



ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE POMPAGE D'EAU

Guide pour la feuille de calcul

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

Guide pour la feuille de calcul

Première édition

Initiative eau et assainissement
Initiative pour l'énergie durable et le changement climatique
Washington
2011

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

Pour plus d'informations, veuillez contacter : agua@iadb.org ou secci@iadb.org

IDB-MG-114

TABLE DES MATIÈRES

PRÉSENTATION	vii
INTRODUCTION	1
AUDIT ÉNERGÉTIQUE DE SYSTÈME DE POMPAGE	3
PREMIÈRE ÉTAPE. COLLECTE DES DONNÉES	3
1.1 Système électrique	3
1.2 Données nominales pour le moteur	6
1.3 Données nominales pour la pompe	7
1.4 Caractéristiques du fluide	9
DEUXIÈME ÉTAPE. MESURAGE SUR LE TERRAIN	9
2.1 Mesures hydrauliques	9
2.2 Mesurage électrique	13
2.3 Mesurage des températures	16
TROISIÈME ÉTAPE. TRAITEMENT DES INFORMATIONS ET ÉVALUATION	17
3.1 Évaluation des conducteurs électriques	17
3.2 Évaluation du moteur	18
3.3 Évaluation de la pompe	21
3.4 Bilan énergétique réel	24
3.5 Remarques relatives aux possibilités d'économie	26
QUATRIÈME ÉTAPE. PROJET D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE	29
4.1 Description de propositions d'économies d'énergie	29
4.2 Spécifications relatives à l'équipement	30
4.3 Plan d'action	30
CINQUIÈME ÉTAPE. ÉVALUATION DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE	31
5.1 Évaluation des conducteurs électriques	31
5.2 Calcul de l'efficacité du moteur	31
5.3 Bilan énergétique attendu	31
SIXIÈME ÉTAPE. ANALYSE ÉCONOMIQUE	33
6.1 Calcul des économies	33
6.2 Calcul de l'investissement	33
6.3 Analyse de rentabilité	34

PRÉSENTATION

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

Les personnes suivantes, de l'unité 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.

INTRODUCTION

Les améliorations apportées à l'efficacité des services municipaux de l'eau constituent des investissements intéressants en raison des bénéfices engendrés par la réduction des frais généraux et d'exploitation, par un service de qualité supérieure ainsi que par une meilleure viabilité financière.

En outre, dans un secteur qui exige une modernisation continue des infrastructures et un ajustement constants des besoins opérationnels, les améliorations apportées à l'efficacité énergétique et à la conservation de l'eau, lorsqu'elles sont appliquées dans le cadre d'un processus de gestion intégrée, peuvent retarder et, dans certains cas, éliminer les besoins en investissements de nouvelles infrastructures.

En suivant une méthodologie cohérente, les évaluations de l'efficacité énergétique ont recours à des techniques visant à déterminer à quel point l'énergie est utilisée de façon efficace et à spécifier la quantité d'énergie gaspillée. Les conclusions tirées de ces évaluations de l'efficacité énergétique comprennent l'identification et la quantification des mesures peu onéreuses ainsi que des investissements rentables visant à économiser de l'énergie grâce à de nouvelles installations. Ces évaluations peuvent également faire partie intégrante d'un projet d'efficacité énergétique plus global.

En suivant la logique de la répartition des pertes énergétiques, les évaluations énergétiques des systèmes d'approvisionnement et d'assainissement des eaux devrait inclure une analyse des principaux éléments qui consomment de l'énergie, soit, notamment :

- Les ensembles moteur-pompe, incluant leurs rendements, leurs conditions d'exploitation et les procédures d'entretien applicables ;
- Les systèmes de distribution d'eau, incluant les conduites, les réservoirs d'équilibrage et autres accessoires ;
- Les systèmes électromoteurs, incluant les transformateurs ;
- Les systèmes d'alimentation en électricité, incluant les caractéristiques du contrat d'approvisionnement.

La méthodologie proposée se concentre sur les mesures d'efficacité énergétique typiques suivantes :

- Optimisation du facteur de puissance ;
- Optimisation de la pompe ;
- Utilisation de moteurs à haut rendement ;
- Réduction des pertes de pression dans les conduites ;
- Sélection de la dimension optimale des câbles électriques.

Ce type d'analyse peut mener à identifier d'autres possibilités d'économie d'énergie dont les ajustements de tarif, les changements dans le calendrier d'exploitation pour éviter la consommation d'énergie onéreuse aux heures de pointe, la production d'électricité sur place (tout particulièrement aux heures de pointe), l'utilisation d'entraînements à vitesse variable et l'optimisation du fonctionnement hydraulique.

Le présent manuel décrit la méthodologie utilisée pour effectuer les calculs lors de l'évaluation de l'efficacité énergétique d'un système de pompage. Il comprend aussi une méthodologie étape par étape sur un tableur séparé.

N.B. : Le tableur contient des données qui sont des exemples. Le gabarit réel contiendra : Des champs JAUNES : ces cellules doivent être REMPLACÉES ou REMPLIES avec les informations réelles du système de pompage. Des champs VERTS : ces cellules SERONT CALCULÉES AUTOMATIQUEMENT. Avant de le remplir, il est fortement recommandé de sauvegarder le tableur dans un fichier ayant le même nom que celui du système de pompage auquel il correspond.

OBJECTIF

SITE : Plaines du Sud. **DATE :** 14-Aug-2009

AGENCY :	Service des eaux et d'assainissement du Nord
SYSTÈME :	Plaines du Sud-Est
ÉQUIPEMENT :	Puits profond PP 14

Cette méthodologie a pour but d'évaluer l'efficacité d'un système de pompage au moyen d'un bilan énergétique, pour ensuite être à même de suggérer des mesures d'économie d'énergie visant à améliorer ledit système.

Les formules présentées utilisent les unités de mesure décrites à chaque point ; il convient donc d'accorder une attention toute particulière aux différentes unités de mesure du format proposé. Si les données sont disponibles dans d'autres unités que celles spécifiées, il faudra d'abord convertir les données puis les entrer en utilisant les unités définies dans le formulaire afin que les formules fonctionnent correctement.

DONNÉES D'EN-TÊTE

Les données doivent être placées dans l'en-tête comme suit :

Site – le lieu ou la région où se trouve l'équipement à analyser.

Date – la date à laquelle la prise de mesures et l'étude du système de pompage ont été effectuées.

Agence – la compagnie, la société ou le service public responsable de l'exploitation du système de pompage.

Système – le système hydraulique auquel le système de pompage est raccordé ; s'il est asservi à un autre système ou fait partie d'un sous-système, cette information doit aussi être saisie.

Équipement – le nom de l'équipement.

AUDIT ÉNERGÉTIQUE DE SYSTÈME DE POMPAGE

Une fois les informations saisies dans l'en-tête, remplir le reste du formulaire en suivant les étapes ci-après.

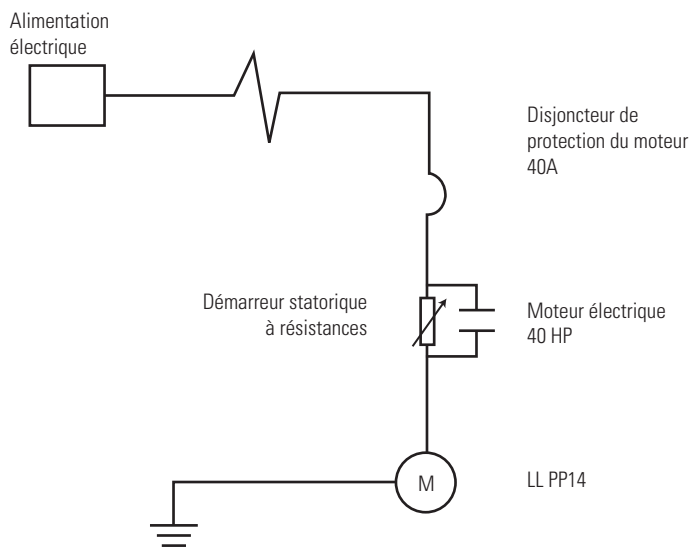
PREMIÈRE ÉTAPE. COLLECTE DES DONNÉES

1.1 SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Dans cette section, indiquer les données suivantes relatives au système électrique.

SCHÉMA ÉLECTRIQUE : Indiquer les grandes lignes des connexions unifilaires de l'équipement électrique, d'arrivée, du câblage, du transformateur, du commutateur principal et du démarreur, le cas échéant.

Exemple :



ALIMENTATION ÉLECTRIQUE : Indiquer les informations relatives au fournisseur d'électricité ainsi que les détails relatifs au contrat passé avec cette compagnie.

Exemple :

ALIMENTATION ÉLECTRIQUE :	
Fournisseur :	ABCD
Service n° :	D-3364605
Tarif du contrat :	3

Fournisseur – le nom de la compagnie d'électricité.

Service n°. – le numéro du contrat figurant sur le récépissé ou la facture d'électricité pour ce système de pompage.

Tarif du contrat – la légende ou le nom du tarif contractuel.

TRANSFORMATEUR : Indiquer les informations relatives au type, à la puissance et à la tension nominale du transformateur de la station de pompage (le cas échéant).

