 9.81 / \eta_{em}$$

Où :

- $\Delta Pa$  est la puissance électrique économisée (kW)  
 $\Delta pd$  est la diminution de la pression de décharge (mH<sub>2</sub>O)  
 $Q$  est le débit (l/s)  
 $\eta_{em}$  est l'efficacité électromécanique de l'ensemble pompe-moteur (-)

Calculer l'énergie économisée, avec l'équation suivante :

$$\Delta E = i \cdot 2(\Delta P_{a,i} + \Delta P_{e,i} - 12 \cdot (h_{r,i} - h_{r,i-1}))$$

Où :

|                  |                                                                            |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta E$       | est l'énergie économisée dans la période de surveillance (24 heures) (kWh) |
| $\Delta P_{a,i}$ | est la puissance électrique économisée dans le registre i (kW)             |
| $h_{r,i}$        | est le temps à la minuterie i (h)                                          |
| $n_{im}$         | est le nombre d'enregistrement dans le temps de surveillance               |
| $h$              | est l'heure ou durée d'enregistrement (h)                                  |

Une fois que les économies d'énergie électrique sont estimées, calculer le montant de l'investissement nécessaire pour mettre en œuvre cette mesure d'économie et l'évaluation économique du projet.

### 5.7.2. Installation des réservoirs de régulation

L'installation d'un réservoir de régulation peut réduire la capacité limite du système de pompage lorsque l'eau est pompée directement dans le réseau, réduisant ainsi la demande moyenne de puissance électrique. Si cette mesure est appliquée, en plus des économies d'énergie réalisées en réduisant la puissance nécessaire pour desservir la demande limite en eau, d'autres économies d'énergie sont possibles si la capacité du nouveau réservoir ou du réservoir de régulation suffit pour réduire la durée de service du système de pompage. Cela permet aux utilisateurs de gérer la puissance nécessaire aux heures de pointe lorsque les coûts de l'électricité sont plus élevés.

Pour évaluer l'énergie économisée grâce à la mise en œuvre de cette mesure, calculer la nouvelle quantité de puissance électrique nécessaire au système de pompage pour approvisionner le réservoir de régulation, grâce à la formule suivante (utiliser les mêmes unités pour chaque produit de  $H_{tmb} \cdot Q$ ) :

$$P'_{eQm} = \frac{H_{tmb} \cdot Q}{(H_{tmb} \cdot Q)} \cdot P_{eQm}$$

Où :

|                      |                                                                                      |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $P'_{eQm}$           | est la puissance électrique prévue avec le nouveau débit moyen                       |
| $P_{eQm}$            | est la puissance électrique exigée avec le nouveau débit moyen                       |
| $H_{tmb} \cdot Q$    | est le produit réel de la hauteur hydraulique multipliée par le débit moyen réel     |
| $(H_{tmb} \cdot Q)'$ | est le produit prévu de la hauteur hydraulique multipliée par le nouveau débit moyen |

## 5.8. REMPLACEMENT DE LA SOURCE D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

### 5.8.1. Sources d'énergie renouvelable

Les sources d'énergie renouvelable se divisent en deux catégories : la première comprend les sources d'énergie provenant directement de ressources naturelles, telles que la lumière du soleil, le vent et l'eau, tandis que la seconde englobe celles qui proviennent de matières organiques ou de la biomasse, qui peuvent être utilisées directement comme carburant (bois ou autres matières végétales solides) ou transformées en bioéthanol ou en biogaz par processus de fermentation organique, ou encore en biodiesel par réactions de transestérification.

Dans les systèmes d'eau potable, l'énergie est obtenue dans les usines de traitement et d'épuration sous la forme de méthane, qui est produit par les processus de décomposition anaérobies des viandages. Les ressources naturelles suivantes sont des sources d'énergie renouvelable.

- Le soleil : l'énergie solaire
- Le vent : l'énergie éolienne
- Les fleuves et cours d'eau douce : l'énergie hydraulique
- Les vagues des mers et des océans : l'énergie marémotrice
- La chaleur de la Terre : l'énergie géothermique
- L'énergie osmotique issue de l'osmose de l'eau douce et de l'eau salée, souvent appelée énergie bleue.

Les énergies solaire et éolienne trouvent diverses applications dans les systèmes de distribution de l'eau, notamment dans les systèmes de pompes éoliennes ou photovoltaïques solaires utilisées dans les zones rurales et reculées comme les exploitations agricoles.

### Énergie solaire

Différents systèmes et sous-systèmes peuvent utiliser l'énergie solaire dans le cadre de systèmes d'eau potable, par exemple les valves de contrôle et d'isolation automatiques, le contrôle de la qualité de l'eau et de la pression et les petits systèmes de pompage de l'eau potable dans les zones rurales et les réseaux électriques à distance.

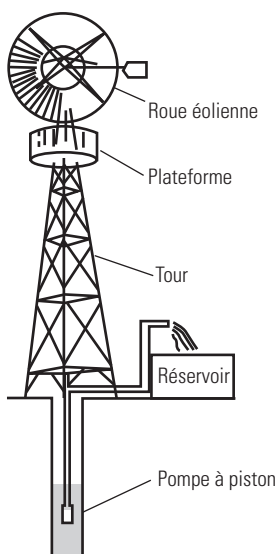
### Énergie éolienne

L'énergie éolienne peut compléter les lignes électriques en place ou permettre à des systèmes d'énergie non conventionnels d'alimenter les systèmes d'eau potable dans les communautés rurales. Dans certaines communautés en effet, une solution énergétique hybride pour les projets d'aménagement hydraulique rural avec une matrice d'éoliennes et des générateurs diesel d'appoint peut être extrêmement intéressante et rentable. Non seulement ces options complémentaires réduisent les coûts, elles améliorent aussi la sécurité énergétique du système. L'énergie éolienne ayant des coûts d'entretien peu élevés, les coûts de production de l'eau baissent donc aussi sensiblement. De nombreux systèmes actuellement en fonctionnement ont des besoins énergétiques élevés et coûteux auxquels pourrait répondre en partie l'énergie éolienne. S'ils sont par ailleurs situés dans des zones disposant d'un important potentiel éolien, la mise en place d'un système hybride dans leurs installations et la réduction des coûts de production seraient faciles et peu onéreuses.

Pour réduire sensiblement la taille comme les coûts, un système électrique éolien doit être mis en place sur le site disposant d'un potentiel éolien important. Une évaluation des vents fiables doit être correctement effectuée de manière à déterminer la vitesse moyenne des vents. Ces informations doivent être obtenues directement sur le site potentiel à l'aide d'anémomètres ou de capteurs de vent pendant une période d'au moins six mois.

