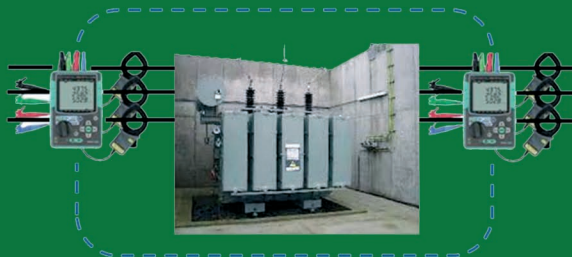


# Guide Technique

## Protocole de Mesure et de Vérification des Actions d'Efficacité Énergétique



**GUIDE TECHNIQUE  
SUR LES PROTOCOLES  
ET PLANS DE M&V  
ET METHODES PRATIQUES  
DE DIAGNOSTIC DES ACTIONS  
D'EFFICACITE ENERGETIQUE  
GENERIQUES**

# TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	7
1 REVUE DES PRINCIPAUX PROTOCOLES DE M&V .....	8
1.1 Présentation de différents protocoles de M&V .....	8
1.1.1 Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique (IPMVP) Volume I .....	8
1.1.2 Directive 14 d'ASHRAE .....	10
1.1.3 Autres protocoles .....	11
2 INTRODUCTION THEORIQUE SUR LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE MESURAGE .....	12
2.1 Définition du M&V .....	12
2.2 Base d'ajustements .....	12
2.2.1 Les ajustements périodiques .....	13
2.2.2 Les ajustements non périodiques .....	14
2.3 Périmètre de mesure .....	14
2.4 Période de référence .....	15
2.5 Modèle mathématique de la période de référence .....	16
2.5.1 La méthode statistique .....	16
2.5.2 Exemple de régression linéaire .....	18
2.6 Période de suivi .....	19
2.7 Périodes adjacentes de mesurage .....	19
2.8 Mesurage .....	20
2.9 Le plan de M&V .....	20
2.10 Les étapes de réalisation d'une activité de M&V .....	20
2.11 Rédiger un rapport de mesure et vérification .....	21
2.12 Les options disponibles pour le M&V .....	21
2.12.1 Isolement de la modernisation .....	22
2.12.2 Site entier .....	24
2.13 L'application de l'IPMVP .....	27
3 PLAN DE M&V : CONTENU ET REGLES .....	28
3.1 Mesures de conservation d'énergie (MCE) .....	28
3.2 Option et perimetre de mesure .....	28
3.3 Période de référence .....	29
3.4 Période de suivi .....	29
3.5 Base pour l'ajustement .....	30
3.6 procédure d'analyse pour obtenir la base de référence ajustée et les économies .....	30
3.6.1 Les ajustements de la base de référence (ABR) .....	30
3.7 Prix de l'énergie .....	31
3.7.1 Prix de l'électricité (hors taxes) .....	31
3.7.2 Prix du gaz naturel (hors taxes) .....	32
3.8 Caractéristiques des compteurs .....	32
3.8.1 Electricité .....	32
3.8.2 Compteurs d'énergie d'un fluide .....	35
3.8.3 Débitmètres .....	36
3.8.4 Spécificités du mesurage de l'eau .....	38
3.8.5 Spécificités du mesurage du gaz .....	38
3.8.6 Spécificités du mesurage du mazout .....	39
3.8.7 Spécificités du mesurage de la vapeur .....	39
3.8.8 Mesurage de la température .....	40

3.8.9	Capteur de temps de fonctionnement de l'éclairage.....	41
3.8.10	Concentrateurs de données .....	41
3.8.11	Système avec enregistrement et transmission en temps réel .....	42
3.9	Responsabilité de suivi.....	42
3.9.1	Responsabilité du rapport .....	43
3.10	Précision attendue.....	43
3.11	Budget.....	44
3.12	Format du rapport de M&V .....	45
3.13	Garantie de la qualité .....	45
4	PLAN DE M&V DES MESURES D'EFFICACITE ENERGETIQUE.....	47
4.1	Poste de transformation de l'énergie électrique .....	47
4.1.1	Mesure de conservation d'énergie (MCE) .....	47
4.1.2	Option et périmètre de mesure .....	48
4.1.3	Situation de référence ; période, énergie et conditions .....	48
4.1.4	Période de suivi .....	50
4.1.6	Base pour les ajustements .....	50
4.1.7	Procédure d'analyse .....	50
4.1.8	Caractéristiques des compteurs.....	51
4.2	Optimisation d'une chaudière.....	52
4.2.1	Mesures de conservation d'énergie (MCE).....	52
4.2.2	Option et périmètre de mesure .....	52
4.2.3	Situation de référence ; période, énergie et conditions .....	53
4.2.4	Période de suivi .....	54
4.2.5	Base pour les ajustements .....	55
4.2.6	Procédure d'analyse .....	55
4.2.7	Caractéristiques des compteurs.....	55
4.3	Changement d'un refroidisseur .....	57
4.3.1	Mesure de conservation d'énergie (MCE) .....	57
4.3.2	Option et périmètre de mesure .....	58
4.3.3	Situation de référence ; période, énergie et conditions .....	59
4.3.4	Période de suivi .....	60
4.3.5	Inspections périodiques.....	60
4.3.6	Base pour les ajustements .....	60
4.3.7	Procédure d'analyse .....	61
4.3.8	Caractéristiques des compteurs.....	62
4.4	Air comprimé .....	63
4.4.1	Mesure de conservation d'énergie (MCE) .....	63
4.4.2	Option et périmètre de mesure .....	63
4.4.3	Situation de référence .....	63
4.4.4	Période de suivi .....	64
4.4.5	Base pour les ajustements .....	64
4.4.6	Procédure d'analyse .....	65
4.4.7	Spécification du compteur .....	67
4.5	Entrainement à fréquence variable .....	67
4.5.1	Mesure de conservation d'énergie (MCE) .....	67
4.5.2	Option et périmètre de mesure .....	67
4.5.3	Identification de la période de référence.....	67
4.5.4	Ajustements requis aux données de la période de référence .....	67
4.5.5	Période de suivi .....	68

4.5.6	Base pour les ajustements .....	68
4.5.7	Procédure d'analyse .....	69
4.5.8	Spécification du compteur .....	70
4.6	Amélioration de l'efficacité d'un moteur.....	70
4.6.1	Mesure de conservation d'énergie (MCE) .....	70
4.6.2	Option et périmètre de mesure .....	70
4.6.3	Situation de référence ; période, énergie et conditions .....	70
4.6.4	Période de suivi .....	71
4.6.5	Base pour les ajustements .....	71
4.6.6	Procédure d'analyse .....	71
4.6.7	Caractéristique des compteurs .....	72
4.7	Echangeur de chaleur.....	72
4.7.1	Mesure de conservation d'énergie (MCE) .....	72
4.7.2	Option et périmètre de mesure .....	72
4.7.3	Situation de référence ; période, énergie et conditions .....	73
4.7.4	Période de suivi .....	73
4.7.5	Base pour les ajustements .....	73
4.7.6	Procédure d'analyse .....	74
4.7.7	Caractéristique des compteurs .....	76
4.8	Ajout d'une presse à injection .....	76
4.8.1	Mesures de conservation d'énergie (MCE).....	76
4.8.2	Option et périmètre de mesure .....	77
4.8.3	Situation de référence ; période, énergie et conditions .....	77
4.8.4	Période de suivi .....	79
4.8.5	Base pour les ajustements .....	79
4.8.6	Procédure d'analyse .....	80
4.8.7	Caractéristiques des compteurs.....	81
4.9	Installation d'un évaporateur à recompression mécanique des vapeurs .....	82
4.9.1	Mesures de conservation d'énergie (MCE).....	82
4.9.2	Option et périmètre de mesure .....	85
4.9.3	Situation de référence ; période, énergie et conditions .....	86
4.9.4	Ajustement requis aux données de la période de référence .....	88
4.9.5	Période de suivi .....	88
4.9.6	Base pour les ajustements .....	89
4.9.7	Procédure d'analyse .....	89
4.9.8	Caractéristiques des compteurs.....	91
4.10	Amélioration d'un four de cuisson.....	91
4.10.1	Mesures de conservation d'énergie (MCE).....	91
4.10.2	Option et périmètre de mesure .....	92
4.10.3	Situation de référence ; période, énergie et conditions .....	93
4.10.4	Période de suivi .....	95
4.10.5	Base pour les ajustements .....	95
4.10.6	Procédure d'analyse .....	96
4.10.7	Caractéristiques des compteurs.....	97
ANNEXE I	MODELE DE PLAN DE M&V : OPTION A.....	101
ANNEXE II	MODELE DE PLAN DE M&V : OPTION B .....	108
ANNEXE III	MODELE DE PLAN DE M&V : OPTION C .....	117
ANNEXE IV	PLAN DE M&V : AMELIORATION DE L'EFFICACITE D'UN TRANSFORMATEUR .....	128
ANNEXE V	PLAN DE M&V : REMPLACEMENT D'UN REFROIDISSEUR .....	137

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Approches selon le volume 1 de l'IPMVP .....	9
Tableau 2 : Approches selon les directives 14 d'ASHRAE.....	10
Tableau 3 : Vérifier l'erreur du biais du modèle.....	18
Tableau 4 : Exemple de régressions linéaires multiples .....	18
Tableau 5 : Résultat de l'exemple de régressions linéaires multiples.....	19
Tableau 6 : Tarifs Moyenne Tension de type uniforme .....	31
Tableau 7 : Tarifs Moyenne Tension de type postes horaires .....	31
Tableau 8 : Tarifs à quatre postes horaires.....	31
Tableau 9 : Tarifs à trois postes horaires .....	31
Tableau 10 : Tarifs MP1 .....	32
Tableau 11 : Tarifs MP2 .....	32
Tableau 12 : Spécifications des transformateurs de courant .....	34
Tableau 13 : Coûts typiques des compteurs d'énergie .....	36
Tableau 14 : Compteurs d'eau .....	38
Tableau 15 : Compteurs de gaz.....	39
Tableau 16 : Compteurs de vapeur.....	40
Tableau 17 : Responsables du suivi .....	43
Tableau 18 : Responsables du rapport de conciliation .....	43
Tableau 19 : Budget pour la réalisation d'un plan de M&V .....	44
Tableau 20 : Début de la période de mesurage du transformateur.....	49
Tableau 21 : Données de la base de référence .....	54
Tableau 22 : Performances de chaque analyseur des gaz de cheminée.....	56
Tableau 23 : Exemple de mesures pour un refroidisseur .....	59
Tableau 24 : Exemple de mesures pour un entraînement à vitesse variable .....	69
Tableau 25 : Mesures de la puissance des moteurs existants .....	71
Tableau 26 : Horaires mensuels d'opération des moteurs.....	72
Tableau 27 : Données pour les deux jours de mesurage.....	87
Tableau 28 : Début de la période de référence .....	88
Tableau 29 : Début de la période de référence .....	94

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution des différents protocoles .....	8
Figure 2 : Page couverture de l'IPMVP .....	9
Figure 3 : Deux types d'économie .....	12
Figure 4 : Base d'ajustements – consommation d'énergie évitée.....	13
Figure 5 : Périmètres de mesure d'un transformateur de courant.....	15
Figure 6 : Exemple de régression linéaire simple .....	16
Figure 7 : A pincés .....	33
Figure 8 : En deux parties.....	33
Figure 9 : Flexibles.....	33
Figure 10 : Connexions dans un panneau électrique.....	34
Figure 11 : Une phase, 2 fils, Figure 12 : Une phase, 3 fils .....	35
Figure 13 : Trois phases, quatre fils WYE      Figure 14 : Trois phases, trois fils DELTA.....	35
Figure 15 : Fonctionnement d'un débitmètre ultrasonique (source : Endress + Hauser).....	36
Figure 16 : Fonctionnement d'un débitmètre à effet Vortex (source : Endress + Hauser).....	37

Figure 17 : Sonde de température portable .....	41
Figure 18 : Capteur de temps de fonctionnement des luminaires.....	41
Figure 19 : Concentrateur de donnés .....	41
Figure 20 : Schéma d'un système de mesurage .....	42
Figure 21 : Loi de rendements décroissants .....	44
Figure 22 : Pertes durant la période de référence.....	49
Figure 23 : Modèle mathématique de la base de référence.....	50
Figure 24 : Echantillon de production .....	50
Figure 25 : Panneau électrique de l'ancienne presse .....	77
Figure 26 : Panneau de contrôle du système de mesurage.....	81
Figure 27 : Système existant à triple effet .....	82
Figure 28 : Schéma de fonctionnement du système triple évaporateur .....	83
Figure 29 : Système à recompression mécanique des vapeurs .....	84
Figure 30 : Schéma du système de recompression mécanique des vapeurs .....	84
Figure 31 : Périmètre de mesure pour le système triple effet.....	86
Figure 32 : Modèle mathématique de la base de référence.....	90
Figure 33 : Données obtenues sur une semaine.....	94
Figure 34 : Installation de mesurage permanente .....	98
Figure 35 : RTU pour communication Internet, stockage local de données et communication MODBUS aux compteurs.....	98
Figure 36 : Compteur de kilowatt à six canaux de lecture.....	99
Figure 37 : Précision du rapport de tension sur la plage de mesurage .....	99

## ACRONYMES ET SIGLES

<b>ABR</b>	Ajustements de la base de référence
<b>AEPCA</b>	Australasian Energy Performance Contacting Association
<b>ANME</b>	Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie
<b>ClubS2E</b>	Club des Services d'Efficacité Énergétique
<b>CMVP</b>	Certified Measurement and Verification Professional
<b>EE</b>	Efficacité énergétique
<b>ESE</b>	Entreprises de services énergétiques
<b>FEMP</b>	Federal Energy Management Program
<b>IAccP</b>	Innovation Access Program
<b>IPMVP</b>	Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique
<b>M&amp;V</b>	Mesurage et vérification
<b>MCE</b>	Mesure de conservation d'énergie
<b>ONG</b>	Organisation non gouvernementale
<b>RMV</b>	Recompression mécanique des vapeurs

# INTRODUCTION

Depuis les années 90, l'Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie (ANME) a mis en place un système d'audit énergétique pour aider les industries à réduire leur consommation énergétique. L'étape suivante est de mettre en place des outils pour déterminer les économies d'énergie réelles.

Le guide technique d'application du M&V s'adresse aux principaux acteurs de l'efficacité énergétique (EE) en Tunisie. Il devra permettre la mise en place d'un plan de M&V pour les applications propres au tissu industriel et tertiaire tunisien. Il sera axé sur les aspects pratiques de la préparation de plans de mesurage et vérification (M&V) pour des projets particuliers. Une courte présentation des protocoles internationaux sera incluse afin de situer les lecteurs sur les principales caractéristiques de ces protocoles ainsi que sur les concepts et terminologie qui doivent être maîtrisés avant d'entreprendre du M&V sur des projets.

Ce guide comprend :

- une revue des principaux protocoles de M&V et de leurs particularités ;
- une introduction théorique sur les principes fondamentaux de mesurage ;
- le contenu et les règles pour l'élaboration d'un plan de M&V pour un projet particulier
- les spécificités des plans de M&V portant sur des mesures d'EE ainsi que les méthodes pratiques de diagnostic de ces mesures.

## 1 REVUE DES PRINCIPAUX PROTOCOLES DE M&V

L'intérêt mondial envers l'efficacité énergétique et le développement durable est en constante évolution. L'efficacité énergétique est d'ailleurs incluse dans la plupart des investissements stratégiques et dans les politiques publiques. Le besoin d'une méthode de quantification normalisée entre alors en jeu. En ce sens, plusieurs protocoles existent. Dans la présente section, les différents protocoles sont présentés ainsi que leurs points distincts et comparatifs.

### 1.1 PRÉSENTATION DE DIFFÉRENTS PROTOCOLES DE M&V

Le concept de M&V est un art et une science en constante progression et les pratiques courantes de M&V pour les utilisateurs finaux de l'énergie sont documentées dans les différents protocoles internationaux. Les principaux protocoles sont le Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique (IPMVP\_2010) volume 1 et l'ASHRAE guideline G14-2002. Le graphique évolutif de ces protocoles est présenté à la Figure 1.