Exemple :

TRANSFORMATEUR	
Type :	Triphasé sur poteau
Puissance :	3 x 25 kVA
Tension nominale :	13 800 / 440 V

Type – le type de transformateur qui alimente l'équipement électrique. Le cas échéant, indiquer APPROVISIONNEMENT DIRECT dans la légende.

Puissance – la puissance du transformateur. Si l'intensité provient de plus d'un transformateur, indiquer celle de chacun (en kVA).

Tension nominale – la tension d'arrivée et de sortie du transformateur (V), séparées par une barre oblique. Si le transformateur a plus d'une tension de sortie, indiquer la tension réelle utilisée, c'est-à-dire celle à laquelle le transformateur fonctionne.

COMMUTATEUR PRINCIPAL : Indiquer les données relatives au commutateur principal de l'équipement, soit le commutateur par lequel transite l'énergie provenant du transformateur, ou directement de l'alimentation principale vers l'équipement.

Exemple :

COMMUTATEUR PRINCIPAL	
Marque :	EFGH Électrique
Intensité :	40A
Réglage:	32–40A

Marque – la marque ou le fabricant du commutateur.

Intensité – l'intensité nominale admissible du commutateur (A).

Réglage – l'intensité nominale à laquelle le commutateur est fixé (A), si elle est ajustable.

DÉMARREUR : Indiquer les informations concernant le type et la puissance du démarreur du moteur, le cas échéant.

Exemple :

DÉMARREUR	
Type :	Démarreur statorique à résistances
Puissance :	40 HP

Type – le type de démarreur.

Puissance – la puissance du démarreur (hp).

PROTECTION : Indiquer les données de protection du moteur contre les surcharges.

Exemple :

PROTECTION	
Marque :	EFGH Électrique
Intensité :	32–40A
Réglage :	37 A

Marque – le nom du fabricant de l'élément thermomagnétique de protection du moteur.

Intensité – l'intensité admissible de l'élément thermomagnétique de protection du moteur (A).

Réglage – le point de consigne de l'élément thermomagnétique (A).

CONDENSATEURS : Indiquer, le cas échéant, la puissance réactive totale de la batterie de condensateurs (kVAr).

Exemple :

CONDENSATEURS	
Puissance :	kvar

Système de mise à la terre : Entourer d'un cercle ou cocher la case correspondant à chaque réponse et indiquer le calibre du câble conducteur connecté à la terre pour chaque élément décrit (le cas échéant).

Exemple :

SYSTÈME DE MISE À LA TERRE			
Y a-t-il un système de mise à la terre ?	OUI	NON	
Le neutre et la mise à la terre sont-ils séparés	OUI	NON	
Transformateur avec mise à la terre ?	OUI	NON	Calibre :
Démarreur avec mise à la terre ?	OUI	NON	Calibre : 6
Moteur avec mise à la terre ?	OUI	NON	Calibre :

Conducteurs : Indiquer, en deux tranches, les données relatives au calibre et à la longueur des conducteurs. La première tranche va de l'arrivée du 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.

Exemple :

CONDUCTEURS	
Branchement de l'abonné au démarreur	
Calibre :	10 mm ²
Longueur :	15 m
Groupement :	
Branchement du démarreur au moteur	
Calibre :	12 AWG
Longueur :	53 m
Groupement :	3W / Tube isolant

- Calibre** – le calibre du conducteur électrique (mm²) ou en norme American Wire Gauge (AWG). Cette information est imprimée sur le revêtement des câbles électriques.
- Longueur** – la longueur totale des conducteurs pour le parcours décrit (m).
- Groupement** – la description de la façon dont les conducteurs sont groupés

REMARQUES : Indiquer toute situation particulière liée au système électrique de l'équipement qui permettrait une meilleure compréhension du système.

REMARQUES :	

1.2 DONNÉES NOMINALES POUR LE MOTEUR

Indiquer les données nominales et l'historique d'entretien du moteur électrique. L'information suivante doit être obtenue.

DONNÉES DE LA PLAQUE SIGNALÉTIQUE DU MOTEUR : Indiquer les informations provenant de la plaque signalétique du moteur. Si elle est illisible ou hors de portée, utiliser le bon de commande ou tout autre document indiquant les spécifications techniques du moteur.

Exemple :

1.2 DONNÉES NOMINALES POUR LE MOTEUR					
DONNÉES DE LA PLAQUE SIGNALÉTIQUE DU MOTEUR					
Marque :	ABC	Tension :	440 V	Type:	Submersible
Puissance :	10 HP	Intensité :	15,0 A	Bâti :	
Vitesse :	3 450 RPM	Rendement :	79,0%	FS :	0,85
HISTORIQUE :					
Âge :	1 an(s)	Nb. de rebobinages :	0	Fonct. :	8 760 heures/an
REMARQUES :	Il y a eu surcharge du moteur, qui s'est arrêté cinq fois cette année pendant 2 heures.				

Données de la plaque signalétique du moteur :

Marque – la marque ou le fabricant du moteur.

Puissance – la puissance nominale du moteur (hp).

Vitesse – la vitesse angulaire du moteur (tr/min).

Tension – la tension nominale du moteur (V).

Intensité – l'intensité nominale du moteur (A).

Rendement – le rendement nominal du moteur (%).

Type – le type du moteur.

Bâti – le type ou le numéro du bâti du moteur.

P.S. – le facteur de service (FS) se trouve aussi sur la plaque signalétique du moteur ; s'il n'y est pas indiqué, il est possible d'assumer que le FS est égal à 1. Ce facteur indique le rapport de surcharge du moteur. Un facteur supérieur à 1 indique que le moteur peut fournir plus que sa puissance nominale (en hp) sans qu'il y ait de surchauffe du moteur.

HISTORIQUE : Indiquer l'historique d'entretien du moteur et toutes données d'intérêt pour un bilan énergétique de l'équipement.

Exemple :

HISTORIQUE :		
Âge : <u>1 an(s)</u>	Nb. de rebobinages : <u>0</u>	Fonct. : <u>8 760 heures/an</u>

Âge – le nombre d'années pendant lesquelles le moteur a été utilisé depuis son installation initiale.

Fonctionnement – la moyenne des heures de fonctionnement du moteur par an (h/an).

Nombre de rebobinages – le nombre total de rebobinages du moteur depuis son installation initiale.

REMARQUES : Indiquer tout détail important relatif à l'entretien du moteur ainsi qu'au remplacement de pièces et aux modifications de son fonctionnement.

Exemple :

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

Indiquer les données nominales de conception de la pompe. Si les données provenant du terrain (plaque signalétique) ne sont pas disponibles, utiliser les documents fournis avec la pompe au moment de son achat.

Exemple :

BÂTI	
Marque :	ABC
Type :	Submersible
Modèle :	Sp 45-4N
Âge:	1 an(s)

BÂTI : Indiquer les données relatives au bâti de la pompe.

Marque – la marque ou le fabricant de la pompe.

Type – le type de la pompe : submersible, à turbine verticale, horizontale, centrifuge, etc.

Modèle – le modèle de la pompe, selon le fabricant.

Âge – le nombre d'années de fonctionnement depuis son installation.

ROUE (OU IMPULSEUR) – Indiquer les données relatives à la roue de la pompe.

Exemple :

ROUE (IMPULSEUR)	
Type :	fermée
Matériau :	Acier inoxydable
Diamètre :	m
Âge:	1 an(s)

Type – le type de roue ou impulseur : fermée, semi-ouverte ou ouverte.

Matériau – le matériau de la roue à aubes

Diamètre – le diamètre nominal de la roue à aubes.

Âge – le nombre d'années depuis lequel la roue à aubes est en opération. Si elle a été remplacée durant la durée de vie de la pompe, son âge peut être différent de celui de la pompe.

ARBRE DE TRANSMISSION : Indiquer les données relatives à l'arbre de transmission entre le moteur et la pompe.

Exemple :

ARBRE DE TRANSMISSION : **Diamètre :** pouces **Longueur :** m

Diamètre – le diamètre de l'arbre de transmission (pouces).

Longueur – la longueur totale de l'arbre de transmission (m).

CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION : Les valeurs du débit et de la hauteur de charge pour lesquelles la pompe est conçue, et pour lesquelles elle fonctionne à son rendement optimal. Ces caractéristiques sont illustrées sur la courbe de la pompe.

Exemple :

CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION : **Hauteur de charge :** 22 m **Débit :** 18,61 l/s

Hauteur de charge – la pression de conception exprimée par la hauteur d'une colonne de liquide (m).

Débit – le débit de conception (l/s).

REMARQUES – Indiquer tout détail important relatif à l'entretien de la pompe ainsi qu'au remplacement de pièces et aux modifications de l'exploitation.

Exemple :

OBSERVATIONS:	La pompe a été arrêtée pendant 24 heures. L'âge de la pompe est inconnu.
----------------------	--

1.4 CARACTÉRISTIQUES DU FLUIDE

Identifier les principales caractéristiques du fluide pompé. Elles varieront selon qu'il s'agit d'eau d'égout ou d'eau potable.

Exemple :

Fluide :	eau potable	Température :	21 °C	Densité :	1 000 kg/m ³
REMARQUES :					

Fluide – la description du type de fluide : eau non traitée, eau traitée, eau d'égout, eau potable, etc.

Température – la température du fluide (°C).

Densité – la densité du fluide (kg/m³).

REMARQUES : Indiquer l'état du fluide qui est pompé (gazeux ou liquide).