Les éoliennes et les turbines éoliennes sont des machines d'une extrême simplicité qui transforment l'énergie mécanique du vent en puissance mécanique pour alimenter une pompe. L'énergie éolienne est très efficace dans le cadre d'un système de pompage parce qu'elle n'a pas besoin d'être convertie en une autre forme d'énergie électrique. L'usage de bassins d'accumulation, dont les volumes dépendent de l'évaluation des vents et de l'estimation de la consommation, assurent un approvisionnement en énergie efficace, économique et stable. Ce sont là des systèmes très simples et peu onéreux

**FIGURE 33 :** Fonctionnement d'une éolienne pour l'extraction d'eau de la nappe phréatique



qui utilisent des pompes à piston et demandent peu d'entretien. Par exemple, un système complet (sans puits) permettant de pomper à un débit d'un litre par seconde coûte environ 3 400 USD.<sup>2</sup>

De petites turbines éoliennes produisent entre 1 et 10 kW et permettent aux utilisateurs de fournir de l'électricité aux projets de traitement des eaux usées pour le traitement de ces eaux et pour leur propre fonctionnement. Le coût de l'installation, variable, dépend en grande partie de l'éloignement du site. Le coût d'une tour représente environ 50 % de la valeur totale du matériel. Le coût d'un watt installé est actuellement compris entre 2 et 6 USD.

### **5.8.2. Production et usage de biogaz dans les usines de traitement des eaux usées**

Le biogaz est un gaz combustible constitué principalement de méthane produit en environnement naturel ou avec des appareils spécifiques par réactions de décomposition de matières organiques par l'activité de microorganismes, les bactéries méthanogènes, dans un environnement anaérobie (c'est-à-dire en l'absence d'air). En raison du manque d'oxygène, la décomposition des matières organiques produit du biogaz, dans ce que l'on appelle un biodigesteur.

L'installation de biodigesteurs dans des systèmes d'alimentation en eau sert deux objectifs : décontaminer les eaux usées de manière à atteindre ou dépasser les normes internationales à ce niveau, et produire du biogaz in situ, qui peut servir à chauffer, ou, dans les moteurs à combustion interne, à alimenter directement les pompes, ou encore à produire de l'électricité par le biais d'un générateur.

---

<sup>2</sup> Estimation datant de 2010



## Chapitre 6

### ÉVALUATION DES MESURES D'ÉCONOMIE

#### 6.1. ÉVALUATION DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE (BILAN ÉNERGÉTIQUE ATTENDU)

Après l'identification des propositions d'économie d'énergie, il faut réévaluer les activités et les spécifications relatives au remplacement du matériel, notamment les efficacités, les pertes et le bilan énergétique mis à jour, afin de déterminer les économies potentielles escomptées une fois le plan mis en place. Cette nouvelle évaluation doit être effectuée selon la procédure décrite au Chapitre 4 du présent manuel en mettant à jour ou en remplaçant les données relatives au matériel et à l'amélioration des conditions de fonctionnement.

Selon les évaluations du moteur, des conducteurs électriques et des spécifications proposées, et en admettant que la pompe fonctionnera dans la gamme d'efficacité de la courbe charge-débit, il est possible de calculer un nouveau bilan énergétique attendu pour prendre en compte le fonctionnement de la pompe avec les mesures d'économie proposées, de la manière décrite au Chapitre 4 du présent manuel. Dans ce cas, le bilan attendu indique le pourcentage d'économie une fois les mesures mises en place. Les économies d'énergie dans le bilan énergétique attendu sont calculées à l'aide des coûts électriques généraux et évaluées selon les termes suivants :

**Coût énergétique par unité d'énergie** – coût global de l'énergie électrique en unité monétaire locale ou en USD/kWh

**Économies directes** – économies attendues grâce à la réduction des pertes d'énergie dans le nouveau bilan énergétique à la suite de la mise en place des mesures d'économie suggérées pour chaque système de pompage. Les économies dans le bilan énergétique attendu sont exprimées par année (kWh). Le total des économies s'obtient en multipliant l'énergie économisée par le coût de l'énergie.

**Économies supplémentaires** – estimation des économies sur la base de l'optimisation du FP et de l'installation d'une batterie de condensateurs, qui permet de réduire les pertes des conducteurs et d'autres composantes électriques.

Cependant, lorsqu'un fonctionnement avec facteur de puissance réduit entraîne des amendes de la part du fournisseur d'électricité, celles-ci peuvent être ajoutées à ce chiffre pour la dernière année de fonctionnement.

**Total des économies** – somme des économies directes et supplémentaires.

$$\text{TOTAL DES ÉCONOMIES (S}_{\text{eco}}) = \text{ÉCONOMIES DIRECTES} + \text{ÉCONOMIES SUPPLÉMENTAIRES}$$

Étant donné que les propositions d'économie impliquent l'achat de matériel, de matériaux et de main d'œuvre supplémentaire, tenez compte dans vos calculs de l'investissement correspondant à chaque système de pompage. Les calculs relatifs à l'investissement doivent prendre en compte tous les coûts du plan d'économie d'énergie en ventilant chaque élément proposé en achats, installation et main d'œuvre.

### 6.1.1. Analyse du taux de rendement de l'investissement

Enfin, il est nécessaire de procéder à une analyse du taux de rendement de l'investissement dans le plan d'économie d'énergie proposé. L'équation suivante permet de calculer la période d'amortissement simple.

$$n_{ri} = \frac{I_{mae}}{S_{eco}}$$

Avec

- $n_{ri}$  est la période d'amortissement (en années)
- $I_{mae}$  est l'investissement total pour la mise en place des propositions d'économie en dollars ou en devise locale
- $S_{eco}$  est le total des économies de coût en dollars ou en devise locale par an

Après avoir calculé les économies et le taux de rendement de l'investissement, préparez un récapitulatif des mesures d'économie d'énergie conventionnelles totales ou des mesures de déploiement rapide et d'investissement à long terme (voir le Tableau 17 comme exemple de feuille de calcul).