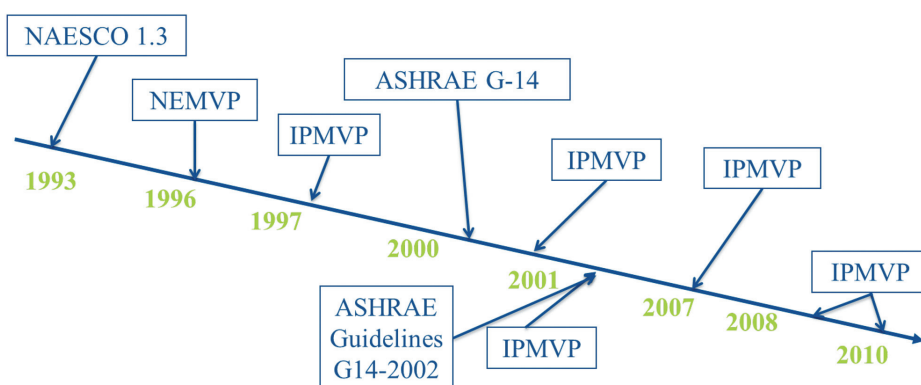


Figure 1 : Evolution des différents protocoles

#### 1.1.1 Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique (IPMVP) Volume I

En 1996, l'U.S. Department of Energy a financé une opération d'harmonisation des divers protocoles de M&V qui existaient à l'époque aux États-Unis. C'est alors que plus de 150 bénévoles (propriétaires, financiers, consultants, entrepreneurs, services publics, chercheurs) de 15 pays ont participé à la rédaction de l'IPMVP destiné à l'industrie des entreprises de services énergétiques (ESE). C'est en 2001 que l'U.S. Department of Energy transféra ses responsabilités à EVO, une organisation non gouvernementale (ONG), association sans but lucratif et autofinancée (soutenue uniquement par ses souscripteurs).

Le protocole est actuellement traduit en onze langues et utilisé dans plus de quarante pays. Il est utilisé par de nombreux gouvernements, utilités et organismes promoteurs de programmes incitatifs dans le secteur de l'efficacité énergétique et des crédits carbone. Les différents volumes de l'IPMVP sont téléchargeables sur le site Web d'EVO, [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org).

La sixième édition du Volume 1, la plus récente, fut mise à la disposition des utilisateurs en 2010. Cette dernière a été réalisée en collaboration avec CanmetÉNERGIE (Ressources naturelles Canada), le Club des Services d'Efficacité Énergétique (ClubS2E) France et la société Econoler.

L'objectif commun des parties impliquées est que le protocole devienne une «référence normative» dans les standards internationaux.

EVO regarde aussi la possibilité d'ajouter des exemples d'application et des plans de M&V issus de projets réels et révisés par le comité.

L'IPMVP définit les approches normalisées pour mesurer les économies réalisées afin de rassurer les propriétaires de bâtiment ou de site. Il légitime les projets d'ESE par son processus de vérification des économies préconisé et reconnu internationalement. Il fournit des recommandations sur les compromis possibles entre la précision du mesurage et les coûts associés. Par un Contrat de Performance Energétique, il aide les parties liées à trouver les termes contractuels appropriés et transparents quant à la vérification des économies générées par le projet. Il actualise, en permanence, via le site Internet d'EVO, les connaissances relatives aux M&V.

L'IPMVP ne couvre pas en détail les points suivants :

- La conception de systèmes de mesurage (compteurs et instrumentation)
- L'estimation des coûts de M&V
- L'ingénierie énergétique
- L'analyse statistique

L'IPMVP n'est pas un livre de recettes. Il requiert une mise en œuvre spécifique à chaque projet. Il présente une structure et quatre options de M&V pour évaluer les économies. Le Tableau 1 présente les différentes approches.

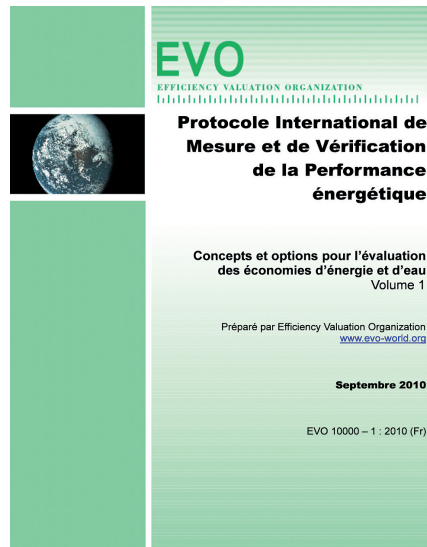


Figure 2 : Page couverture de l'IPMVP

Tableau 1 : Approches selon le volume 1 de l'IPMVP

Approches	Description
Option A – Isolation des modifications : mesure des paramètres clés	Cette approche nécessite la mesure sur le terrain des paramètres de performance principaux qui régissent la consommation d'énergie des systèmes affectés par les mesures de conservation d'énergie (MCE). L'économie d'énergie est calculée à l'aide des mesures sur le terrain des paramètres principaux et l'estimation des autres paramètres. Ces estimations peuvent être basées sur des données historiques ou les caractéristiques du fabricant.
Option B – Isolation des modifications : mesure de tous les paramètres	Semblable à l'Option A, excepté que pour celle-ci, tous les paramètres nécessaires au calcul de l'économie d'énergie de la MCE doivent être mesurés.
Option C – Le site entier	Pour cette approche, les économies d'énergie sont déterminées en mesurant la consommation d'énergie pour le site entier ou un sous-site. Les compteurs de gaz et d'électricité des fournisseurs d'énergie sont utilisés pour les calculs d'économie pour déterminer la base de référence.
Option D – Simulation calibrée	Cette approche utilise une simulation calibrée à l'aide d'un logiciel professionnel et s'applique à un site entier ou un sous-site. Le logiciel modélise la consommation du bâtiment puis des simulations calibrées sont utilisées pour déterminer la consommation d'énergie du système ciblé.

Dans le cadre d'une approche visant l'amélioration à long terme, l'IPMVP permet d'augmenter ou de maintenir les économies d'énergie, d'améliorer l'efficacité des usines de par son suivi rigoureux de la production et d'augmenter le financement disponible pour les projets. Ce dernier effet est un objectif à long terme qui n'est atteint que par une sensibilisation du personnel et un accroissement de la confiance des institutions financières. La norme ISO 50 001 peut être utilisée pour développer un plan de gestion à long terme.

### 1.1.2 Directive 14 d'ASHRAE

La première version publique de ces directives fut proposée par ASHRAE en avril 2000, après la formation d'un comité spécial en 1993 pour travailler sur la vérification des économies. Le comité fut développé dans le but de standardiser le calcul des économies dues aux mesures de conservation d'énergie et aux mesures d'abaissement de la demande d'énergie. Les directives du guideline fournissent un niveau minimal jugé acceptable pour la mesure et vérification d'économie d'énergie utilisée sur une base de transaction commerciale. Il est vérifiable et opposable.

ASHRAE 14 2002 est l'alter ego de l'IPMVP. En réalité, ce dernier reprend les éléments importants de l'ASHRAE tout en simplifiant la pratique. L'ASHRAE, en plus de définir les différentes approches possibles, inclut une section décrivant les instruments de mesurage, les techniques de mesurage et la calibration des instruments. En annexe, on retrouve toutes les explications et formules nécessaires pour déterminer l'incertitude des économies, les techniques d'analyse de régression, ainsi que des exemples détaillés utilisant les différentes approches. Ce document est une version plus poussée et technique de l'IPMVP, difficilement accessible pour les débutants en matière de M&V.

Ce protocole est disponible en anglais seulement sur le site Internet d'ASHRAE pour environ 80 \$.

Les directives 14 d'ASHRAE fournissent trois approches différentes pour calculer des économies engendrées par une mesure de conservation d'énergie. Ces approches sont décrites dans le tableau suivant.

**Tableau 2 : Approches selon les directives 14 d'ASHRAE**

Approches	Description
Bâtiment entier	Cette approche utilise le compteur principal d'énergie, normalement installé par le fournisseur d'électricité, de gaz, d'huile ou d'eau chaude. Les mesures de conservation d'énergie peuvent s'attaquer à un ou plusieurs sous-systèmes du bâtiment. L'utilisation de l'historique de facturation est souvent nécessaire pour définir la base de référence.
Isolation des modifications	Cette approche utilise des équipements de mesure pour isoler l'énergie consommée par les sous-systèmes affectés par la mesure de conservation d'énergie. La base de référence est déterminée d'après les mesures observées avant l'installation de la MCE. Tous les paramètres doivent être mesurés.
Simulation calibrée sur le bâtiment entier	Cette méthode s'applique à un bâtiment entier et utilise un logiciel informatique de simulation pour créer un modèle de consommation et de demande d'énergie pour un bâtiment. Les paramètres affectés par les MCE sont changés dans ce modèle pour obtenir l'économie d'énergie qui en résulte.

### 1.1.3 Autres protocoles

Il existe plusieurs autres protocoles qui ont une portée réduite, soit nationale, régionale ou spécifique à un programme. Ces derniers sont adaptés conformément à un programme d'efficacité énergétique spécifique. Ces guides sont intéressants, car ils sont généralement adaptés au M&V dans le contexte d'un programme d'efficacité énergétique alors que les protocoles à portée internationale sont souvent rédigés dans un contexte de mesurage de projets individuels. Dans tous les cas, les guides décrivent la structure de M&V et les méthodes et procédures à utiliser pour déterminer les économies d'énergie avec un taux d'incertitude minimal. Ils contribuent à encourager le développement des projets en efficacité énergétique dans des secteurs donnés. De plus, ils sont généralement basés sur le volume 1 de l'IPMVP, dont ils utilisent les mêmes approches : options A, B, C et D. Ils se basent aussi sur les directives d'ASHRAE.

Voici quelques exemples de protocole pour les programmes d'efficacité énergétique :

- Protocole du Federal Energy Management Program (FEMP, 2000, Etats-Unis) ;
- M&V of Demand Reduction Value from Demand Ressources (2010, Nord-Est des Etats-Unis) ;
- EM&V Protocols and Requirements (2011-2014, Power Authority, Ontario, Canada);
- Best Practice Guide to M&V of Energy Savings (2004, Australian Energy Performance Contracting Association);
- Superior Energy Performance, Plant Measurement and Verification Protocol (2011, Etats-Unis)

En ce qui a trait les protocoles concernant les gaz à effet de serre, un protocole a été développé par le World Ressources Institute (WRI) et le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2003) et le Greenhouse Gas Protocol for Project Accounting a été produit en 2005.

## 2 INTRODUCTION THEORIQUE SUR LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE MESURAGE

Cette section présente la théorie liée au M&V. La terminologie utilisée dans la suite du guide correspond à l'IPMVP, qui est le protocole le plus reconnu mondialement.

Tous les aspects du M&V sont introduits afin de faciliter la compréhension et le développement de plan de M&V. Pour avoir plus d'information, veuillez-vous référer à l'IPMVP volume 1 EVO 10000 – 1 :2010 (Fr).

### 2.1 DÉFINITION DU M&V

Le M&V est «le processus d'utilisation du mesurage pour déterminer de façon fiable les économies réelles générées dans un établissement individuel par un projet de gestion de l'énergie<sup>1</sup>» .

Les économies ne peuvent pas être directement mesurées puisqu'elles représentent une absence de consommation. Les acteurs d'un projet d'efficacité énergétique devraient pouvoir déterminer les économies en énergie et en coût pour évaluer la performance de ce projet. La seule solution pour définir ces économies est de comparer la consommation et les coûts associés à cette consommation avant et après l'implantation de la ou des mesures d'efficacité énergétique.

Les mesures d'efficacité énergétique sont nommées « Mesures de conservation de l'énergie » (MCE). Elles correspondent à toutes modifications dont l'objet est de réduire les coûts inhérents à la consommation énergétique.

### 2.2 BASE D'AJUSTEMENTS

Il existe deux méthodes pour calculer les économies d'une MCE : consommation d'énergie évitée et économies normalisées.

Pour calculer la consommation d'énergie et le coût évités, les spécialistes des M&V ajustent la consommation d'énergie de la base de référence (avant implantation) aux conditions de la période de suivi (après implantation). Ainsi, ils évaluent l'impact de la MCE sur les coûts d'énergie. Les conditions peuvent être variables dans le temps, par exemple les conditions météorologiques et les économies évoluent même si la performance de la MCE reste identique.

Les économies peuvent se comparer durant une période arbitraire ou suivant des conditions normales, typiques ou moyennes. La période de référence et la période de suivi sont ajustées à des conditions communes. Cette technique permet d'uniformiser les évaluations d'économies, afin qu'elles ne fluctuent pas avec les conditions réelles. Cette méthode moins courante, appelée « économies normalisées », n'est pas développée dans cet ouvrage. Au besoin, référez-vous au volume 1 de l'IPMVP.

Dans tous les cas, les économies sont déterminées en comparant la consommation mesurée avant et après la réalisation d'un projet, en incorporant les ajustements appropriés pour prendre en compte les changements de condition.

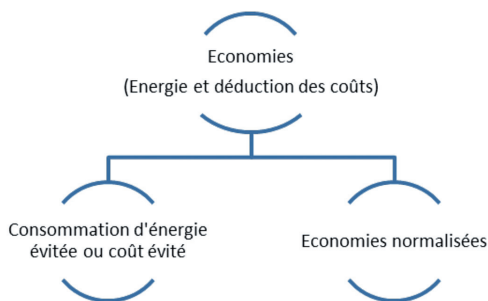


Figure 3 : Deux types d'économie

<sup>1</sup> EVO 10000 – 1 :2010 (FR)

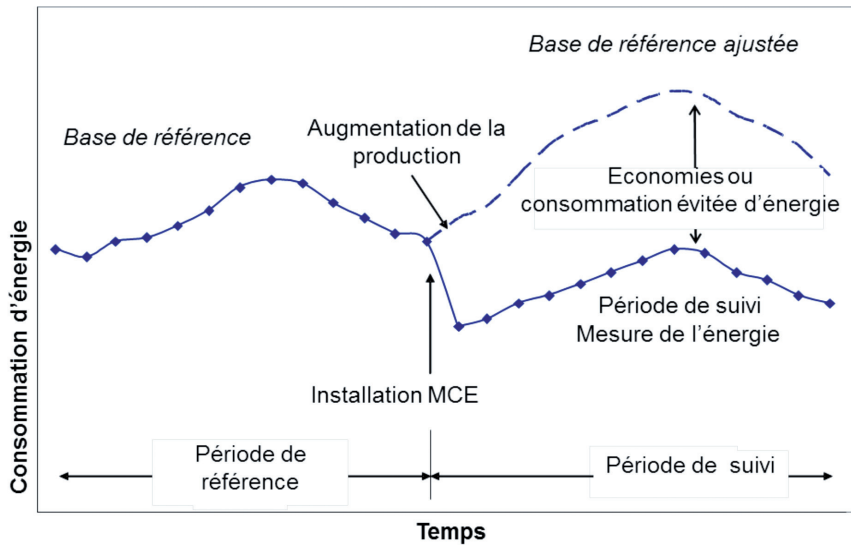


Figure 4 : Base d'ajustements – consommation d'énergie évitée

### 2.2.1 Les ajustements périodiques

Ces ajustements sont calculés pour tous les facteurs dits variables comme les conditions climatiques ou les volumes de production. Chacun de ces facteurs est appelé une variable indépendante.

#### Les variables indépendantes

Les variables indépendantes sont des facteurs, sans influence mutuelle, dont la variation est souvent récurrente, relativement fréquente dans le temps de l'analyse, et qui influencent la consommation de l'énergie de manière significative. L'énergie qui résulte de leurs variations devient la variable dépendante. Cette dernière doit ensuite être ajustée en fonction des effets interactifs.

#### Les effets interactifs

Les effets interactifs représentent toutes les modifications des consommations induites par la mesure en dehors de la limite de mesurage. Tous les effets à l'intérieur de la limite sont directement ou indirectement mesurés par les sous-compteurs.

Les calculs d'économie doivent être réalisés en tenant compte des interactions entre les différents systèmes d'un site, appelées effets croisés. Par exemple, l'amélioration d'un système d'éclairage peut résulter en une augmentation de la charge de chauffage durant l'hiver et une diminution de la charge de climatisation en été. Ces effets doivent être estimés et comptabilisés dans les économies des MCE.

Il est important de consigner tous les paramètres d'exploitation, les hypothèses, les estimations et les détails des calculs. Ces renseignements sont utiles s'il faut identifier les raisons de l'écart entre les prévisions et les économies réelles lors de la mise en marche de la mesure ou dans le futur si des modifications sont apportées aux systèmes ou à leur exploitation et que celles-ci changent les économies associées à une mesure.

#### L'approche mathématique

Les ajustements périodiques sont réalisés sur la base de formules qui ont été définies au moment de la préparation du plan de M&V et sont basés sur une analyse du comportement historique de la consommation du site ou des équipements. L'équation mathématique relie la consommation à une ou à plusieurs variables indépendantes soit par une méthode statistique ou par une formule issue de principes d'ingénierie. Un groupe d'équation peuvent être appliquées selon les saisons ou les modes de fonctionnement (section 2.5).

## 2.2.2 Les ajustements non périodiques

Les ajustements non périodiques sont appliqués pour toute variation des facteurs régissant la consommation d'énergie et dont le changement ne pouvait être prévu lors de la préparation du plan de M&V. Ceci inclut des variables comme la grandeur du site, la configuration et le fonctionnement de l'équipement installé, le nombre hebdomadaire de cycles de production ou le type d'occupation lorsqu'ils étaient prévus comme constants.