Une fois ces données collectées, la première étape du bilan énergétique est terminée.

DEUXIÈME ÉTAPE. MESURAGE SUR LE TERRAIN

Pour la deuxième étape de cette méthodologie, il faut collecter des mesures sur le terrain, dont les paramètres relatifs à l'eau, à l'électricité et aux températures.

2.1 MESURES HYDRAULIQUES

Les mesures des paramètres hydrauliques sont prises pour obtenir les pressions, les débits et les niveaux.

NIVEAUX : Mesurer les niveaux verticaux des équipements de pompage et des équipements reliés afin d'obtenir une interprétation correcte des résultats. Obtenir les niveaux de travail suivant :

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

Niveau de référence : Commencer d'abord par définir le niveau de référence. Toutes les mesures verticales seront prises par rapport à ce niveau de référence, qui variera en fonction du système de pompage.

- **Puits profonds** – la tête du puit (le point où une sonde peut être insérée).
- **Poste de pompage** – le support de pompe (voir la figure).
- **Systèmes de surpression** – le niveau de référence peut être le niveau du sol ou le centre de la conduite d'aspiration (voir la figure).

Niveau réservoir d'aspiration (A) : Mesurer la distance verticale (en mètres) entre le niveau de l'eau et le niveau de référence.

- **Puits profonds** – la distance entre le niveau dynamique et le niveau de référence (voir la figure).
- **Poste de pompage** – la distance entre le niveau de l'eau et le niveau de référence (voir la figure).
- **Systèmes de surpression** – substituer le niveau du réservoir d'aspiration par celui du manomètre d'aspiration et mesurer la distance entre le niveau de référence (N_r) et le centre du manomètre d'aspiration (voir la figure).

Longueur de la conduite d'aspiration (B) : Mesurer la longueur de la conduite du point d'aspiration de la pompe à la hauteur de refoulement en mètres (m) en fonction du type de système de pompage.

- **Puits profonds** – si la pompe est submersible, utiliser la distance séparant la pompe du coude de refoulement de la tête de puits ; si elle est à turbine verticale, utiliser la distance séparant la roue à aube et la sortie de la tête de puits (voir la figure correspondante).
- **Poste de pompage** – la distance ou la longueur de conduite allant du haut de l'eau jusqu'au niveau du sol (voir la figure correspondante).
- **Systèmes de surpression** – dans ce cas, la longueur sera de zéro (0).

Distance de la jauge de pression de refoulement (C) : Mesurer la distance séparant le point de refoulement de la hauteur d'élévation et la jauge de pression de refoulement en mètres (m), en fonction du type de système de pompage (voir la figure correspondante).

- **Puits profonds** – avec une pompe submersible, utiliser la distance séparant la conduite de sortie et la jauge de pression ; avec une pompe à turbine, utiliser la distance séparant le début de la conduite de refoulement et le point de la jauge de pression.
- **Poste de pompage** – la distance séparant le point de refoulement de la pompe et la jauge de pression.
- **Systèmes de surpression** – dans ce cas, la longueur sera de zéro (0).

Hauteur de la jauge (D) : Mesurer la distance séparant le niveau de référence et la jauge de pression de refoulement, en mètres (m) (voir les figures correspondantes).

ASPIRATION ET REFOULEMENT : Mesurer les informations hydrauliques relatives à l'aspiration et au refoulement.

	Diamètre (m)	Matériau	Pression (kg/cm ²)	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

Diamètre – le diamètre de la conduite (m)

Matériau – le matériau de fabrication des conduites d'aspiration et de refoulement. Il sera utile pour le calcul du coefficient de friction.

Pression – les pressions hydrauliques à l'aspiration et au refoulement de la pompe (kg/cm²). Installer des manomètres si requis. Dans l'éventualité où les pressions ne peuvent être mesurées, laisser les cases blanches.

Débit – le débit dans les conduites (l/s). Il est le même dans les deux conduites.

Vitesse – la vitesse du fluide mesurée dans la conduite de refoulement (m/s). Si le débitmètre le permet, saisir l'information relative à la vitesse. Si ce n'est pas le cas, le tableur Excel comprend une formule qui permet de calculer cette variable.

TOPOGRAPHIE : Mesurer les élévations de l'approvisionnement en eau, du système de pompage et du point de refoulement de l'eau le plus haut pour calculer l'inégalité du terrain (m) que la pompe doit compenser pour amener le fluide. Utiliser la topographie pour connaître la hauteur des points identifiés par rapport au niveau moyen de la mer.

TOPOGRAPHIE : Élévation de la pompe :

1 045 m (mètres au-dessus du niveau moyen de la mer)

Élévation du point de refoulement le plus haut :

1 047 m

(mètres au-dessus du niveau moyen de la mer)

Élévation de la pompe – l'élévation à laquelle se trouve l'équipement de pompage, exprimée en mètres au-dessus du niveau moyen de la mer (m).

Élévation du point de refoulement de l'eau le plus haut – l'élévation du point le plus élevé de refoulement de l'eau, comme suit :

- **Refoulement au réservoir le plus élevé** – l'élévation du tuyau de refoulement menant au réservoir le plus élevé, par rapport au niveau moyen de la mer.
- **Refoulement direct dans le réseau de distribution de l'eau** – devrait être le point le plus élevé du réseau de distribution de l'eau.

REMARQUES : Indiquer toutes informations particulières relatives au système hydraulique.

REMARQUES :

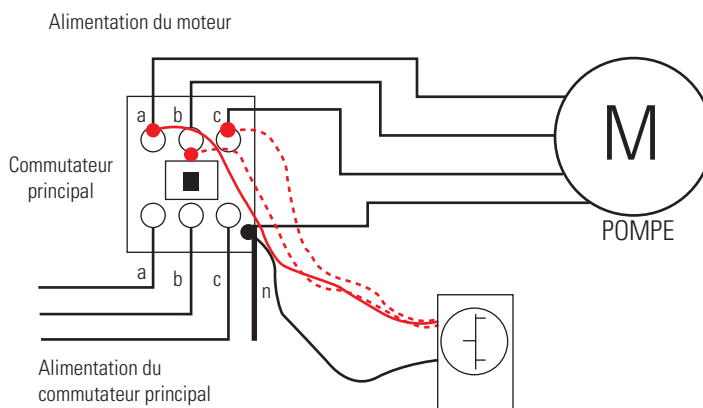
Le puits est dévié, ce qui fait que la pompe doit être submersible.

2.2 MESURAGE ÉLECTRIQUE

Mesurer les paramètres électriques est vital à la mise en place du bilan énergétique et dans l'élaboration de l'audit énergétique.

TENSION DES PHASES : Mesurer la tension d'arrivée au moteur pour chacune des phases avec un voltmètre. Il est possible de faire le mesurage au niveau du commutateur principal, du contacteur alimentant les câbles d'arrivée ou directement sur le moteur. Voir la figure de référence.

TENSION DES PHASES : **Vab:** 260,4 **Vbn:** 261,9 **Vcn:** 255,8



Van – la tension entre la phase « a » et le neutre ou la terre (V).

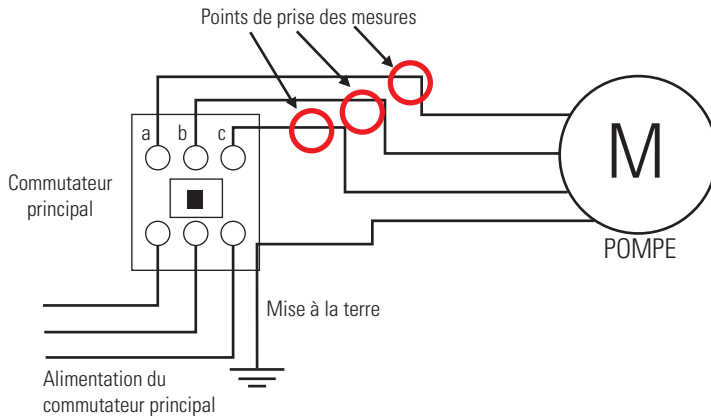
Vbn – la tension entre la phase « b » et le neutre ou la terre (V).

Vcn – la tension entre la phase « c » et le neutre ou la terre (V)

Note : Si vous utilisez un instrument de mesure qui effectue les lectures entre les phases (ab, ac, cb), divisez-les par un facteur de 1 732.

INTENSITÉ DES PHASES : Mesurer l'intensité (A) pour chacune des phases en utilisant un ampèremètre à bagues (voir la figure).

INTENSITÉ PAR PHASE : **Ia:** 13,92 **Ib:** 14,14 **Ic:** 12,93



Ia – l'intensité de la phase « a » (A).

Ib – l'intensité de la phase « b » (A).

Ic – l'intensité de la phase « c » (A).

PUISSANCE ACTIVE : Mesurer la puissance active (puissance électrique réelle) qui alimente le moteur, en watts (W). Cette mesure doit être prise avec un wattmètre faisant la lecture de chaque phase.

PUISSANCE ACTIVE : **Pa:** 2,92 **Pb:** 2,86 **Pc:** 2,61

Pa – la puissance active de la phase « a » (W).

Pb – la puissance active de la phase « b » (W).

Pc – la puissance active de la phase « c » (W).

FACTEUR DE PUISSANCE : Mesurer le facteur de puissance de chaque phase.