**TABLEAU 17 :** Exemple de récapitulatif d'économies d'énergie

| Description de la mesure d'économie | Consommation réelle |                           | Économies (1)    |                          | % | Investissement (3) | Nb d'années d'amortissement (4) |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|---|--------------------|---------------------------------|
|                                     | Énergie kWh/an      | Facture d'énergie (\$/an) | Énergie (kWh/an) | Facture attendue (\$/an) |   |                    |                                 |
|                                     |                     |                           |                  |                          |   |                    |                                 |
|                                     |                     |                           |                  |                          |   |                    |                                 |
|                                     |                     |                           |                  |                          |   |                    |                                 |
| Total des économies (5)             |                     |                           |                  |                          |   |                    |                                 |

Légende :

- Coûts et économies d'énergie annuels pour chaque mesure d'économie provenant de la somme des économies de coût et d'énergie pour chaque système de pompage et pour le reste de l'équipement dans lesquels chaque mesure est appliquée.
- Pourcentage d'économie par type de mesure, calculé en divisant pour chaque mesure les économies d'énergie annuelles par la consommation annuelle.
- Estimation du coût total de l'investissement pour chaque mesure.
- Estimation du temps de retour sur l'investissement simple (amortissement), calculé en divisant la valeur de l'investissement par les économies de coût d'énergie annuels en années.
- Total des économies et pourcentages, soit provenant de la somme de toutes les mesures, soit par type de mesure, pour faire la distinction entre les mesures permettant de faire des économies d'énergie et les économies d'énergie provenant du fonctionnement hydraulique.

## Chapitre 7

### RAPPORT D'AUDIT DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

La dernière étape du rapport d'audit de performance énergétique est la préparation d'un rapport contenant l'ensemble des commentaires et conclusions de l'audit, l'accent étant placé sur les opportunités d'économie d'énergie et les actions nécessaires à leur mise en place. La présente section décrit les informations à inclure dans le rapport en question.

#### 7.1. RÉSUMÉ D'ORIENTATION

Le résumé d'orientation permet aux cadres de direction des sociétés de distribution et d'assainissement de lire et d'analyser les résultats de l'audit et d'obtenir une idée des coûts et des avantages des différentes recommandations. Un résumé d'orientation fait en général deux à cinq pages et doit comprendre les éléments suivants :

- Les économies de coût et d'énergie de tous les systèmes de pompage et de l'équipement où la mesure peut être mise en place, notamment les ventilateurs, les systèmes d'éclairage et tout le matériel connexe.
- Le pourcentage d'économie par mesure (calculé en divisant les économies d'énergie annuelles par la consommation annuelle pour chaque mesure).
- Le coût d'investissement pour chaque mesure.
- La rentabilité des investissements, correspondant à la durée d'amortissement simple (calculée en divisant la valeur de l'investissement par les économies de coût annuelles).
- Le total des économies de coût d'énergie et ses pourcentages, de manière à faire la distinction entre les économies supplémentaires obtenues avec des mesures conventionnelles et les économies provenant du fonctionnement hydraulique.
- Le tableau récapitulatif (voir comme exemple le Tableau 16).

#### 7.2. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS ÉVALUÉES

Une évaluation de l'état des installations de la société de distribution de l'eau doit être effectuée au cours de l'audit. Son résumé doit contenir les données de base suivantes :

- Données générales sur les installations électromécaniques (équipements et conditions)
- Aperçu du système de production et de distribution de l'eau potable et de l'assainissement (acquisition et distribution : réservoir du puits, système combiné de redevances de pompage du puits, etc.)

#### 7.3. ANALYSE DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

Cette section présente les données recueillies et analysées par rapport à la consommation énergétique dans toutes les installations. La description de la situation énergétique doit être accompagnée d'illustrations pour faciliter la compréhension et inclure les éléments suivants :

- Consommation énergétique annuelle, notamment demande en électricité de tous les services et installations contractés par la société
- Tarifs de l'électricité

- Bilan énergétique total de la société de distribution de l'eau
- Modifications mensuelles de la consommation énergétique et des coûts de production
- Liste des indicateurs applicables sur la base des résultats de l'analyse

#### 7.4. RECOMMANDATIONS DE MESURES D'ÉPARGNE ET DE LEURS COÛTS

Il s'agit ici de proposer une évaluation d'ensemble de l'état des systèmes électromécaniques de la société et des observations concernant l'audit de l'équipement. Notez tout problème repéré au niveau des installations et de l'entretien. Enfin, faites des recommandations sur les mesures d'économies à mettre en place à l'aide des points de référence suivants :

- **Recommandation** – description des mesures à prendre pour atteindre les économies escomptées de manière claire et brève
- **Évaluation des économies** – description des hypothèses et des calculs réalisés pour atteindre les opportunités d'économies estimées
- **Évaluation de l'investissement** – explication des hypothèses et des calculs réalisés pour obtenir l'investissement nécessaire à la mise en place de la recommandation
- **Analyse financière** – explication de la rentabilité du plan, notamment la période d'amortissement, le cas échéant à l'aide des méthodes de la valeur présente nette et du taux de rendement interne.

## Chapitre 8

### MAINTENANCE : ÉLÉMENTS ESSENTIELS

Il convient d'inclure dans le plan d'économies d'énergie un programme de maintenance préventive et prédictive. Un programme de maintenance est composé d'un inventaire de l'équipement et des installations, des activités et de la fréquence d'exécution, et d'un calendrier de maintenance. Au nombre des principaux avantages d'un programme efficace de maintenance des installations il, convient de citer les suivants :

- Renforcement de la capacité de pompage
- Renforcement de la fiabilité de l'équipement
- Une exploitation plus efficace et mieux planifiée
- Un meilleur service à la population
- Moins de tension pour le personnel
- Une exploitation et une gestion moins onéreuses
- Une prolongation de la durée de vie utile de l'équipement
- Une réduction des coûts d'investissement et de maintenance
- Des économies d'énergie
- Des économies économiques

#### 8.1. INVENTAIRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DES INSTALLATIONS

Élaborer un inventaire de l'équipement et des installations contenant les informations suivantes :

##### Installations électriques

- Diagramme unifilaire : fournit une version nouvelle ou mise à jour.
- Conducteurs électriques : inclut des informations sur la longueur et la dimension des conducteurs électriques dans chaque section, et précise si la formation est en réseau ou en plateau et quel est le nombre de conducteurs dans le système.
- Transformateurs : identifie chaque processeur et inclut toutes les informations sur sa plaque signalétique.