Contrairement aux ajustements périodiques, les ajustements non périodiques doivent être faits de façon unique pour répondre aux changements ponctuels ou permanents qui surviennent dans un établissement. Les formules de calcul pour le réajustement ne sont pas définies à l'avance et sont généralement choisies en fonction du changement qui doit être traité selon les pratiques d'ingénierie généralement acceptées.

Les variables associés aux ajustements non périodiques sont appelés variables statiques dans le plan de M&V.

### Les variables statiques

Les variables statiques sont les variables considérés fixes et qui, en principe, ne devraient pas changer après la mise en œuvre de la mesure. Ces facteurs peuvent inclure la quantité d'équipements, les surfaces de bâtiments et tout autre facteur similaire. Le plan de M&V documente ces éléments, qui sont présumés fixes, pour identifier tout changement qui n'était pas prévu lors de l'élaboration des MCE.

#### Facteur statique :

Tout changement qui n'était pas prévu lors de l'élaboration des MCE. Par exemple, il est question ici d'une modification au volume climatisé, au type de produit fabriqué, au nombre de quart de travail, aux normes environnementales, etc

## 2.3 PÉRIMÈTRE DE MESURE

Le périmètre de mesure est spécifié dans le plan de M&V. Il s'agit d'une interface imaginaire qui englobe le site ou une MCE individuelle et sur laquelle seront installés les dispositifs de mesure. En principe, l'ensemble des flux énergétiques importants qui traversent cette limite devront faire l'objet d'un mesurage. Dans certains cas, les flux énergétiques les plus petits et ne justifiant pas la pose d'instrumentation seront estimés. Le choix des flux qui seront mesurés ou non est souvent associé aux limites budgétaires du plan de M&V qui sont elles-mêmes tributaires de la quantité d'économies financières prévue par le projet.

Si le but du suivi est de mesurer seulement l'équipement ou le système touché par une MCE, alors la limite de mesurage doit être définie autour de cet équipement ou de ce système. Ceci permet de déterminer l'utilisation de l'énergie à l'intérieur des limites de mesurage.

Si le but du suivi est de mesurer la performance énergétique d'un bâtiment ou d'un site complet où ont été mises en œuvre une ou plusieurs MCE, les compteurs mesurant l'alimentation des différentes sources d'énergie peuvent être utilisés.

Certains impacts énergétiques peuvent se produire en dehors de la limite de mesurage. Ces effets externes peuvent soit être estimés (mais pas mesurés) ou simplement ignorés si leurs impacts sont considérés négligeables.

Le plan de M&V doit inclure une identification et une discussion sur chaque flux qui n'est pas mesuré sur la limite ou sur les effets en dehors de cette limite. L'ordre de grandeur de ces effets devrait être précisé pour bien démontrer la justification de les ignorer.

La Figure 5 montre un périmètre de mesure touchant une MCE de remplacement.

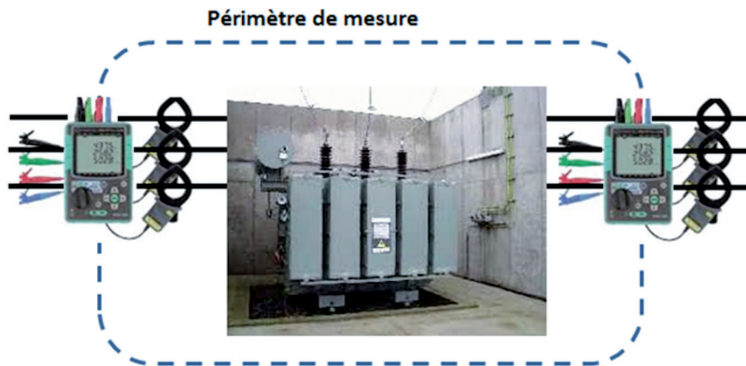


Figure 5 : Périmètres de mesure d'un transformateur de courant

## 2.4 PÉRIODE DE RÉFÉRENCE

La période de référence représente la consommation du site ou de la MCE visée avant sa mise en œuvre. C'est donc une consommation qui est associée à un contexte bien précis de fonctionnement incluant les conditions météorologiques, le taux d'occupation ou de production ou tout autre facteur pouvant avoir une influence sur la quantité d'énergie requise.

Le choix de la période de référence nécessite une analyse approfondie des consommations historiques du site appuyée par une collecte de renseignements sur les équipements qui consomment de l'énergie et leurs modes d'exploitation.

La période de référence doit inclure seulement les périodes de temps pour lesquelles tous les éléments, fixes et variables, régissant l'énergie sont connus. Plus la période choisie est loin dans le temps, plus cette exigence est difficile à respecter. C'est pourquoi il faut faire coïncider le plus possible la période de fin de la période de référence avec le moment qui précède immédiatement l'engagement d'entreprendre la modernisation. Par exemple, plusieurs ESE réajustent la base de référence initiale utilisée durant leur audit pour qu'elle reflète les conditions avant le début de la modernisation.

La période de référence choisie pour représenter le fonctionnement du site avant la mise en œuvre de la MCE peut être aussi courte qu'un mesurage instantané dans le cas où la charge est constante ou assez longue pour représenter tous les modes de fonctionnement du site. Dans tous les cas, elle doit couvrir un cycle complet de fonctionnement qui inclut la période de consommation maximale d'énergie et la période de consommation minimale. En d'autres termes, elle doit représenter toutes les conditions du cycle normal. Il est important de souligner que la période de référence n'est pas qu'une compilation des consommations historiques du site. Elle comprend également une compréhension des facteurs qui produisent des changements dans la consommation et l'établissement des méthodes de calcul permettant de prendre en compte ces variations. Ce sont les ajustements périodiques (variables indépendantes et effets interactifs) et les ajustements non périodiques (facteurs statiques).

Les ajustements sont apportés afin que la consommation ou la demande énergétique de la base de référence et celle des périodes de suivi soient comparées sous un ensemble de conditions d'utilisation similaires. Ce terme « ajustements » distingue les calculs d'économies réelles d'une simple comparaison de l'usage de l'énergie et des coûts avant et après la mise en œuvre des mesures d'efficacité énergétique.

La simple comparaison des coûts du fournisseur d'énergie sans ces ajustements rapporte seulement des changements de consommation ou de coût d'une période par rapport à l'autre et ne donne pas un résultat permettant de juger la performance d'un projet. Pour bien estimer les économies réelles d'un projet, les ajustements doivent refléter les différentes conditions entre les périodes de la base de référence et de suivi.

## 2.5 MODÈLE MATHÉMATIQUE DE LA PÉRIODE DE RÉFÉRENCE

Le modèle mathématique associé à la période de référence s'appuie soit sur un calcul d'ingénierie ou une méthode statistique qui soutient qu'une relation directe existe entre les variables indépendantes et la consommation énergétique. L'impact des facteurs statiques s'ajoute au modèle.

### 2.5.1 La méthode statistique

Les régressions linéaires sont utilisées afin de définir une relation, par une équation mathématique, entre deux paramètres. Dans le cas du M&V, ces régressions aident à déterminer une corrélation entre la consommation énergétique et une ou plusieurs variables indépendantes régissant cette consommation. Pour le chauffage d'une maison, la variable indépendante est la température extérieure. Dans une usine, le volume de production est souvent le paramètre utilisé pour corrélérer la consommation énergétique au fonctionnement de l'usine.

Lorsqu'une relation directe existe entre la consommation énergétique et la production, elle est établie par l'analyse de régression des données recueillies. Certains paramètres sont ensuite calculés pour évaluer le degré d'association entre les variables et les erreurs de modélisation. Le présent document présente les principaux paramètres, mais pour être conforme à l'IPMVP, la relation linéaire doit respecter les paramètres statistiques suivants :

1. Le coefficient de détermination doit être supérieur à 0,75 ;
2. La statistique t associée à la variable indépendante doit être supérieure à |2| ;
3. L'indicateur CV(RMSE) doit être inférieure à 0,05 ;
4. Les économies générées par la mesure doivent être supérieures à deux fois l'erreur-type de la régression linéaire.

#### Le coefficient de détermination

Le coefficient de détermination (l'indice  $R^2$ ) de la régression doit être supérieur à 0,75. Il représente la dépendance entre la ou les valeurs X et la consommation énergétique (valeur Y) correspondante.

$$R^2 = \frac{\text{Variation de Y expliquée}}{\text{Variation totale de Y}} \quad CV(RMSE) = \frac{ET_{\hat{Y}}}{\bar{Y}}$$

$\hat{Y}_i$  = la valeur de la consommation d'énergie prévue par le modèle

$\bar{Y}$  = la moyenne des n valeurs d'énergie mesurée

$Y_i$  = la valeur d'énergie mesurée (par exemple à l'aide d'un compteur)

Tous les logiciels statistiques et outils de chiffriers d'analyse de régression calculent la valeur de  $R^2$ .

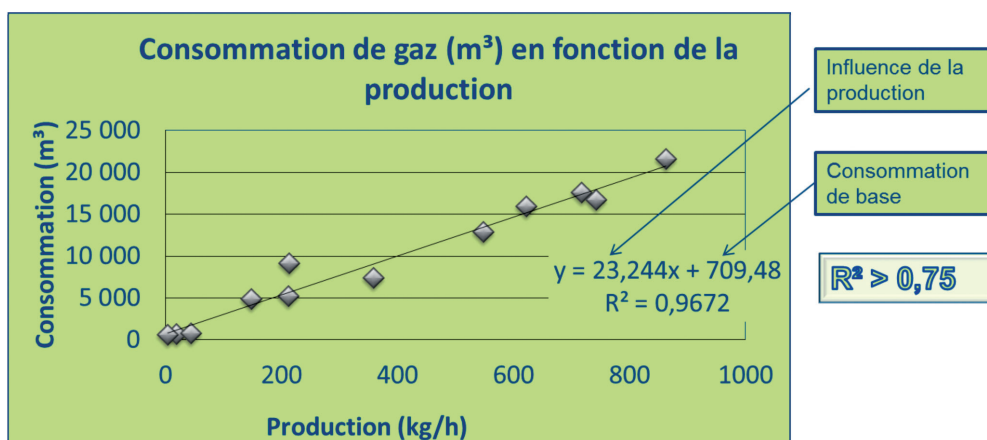


Figure 6 : Exemple de régression linéaire simple

Il faut toutefois être prudent, des droites de forte pente ont tendance à présenter un  $R^2$  élevé et vice-versa. La Figure 6 montre une régression linéaire ayant un indice  $R^2$  convenable.

Tout ajustement aux données pour améliorer le  $R^2$  doit être fait avec prudence. Les variables indépendantes inclues dans le modèle doivent être pertinentes et les variables aberrantes doivent être supprimées, s'il est démontrable qu'elles sont non représentatives.

Parfois, des données peuvent manquer. Dans ce cas, il est possible d'en utiliser moins si l'incertitude reste acceptable. Il est également convenable d'utiliser des données provenant d'une période correspondante ou d'envisager une période soit plus longue, ou différente, pour l'ensemble des compteurs. Dans tous les cas, il est important de documenter les raisons des changements effectués pour régler le problème de données manquantes.

### **Erreur de modélisation (statistique t)**

Il existe plusieurs sources d'erreur de modélisation. En voici quelques exemples :

- Le modèle a été conçu avec un champ de données autre que le champ réel ;
  - Il devrait être construit en utilisant des données raisonnables de variables dépendantes et indépendantes.
- Le modèle inclut des variables indépendantes inappropriées ;
  - Présentant la possibilité de relations biaisées.
- Le modèle inclut quelques variables non pertinentes ;
- Le modèle emploie un type de modèle mathématique inadéquat (linéaire, exponentiel, etc.) ;
- Le modèle est basé sur des données insuffisantes ou peu représentatives.

L'analyse de la statistique t permet d'éviter les erreurs de modélisation. Elle confirme la pertinence des variables indépendantes particulières incluses dans un modèle. Une fois qu'elle est estimée, elle peut être comparée avec des valeurs cibles d'une table t. Pour être conforme à l'IPMVP, les variables indépendantes acceptables doivent avoir une statistique t supérieure à 2 ( $|t| > 2$ ).

### **L'erreur-type de l'estimation (RMSE)**

L'exactitude de la prévision du modèle mathématique de la base de référence est mesurée par l'erreur type de l'estimation, souvent mentionné comme étant la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) :

$$ET_{\hat{Y}} = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n - p - 1}}$$

Où :

$ET_{\hat{Y}}$  = erreur type de l'estimation

$\hat{Y}_i$  = la valeur de la consommation d'énergie prévue par le modèle

$Y_i$  = la valeur d'énergie mesurée

n = nombre de données de consommation

p = nombre de variables indépendantes

L'erreur type de l'estimation est fournie par tous les progiciels et outils de chiffriers d'analyse de régression. Pour être conforme à l'IPMVP, les économies doivent être plus grandes que deux fois l'erreur type du modèle mathématique de la période de référence.

### **L'indicateur CV (RMSE)**

En divisant l'RMSE par la consommation d'énergie moyenne mesurée lors de la période de référence, le coefficient de variation de l'RMSE est calculé ; le CV(RMSE) est calculé :

$$CV(RMSE) = \frac{ET_{\hat{Y}}}{\bar{Y}}$$

Pour être conforme à l'IPMVP, la valeur du CV(RMSE) du modèle mathématique doit être supérieure à 0,05.

### L'erreur de biais du modèle

De plus, l'erreur de biais du modèle peut être vérifiée. La somme des consommations réelles et la somme des consommations estimées par la régression linéaire doivent avoir entre elles une différence inférieure à 0,005 % selon l'ASHREA. L'exemple du Tableau 3 montre une erreur de biais de 0%.

**Tableau 3 : Vérifier l'erreur du biais du modèle**

Date de début	Date de fin	Conso de gaz m <sup>3</sup>	Quantité d'unités produites	m <sup>3</sup> calculés avec régression linéaire
2007-12-12	2008-01-18	21 561	863	20760
2008-01-18	2008-02-14	17 554	718	17389
2008-02-14	2008-03-14	16 660	742	17961
2008-03-14	2008-04-16	15 849	622	15162
2008-04-16	2008-05-14	9 058	214	5679
2008-05-14	2008-06-13	4 850	148	4159
2008-06-13	2008-07-16	677	19	1142
2008-07-16	2008-08-13	578	4	800
2008-08-13	2008-09-12	740	44	1732
2008-09-12	2008-10-15	5 215	212	5639
2008-10-15	2008-11-12	7 378	359	9061
2008-11-12	2008-12-10	12 805	548	13440
<b>Total</b>		<b>112 925</b>		<b>112 925</b>

### La précision du modèle

La précision absolue du modèle correspond à la statistique t multiplié par l'erreur type du modèle. La précision relative est obtenue en divisant la précision absolue par la moyenne des valeurs d'énergie mesurées.

#### 2.5.2 Exemple de régression linéaire

La MCE affecte un procédé dont la consommation est corrélée à la température extérieure et aussi au débit moyen d'air.

Le tableau suivant présente les données de consommations électriques en fonction des différents paramètres.

**Tableau 4 : Exemple de régressions linéaires multiples**

Date de facturation	Consommation (kWh)	Nombre de jour	Débit moyen (m <sup>3</sup> /h)	Température (°C)
06-19-08	724 488	30	455	0
07-21-08	864 754	32	724	0
08-19-01	733 872	29	598	0
09-18-08	832 920	30	533	13
10-17-08	744 715	29	196	20
11-18-08	758 731	32	39	21
12-19-08	723 538	31	3	20
1-22-09	747 192	34	1	3
2-23-09	791 261	32	0	21
3-24-09	685 680	29	8	16
4-22-09	657 970	29	14	18
5-21-09	749 534	29	217	14
<b>Total</b>	<b>9 014 655</b>	<b>366</b>	<b>2 788</b>	<b>146</b>
<b>Moyenne</b>	<b>751 221</b>			

Le Tableau 5 présente les résultats de l'analyse de régression ainsi que certains des paramètres qui doivent être respectés pour être conformes à l'IPMVP.

**Tableau 5 : Résultat de l'exemple de régressions linéaires multiples**

Statistiques de la régression			
Coefficient de détermination R <sup>2</sup>	0,999		
Erreur-type	22 671		
Observations	12		
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t
Constante	0		
Nombre de jour	21 095	642	33
Débit moyen	243	34	7
Température (°C)	4 249	1 027	4

Ensuite, le coefficient CV(RMSE) doit être évalué. Il doit être inférieur à 0,05. Cette valeur correspond à l'erreur type divisée par la consommation moyenne mesurée. En utilisant le rapport détaillé de la régression, on remarque que le CV(RMSE) est de 0,03.

$$CV(RMSE) = \frac{22\,671}{751\,221} = 0,03$$

Les économies de la MCE devraient être supérieure à 45 342 kWh puisqu'elles doivent correspondre au minimum à deux fois l'erreur-type.