FACTEUR DE PUISSANCE : **PFa:** 0,806 **PFb:** 0,774 **PFc:** 0,791

FPa – le facteur de puissance de la phase « a ».

FPb – le facteur de puissance de la phase « b ».

FPc – le facteur de puissance de la phase « c ».

TAUX DE DISTORSION HARMONIQUE (THD, *total harmonic distortion en anglais*) : Mesurer ce paramètre que si un analyseur d'harmonique est disponible. Sinon, cette mesure n'est pas requise.

DISTORSION HARMONIQUE : **THD-V** 2,3 **THD-I** 3,1

THD-V – le facteur de distorsion mesuré due au fait que la tension délivrée n'est pas parfaitement sinusoïdale ou qu'une ou plusieurs charges non linéaires sont présentes sur le réseau.

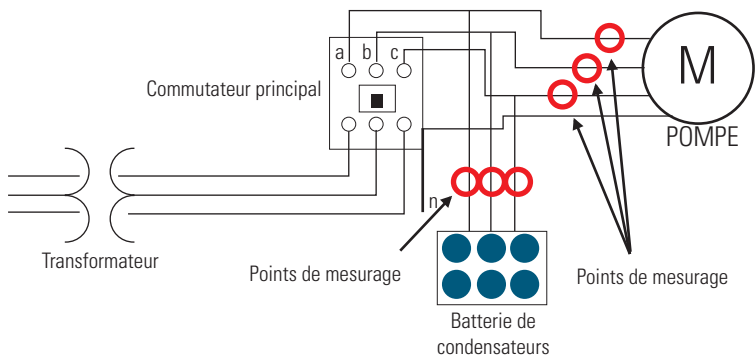
THD-I – le facteur de distorsion mesuré au regard des changements d'intensité électrique.

POINT DE MESURAGE : Noter le moment où les mesures électriques ont été effectuées. Si l'équipement mesuré dispose d'une banque de condensateurs, noter l'endroit de la prise de mesure : avant ou après la banque de condensateurs.

POINT DE MESURAGE : Circuit principal

VÉRIFICATION DES BANQUES DE CONDENSATEURS : Si l'installation utilise une banque de condensateurs, mesurer l'intensité de chaque phase conformément à la figure ci-après.

VÉRIFICATION DES BANQUES DE CONDENSATEURS : Ia: 28 Ib: 31 Ic: 29



- Ia – l'intensité électrique de la phase « a » de la batterie de condensateurs (A).
- Ib – l'intensité électrique de la phase « b » de la batterie de condensateurs (A).
- Ic – l'intensité électrique de la phase « c » de la batterie de condensateurs (A).

SYSTÈME DE MISE À LA TERRE : Évaluer le système de mise à la terre en utilisant un ohmmètre.

SYSTÈME DE MISE À LA TERRE : Continuité : ☐ OUI ☐ NON Intensité : A Résistance : Ω

- Continuité** – l'état du câble de mise à la terre. Vérifier que le câble de mise à la terre n'est pas interrompu. Entourer la case appropriée d'un cercle.
- Intensité** – l'intensité électrique enregistrée sur l'ohmmètre (A).
- Résistance** – la résistance enregistrée sur l'ohmmètre ().

REMARQUES : Noter tout incident produit pendant le mesurage et expliquer chacune des données manquantes.

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 MESURAGE DES TEMPÉRATURES

Le mesurage des températures est important puisqu'il donnera des informations sur l'état du système et contribuera à déterminer s'il faut effectuer un entretien du système électrique.

ÉQUIPEMENT DE CONTRÔLE : Mesurer les températures de l'équipement de contrôle pour voir s'il y a une surcharge des conducteurs afin de s'assurer que toutes les vis et les attaches des bornes sont correctement réglées.

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

Arrivée commutateur – la température des conducteurs du transformateur au commutateur principal pour chaque phase (A, B et C).

Sortie commutateur – la température du commutateur principal vers la sortie du moteur pour chaque phase (A, B et C).

Arrivée démarreur – la température de l'arrivée au démarreur pour chacun des conducteurs de phase (A, B et C).

Sortie démarreur – la température des conducteurs aux bornes de sortie le long du démarreur du moteur pour chacune de ses phases (A, B et C).

MOTEUR : Mesurer la température du moteur pour déterminer s'il a besoin d'un entretien et s'assurer que l'arbre est équilibré.

Moteur		
Carter	Roulements	
	Supérieur	Inférieur
42	48	40

Carter – la température du carter (°C).

Roulements – les températures des roulements aux deux extrémités de l'arbre (partie supérieure et partie inférieure du moteur en position verticale).

TRANSFORMATEUR : Comme pour les mesures de températures effectuées pour les équipements de contrôle, la prise des températures du transformateur est effectuée pour déterminer les possibles surcharges des conducteurs, les problèmes au niveau des attaches des bornes ou la nécessité de maintenance sur le transformateur.

Transformateurs										
Bornes d'alimentation			Bornes de basse tension				Bâti		Radiateur	
X1	X2	X3	X0	X1	X2	X3	Haut	Bas	Haut	Bas
38	39	39	36	40	38	39	41	40	41	39

Bornes d'alimentation – la température des bornes d'alimentation qui relient le côté haute tension du transformateur pour chaque phase (X_1 , X_2 et X_3).

Bornes de basse tension – les températures du 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).

Bâti – la température du transformateur en haut et en bas du boîtier (détermine la température de fonctionnement du transformateur et s'il y a surcharge).

Radiateur – la température du radiateur du transformateur. Il faut prendre les mesures aussi bien en haut qu'en bas du radiateur (détermine indirectement la température de l'huile du différentiel du transformateur).

REMARQUES : Noter tous événements ou anomalies lors de la prise des mesures de températures.

TROISIÈME ÉTAPE. TRAITEMENT DES INFORMATIONS ET ÉVALUATION

La prochaine étape est l'évaluation et l'analyse des données obtenues lors du mesurage. Cette évaluation sera la principale étape dans l'évaluation des pertes énergétiques et des efficacités des différentes composantes du système de pompage.

3.1 ÉVALUATION DES CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES

Calculer les pertes dues à l'effet Joule dans les conducteurs électriques. Ces pertes sont fonction de la résistance du conducteur et du carré de l'intensité électrique. Le tableur de la méthodologie calcule ces pertes automatiquement lorsque des données supplémentaires sont entrées.

Ligne électrique : indiquez le début et la fin de la ligne évaluée		Calibre	Longueur	Résistance		Intensité	Fonct.	Pertes	
			m	Ω/km	Ω	A	h/an	kW	kWh/an
Statut du courant	Transformateur-démarreur	8 AVG	15	2 100	0,032	13,7	8 760	0,0176	155
	Démarreur-moteur	12 AVG	53	5 320	0,282	13,7	8 760	0,1579	1 383

DONNÉES NÉCESSAIRES :

CALIBRE – le calibre des conducteurs électriques (American Wire Gauge – AWG) mesuré comme indiqué à l'étape 1.1 du présent manuel.

RÉSISTANCE (Ω/km) – la résistance du conducteur dépend du calibre et du matériau du conducteur. Cette valeur peut être obtenue sur les fiches techniques des fabricants. Le tableau ci-après donne certains calibres de conducteurs en cuivre et la valeur de leur résistance respective.

Calibre AWG	Résistance Ω/km
1/0	0,3290
2/0	0,2610
3/0	0,2070
4/0	0,1640
250	0,1390
300	0,1157
350	0,0991
400	0,0867
500	0,0695
600	0,0578

VALEURS CALCULÉES PAR LE TABLEUR

Une fois les données saisies, le tableur détermine automatiquement les valeurs pour chaque section.

LONGUEUR – la longueur des conducteurs électriques (m). Le tableur utilise les données de l'étape 1.1.

RÉSISTANCE () – la résistance totale du conducteur () est obtenue en multipliant la résistance par kilomètre par la longueur des conducteurs.

INTENSITÉ (A) – l'intensité moyenne mesurée pour les trois phases (A) en fonction des données de l'étape 2.2.

TEMPS DE FONCTIONNEMENT (hr/an) – le temps de fonctionnement en fonction des données de l'étape 1.2.

PERTES – Les pertes estimées des conducteurs électriques, d'abord en kW (résistance multipliée par le carré de l'intensité), puis en kWh/an (kW multiplié par le temps de fonctionnement annuel).

3.2 ÉVALUATION DU MOTEUR

L'évaluation du moteur électrique avec cette méthodologie vise à déterminer le niveau réel des performances du moteur, le rendement du moteur électrique représentant la puissance mécanique totale générée grâce à l'énergie électrique consommée. Cette valeur est généralement exprimée en pourcentage (énergie mécanique / énergie électrique). Il y a plusieurs façons de calculer le rendement.

En se basant sur le facteur de charge (FC), cette méthodologie permet tout d'abord de déterminer les paramètres du déséquilibre des mesures électriques, notamment la tension, puis calculer les pertes d'efficacité du moteur dues à l'âge, aux rebobinages ou à l'entretien.