##### Moteurs électriques

- Numéro d'identification du moteur (ID)
- Données sur plaque
- Données historiques y compris l'âge, le nombre de rebobinages, et une description des réparations.
- Type de roulements et date de leur plus récent changement
- Système de contrôle, y compris les données relatives aux spécifications sur le démarreur, le commutateur et les protections

##### Pompes

- Numéro d'ID de la pompe
- Spécification de la pompe (marque, modèle, matériel, rapidité des opérations, et courbes de caractéristiques)

- Conception des données (pression de tête et débit)
- Spécifications des roues axiales (type et diamètre) et date d'installation
- Spécifications du roulement, boîtes étanches et garnitures mécaniques, y compris la date de leur dernier changement
- Diagramme du dispositif hydraulique et des canalisations de refoulement

## Réservoirs

- Numéro d'ID du réservoir
- Dimensions et capacités volumétrique de l'eau
- Âge et matériau de construction
- Cartes et diagrammes du réservoir

## Réseau de distribution de l'eau

- Diagramme du réseau hydraulique, précisant la longueur, le diamètre et le matériau de composition des conduites ainsi que l'emplacement des vannes, des brides et des appareils de mesurage.
- Âge des conduites et statistiques des défaillances
- Inventaire des vannes, en précisant les spécifications et les emplacements

## 8.2. ACTIVITÉS ET FRÉQUENCE D'EXÉCUTION

Identifier la fréquence d'exécution requise pour les différentes activités tant dans le cadre de la maintenance préventive que de la maintenance prédictive, en fonction de l'expérience des équipes de maintenance et des recommandations des fournisseurs de l'équipement. Le Tableau 18 peut être utilisé comme guide pour le résumé des données et doit être adapté aux conditions spécifiques de l'entreprise et de l'équipement.

**TABLEAU 18 :** Fréquence recommandée pour les différentes activités de maintenance

| Sous-système | Équipement     | Mesure recommandée                                                                                                                                            | Fréquence de la maintenance |              |           |          | En cas de panne |
|--------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------|----------|-----------------|
|              |                |                                                                                                                                                               | quotidienne                 | hebdomadaire | Mensuelle | Annuelle |                 |
| Électrique   | Transformateur | Nettoyage de l'équipement avec un solvant diélectrique                                                                                                        |                             |              |           |          |                 |
|              |                | Nettoyage des lieux                                                                                                                                           |                             |              |           |          |                 |
|              |                | Serrage des tuyères et des terminaux mécaniques                                                                                                               |                             |              |           |          |                 |
|              |                | Purification et filtration de l'huile diélectrique, y compris la centrifugation, la filtration, la déshydratation et le dégazage du contenu du transformateur |                             |              |           |          |                 |
|              |                | Mesure et analyse des paramètres électriques                                                                                                                  |                             |              |           |          |                 |

(suite à la page suivante)

**TABLEAU 18 :** Fréquence recommandée pour les différentes activités de maintenance *(suite)*

| Sous-système | Équipement                   | Mesure recommandée                                                                    | Fréquence de la maintenance |              |           |          | En cas de panne |
|--------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------|----------|-----------------|
|              |                              |                                                                                       | quotidienne                 | hebdomadaire | Mensuelle | Annuelle |                 |
| Électrique   | Transformateur               | Analyse physicochimique de l'huile                                                    |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Vérification des connexions du transformateur (TTR)                                   |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Essais électriques (Megger)                                                           |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Analyse thermographique                                                               |                             |              |           |          |                 |
|              | Centre de contrôle du moteur | Nettoyage des panneaux au solvant diélectrique                                        |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Nettoyage et lubrification des commandes électriques (ressorts, panneaux de commande) |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Serrage du matériel à l'extrémité et aux connexions des circuits électriques          |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Mesure et analyse des paramètres électriques                                          |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Tests de résistance électrique des réseaux de terre                                   |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Essais de continuité des réseaux de terre                                             |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Analyse thermographique                                                               |                             |              |           |          |                 |
|              | Moteur                       | Nettoyage des fils bobinés au solvant diélectrique                                    |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Lubrification du roulement                                                            |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Changement des essieux de roulement                                                   |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Réglage des capuchons                                                                 |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Boîtiers d'équipement de ponçage et de peinture                                       |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Mesure et analyse des paramètres électriques                                          |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Mesure et analyse des vibrations mécaniques                                           |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Test des dommages au matériau d'isolement                                             |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Test de résistance des fils bobinés                                                   |                             |              |           |          |                 |
|              |                              | Analyse thermographique                                                               |                             |              |           |          |                 |

*(suite à la page suivante)*

**TABLEAU 18 :** Fréquence recommandée pour les différentes activités de maintenance *(suite)*

| Sous-système     | Équipement                             | Mesure recommandée                                                                                                                | Fréquence de la maintenance |              |           |          | En cas de panne |
|------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------|----------|-----------------|
|                  |                                        |                                                                                                                                   | quotidienne                 | hebdomadaire | Mensuelle | Annuelle |                 |
| <b>Mécanique</b> | Pompe                                  | Lubrification des roulements                                                                                                      |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Lubrification arbre supérieur                                                                                                     |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Remplacement centre cylindres intermédiaires                                                                                      |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Réglages Réglage sièges cylindres intermédiaires                                                                                  |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Remplacement des roulements à ventouses                                                                                           |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Réglage alignement de l'arbre                                                                                                     |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Remplacement des roulements                                                                                                       |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Fabrication embout remorquage                                                                                                     |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Réglage cylindres de l'arbre                                                                                                      |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Mesure et analyse des vibrations mécaniques                                                                                       |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Mesure et analyse de la pression à l'entrée et à la sortie de la pompe                                                            |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Mesure et analyse du débit                                                                                                        |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Surveillance embout remorquage                                                                                                    |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Surveillance pression remorquage                                                                                                  |                             |              |           |          |                 |
|                  | Canalisation principale de refoulement | Nettoyage et peinture des principaux composants de refoulement                                                                    |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Remplacement des cartiers endommagés des joints de raccordement, vannes, et jauges et vérification de la viabilité de la pression |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Remplacement des vannes                                                                                                           |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Inspection et réétalonnage des macrojagues                                                                                        |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Inspection de l'équipement de chloruration                                                                                        |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Nettoyage du récepteur et des vannes d'expulsion de l'air                                                                         |                             |              |           |          |                 |
|                  |                                        | Mesure et analyse des vibrations mécaniques                                                                                       |                             |              |           |          |                 |