## 2.6 PÉRIODE DE SUIVI

La période de suivi est la période après implantation de la MCE. Pour être représentative, la période de suivi doit couvrir au minimum un cycle complet de fonctionnement normal incluant les périodes de consommation maximale et minimale d'énergie afin de caractériser l'efficacité de la MCE pour tous les modes de fonctionnement possibles.

Pour un bâtiment, la période couvre habituellement un minimum d'une année pour mesurer les effets des variations saisonnières sur les économies. Pour d'autres projets qui ne subissent pas les influences saisonnières, la période peut être beaucoup plus courte et peut varier d'une lecture instantanée à quelques jours, semaines ou mois.

La longueur de la période de suivi est déterminée par l'objectif de l'organisation pour laquelle est réalisé le M&V. Par exemple, si le mesurage est fait dans le cadre d'un contrat de performance, la période de mesurage sera souvent la durée du contrat qui lie les parties. Si par contre le mesurage est fait en régie interne par une organisation, il peut être limité dans le temps dans le cas où l'objectif est de démontrer que les économies ont été atteintes ou il peut être permanent si l'objectif est de s'assurer que les économies seront maintenues. Dans ces cas, l'organisation doit souvent installer des compteurs permanents sur les équipements afin d'assurer ce suivi.

## 2.7 PÉRIODES ADJACENTES DE MESURAGE

Lorsque les MCE peuvent passer du mode opérationnel au mode non-opérationnel, les périodes de la base référence et de suivi peuvent alors être adjacentes dans le temps. La modification d'un point de consigne ou l'ajout d'un récupérateur de chaleur dans le procédé sont de bons exemples. Ces périodes adjacentes doivent être assez longues pour représenter un fonctionnement équilibré. Elles devraient couvrir un cycle complet de fonctionnement normal.

La différence dans la consommation d'énergie, entre les deux périodes, est les économies créées par la MCE.

### Equation 1

$$\text{Economies} = \text{Consommation d'énergie de la période de référence} - \text{Consommation d'énergie de la période de suivie}$$

Cette technique peut être appliquée pour l'isolement des modifications et les options de site entier. Dans tous les cas, les limites de mesurage doivent être localisées afin de pouvoir détecter facilement une différence significative dans la consommation d'énergie mesurée quand les équipements sont mis en marche ou en arrêt.

A la suite des tests, des mesures devraient être prises pour vérifier que la MCE demeure active. Une MCE facilement activable et désactivable peut être hors service lorsqu'elle est supposée être fonctionnelle.

## 2.8 MESURAGE

Les compteurs doivent être calibrés en suivant les directives des fabricants de l'équipement, et en suivant les procédures des autorités de mesurage reconnues. Les équipements de mesurage devraient être sélectionnés. En autres, sur la base de la facilité et du maintien de leur calibration. Souvent, la solution avantageuse est la sélection d'un équipement qui se calibre par lui-même.

## 2.9 LE PLAN DE M&V

Un plan de M&V est un document défini comme étant le processus de mesurage et de vérification à suivre pour déterminer les économies générées par un projet ou une mesure spécifique en efficacité énergétique. Ce plan est développé en grande partie durant la phase de conception des MCE. Il est une partie intégrale de la MCE, car il permet de fournir les méthodes et processus nécessaires pour l'analyse des variations de la consommation énergétique et du calcul des économies. Ainsi, les coûts associés des M&V sont souvent inclus dans le coût total du projet. Ils sont inclus dans les contrats de performance des ESE afin qu'aucun déboursé ne soit fait de la part du client, à moins d'entente contraire.

Le coût du M&V devrait considérer :

- La préparation du plan de M&V ;
- L'installation des compteurs et leur entretien ;
- Le coût annuel pour assembler les données (compteurs, facteurs d'ajustement, vérification des facteurs statiques, etc.) ;
- L'analyse des économies (ajustements périodiques et non périodiques) ;
- La préparation des rapports de M&V ;
- L'estimation.

Il est important d'enregistrer les données de la situation de référence et la méthodologie pour les calculs d'économie lorsque les conditions sont encore présentes et mesurables et que la mémoire des intervenants est encore fraîche. La conception de tout nouveau système de mesurage est faite en parallèle avec la conception de la MCE à mettre en œuvre.

## 2.10 LES ÉTAPES DE RÉALISATION D'UNE ACTIVITÉ DE M&V

La réalisation d'une activité de M&V inclut neuf étapes qui se déroulent du tout début à la toute fin de projet. Il est primordiale que chacune des étapes soit documentée afin qu'un consultant externe puisse suivre toutes les étapes sans difficulté et sans avoir de plus amples explications.

Voici les étapes :

- 1 Prendre en considération les besoins et attentes de l'utilisateur ;
- 2 Choisir l'option de l'IPMVP la plus conforme en fonction du type de MCE, de la précision désirée et du budget de M&V disponible ;

- 3 Recueillir les données d'utilisation de l'énergie, des équipements du site et du mode de fonctionnement pour la base de référence ;
- 4 Préparer le plan de M&V incorporant les résultats des étapes 1 à 3 ci-dessus et définissant les étapes 5 à 9 suivantes ;
- 5 Concevoir, installer, calibrer et mettre en service les systèmes de mesurage requis par le plan de M&V ;
- 6 Inspecter les MCE installées et leurs procédures d'exploitation pour s'assurer qu'elles sont conformes à la conception initiale et aux normes en vigueur ;
- 7 Recueillir les données de consommation de l'énergie et de fonctionnement du site ou de la MCE pour la période de suivi, comme spécifié dans le plan de M&V ;
- 8 Evaluer les économies d'énergie et financières selon les directives du plan de M&V ;
- 9 Préparer le rapport des économies selon le plan de M&V.

## **2.11 RÉDIGER UN RAPPORT DE MESURE ET VÉRIFICATION**

L'étape finale consiste à élaborer le rapport de mesure et vérification des économies pour la période de suivi. La fréquence des rapports doit être conforme au plan de M&V. Le rapport fournit un bilan de la performance des MCE mises en œuvre. La démonstration du bon fonctionnement des mesures et des résultats atteints fournira un argument convaincant au propriétaire du site pour l'inciter à poursuivre la démarche et à identifier puis mettre en œuvre d'autres recommandations d'actions de performance énergétique.

En préparant un plan de M&V conforme à l'IPMVP et en l'appliquant rigoureusement dans le cadre d'un projet, les responsables du M&V s'assurent d'avoir des résultats précis et un rapport de qualité permettant soit de confirmer les économies attendues ou, dans le cas contraire, d'identifier les anomalies et les pistes de solutions nécessaires pour assurer la pérennité des MCE.

## **2.12 LES OPTIONS DISPONIBLES POUR LE M&V**

Le M&V peut être réalisé sur un site complet ou sur chaque mesure individuelle. L'IPMVP offre deux variantes pour chacune des approches suivantes :

- Option A – Isolement des MCE, mesurage des paramètres clés
- Option B – Isolement des MCE, mesurage de tous les paramètres
- Option C – Le site entier, mesurage des consommations avant et après
- Option D – Le site entier, simulation calibrée

Selon l'option retenue, chaque site ou MCE implanté doit avoir son plan de M&V qui précise les procédures et méthodes à utiliser pour démontrer les économies réalisées.

Le choix parmi les options implique plusieurs considérations incluant la limite de mesurage. Dans le cas où les économies sont mesurées pour tout le site, les options C et D peuvent être prioritaires. À l'opposé, si seulement la performance de la MCE est visée, une technique d'isolation des mesures est plus appropriée, les options A, B et D.

Dans le domaine industriel, l'application des options C ou D est plutôt rare, car elle implique un suivi de l'ensemble de la consommation du site. Comme une grande quantité de facteurs peut conditionner les changements d'usage de l'énergie dans l'industrie, il s'ensuit que les options C et D peuvent difficilement être applicables. Les bonnes pratiques internationales des programmes de gestion de l'énergie industrielle préfèrent donc les options A et B.

Par ailleurs, dans les projets industriels comportant plusieurs mesures d'efficacité énergétique, la pratique la plus courante est de préparer un plan de M&V distinct pour chaque mesure qui doit être évaluée.

Pour toutes les options, l'IPMVP présente les lignes directrices et définit la terminologie servant à déterminer les économies après la mise en œuvre d'un projet.

Dans les sections 3 et 4 du Guide, les sujets suivants seront abordés pour offrir plus de précision :

- La conception de systèmes de mesurage (compteurs et instrumentations)
- L'estimation des coûts de M&V
- L'ingénierie énergétique
- L'analyse statistique

### 2.12.1 Isolement de la modernisation

La méthode par isolement d'une modernisation permet l'analyse ciblée de la consommation des équipements ou des secteurs touchés. Selon cette méthode par isolement, les économies ne sont donc pas affectées par les changements survenant à l'extérieur du périmètre de mesurage. De plus, tout ajustement subséquent s'avère plus simple à réaliser, car ledit périmètre renferme seulement le ou les équipements visés. Cette approche nécessite généralement l'ajout de compteurs.

#### Option A - Mesurage des paramètres clés

Les économies de l'Option A sont déterminées par la mesure sur le terrain des paramètres de performance principaux qui définissent la consommation d'énergie des systèmes affectés par les MCE et/ou le succès d'un projet. Par exemple, pour un projet de modernisation de l'éclairage, le mesurage de la puissance doit être fait. Certaines hypothèses sont donc permises. Dans l'exemple du projet de modernisation de l'éclairage, les heures de fonctionnement doivent être estimées.

Le choix des facteurs à mesurer peut différer en fonction des objectifs du projet et des obligations du professionnel prenant les risques de performance. Les calculs d'ingénierie ou la modélisation mathématique peuvent être employés pour évaluer l'importance des erreurs d'évaluation de tous les paramètres des économies reportées.

Les valeurs estimées et l'analyse de leur importance devraient être incluses dans le plan de M&V et acceptées par tous les parties avant le début de la MCE. Ces évaluations devraient être employées là où l'incertitude combinée de toutes les évaluations ne sont pas trop élevés par rapport aux économies reportées. L'Equation 2 présente la comparaison de la consommation ou de la demande d'énergie, avant et après, sur une base consistante telle qu'elle devrait être employée pour l'Option A. Il est à noter que les ajustements périodiques et non périodiques ne sont pas toujours nécessaires suivant la limite de mesurage, la nature de toutes les valeurs estimées, la durée de la période de suivi ou l'écart entre le mesurage de la base de référence et de la période de suivi.

#### Equation 2

$$\text{Economies} = (\text{Consommation durant la base de référence} - \text{Consommation ou demande de période de suivie}) \pm \text{Ajustements}$$

En considérant que les mesures de la base de référence et/ou de la période de suivi comprennent le suivi d'un seul paramètre. L'autre étant estimé, l'Equation 2 peut être simplifiée ainsi :

#### Equation 3

$$\text{Economies} = \text{Valeur estimée pendant la base de référence} \times (\text{paramètre mesuré} - \text{paramètre mesuré pendant la période de suivi})$$

La vérification des installations est primordiale avec l'Option A étant donné les hypothèses. Il est essentiel de porter une attention particulière aux étapes de conception et d'installation des MCE afin que les économies projetées soient réalistes, atteignables et basées sur un équipement qui devrait produire les économies prévues. La fréquence des vérifications est déterminée par la probabilité du changement de performance.

L'option A est souvent avantageux par rapport aux autres options de l'IPMVP puisque le coût associé à l'estimation des paramètres est parfois moins important que celui associé au mesurage de ce dit paramètre.

Les meilleures applications d'isolation des modifications suivant les principes de l'Option A sont celles où :

- Les paramètres clés utilisés dans le calcul des économies sont facilement identifiables. Ils sont employés pour juger la performance d'un projet ;
- Le mesurage des paramètres principaux peut probablement éviter les ajustements difficiles non périodiques lorsque les changements se produisent dans les limites de mesurage ;
- L'incertitude créée par les estimations est acceptable ;
- L'efficacité continue des MCE peut être estimée par la simple inspection des paramètres mesurés ;
- Le budget de M&V est limité.

En pratique, il est fréquent d'utiliser l'Option A dans le cas de remplacement d'équipement. L'optimisation d'un système d'éclairage et le remplacement d'une chaudière sont de bons exemples. Dans le cas du système d'éclairage, les puissances sont mesurées alors que les heures d'utilisation sont estimées. Dans le cas du remplacement de la chaudière, le débit de gaz naturel est mesuré et l'efficacité de la chaudière est estimée.

### Option B - Mesurage de tous les paramètres

En comparaison avec l'Option A, l'Option B produit des résultats plus précis là où les charges ou types d'économie sont variables. Les coûts additionnels (installation compteurs et acquisition de données) peuvent être justifiables si un professionnel est responsable de tous les facteurs qui influencent les économies d'énergie.

L'Equation 4 est utilisée pour tous les calculs de toutes les options. Par contre, en ce qui a trait à l'Option B, il peut ne pas y avoir d'ajustement (périodique ou non) dépendamment de l'emplacement de la limite de mesurage, la durée de la période de suivi ou encore la période entre les mesures de la base de référence et la période de suivi.

#### Equation 4

$$\text{Economies} = \text{énergie de la base de référence} \pm \text{Ajustements périodiques aux conditions de la période de suivi} \pm \text{Ajustements non périodiques aux conditions de la période de suivi} - \text{énergie de la période de suivi}$$

Voici les meilleures applications de l'option B :

- Pour le mesurage isolé, les compteurs supplémentaires sont employés pour d'autres objectifs tels que l'évaluation des résultats ou le suivi énergétique ;
  - \* Régulation du débit d'une pompe;
    - Mise en place d'un variateur de la vitesse.
  - \* Mesure de la puissance électrique d'un moteur.
- Les économies ou opérations dans le périmètre de mesurage sont variables.

Le mesurage de type B ne sous-tend aucun calcul, c'est-à-dire que tous les paramètres sont considérés et mesurés. Par exemple, la consommation électrique de l'éclairage est mesurée, ainsi la charge électrique et les heures d'opération sont considérées. De plus, si d'autres paramètres, comme le taux d'occupation, affectent la consommation, ceux-ci doivent être mesurés. Il est aussi très fréquent que l'Option B soit utilisée lors de l'ajout d'un système de variation de la vitesse d'un moteur puisqu'en mesurant la consommation, le temps d'utilisation est mesuré. Finalement, les projets de fuites d'air comprimé et de récupération de chaleur industrielle suivent généralement l'Option B de l'IPMVP.

La précision de l'Option B est généralement supérieure à celle de l'Option A, mais nécessite souvent l'installation de plus d'équipements de mesurage, puisque tous les paramètres doivent être quantifiés.

## Mesures de l'effet sur la pointe

Il est important de mesurer la demande au moment où elle est maximale. Cette mesure implique souvent un mesurage en continu de la demande, soit l'utilisation d'un sous-compteur. Aussi, la méthode de mesurage de la demande du sous-compteur devrait être la même que celle utilisée par le compteur de la compagnie d'électricité. Ainsi, si la facturation est faite selon une prise de données maximale aux quinze minutes, le compteur du sous-mesurage devrait être installé pour enregistrer les maximums selon le même laps de temps. La compagnie d'électricité peut fournir la période de la demande maximale sur ses factures ou dans un rapport spécial si elle a des données de comptage continu. Si uniquement un relevé mensuel est disponible, il sera nécessaire de mesurer également le profil de demande maximale à l'entrée électrique. Ensuite, les données doivent être converties en données horaires pour archivage et analyse supplémentaire.

### 2.12.2 Site entier

La méthode de « site entier » représente l'analyse de la consommation intégrale d'un bâtiment ou d'un site. L'analyse est plus globale et les économies d'énergie doivent être significatives afin qu'elles soient adéquatement identifiées et quantifiées. Étant donné que le périmètre de mesurage comprend l'ensemble du ou des bâtiments, les ajustements subséquents sont généralement plus complexes à réaliser. Par contre, une économie du coût de matériel peut être considérée puisque le compteur du fournisseur est déjà en place et peut être utilisé.

#### Mesurage de type C - Site entier

Le mesurage de type C nécessite l'ensemble des données de la période de référence et de la période de suivi. Le site, dans sa globalité, se retrouve à l'intérieur du périmètre de mesurage. Le site peut être un bâtiment ou une aile d'un édifice ou encore un pavillon. Dans le cas où l'approvisionnement est central (plusieurs bâtiments), les sous-compteurs sont souvent nécessaires. Par ailleurs, dans le cas où un compteur fournit de l'énergie à un système qui interagit directement ou indirectement avec d'autres systèmes énergétiques, les données de ce dit compteur doivent être incluses dans le calcul des économies. Les compteurs qui mesurent l'énergie consommée par des équipements qui n'ont aucune influence sur la consommation des systèmes affectés par les MCE peuvent être négligés.