3.2 ÉVALUATION DU MOTEUR

	Moyenne	Déséquilibre	Statut	V/vn
TENSION (V)	445,37	0,8%	minimum	1,2%
INTENSITÉ	13,66	5,4%	moyen	
PUISSANCE (kW)	8,23	6,7%	élevé	
PF	78,1%	2,1%	faible	

ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ	
Facteur de charge :	86,0%
η nominal :	78,0%
Baisse :	0,03%
η réel :	77,9%

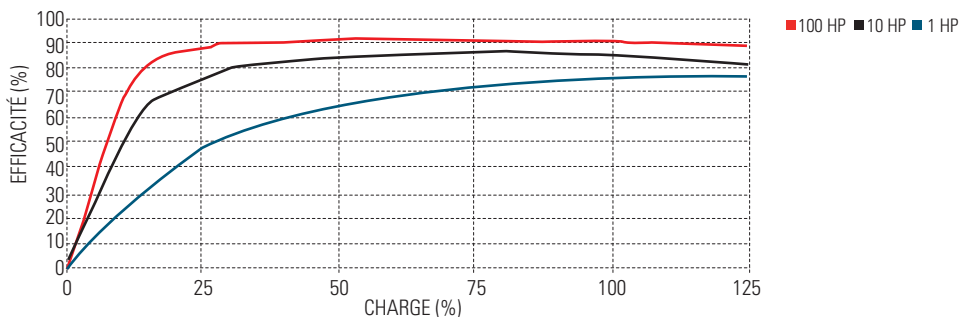
ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DU MOTEUR									
CV	Effic.	FC	Effic. nomi.	Effic. 75%	Effic. 100%	FA ant	FA rew	FA w	FA dv
10	77,9%	86,0%	78,0%	76,9%	79,3%	0,0%	0,0%	-0,000244	100,0%

Le tableur effectue automatiquement les calculs et transfère les données dans les cases correspondantes.

DONNÉES NÉCESSAIRES : TABLEAU D'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DU MOTEUR

Efficacité de 75 et charge de 100 % : Ces données doivent être saisies conformément à la courbe nominale de l'efficacité du moteur du fabricant. La figure ci-après présente les courbes typiques d'efficacité pour les moteurs de 1, 10 et de 100 chevaux-vapeur (hp).

Courbe typique d'efficacité d'un moteur à induction standard de 1800 tr/min



Effic. : La valeur d'efficacité nominale doit être entrée. Une fois enregistrée, le tableur génère les valeurs correspondantes et calcule le rendement réel du moteur (η real) dans la partie relative à l'évaluation de l'efficacité. Saisissez ce résultat dans le champ Effic. et une nouvelle valeur (η real) sera calculée. La valeur de l'efficacité réelle du moteur doit être remplacée jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de différence significative entre les deux valeurs (voir la figure suivante).]

ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ	
Facteur de charge :	86,0%
η nominal :	78,0%
Baisse :	0,03%
η réel :	77,9%

HP	Effic.	FC
10	77,9%	86,0%

VALEURS CALCULÉES PAR LE TABLEUR :

Une fois ces résultats saisis, le tableur calculera les valeurs correspondantes dans les cases suivantes :

	Moyenne	Déséquilibre	Statut	V/vn
TENSION (V)	445,37	0,8%	minimum	1,2%
INTENSITÉ	13,66	5,4%	moyen	
PUISSANCE (kW)	8,23	6,7%	élevé	
PF	78,1%	2,1%	faible	

TENSION (V) – la tension moyenne mesurée à l'étape 2.2 ; le déséquilibre de tension entre la moyenne calculée et la tension mesurée à chaque phase ; la tension moyenne par rapport à la tension nominale indiquée sur la plaque signalétique du moteur obtenue à l'étape 1.2.

Intensité – la moyenne actuelle en conformité avec les mesures de l'étape 2.2 ; le déséquilibre actuel moyen de chaque mesure de phase.

PUISSANCE – la puissance active moyenne en kilowatts (kW) mesurée à l'étape 2.2 ; le déséquilibre de puissance moyenne active et des mesures de chaque phase.

FP – FACTEUR DE PUISSANCE – le facteur de puissance moyen calculé à l'étape 2.2 ; le déséquilibre moyen des facteurs de puissance de chaque phase.

CADRE DE L'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DU MOTEUR

ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DU MOTEUR									
CV	Effic.	FC	Effic. nomi.	Effic. 75%	Effic. 100%	FA ant	FA rew	FA w	FA dv
10	77,9%	86,0%	78,0%	76,9%	79,3%	0,0%	0,0%	−0,000244	100,0%

Chevaux-Vapeur (hp) – la puissance mécanique nominale du moteur, en chevaux-vapeur (hp), obtenue à l'étape 1.2 par les valeurs figurant sur la plaque signalétique du moteur.

FC – le facteur de charge du moteur, obtenu avec la formule suivante : $FC = P_e / \text{Effic.} \times \text{hp} \times 0,746$ (P_e = puissance électrique calculée comme la somme des trois puissances actives P_a , P_b , P_c [étape 2.2], moins les pertes figurant dans l'unité démarreur-moteur [étape 3.1]).

Effic. nom. – l'efficacité nominale du moteur calculée par interpolation entre les efficacités saisies à 75 et 100 % de charge sur la courbe nominale du moteur.

FA ant – le facteur de perte d'efficacité nominale en fonction de l'âge du moteur, calculé automatiquement en fonction des données de l'étape 1.2.

FA rew – le facteur de perte d'efficacité nominale en fonction du nombre de rebobinages du moteur, basé sur les données obtenue à l'étape 1.2.

FA vv – le facteur de perte d'efficacité du moteur, qui dépend du déséquilibre ou du ratio entre la tension d'alimentation nominale et les valeurs calculées par le tableur (V/V_n).

FA dv – le facteur de perte d'efficacité du moteur (dans l'exemple, il est lié au déséquilibre de tension entre les phases conformément aux valeurs calculées par le tableur).

CADRE DE L'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ

Cette case affiche un récapitulatif des données calculées dans le cadre d'évaluation de l'efficacité du moteur.

Évaluation de l'efficacité	
Facteur de charge :	86,0%
η nominal :	78,0%
Baisse :	0,03%
η réel :	77,9%

FC – le facteur de charge, calculé et pris dans la case appropriée.

η nominale – l'efficacité nominale du moteur, calculée à l'étape 1.2 et placée dans la case correspondante.

Baisse – les facteurs de perte d'efficacité dus à la tension, à l'âge et aux rebobinages, calculés à l'étape 3.1.

η réelle – l'efficacité réelle du moteur, obtenue en soustrayant l'efficacité nominale des pertes correspondantes d'efficacité. Cette valeur est le résultat souhaité de l'analyse du moteur électrique.

3.3 ÉVALUATION DE LA POMPE

L'efficacité totale d'exploitation de la pompe est calculée en tant que rapport entre la puissance hydraulique (P_h) produite et la puissance mécanique (P_m) absorbée. Pour calculer cette efficacité, il faut obtenir la charge nette de pompage (incluant les pertes de puissance d'aspiration, des conduites de refoulement et du manomètre).

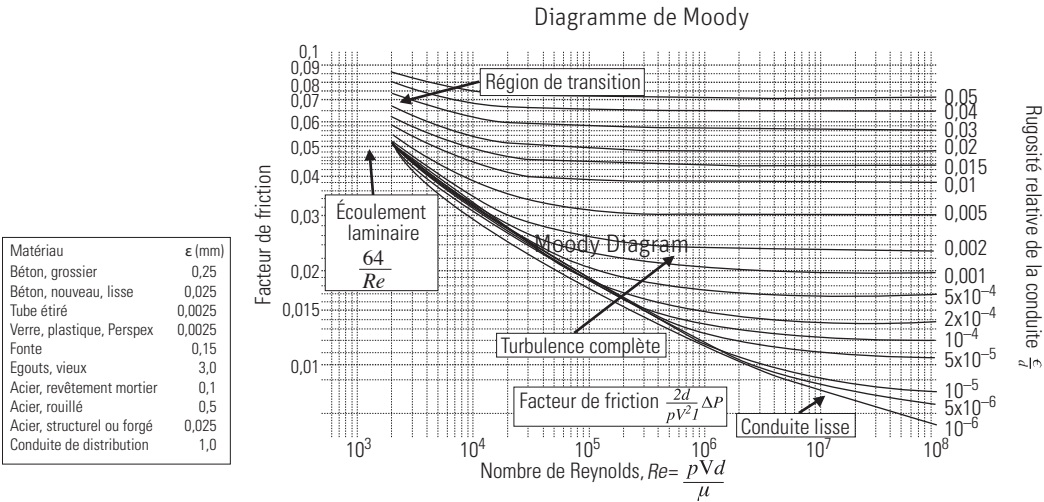
Le tableur calcule automatiquement la majorité des données requises, basées sur les mesures des paramètres hydrauliques et électriques faites aux étapes 2.1 et 2.2. Il est cependant essentiel d'inscrire les données relatives au calcul des pertes dans les conduites d'aspiration et de refoulement pour obtenir la charge nette de pompage.