*(suite à la page suivante)*

**TABLEAU 18 :** Fréquence recommandée pour les différentes activités de maintenance (*suite*)

| Sous-système | Équipement | Mesure recommandée                                            | Fréquence de la maintenance |              |           |          | En cas de panne |
|--------------|------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------|----------|-----------------|
|              |            |                                                               | quotidienne                 | hebdomadaire | Mensuelle | Annuelle |                 |
| Mécanique    | Vannes     | Nettoyage et évaluation du diaphragme                         |                             |              |           |          |                 |
|              |            | Nettoyage et évaluation du ressort du récepteur du diaphragme |                             |              |           |          |                 |
|              |            | Remplacement des joints toriques                              |                             |              |           |          |                 |
|              |            | Nettoyage du joint d'étanchéité anti-poussière                |                             |              |           |          |                 |
|              |            | Lubrification du trumeau                                      |                             |              |           |          |                 |
|              |            | Nettoyage du corps de vanne                                   |                             |              |           |          |                 |
|              |            | Nettoyage du positionneur                                     |                             |              |           |          |                 |
|              |            | Remplacement des contrôles du conducteur électrique           |                             |              |           |          |                 |
|              |            | Mesure et analyse des vibrations mécaniques                   |                             |              |           |          |                 |

### 8.3. CALENDRIER DU PROGRAMME DE MAINTENANCE

Une fois l'inventaire de l'équipement terminé, l'étape suivante consiste à créer un calendrier de maintenance, qui est un diagramme indiquant les dates sur un axe et les activités sur l'autre. Il est important de préciser qui est responsable de chaque activité et de tenir un registre des activités menées à bien ; ceci servira de base aux améliorations éventuelles. Le Tableau 19 propose un exemple de calendrier de maintenance.

**TABLEAU 19 :** Exemple de calendrier de maintenance

| Installation | Équipement | Activité | Personne responsable | Date      |           |           |           |           |           |
|--------------|------------|----------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|              |            |          |                      | Semaine 1 | Semaine 2 | Semaine 3 | Semaine 4 | Semaine 5 | Semaine 6 |
|              |            |          |                      |           |           |           |           |           |           |
|              |            |          |                      |           |           |           |           |           |           |
|              |            |          |                      |           |           |           |           |           |           |
|              |            |          |                      |           |           |           |           |           |           |
|              |            |          |                      |           |           |           |           |           |           |
|              |            |          |                      |           |           |           |           |           |           |

## 8.4. ÉQUIPEMENT DE SURVEILLANCE SUGGÉRÉ

Pour l'élaboration d'un programme efficace de maintenance préventive, il faut disposer d'un équipement de surveillance des paramètres suggérés. L'activité centrale du programme de maintenance est l'exécution des mesures recommandées au tableau 18, suivie de l'utilisation des mesures pour la prise de décisions. Créer des graphiques à l'aide des données puis procéder à l'analyse des tendances en vue de détecter toute modification importante des valeurs des paramètres avant une panne ou une réduction de l'efficacité. On trouvera ci-après une trousse d'équipement minimum suggérée pour l'obtention des mesures nécessaires :

Équipement de mesures portable :

- Débitmètres : la technologie la plus fréquemment recommandée est le débitmètre à ultrasons ou à insertion électromagnétique.
- Compteur électrique de paramètres : de préférence un analyseur électrique susceptible de prendre des mesures sur une et trois phases ainsi que les paramètres requis ; en plus des mesures telles que la tension, l'intensité et le FP, il peut mesurer d'autres paramètres liés à la qualité de l'alimentation notamment la distorsion harmonique.
- Caméra thermographique : une technologie à même de détecter les « points chauds » anormaux dans les installations électriques, ce qui permet aux utilisateurs de détecter les contacts défaillants ou les points où des dommages potentiels doivent être corrigés.
- Compteur de vibration : équipement extrêmement utile pour la détection des tendances du niveau des vibrations des ensembles moteur-pompe, ce qui permet de prendre des mesures lorsque le niveau des vibrations augmente. Ceci permet aux utilisateurs de rechercher les causes du problème et de prévenir les dommages imprévus à l'équipement.
- Testeur de terre : équipement permettant aux utilisateurs de surveiller le fonctionnement de mise à la terre dans toutes les installations électriques et mécaniques.

## Chapitre 9

### ÉLABORATION DU PLAN D'ACTION

Une fois l'audit énergétique détaillé terminé, la compagnie d'eau et d'assainissement est prête à élaborer une feuille de route pour l'amélioration de sa performance énergétique. Les compagnies d'eau et d'assainissement performantes utilisent un plan d'action détaillé pour mettre en place un processus systématique régulièrement remis à jour, le plus souvent sur une base annuelle, pour prendre en compte les résultats récents, les modifications de performance, et l'ajustement des priorités. Le champ d'application et l'ampleur du plan d'action sont souvent tributaires des mesures d'efficacité énergétique évaluées par l'audit énergétique détaillé, mais trois composantes principales servent de point de départ à l'établissement d'un plan :

1. les projets dits exécutifs ;
2. les activités et le chemin critique ;
3. le plan financier.

#### 9.1. PROJETS EXÉCUTIFS

La portée des projets d'efficacité énergétique dépend des mesures d'économie définies au préalable par l'audit énergétique détaillé. Généralement, un projet d'ingénierie est composé de phases de conception et de construction. Les résultats des projets exécutifs sont des diagrammes, des dossiers techniques et toute la documentation conceptuelle requise pour la réalisation du projet.

##### Dessins techniques

Les dessins techniques doivent refléter de manière précise l'ensemble des caractéristiques géométriques des produits ou composants requis pour les mesures d'efficacité énergétique. En outre, ils doivent contenir toutes les informations nécessaires pour permettre aux personnes responsables de l'exécution (construction) d'en assurer la bonne mise en application. Les diagrammes doivent être utilisés pour transmettre de manière claire et complète les informations essentielles suivantes :

- Géométrie : la forme de l'objet représentée sous forme de vues, par exemple l'apparence de l'objet observé de différentes directions types (frontale, supérieure et latérale)
- Dimensions : la dimension de l'objet, exprimée en unités reconnues
- Tolérances : les variations acceptables pour chaque dimension
- Matériau : la composition de l'objet
- Finition : spécifie la qualité de la surface de l'objet, au plan fonctionnel ou cosmétique. Par exemple, un produit de grande diffusion requiert généralement une qualité de surface nettement supérieure à celle d'une pièce destinée à l'intérieur d'une machine à usage industriel.

Les dimensions requises des caractéristiques sont transmises par marquage des dimensions. Les distances peuvent être indiquées à l'aide de formats normalisés de dimension. La Figure 34 propose un exemple de dessin pour un projet de modifications des canalisations de refoulement d'un puits.

## Dossier technique

Le projet doit être accompagné de dessins techniques et d'un dossier technique intégrant tous les calculs, spécifications techniques et informations détaillées supplémentaires concernant le projet d'efficacité énergétique, y compris ce qui a trait au changement d'équipement de pompage, aux calculs et aux nouvelles informations, y compris la fiche de données fournie par le fabricant de l'équipement de pompage proposé et sa nouvelle courbe de débit.