Dans le cas où les compteurs des fournisseurs d'énergie sont utilisés, ils doivent être conformes aux normes de précision pour la vente des produits énergétiques et doivent être équipés ou modifiés pour fournir une impulsion électrique qui pourrait être enregistrée par les équipements de contrôle du site.

Dans le cas où les factures énergétiques sont utilisées, il est important de surveiller que :

- Les périodes de facturation ne sont pas plus longues que l'intervalle de suivi requis par le client du M&V ;
- Les factures ne contiennent pas de données estimées.
  - Il est parfois impossible de savoir si ces données sont estimées ou si elles ont été relevées sur un compteur.

Les économies doivent être obtenues séparément pour chaque compteur servant sur le site pour que les changements de performance puissent être évalués pour les parties du site mesurées séparément. Par ailleurs, si les relevés de plusieurs compteurs sont faits à des jours différents, alors chaque compteur, ayant une période de facturation unique, devrait être analysé séparément. Les économies obtenues peuvent ensuite être combinées, si les dates de lecture sont répertoriées.

La consommation d'énergie analysée comprend les équipements visés par la MCE ainsi que tout autre équipement non assujéti à des changements à la suite de la mise en œuvre des mesures de conservation de l'énergie. Elle tient aussi compte de tout effet interactif, car le site dans son ensemble est inclus dans le périmètre de mesure.

Les paramètres (variables indépendantes) qui changent régulièrement et affectent la consommation d'énergie sont le climat, le volume de production, le type de production, etc. Le plus souvent, c'est à

l'aide d'une analyse de régression que les variables indépendantes sont identifiées. Un calcul d'ingénierie peut aussi être utilisé. Ces méthodes servent à évaluer quelles variables sont corrélées en fonction de la consommation. En milieu industriel, choisir les bons ajustements peut présenter un défi puisque de multitudes de produits ayant des intensités énergétiques différentes sont usinés, de nombreux changements dus aux contraintes de production affectent les opérations normales, etc. Les variables indépendantes identifiées devraient être mesurées et enregistrées en même temps que les données d'énergie et incluses à la base de référence en utilisant l'équation suivante :

**Equation 5**

Economies =	énergie de la base de référence	± Ajustements périodiques aux conditions de la période de suivi	± Ajustements non périodiques aux conditions de la période de suivi	- énergie de la période de suivi
-------------	------------------------------------	--	--	-------------------------------------

Les ajustements non périodiques représentent le principal défi associé à l'Option C. En ce sens, des inspections périodiques sur tous les équipements et les opérations du site doivent être effectuées pendant la période de suivi. Lors de ces inspections, les changements dans les facteurs statiques des conditions de la période de référence doivent être identifiés.

Les modèles peuvent inclure différents ensembles de paramètres de régression pour chaque gamme de conditions, tels que l'été ou l'hiver dans les sites/industries avec des variations saisonnières de consommation d'énergie. Par exemple, dans les industries où la production diffère selon les quarts de travail/jours de production/période, des modèles de régression séparés pour les différents types de production peuvent être nécessaires.

Si une des données de consommation de la période de suivi est manquante, un modèle mathématique peut être créé. Par contre, le rapport d'économie pour la période manquante devrait identifier les «données manquantes» et détailler la méthode utilisée pour calculer les économies de cette période.

Si les économies de consommation énergétique attendues sont inférieures à 10 % de la consommation par type de combustible, cette méthode s'avère inadéquate considérant la faible influence des MCE lors de l'analyse statistique du modèle énergétique.

Le coût de l'Option C est très variable. Il dépend de la source des données d'énergie et de la difficulté de suivi des facteurs statiques dans la limite de mesurage pour permettre d'effectuer les ajustements non périodiques pendant la période de suivi.

Le coût associé au dépistage des changements des facteurs statiques dépend du volume du site, de la probabilité de changement, de la difficulté de détecter les changements et des procédures de contrôle déjà en place.

L'option C est indiquée dans les cas suivants :

- En plus des MCE, la performance énergétique du site entier doit être évaluée ;
- Il y a plusieurs MCE qui seront implantées dans le site ;
- Les MCE incluent des activités dont les effets sur la consommation d'énergie sont difficiles à mesurer par une approche d'isolation (A ou B) ;
  - Formation des opérateurs ;
  - Amélioration du réseau de distribution de chaleur.
- Pendant la période de suivi, les économies sont importantes, relativement aux variations normales de consommation du site.

Ainsi, l'Option C est généralement utilisée lorsque plusieurs MCE ont lieu simultanément dans la modernisation d'un bâtiment telle que l'amélioration du système CVC ou du système de contrôle du bâtiment. Les programmes de formation et de sensibilisation sont aussi mesurés à l'aide de l'Option C.

## Mesurage de type D - Simulation calibrée

Le mesurage de type D est requis lorsqu'aucune donnée de consommation pour la période de référence n'est disponible. Ainsi, une simulation calibrée du bâtiment doit être envisagée pour « fabriquer » cette référence. Ces données ainsi générées doivent suivre une procédure exhaustive et contrôlée. La simulation calibrée s'avère très complexe et est utilisée en dernier recours uniquement. Des compétences particulières sont nécessaires pour maîtriser les logiciels utilisés. Des coûts importants y sont rattachés ainsi qu'une précision inférieure à toutes les autres méthodes de mesurage.

Après la calibration du modèle de simulation, l'Equation 1 peut être appliquée en utilisant deux versions du modèle calibré : une incluant les MCE et une les excluant. Les deux versions emploient le même ensemble de conditions de fonctionnement choisies pour l'évaluation. L'Equation 1 peut s'exprimer ainsi :

### Equation 6

$$\text{Economies} = \frac{\text{énergie de la base de référence du modèle calibré sans les MCE}}{\text{énergie de la période de suivi du modèle calibré avec les MCE}}$$

Dans le cas où les données de consommation sont connues soit pour la période de référence, soit pour la période de suivi, l'équation suivante peut être utilisée :

### Equation 7

$$\text{Economies} = \frac{\text{énergie de la base de référence du modèle calibré sans MCE}}{\text{énergie de la période de calibrage avec MCE}} \pm \text{erreur de calibration dans le relevé de calibrage de la période correspondante}$$

L'Option D est normalement employée là où aucune autre option n'est applicable. Elle est très coûteuse en temps puisqu'elle nécessite des logiciels et le développement de modèles. Elle est généralement employée lorsque l'élément à mesurer n'existe plus ou n'existait pas ou, alors, lorsqu'aucun mesurage n'est fait directement sur l'élément étudié. Il est fréquent d'avoir recours à l'Option D lors d'une mise à jour d'un bâtiment inclus dans un campus tel qu'un campus universitaire ou une base militaire ou pour un nouveau bâtiment.

## 2.13 L'APPLICATION DE L'IPMVP

Préalablement à toute la mise en oeuvre du projet d'EE

### Concevoir le processus de M&V

- Etablir le périmètre de mesure pour définir ce qui sera mesuré
- Décider la durée de la période de suivi

### Calibrer les compteurs, si nécessaire

- Calibrer les compteurs d'énergie
- Calibrer les équipements pour mesurer les variables indépendantes
- Suivre les méthodes définies dans le plan de M&V

### Recueillir les données de la situation de référence (toutes les sources d'énergie et conditions d'utilisation)

- Recueillir l'information requise, à l'intérieur du périmètre, de la période de référence (données de consommation et de demande, variables indépendantes, facteurs statiques)

Cette information est obtenue dans le cadre d'un audit détaillé normal

### Documenter le plan de M&V

(Voir la section 3)

Après la mise en oeuvre

### Vérifier que l'équipement / système adéquat a été installé et fonctionne selon les spécifications (commissioning)

- Vérifier que l'équipement ou les systèmes prévus ont été installés, et opèrent selon les spécifications
- Peut inclure des enquêtes, des inspections, du mesurage isolé et du mesurage à court terme
- Suivre un plan de mise en service adéquat (commissioning)

### Recueillir les données d'énergie et d'exploitation (avec les mêmes compteurs)

- Recueillir les données sur la consommation d'énergie et les tarifs des fournisseurs
- Recueillir les données pour les variables indépendantes sélectionnées
- Surveiller le périmètre pour identifier tout changement des conditions de la situation de référence
- S'assurer que toutes les données sont exactes (documentées et calibrées) et les enregistrer
- Suivre les méthodes définies dans le plan de M&V

### Calculer les économies telles qu'elles sont définies dans le plan de M&V

- Faire tous les ajustements périodiques pour les variables indépendantes et les ajustements non périodiques nécessaires pour les changements des facteurs statiques
- Calculer les économies
- Produire les rapports de suivi
- Suivre les méthodes définies dans le plan de M&V

### 3 PLAN DE M&V : CONTENU ET REGLES

Le plan de M&V liste toutes les données nécessaires à la détermination des économies. Les responsables doivent s'assurer que les données de référence et les détails des MCE sont disponibles et archivées. Il faut les enregistrer pour consultation ultérieure au cas où les conditions changeraient ou que les MCE n'atteignaient pas les résultats escomptés. La documentation doit être soignée, car il peut s'écouler un grand laps de temps (souvent des années) entre la période de référence et la période de suivi.

Le plan de M&V est l'empreinte digitale du projet. Pour être conforme à l'IPMVP, son contenu doit comprendre les treize points présentés dans la présente section. Cette dernière présente le plan de M&V, son contenu et les règles à suivre pour son élaboration lors d'un projet en particulier.

Prendre note que les points spécifiques à chaque mesure d'efficacité énergétique sont décrits en détail dans la section ci-après : « Plan de M&V de mesures d'efficacité énergétique ».

#### 3.1 MESURES DE CONSERVATION D'ÉNERGIE (MCE)

Il est d'usage de reprendre ici la description de la mesure d'efficacité énergétique provenant de l'audit énergétique réalisé dans le cadre du contrat d'assistance et d'accompagnement signé entre le client et son consultant accrédité. Le tout permet au plan de M&V d'être complet sans avoir à se référer à l'audit pour comprendre le contexte du projet.

Mesures visées pour une vérification conforme au		
Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique (IPMVP 2010)		
Durée de mise en œuvre du plan : indéterminée pour conciliation long terme		
Liste des mesures	Résultat attendu	Description de la MCE
Mesure 1 :		
Mesure 2 :		
Mesure 3 :		

L'analyste doit également préciser les procédures de mise en service qui sont employées pour vérifier le succès de chaque mesure. Il doit aussi signaler tous les changements prévus affectant les conditions de la situation de référence, comme le réglage de la température des bâtiments inoccupés (réf. IPMVP 2010 chapitre 5).

#### 3.2 OPTION ET PERIMETRE DE MESURE

Cette section détaille le choix parmi les quatre options de l'IPMVP, soit la A, B, C ou D. Le choix parmi les options implique plusieurs considérations dont l'endroit de la limite de mesurage. S'il est décidé de déterminer les économies au niveau du site, les options C et D peuvent être favorisées. Si seulement la performance des MEE/MCE est concernée, une technique d'isolation des modifications est plus appropriée, les options A, B et D.

### L'option employée pour déterminer les économies

Option XX

Préciser la version de l'IPMVP utilisé (exemple : selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010)

### Justification du choix de l'option

Le rédacteur du plan doit justifier son choix d'option en fonction de la technologie, de la taille du projet, de la période de suivi et du niveau de précision escompté par tous les partis.

Dans le cas de l'Option A, une justification des hypothèses utilisées doit être développée. Une explication de la source des estimations est ajoutée ainsi qu'une description de l'importance des estimations par rapport aux économies prévues.

### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage est identifié. L'analyste doit inclure tous les flux énergétiques importants qui traversent le périmètre et indiquer quels sont ceux qui seront mesurés et estimés, dépendamment de l'option choisie préalablement.

Tout effet interactif au-delà de la limite de mesurage ainsi que leurs impacts possibles doivent être identifiés.

Pour fixer le périmètre de mesure, il faut considérer les responsabilités des divers partenaires dans l'utilisation de l'énergie et dans la MCE. Le responsable doit être nommé préalablement. La traçabilité des modifications, en termes d'exploitation et d'usage à l'intérieur du périmètre et la portée des effets au-delà du périmètre, doit aussi être fixée.

## 3.3 PÉRIODE DE RÉFÉRENCE

L'analyste doit documenter les conditions et les données de consommation d'énergie de la période de référence du site à l'intérieur de la limite de mesurage.

Cette documentation spécifique à la situation de référence doit présenter :

- Les dates de la période de référence choisie ;
- Les données de consommation et de pointe de la base de référence ;
- Les événements anormaux qui ont eu lieu durant la période de référence (bris d'équipement, arrêt de travail) ;
- Les variables indépendantes ;
- Les facteurs statiques ;
  - Équipements, mode d'opération, ligne de production
- Les conditions hors normes (confort, santé, entretien et sécurité) qui seront corrigées ou non par le projet.

Tous les partis impliqués dans le projet doivent avoir l'opportunité de vérifier et d'approuver la base de référence. Plusieurs exemples sont disponibles dans les plans développés à la section 4.

## 3.4 PÉRIODE DE SUIVI

La période de suivi doit être précisée. L'analyste doit s'assurer que la période couvre un cycle complet de fonctionnement normal incluant tous les modes de fonctionnement. Afin d'être prohibitif, l'opération de M&V doit être répétée chaque année afin de valider que les économies sont maintenues dans la durée. Aussi, la durée de suivi peut varier selon la nature de la mesure implantée et le coût annuel de réalisation du M&V. Elle peut être instantané, à court terme, à moyen terme, égale à la période contractuelle ou équivalente à la période de retour sur investissement.

Le contrat programme entre l'ANME et les consommateurs industriels est sur une base de 3 ans, ce qui demande à l'analyste d'établir un plan de mesurage permettant de capter les économies sur cette période.

**La période de suivi correspond à une période de XX mois qui devrait débuter le XX selon la planification du projet disponible au moment de la rédaction de ce plan.**

### 3.5 BASE POUR L'AJUSTEMENT

Après l'implantation de la mesure, l'analyste doit collecter les données pour les facteurs d'ajustement qui sont intégrés à la base de référence choisie précédemment. Plusieurs exemples sont disponibles à la section.

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Energie de la période de référence (±) Ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) (-) Energie de la période de suivi
Demande évitée	Demande de la période de référence (±) Ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) (-) Demande de la période de suivi

Dans l'équation ci-haut, le calcul des termes « Energie de la base de référence » et du terme « Ajustements périodiques » est réalisé simultanément par le biais du modèle mathématique de la période de référence.

### 3.6 PROCÉDURE D'ANALYSE POUR OBTENIR LA BASE DE RÉFÉRENCE AJUSTÉE ET LES ÉCONOMIES

Une fois que les facteurs d'ajustements périodiques (variables indépendantes) pour la période de suivi considérée sont assemblés, l'analyste doit calculer la base de référence pour cette période en insérant la valeur de ces facteurs d'ajustements dans le modèle mathématique de la période de référence. La gamme de variables indépendantes pour laquelle le modèle est valide doit être spécifiée de même que les hypothèses à employer pour chaque rapport de suivi des économies.

L'analyste doit inclure les ajustements non routiniers afin de tenir compte de toutes les modifications aux facteurs statiques.

#### 3.6.1 Les ajustements de la base de référence (ABR)

Les ajustements non périodiques, ou les ajustements non routiniers, sont appelés «Ajustements de la base de référence» (ABR). Ils sont nécessaires lorsque certains paramètres qui sont supposés rester statiques varient.

Les ABR peuvent être graduels, soudains, permanents ou temporaires. Dans tous les cas, il est important d'assurer le suivi des facteurs statiques identifiés dans le plan de M&V pour la situation de référence. Aussi, il est important de procéder à l'ABR au moment de la détection d'une variation des facteurs statiques afin de ne pas oublier les changements intervenus.

Le plan de M&V devrait préciser qui doit assurer le suivi et la documentation de chaque facteur statique, afin que les ABR puissent être calculés. Chaque ABR représente un calcul d'ingénierie sur mesure.

Parfois, lorsque l'information décrivant les ABR est perdue, il est recommandé d'éviter d'utiliser les mesurages

d'énergie effectués en période de suivi pour en déduire quels auraient été les changements possibles. Aussi, il n'est pas recommandé de procéder de façon concertée entre partenaires à une estimation fondée des changements ayant pu se produire.

### 3.7 PRIX DE L'ÉNERGIE

Dans cette section, l'analyste doit présenter la manière dont sont calculées les économies monétaires à partir des économies de consommation et de pointe de puissance. Les économies de pointe doivent être synchronisées au moment de la pointe apparaissant sur la facture.

L'analyste doit fixer un prix plancher et un prix plafond puis s'assurer que le tarif de l'énergie utilisé inclut tous les suppléments du fournisseur d'énergie : appel de puissance, facteur de puissance, etc.

Les économies valorisées sont déterminées en appliquant le barème de coût approprié dans l'équation suivante :

**Economies valorisées = Cb - Cr**

**Cb** = coût de l'énergie correspondant à la puissance et l'énergie de la base de référence ajustée pour la période de suivi courante (incluant l'historique de la base de référence plus tout ajustement périodique ou non périodique).