CHARGE DE POMPAGE									
Pertes conduite d'aspiration :	0,13 m				Pertes conduite refoulement :	0,001 m			
Masse volumique du fluide :	1 000 kg/m ³				Vitesse conduite refoulement :	0,598 m/s			
Charge nette de pompage :	46,92 mwc				Déviation de la conception :	113,3%			
ÉCOULEMENT									
Flux mesuré :	0,0047 m ³ /s				Déviation de la conception :	-74,7%			
PUISSANCE MANOMÉTRIQUE									
Conception :	4,02 kW		Mesurée :	2,163 kW		Déviation :	-46,14%		
EFFICACITÉ									
Efficacité électromécanique :	26,28%				Efficacité de la pompe :	33,72%			
Pertes dans les conduites									
	Q	A	v	Visco	Reynolds	Rug. abs.	Rug. rel.	fr	Hfr
	m ³ /s	m ²	m/s	m ² /s		mm			m.c.a.
Aspiration	0,005	0,0079	0,5984	9,8E-07	6,096E+04	0,046	0,00046	0,0218	0,129
Refoulement	0,005	0,0079	0,5984	9,8E-07	6,096E+04	0,046	0,00046	0,0218	0,001

Rug. abs. – la rugosité absolue de la conduite (mm), qui dépend des propriétés du matériau. Cette valeur est obtenue en utilisant le tableau ci-après et le diagramme de Moody :

Matériau	Valeurs de ϵ pour différents types de ϵ (mm)
Acier	0,9–9
Béton	0,3–3
Fonte	0,25
Fer galvanisé	0,15
Fer forgé et asphalte	0,12
Fer forgé	0,046
(PVC)	0,0015

fr – le facteur de friction peut être obtenu à partir du diagramme de Moody en saisissant le nombre de Reynolds (calculé par le tableur). La valeur **fr** doit être saisie dans la case correspondante.



VALEURS CALCULÉES PAR LE TABLEUR :

Une fois les données saisies, le tableur calcule les valeurs correspondantes :

Pertes dans les conduites									
	Q	A	v	Visco	Reynolds	Rug. abs.	Rug. rel.	fr	Hfr
	m ³ /s	m ²	m/s	m ² /s		mm			m.c.a.
Aspiration	0,005	0,0079	0,5984	9,8E-07	6,096E+04	0,046	0,00046	0,0218	0,129
Refolement	0,005	0,0079	0,5984	9,8E-07	6,096E+04	0,046	0,00046	0,0218	0,001

Q – le débit volumique (m³/s), provenant de l'Étape 2.

A – la surface de la conduite correspondante (m²), calculée en fonction de son diamètre (m) mesuré à l'étape 2.

V – la vitesse du fluide (m/s).

Visco – la viscosité cinématique (m²/s), calculée sur la base des caractéristiques de température et de poids spécifique du fluide, obtenus à l'étape 1.4.

Reynolds – le nombre de Reynolds, obtenu en multipliant la vitesse du fluide par le diamètre de la conduite, puis en divisant le résultat par la viscosité cinématique du fluide.

Rug. rel. – la rugosité relative de la conduite, obtenue en divisant la rugosité absolue par le diamètre de la conduite.

Fr – la friction du fluide sur les parois des conduites

Hfr – les pertes totales de charge dues à la friction du fluide sur les parois des conduites correspondantes, obtenues avec la formule suivante :

$$H_{fr} = f_r \frac{\text{Longueur de la conduite}}{\text{Diamètre de la conduite}} \times \frac{v^2}{2g}$$

ENCADRÉ DE CALCUL DE L'EFFICACITÉ DE LA POMPE

CHARGE DE POMPAGE			
Pertes conduite d'aspiration :	0,13 m	Pertes conduite refoulement :	0,001 m
Masse volumique du fluide :	1 000 kg/m ³	Vitesse conduite refoulement :	0,598 m/s
Charge nette de pompage :	46,92 mwc	Déviations de la conception :	113,3%
ÉCOULEMENT			
Flux mesuré :	0,0047 m ³ /s	Déviations de la conception :	-74,7%
PUISSANCE MANOMÉTRIQUE			
Conception :	4,02 kW	Mesurée :	2,163 kW
		Déviations :	-46,14%
EFFICACITÉ			
Efficacité électromécanique :	26,28%	Efficacité de la pompe :	33,72%

Saisir les pertes d'aspiration et de refoulement de la conduite. Les valeurs sont ensuite calculées automatiquement comme suit :

CHARGE DE POMPAGE – détermine la charge nette de pompage, en tenant compte des mesures hydrauliques effectuées à l'étape 2.1 et des pertes dans les conduites d'aspiration et de refoulement. Ceci détermine aussi la déviation par rapport à la charge nominale de conception obtenue à l'étape 3.1.

DÉBIT – détermine le débit volumique (m³/s) et sa déviation par rapport au débit de conception ou nominal obtenu à l'étape 3.1.

PUISSANCE MANOMÉTRIQUE – calcule la puissance manométrique, le travail réel, son écart en kW, en fonction de la charge et de l'usure correspondantes.

EFFICACITÉ – détermine l'efficacité de la pompe en fonction de ce qui suit :

Efficacité électromécanique – l'efficacité électromécanique est calculée en divisant la puissance manométrique par l'intensité électrique, comme déterminé à l'étape 3.2.

Efficacité de la pompe – l'efficacité de la pompe est calculée en divisant l'efficacité électromagnétique par l'efficacité réelle du moteur, comme déterminé à l'étape 3.2.

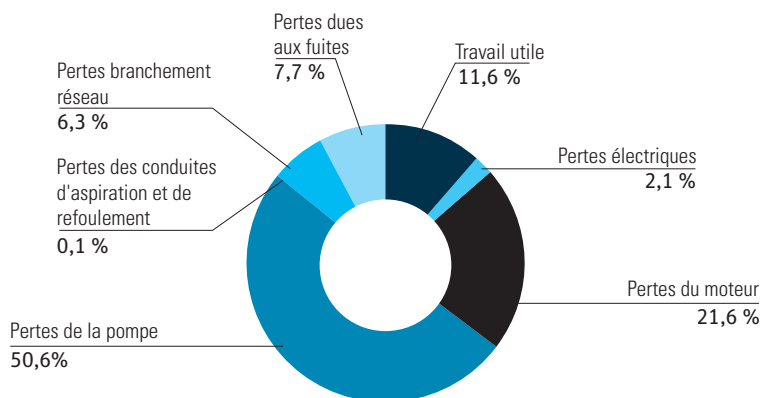
3.4 BILAN ÉNERGÉTIQUE RÉEL

Le but de calculer le bilan énergétique est l'identification des installations ou des éléments du système de pompage où la consommation d'énergie est plus élevée. Le bilan énergétique sert aussi de base pour la planification de mesures de conservation de l'énergie. Déterminer le travail utile indiquera la portion de l'énergie utilisée pour faire le travail actuel. Le reste de la consommation est perdue dans les divers éléments du système de pompage.

Utiliser le tableur pour calculer ce bilan basé sur les mesures effectuées lors des étapes 2.1, 2.2, 3.1 et 3.3. La consommation d'énergie peut ensuite être répartie.

Paramètre	Unité	Quantité
Consommation d'énergie	kWh/an	73.651
Efficacité du moteur	%	77,93 %
Efficacité de la pompe	%	33,64 %
Pertes dues aux fuites	%	40 %
Hauteur utile	WCm	35
Pertes électriques	kWh/an	1.538
Pertes du moteur	kWh/an	15 917
Pertes de la pompe	kWh/an	37 292
Pertes des conduites d'aspiration et de refoulement	kWh/an	5
Pertes au branchement sur réseau	kWh/an	4,606
Pertes dues aux fuites	kWh/an	5,717
Travail utile	kWh/an	8,576

Bilan énergétique réel



Pour déterminer le bilan énergétique, saisir le pourcentage des pertes dues aux fuites, obtenu par l'estimation du bilan de la distribution de l'eau pour le réseau hydraulique. Le bilan énergétique dépend de l'état du réseau de distribution, et les pertes peuvent représenter de 20 à 65 % de la consommation totale du système.

Le bilan de puissance est ensuite calculé :

Consommation d'énergie – le total de l'énergie consommée par le système électrique (kWh) en un an de fonctionnement, calculé comme étant la somme de la puissance active moyenne à toutes les étapes.

Efficacité du moteur – l'efficacité réelle du moteur (%), calculé à l'étape 3.2.

Efficacité de la pompe – l'efficacité de la pompe (%), calculé à l'étape 3.3.

Pertes dues aux fuites – la perte d'eau estimée due aux fuites du réseau de distribution, selon les études précédentes portant sur le réseau (une valeur doit être saisie dans la case).

Hauteur utile – la charge de la pompe due aux élévations physiques et topographiques ; la distance verticale séparant l'aspiration de la pompe et le point le plus élevé du réseau en amont de la pompe, exprimé en mètres de colonne d'eau (m.).

Pertes électriques – les pertes énergétiques dues aux dispositifs électriques ; dues aux pertes énergétiques dans les conducteurs, calculées à l'étape 3.1.

Pertes du moteur – les pertes énergétiques au niveau du moteur, selon l'efficacité réelle calculée à l'étape 3.2.

Pertes de la pompe – les pertes énergétiques dues à l'inefficacité de la pompe, selon les calculs effectués à l'étape 3.3.

Pertes dans les conduites d'aspiration et de refoulement – les pertes énergétiques causées par la friction du fluide dans les conduites d'aspiration et de refoulement, calculées à l'étape 3.3.

Pertes au branchement sur réseau – les pertes totales de charge de pompage calculées par la différence entre la charge nette de pompage et la différence de pression correspondante.

Pertes dues aux fuites – les pertes énergétiques estimées, dues aux fuites de fluide dans le réseau de distribution, calculées sur la base du facteur de fuite.