### 9.2. ACTIVITÉS ET CHEMIN CRITIQUE

Il existe un certain nombre d'approches possibles à la gestion des activités de projet, parmi lesquels les approches souples, interactives et progressives. Quelle que soit la méthodologie choisie, il convient d'examiner attentivement les objectifs généraux des projets, leurs calendriers et leurs coûts, de même que les rôles et responsabilités de l'ensemble des participants et des parties prenantes.

Le chemin critique d'un projet contient une méthode de planification et de gestion mettant clairement l'accent sur les ressources (physiques et humaines) requises pour la réalisation des tâches des projets d'efficacité énergétique. Le but est de renforcer le taux d'achèvement des projets d'une organisation. Les contraintes du système et les ressources de chaque projet sont identifiées. Pour opérer dans les contraintes de temps imposées, les tâches du chemin critique se voient accorder la priorité sur toutes les autres activités. Enfin, les projets sont planifiés et gérés de manière à ce que les ressources soient disponibles lorsque les tâches du chemin critique doivent commencer, en priorité par rapport à toutes les autres activités.

Quel que soit le type de projet, le plan y afférent doit faire l'objet d'une répartition des ressources et la série la plus longue de tâches financièrement limitées doit être identifiée comme constituant le chemin critique. Dans les environnements multi-projets, la répartition des ressources doit être effectuée de manière transversale. Cependant, il suffit souvent d'identifier (ou simplement de sélectionner) une seule ressource qui sert de contrainte sur tous les projets, et d'échelonner les projets en fonction de la disponibilité de cette seule ressource.

Une fois que toutes les activités et le chemin critique des projets de toutes les mesures d'économie d'énergie sont définis, le plan d'action d'efficacité énergétique peut être élaboré par la formulation des activités recommandées dans un résumé. La Figure 35 propose un exemple d'un résumé de plan d'action d'efficacité énergétique. Pour la préparation de ce résumé il convient de classer et organiser les activités, mesures et projets d'efficacité énergétique dans les catégories suivantes :

- Actions structurelles sur investissement à court terme ou sans investissement
- Actions structurelles sur investissement à court terme
- Projets à court terme à faible investissement ou sans investissement
- Projets d'investissement à court terme
- Projets d'investissement à moyen terme
- Projets d'investissement à long terme

FIGURE 34 : Fiche technique pour l'équipement de pompage submersible

15B233A6 SP 46-6-A 60 Hz

Données d'entrée

|                                     |                                              |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| Application choisie                 | Approvisionnement eau souterraine            |
| Fonction d'ensemble                 | Non                                          |
| Type d'installation choisie         | Installation dans un puits, pas de réservoir |
| Type d'installation                 | Puits de forage                              |
| Vos conditions                      |                                              |
| Surdimensionnement débit autorisé   | 30 %                                         |
| Sous-dimensionnement débit autorisé | 0 %                                          |
| Débit                               | 53,7 m³/h                                    |
| Pression hydraulique                | 74,9 m                                       |
| Température max. de l'eau           | 288 K                                        |
| Heures de fonctionnement/jour       | 10 h                                         |
| Réglementation vitesse              | Non                                          |

Configuration

|                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Moteur choisi               | moteur standard ABC            |
| Matériau composant la pompe | GG 0,6025 or 1,4301 (AISI 304) |

Conditions d'exploitation

|                                   |                           |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Période de calcul                 | 15 ans                    |
| Prix de l'énergie (haut)          | 0,15 EUR/kWh              |
| Prix de l'énergie (bas)           | 0,05 EUR/kWh              |
| Prix de l'énergie (moyen)         | 0,1 EUR/kWh               |
| Critères d'évaluation             | Prix + coûts énergétiques |
| Fréquence                         | 60 Hz                     |
| Augmentation du prix de l'énergie | 6 %                       |
| Phase                             | 3                         |
| Début méthode 3-phase             | DOL                       |
| Tension                           | 380 V                     |

Réglages

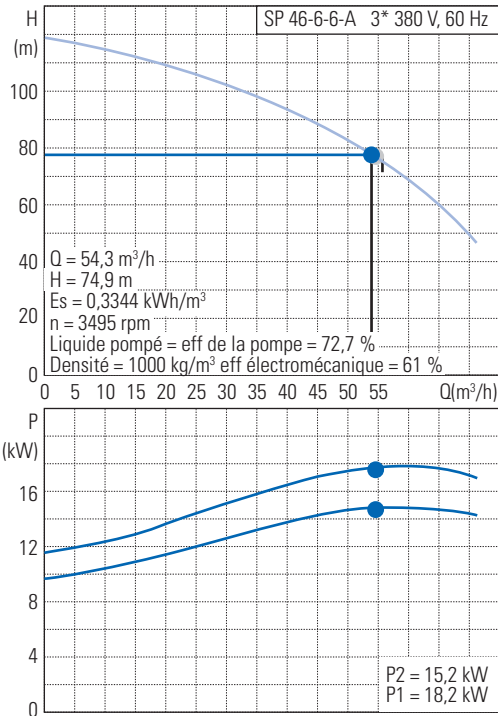
|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Nombre max. de résultats      | 20 |
| Pompes par groupe de produits | 1  |

Profil de charge

|                      |       |        |
|----------------------|-------|--------|
|                      | 1     |        |
| Débit                | 100   | %      |
| Pression hydraulique | 100   | %      |
| Temps                | 3650  | h/an   |
| Consommation         | 66222 | kWh/an |

Mesure des résultats

|                    |                                                    |
|--------------------|----------------------------------------------------|
| Type               | SP 46-6-A                                          |
| Quantité moteur    | 1 * 13kW, 380 V                                    |
| Débit              | 54,3 m³/h (+1 %)                                   |
| H total            | 74,9 m                                             |
| Puissance P1       | 18,2 kW                                            |
| Puissance P2       | 15,2 kW                                            |
| Courant            | 34 A                                               |
| Courant (actual)   | 33,1 A                                             |
| Cos phi (actual)   | 0,83                                               |
| Eff pompe          | 72,7 %                                             |
| Eff Moteur         | 83,9 %                                             |
| Eff. totale        | 61,0 % = Efficacité électromécanique               |
| Débit total        | 196005 m³/an                                       |
| Pression max.      | 734 kPa = durant l'opération, charge de conception |
| Conso. spéc.       | 0,3379 kWh/m³<br>4,6 Wh/m³/m                       |
| Consommation       | 66222 kWh/an                                       |
| Prix               | EUR, sur demande                                   |
| Coûts énergétiques | 3311 EUR/an                                        |
| Coûts totaux       | sur demande                                        |