**Cr** = coût de l'énergie pendant la période de suivi

Les économies monétaires sont déterminées en appliquant la structure tarifaire en vigueur une fois la mise en service complétée. La même structure tarifaire est appliquée au calcul de Cb et Cr. Aucun prix plafond n'est prévu, dans l'alternative où les tarifs énergétiques subissaient d'importantes hausses.

#### 3.7.1 Prix de l'électricité (hors taxes)

**Tableau 6 : Tarifs Moyenne Tension de type uniforme**

Tarifs Moyenne Tension	Redevance (mill/kVA-mois)	Prix de l'énergie (mill/kWh)*			
		Jour	Pointe	Soir	Nuit
Uniforme	500	125			

Source : STEG

**Tableau 7 : Tarifs Moyenne Tension de type postes horaires**

Tarifs Moyenne Tension	Redevance (mill/kW-mois)	Prix de l'énergie (mill/kWh) *			
		Jour	Pointe	Soir	Nuit
Postes horaires	3 500	110	168	133	85

Source : STEG

\* La TVA est à appliquer à un taux de 18 % sur toutes les redevances et sur le prix d'énergie (hors taxes) des usages autres que domestiques et irrigation. A majorer de la surtaxe municipale de 3 mill/kWh.

Pour les tarifs à postes horaires, les périodes sont définies comme suit :

**Tableau 8 : Tarifs à quatre postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Soir	Nuit
1 <sup>er</sup> septembre au 31 mai	de 7 h à 18 h	de 18 h à 21 h	-	de 21 h à 7 h
1 <sup>er</sup> juin au 31 août	de 6 h 30 à 8 h 30 et de 13 h 30 à 19 h	de 8 h 30 à 13 h 30	de 19 h à 22 h	de 22 h à 6 h 30

**Tableau 9 : Tarifs à trois postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Nuit
1 <sup>er</sup> octobre au 31 mars	de 6 h 30 à 17 h 30	de 17 h 30 à 21 h 30	de 21 h 30 à 6 h 30
1 <sup>er</sup> avril au 30 septembre	de 8 h à 19 h	de 19 h à 23 h	de 23 h à 8 h

### 3.7.2 Prix du gaz naturel (hors taxes)

Tableau 10 : Tarifs MP1

Tarifs	Débit souscrit (th/h)	Redevance*		Prix de l'énergie (mill/th)*
		D'abonnement (DT/ab-mois)	De débit (mill/th-h-mois)	
MP1	1 000 à 4 000	20	100	25,30

Source : STEG

Tableau 11 : Tarifs MP2

Tarifs Débit souscrit (th/h)	Débit souscrit (th/h)	Redevance *		Prix de l'énergie (mill/th) *
		D'abonnement (DT/ab-mois)	De débit (mill/th-h-mois)	
MP1	6 000 à 30 000	20	200	24,90

Source : STEG

\*La TVA est à appliquer à un taux de 18 % sur toutes les redevances et sur le prix d'énergie (hors taxes).

## 3.8 CARACTÉRISTIQUES DES COMPTEURS

Les caractéristiques des compteurs doivent être spécifiées dans les plans de M&V pour s'assurer que le niveau de précision recherché à différent niveau de consommation soit atteint. À cet égard, il est important de spécifier les caractéristiques de mesurage, la lecture du compteur et le protocole de présence lors du mesurage, la procédure de mise en service du compteur, les procédés de calibration périodiques et la méthode de traitement des données perdues. Les différents plans de M&V présentent divers types de mesurages selon les besoins.

Il existe de nombreux fabricants d'équipement de mesurage et l'ANME ne recommande aucun équipement en particulier en autant que ce soit des appareils de qualité répondant aux besoins de chaque plan de M&V.

Les paramètres importants à considérer lors du choix d'un compteur pour différents types d'énergie sont présentés dans les sections suivantes.

### 3.8.1 Electricité

#### Mesurage

Il est possible de mesurer la puissance électrique (kW) à l'aide d'un wattmètre. Pour mesurer la consommation électrique (kWh), l'utilisation du wattmètre doit être combinée à un enregistreur de données. De cette manière, la puissance électrique est mesurée ainsi que le moment de la mesure pour ensuite intégrer la puissance dans le temps et obtenir l'énergie consommée.

Pour le mesurage électrique, un auditeur doit tenir compte de différents facteurs afin de sélectionner le wattmètre approprié. En effet, il est important de connaître la tension électrique et le nombre de phases du système à mesurer. Un mesurage de qualité exige de mesurer le courant, la tension et le facteur de puissance pour chaque phase de l'équipement. L'auditeur doit aussi choisir un transformateur de courant adéquat en considération de son usage et de sa plage de fonctionnement.

Certains compteurs n'ont pas la finesse requise pour mesurer des faibles puissances par exemple de moins de 100 watts. Il faut souvent choisir des compteurs mieux adaptés pour les petites charges. Par exemple, un plan de M&V requiert le mesurage d'un échantillonnage de régulateurs de puissance pour l'éclairage fluorescent d'un bâtiment.

Ces appareils ne consomment que quelques watts d'énergie et les compteurs de kW industriel n'ont souvent pas la finesse requise pour réaliser des lectures de faible puissance;

L'auditeur doit aussi s'assurer d'installer les transformateurs de courant sur les phases appropriées. De plus, il doit déterminer si la distorsion harmonique des systèmes est un élément à prendre en compte dans l'audit.

### Transformateurs de courant

Les transformateurs de courant sont indépendants du wattmètre et sont disponibles en plusieurs formats et plages de courants :

- Transformateurs à pinces : Idéaux pour les installations permanentes, à court ou à long terme. Ils offrent une haute précision, une haute sensibilité et s'utilisent facilement (Figure 7);
- Transformateurs en deux parties : Idéaux pour les installations permanentes ou à long terme. Ils sont rentables et sont disponibles sur une grande plage de courant (entre 5 A y 1 200 A) (Figure 8);
- Transformateurs flexibles : Idéaux pour les installations permanentes ou à long terme. Étant flexibles, ils peuvent prendre des mesures à des endroits où d'autres transformateurs ne peuvent pas (Figure 9).



Figure 7 : A pinces



Figure 8 : En deux parties



Figure 9 : Flexibles

En outre, l'auditeur doit évaluer la plage de courant du système pour choisir le transformateur adéquat.

**Tableau 12 : Spécifications des transformateurs de courant**

Type	Dimension de l'ouverture	Plage de courant	Courant nominal	Précision
Transformateurs en deux parties	1 cm	0,25 - 26 A	20 A	< 0,5 % au courant nominal
		0,25 - 65 A	50 A	
	2,5 cm	1 - 200 A	100 A	< 1,0 % au courant nominal
		1 - 300 A	200 A	
	1,0 cm	0,05 - 7,5 A	5 A	+/- 0,5 % au courant nominal
		0,15 - 22,5 A	15 A	
1,9 cm	5 - 65 A	50 A	+/- 1 % de 10 % à 130 % du courant nominal	
	10 - 130 A	100 A		
3,2 cm	10 - 130 A	100 A	+/- 1 % de 10 % à 130 % du courant nominal	
	20 - 260 A	200 A		
	40 - 520 A	400 A		
5,1 cm	60 - 780 A	600 A	+/- 1 % de 10 % à 130 % du courant nominal	
	100 - 1 200 A	1 000 A		
Transformateurs à pinces	2,0 cm	2 - 150 A	150 A	± 1 % de 2 à 80 A
				± 1,5 % de 80 à 150 A
	3,3 cm	10 - 600 A	500 A	± 3 % de 10 à 600 A
	5,2 cm	10 - 1 200 A	1 000 A	+/- 1 %
Transformateurs flexibles	13 cm	50 - 5 000 A	3 000 A	+/- 1 %
	19 cm			
	26 cm			
	56 cm			

### Connexion

Le mesurage électrique d'un système peut être réalisé au panneau électrique, au circuit alimentant le système ou directement au système.

Pour mesurer la puissance d'un luminaire, le système de mesurage doit se situer entre le ballast et le panneau électrique.

Les diagrammes suivants montrent la manière adéquate de connecter un wattmètre selon différentes configurations d'alimentation.

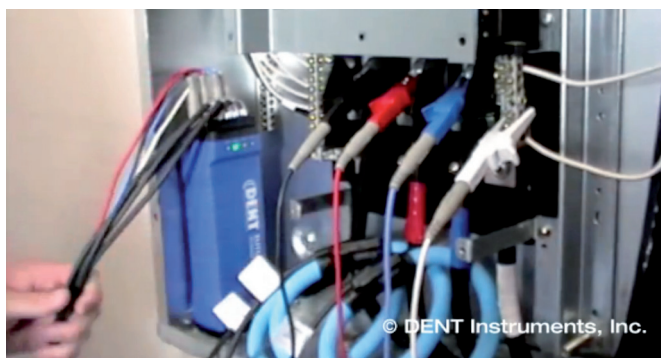


Figure 10 :  
Connexions dans un panneau électrique

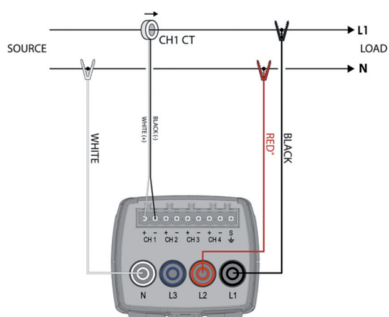


Figure 11 : Une phase, 2 fils

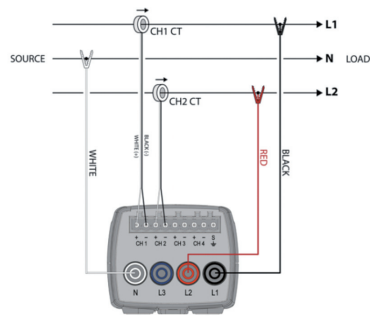


Figure 12 : Une phase, 3 fils

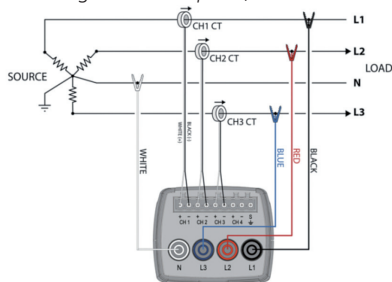


Figure 13 : Trois phases, quatre fils WYE

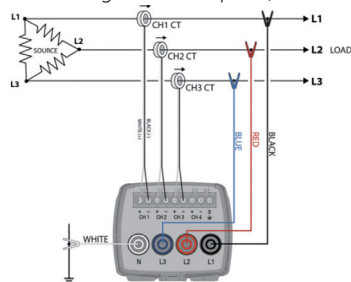


Figure 14 : Trois phases, trois fils DELTA

Au sujet de la précision, elle doit être indiquée soit en pourcentage de la lecture ou en pourcentage de la lecture maximale pouvant être réalisé.

### 3.8.2 Compteurs d'énergie d'un fluide

Le compteur d'énergie mesure le débit ainsi que la température d'entrée et de sortie d'un fluide chauffé ou refroidi par un système. Ainsi, ce compteur est composé de deux sondes de température et d'un débitmètre. La puissance thermique P échangée entre un fluide et un système se calcule de la manière suivante :

$$P = c \cdot Q \cdot \Delta T$$

Où

c = la capacité thermique massique du fluide caloporteur

Q = le débit du fluide

$\Delta T$  = la différence entre la température du fluide à l'entrée et celle à la sortie du système où la chaleur est produite ou utilisée

Ainsi, le compteur d'énergie calcule l'énergie thermique produite ou utilisée en temps réel et transmet les résultats à intervalles fixes à un collecteur de données (RTU). Pour ce type de compteur, il est recommandé d'utiliser une longueur équivalente de fil pour les sondes ou des détecteurs de température à résistance à trois fils compensés. Le Tableau 13 présente les coûts typiques des compteurs d'énergie selon le type de fluide.

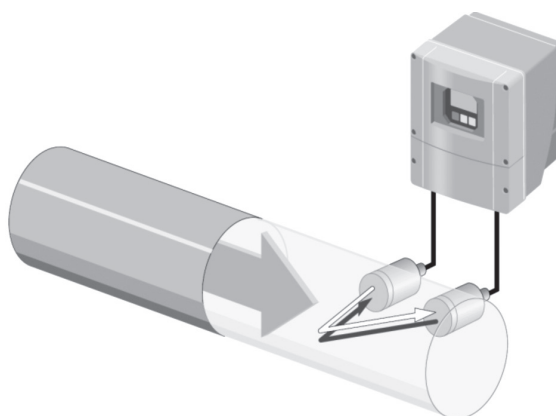
**Tableau 13 : Coûts typiques des compteurs d'énergie**

Composantes	Coûts
<b>Eau (150 – 200 mm)</b>	
Débitmètre	TND 2 900 – TND 7 300
Sonde de température à l'entrée	TND 220 – TND 1 100
Sonde de température à la sortie	TND 220 – TND 1 100
Calculateur	TND 1 000 – TND 2 100
<b>Vapeur (100 – 200 mm)</b>	
Débitmètre	TND 2 900 – TND 7 300
Sonde de pression à l'entrée	TND 2 900 – TND 7 300
Sonde de température du condensat	TND 220 – TND 1 100
Calculateur	Inclus – TND 2 100
<b>Gaz naturel (100 – 150 mm)</b>	
Débitmètre compensé en pression	TND 5 900 – TND 8 800

### 3.8.3 Débitmètres

#### Non intrusifs

Les débitmètres non intrusifs permettent de mesurer le débit du fluide circulant dans un conduit sans interrompre la circulation et modifier la conduite. Pour ce faire, le compteur est directement installé sur la surface extérieure du conduit.



*Figure 15 : Fonctionnement d'un débitmètre ultrasonique (source : Endress + Hauser)*

Les débitmètres ultrasonores sont appropriés pour les liquides homogènes purs ou légèrement contaminés. Cet appareil mesure le débit volumique du fluide sans considération de la pression, de la température, de la conductivité et de la viscosité. Ce compteur est simple d'installation et peu coûteux.

Ce débitmètre est composé de deux capteurs d'ultrasons et d'un calculateur. Il fonctionne sur le principe de différence de temps de transit. Des signaux acoustiques (ultrasons) sont émis dans deux directions à partir d'un capteur de mesure à l'autre. Une différence de temps de transit apparaît car la vitesse de propagation du signal sonore est plus grande dans la direction de l'écoulement que l'opposé. Cette différence est directement proportionnelle à la vitesse d'écoulement du fluide. Ainsi, le débit volumique est calculé avec la différence de temps de transit et la section transversale du conduit.

Ce calcul se traduit par les équations suivantes :

$v f \Delta t$

$Q f v. A$

Où

$v$  = Vitesse de l'écoulement

$\Delta t$  = Différence de temps de transit

$A$  = Section transversale du conduit

### **Intrusifs**

L'installation de débitmètres intrusifs implique la modification des conduits. Ces compteurs peuvent être installés par insertion ou avec bride. Pour l'installation avec bride, une section de conduit est coupée pour permettre l'insertion du système de mesure. Pour ce qui est de l'insertion, un trou est percé dans le conduit et le compteur y est inséré. Dans certains cas, l'installation par insertion peut être réalisée sans mettre le système à l'arrêt (installation à chaud). Généralement, l'installation de tels compteurs nécessite l'arrêt du système où le mesurage est conduit.

### **A effet Vortex**

Le débitmètre à effet vortex peut mesurer le débit volumique du gaz, de la vapeur et des liquides. Ce compteur est résistant aux vibrations, aux chocs thermiques, aux milieux contaminés et au coup de bélier. De plus, ce dispositif ne comprend aucune pièce mobile et ne requiert aucune maintenance.

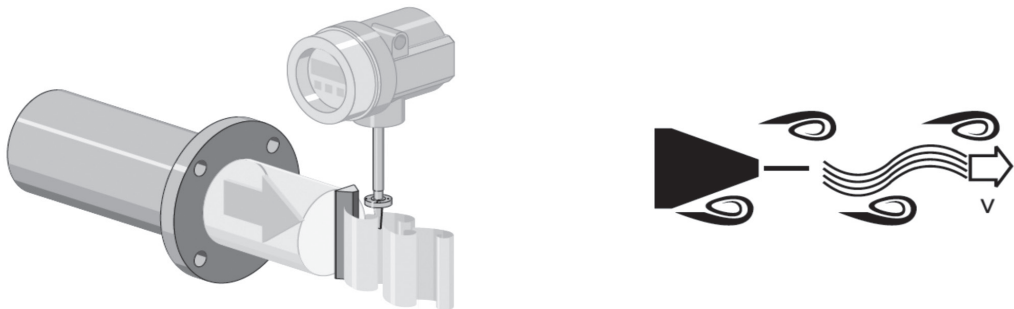


Figure 16 : Fonctionnement d'un débitmètre à effet Vortex (source : Endress + Hauser)

Ce débitmètre fonctionne sur le principe des allées de tourbillons de Karman. Lorsque le flux rencontre un corps peu profilé, des tourbillons sont formés. Lorsqu'un tourbillon se détache, un écoulement dissymétrique se forme autour du corps, ce qui modifie la distribution des pressions. Cela signifie que la séparation alternée des tourbillons peut créer sur un corps une portance périodique, cause des vibrations. Les fluctuations de pression sont enregistrées par le capteur et converties en impulsions électriques. Les tourbillons se forment de manière très régulière dans les limites d'application autorisées de l'appareil. Par conséquent, la fréquence de détachement des tourbillons est proportionnelle au débit volumique.