Travail utile – le travail réel exprimé en unités d'énergie requises par le système de pompage (c'est-à-dire actuellement utilisées par le système de pompage pour apporter le fluide).

3.5 REMARQUES RELATIVES AUX POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIE

Cette section permet de faire des remarques concluantes sur le bilan énergétique et une analyse des mesures.

Voici quelques exemples de commentaires et de possibilités d'économies générales :

Analyse de l'évaluation du moteur et des paramètres électriques

3.5 REMARQUES RELATIVES AUX POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIE
a) Il y a plusieurs anomalies au niveau du système de mise à la terre. Une évaluation complète de conformité aux normes est recommandée.
b) Le facteur de puissance est faible (78 %). L'installation d'une batterie de condensateurs pour réduire les pertes dans les conducteurs électriques par l'effet Joule est recommandée.
c) La température aux bornes d'entrée et de sortie du commutateur principal et du démarreur est élevée (plus de 40 °C). Il est envisagé d'effectuer un entretien de prévision et de prévention pour conserver l'équipement en bon état de fonctionnement.
d) Le déséquilibre de la puissance calculée est élevé, ce qui indique que le moteur fonctionne de façon médiocre.
e) L'efficacité de la pompe est très faible (33,36 %). Son remplacement est recommandé.

Un faible facteur de puissance cause :

- a) un accroissement des pertes dues à l'effet joule dans
 - les conducteurs entre l'alimentation électrique et le moteur ;
 - le câblage du transformateur ;
 - les dispositifs de fonctionnement et de protection.
- b) Une augmentation de la chute de tension dans les câbles d'alimentation ce qui peut engendrer une plus faible tension d'alimentation des moteurs et donc des pertes d'efficacité.
- c) Un accroissement de la puissance apparente qui diminue la capacité de charge installée. C'est important dans le cas des transformateurs de distribution.

Ces facteurs affectent le producteur ainsi que le distributeur d'énergie électrique, qui pénalisent ensuite les utilisateurs. Les moteurs surdimensionnés, qui fonctionnent avec de faibles facteurs de charge, pourraient être l'une des causes d'un faible facteur de puissance sur le réseau.

Le tableau suivant donne une liste plus exhaustive de conditions d'exploitation inefficaces, ainsi que le diagnostic de cette dernière.

Condition observée	Diagnostic
Tension inférieure à la tension nominale.	La tension fournie par le distributeur est insuffisante.
	La variabilité de la tension d'arrivée peut aller jusqu'à 5 %.
	La tension d'arrivée est bonne.
Déséquilibre de la tension apportée au moteur.	La tension d'arrivée est déséquilibrée.
	La tension d'arrivée est bonne, mais celle de sortie est déséquilibrée.
	La tension aux bornes du transformateur est équilibrée et celle du moteur ne l'est pas.
Déséquilibre dans les intensités utilisées par le moteur.	Le déséquilibre de la puissance est inversement proportionnel à celui de la tension.
	Le déséquilibre est dû à un déséquilibre de la demande des phases du moteur.
La vitesse de fonctionnement du moteur est inférieure à celle d'une charge totale.	Problèmes au niveau des paliers.
Température et/ou vibrations élevées au niveau des paliers.	
Le moteur est d'efficacité normale et fonctionne depuis plus de 10 ans.	L'efficacité fonctionnelle du moteur est faible.
Le moteur a été réparé (rebobiné) plus de deux fois.	L'efficacité du moteur est en baisse.
Le moteur fonctionne actuellement avec un facteur de charge de moins de 45 %.	Le moteur fonctionne actuellement à un endroit où son efficacité de fonctionnement est faible.
Le moteur fonctionne actuellement avec un facteur de charge de plus de 100 %.	Le moteur fonctionne actuellement à un endroit où son efficacité de fonctionnement est faible.

Analyse de l'évaluation de la pompe

Il est important d'analyser les pompes qui fonctionnent en parallèle pour diagnostiquer une consommation d'énergie excessive et, par le fait même, montrer des opportunités d'économies substantielles.

L'efficacité électromagnétique réelle et celle de la pompe doivent être comparées avec les valeurs recommandées pour les normes d'applications standards pour les moteurs. De telles comparaisons peuvent servir à déterminer les niveaux potentiels d'économie d'énergie. Cette analyse sert aussi de base pour envisager le remplacement de l'équipement. Voici certaines normes recommandées pour les valeurs minimales de l'efficacité électromécanique :

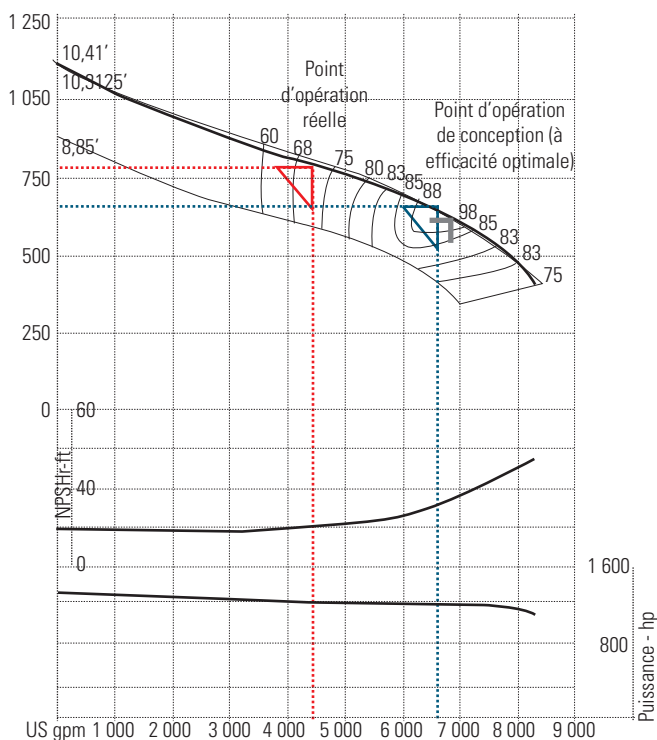
Intervalles de puissance		Efficacité électromagnétique (%)
kW	HP	
5,6–14,9	7,5–20	52
15,7–37,3	21–50	56
38,0–93,3	51–125	60
94,0–261	126–350	64

Il est très fréquent de trouver des systèmes de pompage qui fonctionnent dans des conditions moins qu'optimales. Selon leur conception, toutes les pompes ont un point de charge de fonctionnement optimal où toutes les pertes sont minimisées.

Voici certains problèmes qui peuvent se poser :

- une faible productivité
- la dégradation de certaines pièces, en particulier les roues à aubes et les bagues d'usure ;
- les cavitations dues à un faible écoulement de l'aspiration.

Les effets de la réduction de l'efficacité du système de pompage sont indiqués sur la figure ci-après. Ceci est important en termes de mouvement de l'écoulement de la charge et peut faire varier jusqu'à 20 % l'efficacité.



Le résultat est un pourcentage de déviation entre les lignes verte et rouge. S'il est négatif, la pompe fonctionne à gauche de la ligne verte. S'il est positif, elle fonctionne à droite de la ligne verte.

Analyse des températures obtenues

Les mesures effectuées à l'étape 1.4 contribuent à révéler un manque d'entretien des installations électriques, au niveau des connexions des bornes du conducteur ou de l'équipement électrique. L'analyse de ces données contribue à l'élaboration de solutions entraînant des économies d'énergie.

QUATRIÈME ÉTAPE. PROJET D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE

Le projet d'économie d'énergie a pour but d'élaborer une revue des occasions potentielles de réduction des coûts énergétiques. Le projet total est basé sur l'analyse des informations obtenues lors de l'étape 3, y compris l'analyse des efficacités, du fonctionnement, de l'entretien, etc.

4.1 DESCRIPTION DE PROPOSITIONS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

La case correspondante du tableur indique les propositions d'économie. Par exemple :

4.1 DESCRIPTION DE PROPOSITIONS D'ÉCONOMIES
1. Remplacer l'ensemble pompe et moteur submersibles par un équipement plus efficace. L'équipement proposé est submersible en raison de la déviation du puits.
2. Installer une batterie de condensateurs.

Le tableau ci-après résume des mesures d'ordre général et spécifique, basées sur les investissements faibles, moyens et élevés qui sont couramment utilisés pour assurer des conditions optimales et réduire la consommation d'énergie.