**FIGURE 35 :** Exemple de plan d'efficacité énergétique

| Mesure                                   |                                                                               | Mois |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| No.                                      | Description                                                                   | 2    | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Mise en oeuvre immédiate</b>          |                                                                               |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1                                        | Comité de gestion énergétique                                                 |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                          | Définition de la structure                                                    |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                          | Écrivez une politique                                                         |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                          | Établissement des opérations                                                  |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2                                        | Amélioration du système de maintenance préventive                             |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                          | Mise en application du système de maintenance prédictive et préventive        |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                          | La formation                                                                  |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                          | Acquisition d'équipement de mesure                                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3                                        | Amélioration de l'efficacité de la distribution hydraulique                   |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                          | Projet d'efficacité hydraulique, y compris la modélisation hydraulique de XXX |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Mise en application à court terme</b> |                                                                               |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4                                        | Amélioration de l'efficacité électromécanique en A                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5                                        | Amélioration de l'efficacité électromécanique en B                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6                                        | Amélioration de l'efficacité électromécanique en C                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7                                        | Amélioration de l'efficacité électromécanique en D                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8                                        | Amélioration de l'efficacité électromécanique en E                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9                                        | Amélioration de l'efficacité électromécanique en F                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10                                       | Amélioration de l'efficacité électromécanique en G                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Mise en application à moyen terme</b> |                                                                               |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11                                       | Amélioration de l'efficacité électromécanique en H                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12                                       | Amélioration de l'efficacité électromécanique en I                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 13                                       | Amélioration de l'efficacité électromécanique en J                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14                                       | Amélioration de l'efficacité électromécanique en K                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 15                                       | Amélioration de l'efficacité électromécanique en L                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16                                       | Amélioration de l'efficacité électromécanique en M                            |      |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

### 9.3. PLAN DE FINANCEMENT

Essentiellement, le plan de financement de l'efficacité énergétique est le budget d'investissement dans les mesures d'économie. Ce plan affecte des investissements et revenus futurs à divers types de dépenses, notamment les acquisitions d'équipement et les activités d'installation et de construction requis pour la mise en application des mesures d'économie. Le plan finance ces investissements au titre de divers actifs ou projets censés produire des revenus à l'avenir grâce aux économies réalisées sur les coûts énergétiques.

Le plan de financement correspond généralement aux moyens d'obtention des fonds requis pour les investissements, par exemple en utilisant les fonds économisés grâce à la mise en application de projets d'efficacité énergétique. Un plan de financement doit mettre en application toutes les mesures d'économie d'énergie définies suivant un format similaire à celui du plan d'action, en utilisant le même type et le même classement pour les activités, mesures et projets d'efficacité énergétique, afin que le plan d'action et le plan de financement puissent être perçus comme un tout. Pour ce faire, le montant requis pour une action donnée doit être inscrit dans l'échéancier du plan d'efficacité énergétique (Voir la Figure 36).

**FIGURE 36 :** Exemple d'un plan de financement

|                                   | Mesure                                                      |                                                                               | Économies |           | Investissements | Retour |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------------|--------|
| No.                               | Description                                                 |                                                                               | kWh/année | USD/année | USD             | Année  |
| Mise en oeuvre immédiate          |                                                             |                                                                               |           |           |                 |        |
| 1                                 | Comité de gestion énergétique                               |                                                                               |           |           |                 |        |
|                                   |                                                             | Gestion de projet (3 ans)                                                     |           |           | 32 000          |        |
| 2                                 | Amélioration du système de maintenance préventive           |                                                                               |           |           |                 |        |
|                                   |                                                             | Renforcement des capacités (3 ans)                                            |           |           | 60 000          |        |
|                                   |                                                             | Acquisition d'équipements portables et de mesurage                            |           |           | 74 000          |        |
| 3                                 | Amélioration de l'efficacité de la distribution hydraulique |                                                                               |           |           |                 |        |
|                                   |                                                             | Projet d'efficacité hydraulique, y compris la modélisation hydraulique de XXX |           |           | 30 000          |        |
| Mise en application à court terme |                                                             |                                                                               |           |           |                 |        |
| 4                                 | Amélioration de l'efficacité électromécanique en A          |                                                                               | 209 098   | 67 957    | 13 161          | 0,19   |
| 5                                 | Amélioration de l'efficacité électromécanique en B          |                                                                               | 136 698   | 44 427    | 10 401          | 0,23   |
| 6                                 | Amélioration de l'efficacité électromécanique en C          |                                                                               | 86 533    | 28 123    | 13 161          | 0,47   |
| 7                                 | Amélioration de l'efficacité électromécanique en D          |                                                                               | 50 853    | 16 527    | 11 781          | 0,71   |
| 8                                 | Amélioration de l'efficacité électromécanique en E          |                                                                               | 41 040    | 13 338    | 9 711           | 0,73   |
| 9                                 | Amélioration de l'efficacité électromécanique en F          |                                                                               | 47 296    | 15 371    | 13 161          | 0,86   |
| 10                                | Amélioration de l'efficacité électromécanique en G          |                                                                               | 34 636    | 11 257    | 11 781          | 1,05   |
| Mise en application à moyen terme |                                                             |                                                                               |           |           |                 |        |
| 11                                | Amélioration de l'efficacité électromécanique en H          |                                                                               | 46 238    | 14 737    | 24 776          | 1,68   |
| 12                                | Amélioration de l'efficacité électromécanique en I          |                                                                               | 20 574    | 6 687     | 11 781          | 1,76   |
| 13                                | Amélioration de l'efficacité électromécanique en J          |                                                                               | 17 404    | 5 656     | 11 781          | 2,08   |
| 14                                | Amélioration de l'efficacité électromécanique en K          |                                                                               | 14 566    | 4 734     | 13 161          | 2,78   |
| 15                                | Amélioration de l'efficacité électromécanique en L          |                                                                               | 8 003     | 2 601     | 10 401          | 4,00   |
| 16                                | Amélioration de l'efficacité électromécanique en M          |                                                                               | 2 194     | 713       | 13 161          | 18,46  |
| Total :                           |                                                             |                                                                               | 715 133   | 232 128   | 364 218         | 1,57   |

# Chapitre 10

## MISE EN APPLICATION DU PLAN D'ACTION

Les deux facteurs suivants doivent être traités lors de la mise en application des projets :

- Données de conception : les données de conception définies lors du projet doivent être enregistrées pour garantir la réalisation des objectifs des projets, notamment les économies d'énergie recherchées.
- Chemin critique : élaborer un chemin critique permettant de veiller à ce que la durée planifiée ne soit pas aisément modifiée et d'assurer un calendrier efficace pour le projet et une évaluation efficace des performances financières.