Pour ce principe, le facteur K est utilisé comme constante de proportionnalité. À l'intérieur des limites d'application du dispositif, le facteur K ne dépend que de la géométrie de l'appareil. Il est indépendant de la vitesse, de la viscosité et de la densité du fluide. De la même manière, le facteur K est aussi indépendant du type de fluide évalué (gaz ou liquide). Pour chaque système de mesurage, ce facteur est déterminé par une calibration.

$$\text{Facteur K} = \frac{\text{Impulsions}}{\text{Volum unitaire}}$$

### 3.8.4 Spécificités du mesurage de l'eau

Les débitmètres sont très sensibles au niveau d'impureté en suspension dans l'eau. Plus l'eau est propre, plus il faut utiliser un compteur de grande qualité pour obtenir une lecture représentative.

**Sur une application d'eau refroidie ou d'eau chaude en circuit fermé et avec un bon traitement chimique, il est fréquent d'avoir à utiliser des compteurs de grande qualité coûtant entre 3 000 à 5 000 euros à l'achat. La plupart du temps, les modèles de bas de gamme à 500 euros ne donnent que des lectures erratiques dans une application avec eau propre alors qu'ils fonctionnent bien dans une application où l'eau passe dans une tour d'eau à circuit ouvert et contenant un niveau important d'impuretés.**

**Tableau 14 : Compteurs d'eau**

Type	Précision	Coûts	Spécifications techniques	Longueur minimale
Magnétique	± 1 %	\$ \$	Spécifier le diamètre de la conduite, le débit, la pression et la température, transmetteur déporté (longueur de câble) ou compact.	20 × D avant (pour un coude de 90 degrés) et 5 × D après
Coriolis	< 2 %	\$ \$ \$ \$ \$	Spécifier le diamètre de la conduite, la pression, la température, le débit, transmetteur déporté ou compact	Aucune longueur minimale requise
Vortex	± 10 %	\$ \$	Spécifier le débit, la pression, afficheur déporté (longueur de fil) ou compact	20 × D avant (pour un coude de 90 degrés) et 5 × D après
Vortex compensé	± 2 %	\$ \$ \$	Spécifier le débit, la pression, afficheur déporté (longueur de fil) ou compact	20 × D avant (pour un coude de 90 degrés) et 5 × D après
Orifice	± 15 %	\$	Spécifier le diamètre de la conduite, le débit, la pression, transmetteur déporté ou sur la plaque orifice, orientation du tuyau	Longueur minimale avant et après selon le ratio bêta (D de l'orifice / D du conduit)
Pitot	± 10 %	\$	Spécifier le diamètre de la conduite, le débit, la pression, transmetteur déporté ou sur le tube de Pitot, orientation du tuyau	Longueur minimale avant et après selon le ratio bêta (D du tube / D de l'orifice)

### 3.8.5 Spécificités du mesurage du gaz

Les compteurs de gaz naturel sont des appareils dont l'installation peut constituer une portion importante d'un plan de M&V. Les canalisations de gaz naturel industrielles sont souvent d'un diamètre important et l'installation de compteur demande une interruption planifiée du service de fourniture de gaz naturel (difficile à réaliser sur une canalisation principale pour les industries opérant en continue). Certains compteurs de gaz naturel ont une moins grande précision quand ils mesurent les débits dans les portions basses de leur plage d'opération. Il faut donc s'assurer que le compteur choisi possède un niveau de précision suffisant dans toutes les plages d'opération envisagées.

**Tableau 15 : Compteurs de gaz**

Type	Précision	Coûts	Spécifications techniques	Longueur minimale
Thermal	± 1,5 %	\$ \$ \$	Spécifier le diamètre de la conduite, la pression, la température, le débit, transmetteur déporté ou compact	20 × D avant (pour un coude de 90 degrés) et 5 × D après
Coriolis	< 2 %	\$ \$ \$ \$ \$	Spécifier le diamètre de la conduite, la pression, la température, le débit, transmetteur déporté ou compact	Aucune longueur minimale requise
Vortex	± 10 %	\$ \$	Spécifier le débit, la pression, afficheur déporté (longueur de fil) ou compact	20 × D avant (pour un coude de 90 degrés) et 5 × D après
Vortex compensé	± 2 %	\$ \$ \$	Spécifier le débit, la pression, afficheur déporté (longueur de fil) ou compact	20 × D avant (pour un coude de 90 degrés) et 5 × D après
Orifice	± 15 %	\$	Spécifier le diamètre de la conduite, le débit, la pression, transmetteur déporté ou sur la plaque orifice, orientation du tuyau	Longueur minimale avant et après selon le ratio bêta (D de l'orifice / D du conduit)
Pitot	± 10 %	\$	Spécifier le diamètre de la conduite, le débit, la pression, transmetteur déporté ou sur le tube de Pitot, orientation du tuyau	Longueur minimale avant et après selon le ratio bêta (D du tube / D de l'orifice)

### 3.8.6 Spécificités du mesurage du mazout

Les compteurs de mazout mesurent le carburant liquide alimenté aux chaudières ou équipement de procédé. Les diamètres des lignes de mazout sont souvent beaucoup plus petits que ceux de gaz naturel pour le transport d'une quantité d'énergie équivalente. Il s'ensuit qu'il est généralement moins coûteux d'installer des équipements de comptage sur des canalisations de mazout que sur des canalisations de gaz. L'installation des compteurs de produits pétroliers demande une interruption de service de l'industrie lorsqu'ils sont installés sur la canalisation principale. Il est souvent possible d'installer plus facilement des compteurs sur les tuyauteries desservant un appareil en particulier lorsque celui-ci peut être arrêté (par exemple quand il existe plusieurs chaudières dont une peut être à l'arrêt pendant que les autres fonctionnent).

### 3.8.7 Spécificités du mesurage de la vapeur

La vapeur est probablement le medium de transfert d'énergie le plus difficile à mesurer avec précision. En effet la vapeur peut se présenter parfois sous forme de vapeur saturée ou de vapeur surchauffée. Dans le premier cas, une lecture de température ou de pression combinée à la lecture de débit est tout ce qui est requis pour déterminer la quantité d'énergie transportée. Par contre, dans le cas de vapeur surchauffée, il faut trois éléments pour déterminer la quantité d'énergie transportée soit le débit, la pression et la température de la vapeur.

Un autre élément qui rend la mesure de la vapeur complexe est la différence de précision qui peut exister entre une lecture dans le bas de la plage de lecture d'un compteur et celle qui peut exister quand le compteur mesure une valeur près de sa limite maximale. Par exemple, pour une plaque orifice qui est un type de compteur fréquemment rencontré sur les applications de vapeur, la lecture en bas de 30 % du débit maximal de vapeur est très imprécise. Il faut donc ici s'assurer que l'opération de M&V est réalisée dans une plage où ce type de compteur offre une précision suffisante. Le terme « taux de variation du débit » représente le ratio entre le minimum et le maximum de débit pour lequel un compteur est jugé précis. Par exemple, une plaque orifice aurait un « taux de variation du débit » de 3 :10 indiquant qu'elle est précise dans une plage variant entre 30 % et 100 % de sa plage de lecture.

Un autre élément de complexité de la mesure de la vapeur est lié à la grande quantité de technologies de compteurs qui peuvent être utilisées. Outre la plaque orifice qui a déjà été mentionnée, il existe également des systèmes à Pitot et les systèmes de vortex.

**Tableau 16 : Compteurs de vapeur**

Type	Précision	Coûts	Spécifications techniques	Longueur minimale
Vortex	± 10 %	\$ \$	Spécifier le débit, la pression, afficheur déporté (longueur de fil) ou compact	20 × D avant (pour un coude de 90 degrés) et 5 × D après
Vortex compensé	± 2 %	\$ \$ \$	Spécifier le débit, la pression, afficheur déporté (longueur de fil) ou compact	20 × D avant (pour un coude de 90 degrés) et 5 × D après
Orifice	± 15 %	\$	Spécifier le diamètre de la conduite, le débit, la pression, transmetteur déporté ou sur la plaque orifice, orientation du tuyau	Longueur minimale avant et après selon le ratio bêta (D de l'orifice / D du conduit)
Pitot	± 10 %	\$	Spécifier le diamètre de la conduite, le débit, la pression, transmetteur déporté ou sur le tube de Pitot, orientation du tuyau	Longueur minimale avant et après selon le ratio bêta (D du tube / D de l'orifice)

### 3.8.8 Mesurage de la température

Lorsqu'une sonde de température est choisie, il faut déterminer dans un premier temps si la sonde sera posée à l'intérieur ou à l'extérieur du conduit où la température est mesurée. Une sonde à l'intérieur du conduit permet une meilleure précision et une réponse plus rapide advenant un brusque changement de température. Toutefois, une sonde à l'extérieur est moins coûteuse et plus facile d'installation. Si la sonde est installée à l'intérieur, il faut déterminer la longueur d'insertion dans le conduit.

Advenant que la sonde ne puisse pas être en contact direct avec le fluide (ex. cheminé rejetant de grandes quantités de résidus), il faut prévoir l'installation d'un puits dans lequel la sonde sera insérée.

La longueur du fil reliant la sonde à l'enregistreur est un autre élément à prendre en considération. En effet, plus ce fil est long, plus la précision diminue. À cet égard, il est possible d'utiliser un fil supplémentaire afin de compenser la perte de précision due à la longueur de fil. Finalement, afin de choisir une sonde qui puisse communiquer convenablement ces données, il importe de connaître le type de signal pouvant être reçu par l'enregistreur de donnée.



Figure 18 : Sonde de température portable

### 3.8.9 Capteur de temps de fonctionnement de l'éclairage

Ce dispositif permet de mesurer les heures de fonctionnement d'un luminaire. Il doit être placé à proximité de l'appareil pour lequel le temps de fonctionnement doit être évalué. Il est important de bien choisir l'emplacement du capteur. En effet, ce dernier doit mesurer les heures de fonctionnement de l'appareil visé sans être affecté par les autres lumières. À cet égard, il est possible de régler la sensibilité du capteur afin qu'il ne soit pas affecté outre mesure par la lumière ambiante. À toutes les 15 minutes, le capteur émet un signal « vrai ou faux » selon que le luminaire fonctionne ou non.



Figure 19 : Capteur de temps de fonctionnement des luminaires

### 3.8.10 Concentrateurs de données

Les concentrateurs de données sont conçus pour le traitement, la transmission et le stockage des données de consommation provenant de différents compteurs. Le concentrateur de données constitue le point central de collecte de données des différents types de mesurages utilisés selon les appareils et le type d'énergie mesurée. Ce système de mesurage fournit des données en temps réel. De plus, il permet de vérifier, de manière continue, s'il y a prise de données et de réagir rapidement advenant qu'un problème technique de mesurage survienne. La perte éventuelle de données est ainsi limitée.



Figure 20 : Concentrateur de donnés

### 3.8.11 Système avec enregistrement et transmission en temps réel

La Figure 21 présente un exemple de système de mesure utilisant un concentrateur de données (RTU). Dans ce cas, le RTU collecte les données des compteurs électriques, de gaz naturel et d'énergie thermique pour les systèmes solaires (compteur d'énergie thermique).

Le RTU transmet à intervalles fixes les données de consommation à une base de données. Le RTU peut transmettre en temps réel des données en amont via un réseau téléphonique commuté ou par Internet via un réseau local ou GSM/GPRS (*Global System for Mobile Communications / General Packet Radio Service*). L'installation et la configuration peuvent être effectuées au moyen du serveur Web interne de l'appareil et d'un navigateur standard. Des rapports de base peuvent être générés et consultés n'importe quand et n'importe où à l'aide d'un simple navigateur.

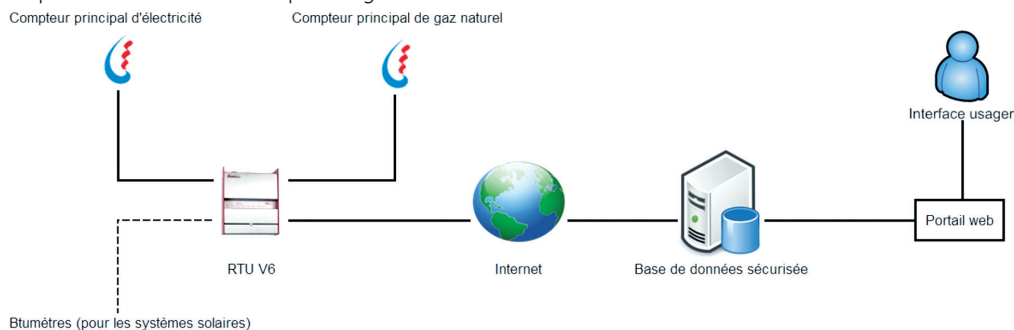


Figure 21 : Schéma d'un système de mesure

### 3.9 Responsabilité de suivi

La section responsabilité de suivi du plan de M&V décrit les responsabilités respectives du consultant chargé de réaliser le plan de M&V et celles du propriétaire du site où le mesurage a lieu.

En général le consultant est responsable de l'installation des compteurs d'énergie ou des données physiques de l'analyse (débit, température, pression), puis de la rédaction du rapport de M&V pour le projet. Le propriétaire du site est responsable de la fourniture de données concernant les facteurs d'ajustement. Ceci peut inclure, entre autres, les temps de fonctionnement des différents secteurs de l'usine ou des indicateurs de production.

Dans certains cas, le propriétaire du site peut être responsable de la collecte de certaines données, par exemple si les systèmes de contrôle de l'usine ou des compteurs déjà installés en permanence doivent être utilisés pour l'opération de mesurage. Dans le cas où des compteurs existants sont utilisés pour le mesurage, il est important de s'assurer qu'il y ait vérification de la calibration de ces compteurs avant la campagne de mesurage et que ces éléments soient documentés dans le rapport de M&V.

Finalement, le propriétaire du site est généralement responsable d'aviser le consultant lorsque des facteurs considérés comme statiques lors de la rédaction du plan de M&V se mettent à changer après l'implantation de la mesure.

Le Tableau 17 est un exemple de définition des responsabilités correspondant à une MCE sur des transformateurs (voir section 4.1). D'autres exemples sont disponibles dans les modèles de plan en annexes I, II et III.

**Tableau 17 : Responsables du suivi**

Responsables	Enregistrement des données énergétiques		Variables indépendantes		Facteurs statiques	
	Données	Fréquence	Données	Fréquence	Données	Fréquence
Propriétaire du site	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Entreprise assurant l'implantation du système de mesurage et le rapport de M&V	Puissance à l'entrée et à la sortie du transformateur	Une seule fois après implantation pour une durée de 15 jours.	Puissance à la sortie du transformateur.	Une seule fois après implantation pour une durée de 15 jours.	S.O.	S.O.

### 3.9.1 Responsabilité du rapport

Le nom du responsable du rapport est écrit dans le plan de M&V. Ses coordonnées peuvent être ajoutées ainsi que le nom de l'entreprise pour qui il travaille.

Cette section décrit la fréquence des émissions du rapport. En général, elle oscille entre quelques mois et un an. Pour des projets à risque, tant sur le plan technique que financier, les rapports peuvent être émis tous les mois ou tous les trois mois à partir de la date de mise en service de la MCE. Si les économies escomptées sont mesurées et vérifiées, la fréquence peut être réduite. La période durant laquelle les rapports sont réalisés est aussi indiquée à cet endroit.

De plus, elle décrit les éléments relatifs à la transmission du rapport par son responsable au client et aux autres parties si nécessaire (organisme responsable du programme de subventions, investisseurs, etc.). En général, le rapport est remis, par courriel, un mois après chaque période définie par la fréquence.

Le Tableau 18 est un exemple de définition du responsable du rapport correspondant à une MCE sur des transformateurs (voir section 4.1). D'autres exemples sont disponibles dans les modèles de plan en annexes I, II et III.

**Tableau 18 : Responsables du rapport de conciliation**

<b>Responsable</b>	Nom du responsable
<b>Fréquence</b>	Un seul rapport à émettre après la campagne de mesurage post installation
<b>Transmission</b>	30 jours suivant la fin de la période de mesurage

### 3.10 Précision attendue

Il n'y a pas d'évaluation d'économie absolument exacte. Il y a toujours quelques incertitudes :

- Incertitudes de mesurage ;
- Incertitudes du modèle de régression (ou calcul d'ingénierie) ;
- Incertitudes d'échantillonnage.