Mesures visant à réduire la consommation d'énergie

Système	Mesure d'ordre général	Mesure spécifique	
Système pompe et moteur	Optimisation de l'efficacité électromécanique	Investissement faible	S'assurer que l'équipement de pompage est adéquat pour répondre aux points réels de fonctionnement
			Régler la position des conducteurs dans la turbine avec les pompes à roue à aubes ouverte
	Entretien préventif et anticipé	Investissement moyen	Remplacement du moteur
			Remplacement du moteur et de la pompe
Système de distribution de l'eau	Optimiser les charges de pompage	Investissement faible	Surveiller les paramètres ayant trait à l'efficacité électromécanique
			Paramètres mécaniques du moteur, comme les vibrations et les températures
	Contrôle de la pression et du débit	Investissement élevé	Corriger les défauts de configuration et d'exploitation des conduites de refoulement
			Réduire les pertes dues à la friction dans les conduites
Système électrique	Optimisation des installations électriques	Investissement moyen	Installer des pompes à mécanisme d'entraînement à fréquence variable
			Réguler l'installation des réservoirs
		Investissement faible	Optimisation du facteur de puissance
			Correction des déséquilibres de tension
		Investissement moyen	Régler l'arrivée de la tension au moteur à la valeur figurant sur la plaque
			Réduire les pertes de puissance dues à l'effort Joule
			Réduire les pertes dans les transformateurs

4.2 SPÉCIFICATIONS RELATIVES À L'ÉQUIPEMENT

Si les mesures d'économie décrites à l'Étape 4.1 requièrent le remplacement ou le changement de l'équipement, les spécifications doivent être notées dans la case correspondante comme suit :

4.2 Spécifications relatives à l'équipement		
Spécifications relatives à la pompe	Marque :	ABP
	Modèle :	5 RWAHC (3 STAGES)
	Efficacité de la pompe :	73,5%
Spécifications relatives au moteur	Puissance nominale :	5 HP
	Tension nominale :	440 V
	Efficacité à pleine charge :	76,8%
	Nombre de phases :	2
	Vitesse angulaire :	3 500 rpm
	Efficacité électromécanique :	54,6%
Batterie de condensateurs	Puissance réactive :	2 kVars
	Tension nominale :	440 V

Spécifications relatives à la pompe – les caractéristiques clés de la pompe de remplacement proposée, comme la marque, le modèle et son efficacité.

Spécifications relatives au moteur – les caractéristiques du moteur proposé, comme sa puissance (hp), sa tension nominale, son efficacité à pleine charge, et sa vitesse angulaire. Le tableur détermine automatiquement la nouvelle efficacité électromécanique du système en multipliant l'efficacité de la pompe et du moteur.

Batterie de condensateurs – la puissance réactive de la batterie de condensateurs (kVar) et la tension correspondante (V) (le cas échéant).

4.3 PLAN D'ACTION

Le plan d'action énumère par ordre de priorités les actions qui doivent être suivies conformément aux économies mentionnées à l'étape 4.1.

4.3 Plan d'action	
Actions:	i. Réutiliser le conducteur électrique et l'équipement de contrôle pour ce qui précède. ii. Remplacer la pompe submersible ; faire une nouvelle proposition. iii. Installer une soupape à clapet iv. Installer une batterie de condensateurs.

CINQUIÈME ÉTAPE. ÉVALUATION DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Une fois que les mesures relatives à l'efficacité, les spécifications du changement d'équipement et les évaluations des économies d'énergie et du bilan énergétique proposés sont prêtes, créer un plan d'économies.

5.1 ÉVALUATION DES CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES

Réévaluer les conducteurs électriques et l'effet Joule pour refléter tout changement proposé dans ce domaine. L'installation d'une batterie de condensateurs diminue l'effet joule.

Ligne électrique : indiquez le début et la fin de la ligne évaluée		Calibre	Longueur	Résistance		Intensité	Fonct.	Pertes	
			m	Ω/km	Ω	A	h/an	kW	kWh/an
Statut du courant	Transformateur-démarreur	8 AVG	15	2,100	0,032	13,7	8 760	0,0028	24,2
	Démarreur-moteur	12 AVG	53	5,320	0,282	13,7	8 760	0,0365	319,4

Cette évaluation est effectuée suivant la description figurant à l'étape 3.1. Saisir le calibre du conducteur et la résistance en ohms par kilomètre (/km). Le tableur calcule les nouvelles pertes dans les conducteurs en kilowatts heures par an (kWh/an).

5.2 CALCUL DE L'EFFICACITÉ DU MOTEUR

Calculer à nouveau l'efficacité réelle de tout nouveau moteur.

FP	BHP	P proposée	Effic. réelle	FC	Effic. nomi.	Effic. 75%	Effic. 100%	
78,3%	3,95%	5,0%	74,2%	78,9%	74,3%	73,8%	76,8%	
					FA ant	FA rew	FA vv	FA dv
					0.0%	0.0%	−0.00024	100.0%

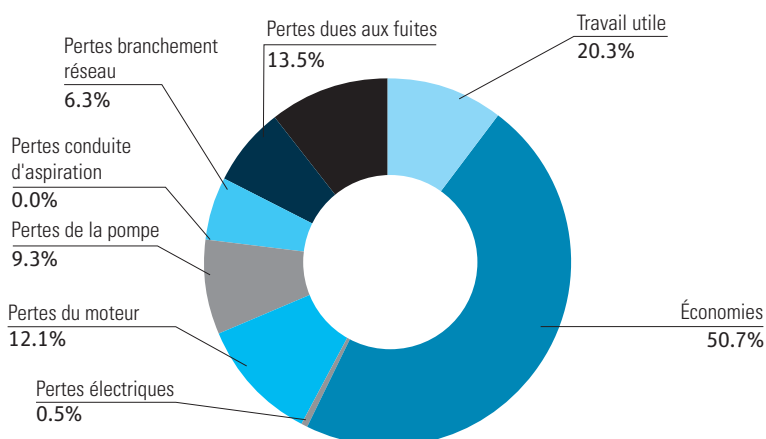
Cette évaluation est effectuée de la même façon que pour le processus décrit à l'étape 3.2, sauf que les efficacités doivent être celles relatives à 75 % et à 100 % de la charge du nouveau moteur (utiliser la courbe du nouveau moteur).

5.3 BILAN ÉNERGÉTIQUE ATTENDU

Lorsque les mesures d'économies proposées sont mises en œuvre, le bilan énergétique reflètera la courbe de la nouvelle pompe, en supposant que la pompe a été sélectionnée pour une efficacité maximale.

Calculer le bilan énergétique, comme à l'étape 3.4.

Paramètre	Unité	Quantité
Consommation d'énergie	kWh/an	34,998
Demande en courant	kW	4,0
Courant	A	6,6
Facteur de puissance	%	78 %
Pertes électriques	kWh/an	342
Pertes du moteur	kWh/an	8 936
Pertes de la pompe	kWh/an	6 816
Pertes de la conduite d'aspiration	kWh/an	5
Pertes au branchement sur réseau	kWh/an	4 606
Pertes dues aux fuites	kWh/an	5 717
Travail utile	kWh/an	8 576
Économies	kWh/an	38 653



Dans ce cas, les économies d'énergie attendues peuvent atteindre 52,5 % de l'énergie utilisées par le système de pompage.

SIXIÈME ÉTAPE. ANALYSE ÉCONOMIQUE

Cette dernière étape porte sur une analyse économique des économies proposées.

6.1 CALCUL DES ÉCONOMIES

Les calculs d'économies sont déterminés à partir du coût de l'énergie électrique et des économies d'énergie obtenues à l'étape 5.

Coût énergétique		0,12	US\$/kWh
Économies directes : Les avantages directs proviennent de la réduction des pertes de la pompe et du moteur.			
	Énergie économisée	38 576	kWh/an
	Économie en électricité	4 629	USD/an
Économies supplémentaires : Le moteur proposé aura un meilleur facteur de puissance et demandera moins de courant, ce qui donne un effet Joule réduit sur les conducteurs.			
	Économies : conducteurs	1 194	kWh/an
	Économies : électricité	143	USD/an

Coût énergétique – le coût de l'électricité en monnaie locale ou en dollars américains par kilowattheure (USD/kWh). Le coût dépend des tarifs locaux ou reflète un accord sur les tarifs d'approvisionnement conclu entre le système de pompage et le fournisseur.

Économies directes – les économies attendues de la réduction des pertes énergétiques figurant dans le nouveau bilan énergétique. Ces économies proviennent de la ligne du bilan énergétique du tableur indiquant les économies attendues en kWh/an. L'économie de coût est calculée en multipliant l'énergie économisée par le coût énergétique.

Économies supplémentaires – les économies supplémentaires dues aux changements du facteur de puissance. Bien que faibles, elles ne doivent pas être ignorées. Toutefois, si un facteur de puissance faible entraîne des redevances supplémentaires par le fournisseur de service d'électricité, celles-ci doivent être comprises dans l'analyse.

Dans le tableur, saisir la valeur du coût énergétique dans la case correspondante et les économies seront calculées automatiquement.

6.2 CALCUL DE L'INVESTISSEMENT

Utiliser le tableur pour calculer le total des investissements consacrés à l'achat et à l'installation du nouvel équipement, le cas échéant.

No	Description	Montant	Prix à l'unité (USD)	Coût total (USD)
1	Ensemble pompe et moteur submersible	1	3 431	3 431
2	Remplacement du matériel de pompage actuel	1	1 000	1 000
3	Achat et installation de la batterie de condensateurs 5 kVar, 480 volts.	1	245	245
TOTAL				5 377

6.3 ANALYSE DE RENTABILITÉ

Utiliser le tableur pour calculer le rendement des investissements des projets d'économies d'énergie proposés.

Total des économies :	Réduction de la consommation énergétique (kWh/an)	38 576
	Économies (USD/an)	4 629
Total de l'investissement :	USD	5 377
Période d'amortissement :	Années :	1,2

Économies totales – les économies en coûts énergétiques calculées à l'étape 6.1.

Total de l'investissement – le coût de l'achat et de l'installation de l'équipement figurant à l'étape 6.2.

Période d'amortissement – le nombre d'années qu'il faut pour que les économies couvrent le coût de l'achat et de l'installation de l'équipement (calculée en divisant le total des investissements par le total des économies).

CE CALCUL MET FIN A L'AUDIT DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE



www.iadb.org