L'élaboration du chemin critique adéquat implique la garantie que les ressources requises sont disponibles aux différentes étapes avant d'éviter les dérapages dans le calendrier. L'objectif ici consiste à éviter la tendance à reporter les activités ou à effectuer des activités imprévues ou dépenser davantage que prévu. Dans la mesure où l'achèvement des tâches est prévue dans un certain délai, cela impose une pression sur les ressources, et incite à l'achèvement le plus rapidement possible des tâches du chemin critique. D'où l'importance d'une supervision pour accompagner la mise en application du plan d'action.

### 10.1. SUPERVISION DU PLAN D'ACTION

À bien des égards, la supervision est la principale condition préalable au succès de la mise en application d'un plan d'action. Dans la mesure où la complexité des tâches individuelles est susceptible de varier dans les délais projetés, il convient de privilégier une certaine souplesse des délais au lieu de chercher à tout prix à terminer « à temps ». La supervision permet de veiller à ce que le projet dans son ensemble respecte les paramètres mis en place au cours du stade de la planification. Il convient d'élaborer un calendrier pour le projet avec un tableau de résultats ou autre graphique similaire et d'en assurer l'affichage pour suivre la consommation des ressources par rapport au degré d'avancement du projet. Si le rythme des dépenses et de la consommation des ressources est faible par rapport aux valeurs planifiées, le projet est sur la bonne voie. Dans le cas contraire, des mesures correctives ou des plans de redressement devront être élaborés pour compenser pour les pertes enregistrées. Lorsque le rythme des dépenses et de la consommation des ressources dépasse un point critique, il devient nécessaire de mettre en place des plans de substitution.

La supervision est la discipline d'organisation et de gestion des ressources permettant la bonne réalisation des buts et des objectifs du plan d'action pour l'efficacité énergétique. Ces processus permettent d'observer l'exécution du plan d'efficacité énergétique afin de repérer le plus rapidement possible les problèmes éventuels et de prendre des mesures correctives lorsque cela est nécessaire pour contrôler l'exécution de ce plan. Le principal avantage est l'observation de la performance du plan de manière à identifier tout écart par rapport au plan d'efficacité énergétique initial. Au nombre des fonctions de supervision figurent notamment les suivantes :

- Mesure des activités en cours du plan d'efficacité énergétique (« où nous en sommes »)
- Suivi des variables du projet (coût, effort et portée) par rapport au plan de gestion du projet et aux résultats recherchés (« où nous devrions être »)
- Identification des mesures correctives requises pour résoudre correctement les problèmes et les risques (« comment nous remettre sur la bonne voie ? »)

- Maîtrise des facteurs susceptibles de contourner le contrôle intégré des changements afin que seuls les changements approuvés soient mis en application.

Dans le cas des projets à phases multiples, le processus de suivi et de contrôle fournit un feedback entre les différentes phases du projet, ce qui permet la prise de mesures correctives ou préventives pour ramener le projet sur la voie prévue par son plan de gestion.

## **10.2. FORMATION TECHNIQUE**

Il est important de mettre au point un programme permanent de formation visant à renforcer les capacités du personnel pour l'élaboration des audits, l'exécution et la supervision de la mise en application des projets et le suivi des résultats. Les thèmes devant figurer dans ce programme doivent être divisés en deux sections, selon les domaines de spécialisation du personnel bénéficiant de la formation. Les deux principaux domaines et les thèmes suggérés sont les suivants :

Thèmes de formation pour le personnel technique :

- Évaluation de la qualité de l'énergie
- Systèmes de maintenance
- Conception des installations électriques
- Conception et maintenance des moteurs
- Conception, évaluation et maintenance des systèmes de pompage
- Réalisation des audits énergétiques
- Technologies de suivi et de mesures
- Systèmes de télésurveillance et d'acquisition de données (SCADA)
- Conception de la tuyauterie
- Gestion de la détection des fuites

Thèmes concernant le personnel de gestion :

- Renforcement des aptitudes de planification
- Conception des projets de chemin critique
- Leadership

# Chapitre 11

## SUIVI ET ÉVALUATION

Il convient de mettre en place un programme de suivi afin d'atteindre les objectifs suivants :

- Évaluer les résultats des projets d'économies d'énergie sur la base de l'audit énergétique et ajuster les objectifs, le cas échéant
- Identifier et expliquer les fluctuations à la hausse ou à la baisse de la consommation d'énergie
- Prédire la consommation d'énergie future lors de la planification de modifications des opérations
- Diagnostiquer les domaines spécifiques de gaspillage de l'énergie
- Assurer un suivi des tendances de la consommation d'énergie et élaborer des objectifs de performance
- Gérer la consommation d'énergie au lieu de l'accepter à un coût fixe incontrôlable
- Corréler interventions et économies
- Faire rapport sur les progrès enregistrés
- Feedback – évaluation
  - Résoudre les problèmes
  - Qu'est ce qui a fonctionné ?
  - Qu'est ce qui n'a pas fonctionné ?
  - Quelles sont les améliorations requises ?
- Mettre à jour les informations relatives à l'énergie, l'eau et l'exploitation

Le processus de suivi et évaluation doit être fondé sur des indicateurs. Dans le cas des systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement, les principaux indicateurs suggérés sont décrits au Tableau 20, ventilés selon le facteur à évaluer.

**TABLEAU 20 :** Principaux indicateurs à surveiller dans un système hydraulique

| Indicateurs d'efficacité énergétique                                                                                                                                                                                            | Indicateurs de fonctionnement hydraulique                                                                                                                                                                             | Indicateurs environnementaux                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Consommation spécifique (kWh/m<sup>3</sup>)</li><li>• Indicateur des coûts unitaires d'énergie (\$USD /kWh)</li><li>• Efficacité électromécanique des systèmes de pompage (%)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Indice de pertes de fuite (%)</li><li>• Approvisionnement unitaire en eau par habitant ( l/hab.-jour)</li><li>• Indice de continuité du service (heures/hab.- jour)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Facteur d'émissions de carbone (t CO<sub>2</sub>/année)</li><li>• Indice d'exploitation des aquifères (%)</li></ul> |



[www.iadb.org](http://www.iadb.org)