Chaque maître d'ouvrage trouve son propre équilibre entre les coûts et le niveau d'incertitude, pour chaque projet. Pour chacun d'eux, la précision dépend du niveau raisonnable d'incertitude à se permettre et du niveau suffisant de mesurage.

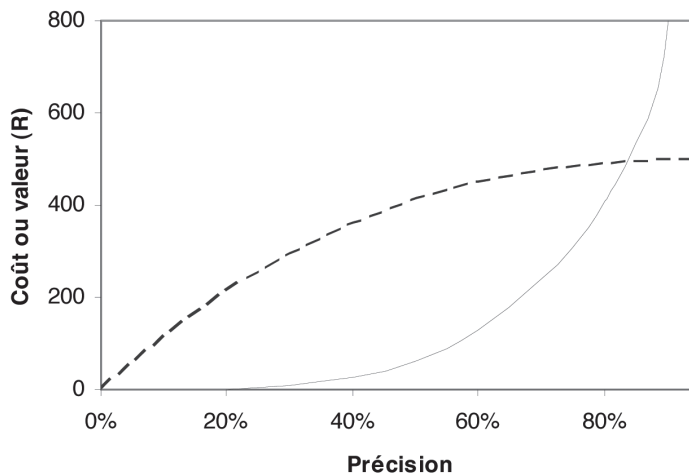


Figure 22 : Loi de rendements décroissants

Il est possible de déterminer les coûts pour les différents niveaux de précision (Figure 22). En revanche, il est impossible de valoriser financièrement les avantages d'un gain en précision.

### 3.11 Budget

Le coût total pour déterminer les économies doit normalement être inférieur à 10 % des économies générées par un projet durant sa vie utile. Un ratio de 3 à 5 % est un chiffre plus courant, normalement utilisé pour les projets à garanties de performance des ESE.

Le budget des M&V doit être établi en fonction :

- > du montant des économies ;
- > de la durée de la période de recouvrement de l'investissement ;
- > du niveau de détails prévu, dans le cas où le projet fait l'objet d'une évaluation externe ;
- > du niveau d'incertitude acceptable.

Et doit prévoir les coûts relatifs à :

- la conception et la rédaction du plan de M&V ;
- La collecte des données de la situation de référence ;
- La collecte des données de la période de suivi ;
- Les calculs d'économies et rédaction des rapports de suivi.

Le Tableau 19 est un exemple de budget correspondant à une MCE sur des transformateurs (voir section 4.1). D'autres exemples sont disponibles dans les modèles de plan en annexes I, II et III.

**Tableau 19 : Budget pour la réalisation d'un plan de M&V**

	Instrumentation	Honoraires
Préparation du plan de M&V et de la base de référence	S.O.	TND 1600
Mesurage avant installation	TND 1200	TND 600
Mesurage et production de rapport pour la période de suivi	TND 1200	TND 1800
Sous-total	TND 2400	TND 4000
Grand total	TND 6400	

### 3.12 FORMAT DU RAPPORT DE M&V

Le plan doit présenter le format des rapports de M&V. L'analyste doit inclure la table des matières d'un rapport type, le niveau de détail des informations à présenter, comment les résultats seront présentés et inclure un modèle pour chaque type de rapport.

**Nom du projet :**

**Date :**

- **Date de début et fin de la période de mesurage**
- **Consommation de la base de référence**
  - **Données de consommation et demande électrique**
  - **Données de consommation de gaz naturel**
  - **Tableau résumé des consommations et puissance du site.**
- **Consommation de la période de suivi**
- **Données de facturation (ou de mesurage)**
- **Ajustements requis aux données de la période**
- **Ajustements de la base de référence pour la période**
  - **Facteurs d'ajustement de la période**
  - **Ajustements périodiques**
  - **Ajustements non périodiques**
- **Description et justification des corrections apportées aux données observées**
- **Tarifs de l'énergie**
- **Calcul de l'année de référence ajustée**
- **Calculs des économies d'énergie (KW, KWh, m3, et TND)**
- **Évaluation des économies cumulées depuis le début du projet, sur une base annuelle**

### 3.13 GARANTIE DE LA QUALITÉ

L'analyste doit inclure la procédure devant être employée afin d'assurer la qualité des calculs d'économie d'énergie, et de toutes autres activités connexes lors de la préparation des rapports. À cette étape, il est normalement spécifié quels sont les critères de sélection du responsable de la supervision des campagnes de mesurage, des analyses de la base de référence, des ajustements de la base de référence et des calculs d'économie. Il est fréquent d'exiger une personne possédant la certification CMVP (Certified Measurement and Verification Professional).

Aussi, l'analyste inclut normalement une garantie de qualité en ce qui a trait à la saisie de données (double vérification) et aux calculs des économies.

Le paragraphe suivant est un exemple de texte à inclure dans cette section du plan de M&V pour une Option C. D'autres exemples sont disponibles en annexes I, II et III.

Voici la procédure qui sera employée afin d'assurer la qualité des calculs d'économie d'énergie, et de toute autre activité connexe lors de la préparation des rapports.

- Uniquement des professionnels possédant la certification CMVP (Certified Measurement and Verification Professional) pourront réaliser les calculs d'ajustements périodiques et non périodiques ainsi que des économies.
- Tous les calculs d'économie seront basés sur des principes fondamentaux d'ingénierie selon les règles de l'art.
- Chacun des calculs fera l'objet d'une vérification par un responsable de la qualité ayant les aptitudes requises.
- La base de référence et les données de la période de suivi seront basées sur les données énergétiques (électricité, gaz naturel, mazout, etc.) provenant de copies des factures des fournisseurs d'énergie, tels que STEG, etc.
- Afin de minimiser les erreurs d'entrée de données énergétiques, celles-ci seront doublement vérifiées. Cette seconde vérification sera effectuée par un autre intervenant.

**Variable indépendante :**

Degrés-jours : Toutes les données météorologiques proviendront de l'Institut National de Météorologie, plus précisément de la station météorologique la plus près du projet.

**Facteur statique :**

L'information concernant le changement des facteurs statiques pour un projet sera acheminée par le responsable interne du projet (Client) pour être ensuite analysée par le professionnel certifié CMPV afin qu'il juge des impacts directs ou indirects sur les économies projetées. Ce professionnel sera ensuite en mesure de faire les ajustements non périodiques nécessaires à la base de référence afin de dégager les économies réelles des mesures implantées.

## 4 PLAN DE M&V DES MESURES D'EFFICACITE ENERGETIQUE

Cette section présente les spécificités du plan de M&V correspondant à chaque mesure d'efficacité énergétique. C'est-à-dire que sont développés uniquement les points qui nécessitent un niveau de détail plus important que celui présenté dans la section « Plan de M&V : Contenu et règles » et qui diffèrent entre les mesures d'efficacité énergétique. La méthodologie pour diagnostiquer les actions d'efficacité énergétique y est définie de manière pratique. Le but est de donner les clés au lecteur pour définir et appliquer un plan de M&V.

Les mesures d'efficacité énergétique présentées dans les plans de M&V suivants sont spécifiques à la réalité du tissu industriel du pays. La liste des mesures d'efficacité énergétique comprend les technologies suivantes :

- Technologies correspondant aux utilités :
  - les postes de transformation de l'énergie électrique
  - Optimisation d'une chaudière
  - Changement d'un refroidisseur
  - Air comprimé
  - Entraînement à fréquence variable
  - Amélioration de l'efficacité d'un moteur
- Le procédé industriel de quelques branches d'activité (IMCCV, IAA, ICH) :
  - Echangeur de chaleur
  - Ajout d'une presse à injection
  - Amélioration d'un four de cuisson

Les points du plan de M&V qui sont traités dans cette section incluent le but des MCE, le choix de l'option, la base de référence, la période de suivi, les bases pour l'ajustement, la procédure d'analyse des données et les caractéristiques des compteurs. Des exemples complets sont présentés en annexe IV et V.

Les plans de M&V ont été construits avec des approches différentes afin de démontrer la versatilité de l'IPMVP.

Certains plans incluent des exemples de résultats de mesurage bien que ce document doive être développé avant toute collecte de valeurs pour s'assurer du respect des règles éditées dans celui-ci.

### 4.1 POSTE DE TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

#### 4.1.1 Mesure de conservation d'énergie (MCE)

Une industrie qui fabrique des meubles a actuellement deux transformateurs principaux à l'entrée électrique qui servent à réduire la tension de 4 000 volts à 600 volts. Un seul des deux transformateurs est en fonction alors que le second est gardé hors ligne pour servir au besoin d'unité de relève. Ces transformateurs sont actuellement d'une technologie traditionnelle et peu efficace (acier magnétique ordinaire et câblage en aluminium) et leur âge avancé requerra bientôt un changement pour de nouveaux transformateurs.

Un audit énergétique a été réalisé par un consultant et recommande de procéder au remplacement des transformateurs par des unités à cœur en acier amorphe (trempe rapide qui empêche la cristallisation) et du câblage de cuivre, ce qui leur confère des meilleures caractéristiques énergétiques. Le surcoût de ces transformateurs efficaces peut être récupéré en quelques années.

L'étude a établi que les économies attendues par cette mesure seront de 50 000 kWh par année représentant 7275 TND.

Ce plan de mesurage et vérification (M&V) vise à établir les économies pour l'unité qui sera en service durant l'application du plan.

La procédure de mise en service n'a rien de particulier et est similaire à toute installation de transformateur. Aucun changement n'est prévu à la situation de référence et il ne sera donc pas nécessaire de procéder à des ajustements de la campagne de mesure avant l'implantation de la mesure pour préparer le modèle mathématique de la période de référence.

#### 4.1.2 Option et périmètre de mesure

##### L'option employée pour déterminer les économies

Option B

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

##### Justification du choix de l'option, ratio gain /période de suivi

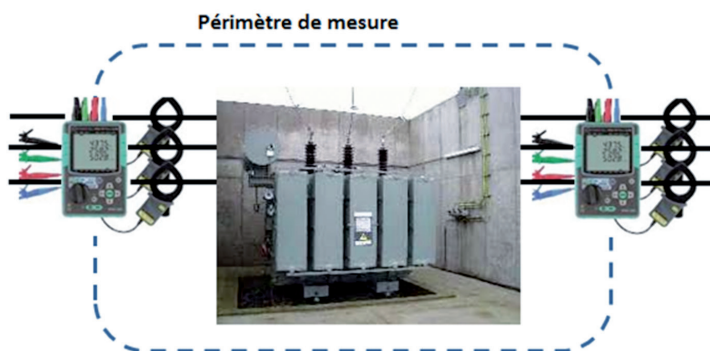
L'Option B a été retenue car, dans ce cas précis, nous sommes intéressés à déterminer les économies en fonction des charges réelles fournies par le transformateur aux différents usagers dans l'usine.

Si nous avons été intéressés exclusivement à démontrer l'efficacité accrue du transformateur, nous aurions pu envisager une Option A pour mesurer la réduction des pertes d'énergie à différents niveaux de chargement du transformateur et utiliser un profil typique estimé de chargement annuel pour déterminer les économies annuelles.

L'approche B retenue demande donc de mesurer la performance du transformateur à différents niveaux de chargement avant l'implantation de la mesure et un mesurage similaire après l'implantation pour une durée suffisante afin de bien représenter l'opération annuelle future des installations.

##### Périmètre de mesure

Le périmètre de mesure est le transformateur. Il faudra mesurer simultanément l'énergie entrant et sortant du transformateur pour déterminer les pertes d'énergie dans le transformateur avant et après le remplacement.



Compte tenu de la nature de cette mesure, le seul effet interactif au-delà de la limite de mesure serait les impacts des pertes d'énergie sur le chauffage ou la climatisation du bâtiment. Dans le cas présent, le transformateur est situé dans un emplacement ventilé naturellement et aucun effet interactif ne se produira.

#### 4.1.3 Situation de référence ; période, énergie et conditions

##### Identification de la période de référence

Dans le cas présent, la période de mesure doit être assez longue pour permettre d'analyser le fonctionnement du transformateur aux différents niveaux de chargement qui seront rencontrés dans une opération normale.

Après l'analyse des opérations de l'usine des dernières années, il a été convenu qu'une période de mesurage de deux semaines avant le remplacement serait suffisante.

### Données de charge et de consommation de la période de référence

Les données pour la période de référence proviennent des mesures des paramètres suivants sur le transformateur existant :

- La puissance électrique à l'entrée du transformateur
- La puissance électrique à la sortie du transformateur

Les données ont été enregistrées en continu pour une période de deux semaines. Elles sont enregistrées par un appareil qui fait de nombreux relevés de puissance chaque seconde et qui compile et enregistre les moyennes obtenues sur chaque période de quinze minutes. Le fichier de compilation est sauvegardé à même l'appareil et a été transféré sur ordinateur à la fin de la période de mesurage.

Cette campagne de mesurage a permis de disposer du nombre de points d'analyse suivants ;

Points d'analyse : 14 jours x 24 heures/jour x 4 points/heure = 1 344 points

Le Tableau 20 présente, à titre indicatif, les données pour les premières heures de mesurage. Les données complètes sont contenues dans le tableur « Mesurage avant remplacement – Transformateur ». La Figure 23 représente les données obtenues sur deux semaines.

**Tableau 20 : Début de la période de mesurage du transformateur**

Date	Heure	Puissance à l'entrée	Puissance de sortie
26 sept. 2011	00 h 15	91,2	88,5
26 sept. 2011	00 h 30	86,4	83,6
26 sept. 2011	00 h 45	86,4	83,7
26 sept. 2011	01 h 00	91,2	88,4
26 sept. 2011	01 h 15	91,2	88,5
26 sept. 2011	01 h 30	86,4	83,6
26 sept. 2011	01 h 45	86,4	83,7
26 sept. 2011	02 h 00	91,2	88,4
Etc.			

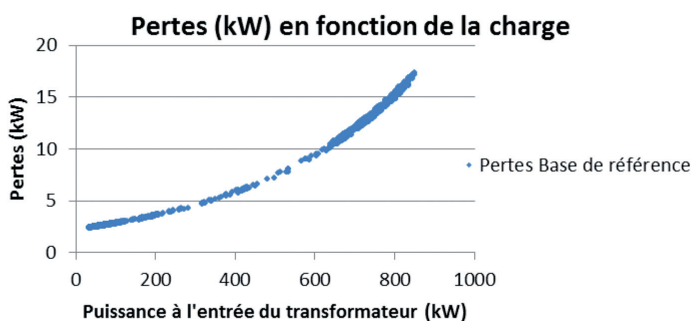


Figure 23 : Pertes durant la période de référence

### Ajustements requis aux données de la période de référence

Dans le cas présent, aucun ajustement aux données de la base de référence n'est requis.

### Variables indépendantes

Les variables indépendantes incluent les facteurs pouvant affecter la consommation d'énergie du site et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques de la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, la puissance à la sortie du transformateur sera considérée comme la variable indépendante, car elle représente la charge requise pour le site à tout moment. La campagne de mesurage a déjà permis d'obtenir les données requises pour le facteur d'ajustement.

#### Facteurs statiques de la période de référence

Pour la présente mesure d'efficacité énergétique, le concept de facteur statique ne s'applique pas, car ce qui doit être mesuré sont les pertes de transformateurs en situation réelle incluant tout changement à l'usine et représentées par la charge réelle du site durant la période de mesurage post installation. Dans le cas d'une abstraction des modifications à l'opération du site, l'Option A aurait pu être envisagée.

#### 4.1.4 Période de suivi

La période de suivi correspond à une période de quatorze jours suivant l'installation des nouveaux transformateurs.

#### 4.1.5 Base pour les ajustements

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Energie de la période de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) énergie de la période de suivi
Demande évitée	Demande de la période de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) demande de la période de suivi

#### 4.1.6 Procédure d'analyse

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
	X				

La procédure d'analyse sera appliquée à la fin de la période de mesurage post installation d'une durée de 14 jours.

Durant la période de mesurage, les puissances d'entrée et de sortie du nouveau transformateur efficace seront mesurées par un appareil réalisant un grand nombre de lectures par seconde et compilant les résultats de moyenne de puissance pour chaque période de quinze minutes.

La puissance de sortie du transformateur, à toutes les quinze minutes, sera la variable indépendante à introduire dans le modèle mathématique de la période de référence pour établir qu'elle aurait été la puissance d'entrée de l'ancien transformateur peu efficace selon les différents niveaux de chargement de chaque période.

Le modèle mathématique de la période de référence a été établi à partir d'une régression des données d'entrée et de sortie du transformateur existant. La figure ci-dessous montre le résultat de cette analyse de façon graphique. L'abscisse du graphique représente les puissances de sortie du transformateur (la variable indépendante) tandis que l'ordonnée représente la puissance d'entrée.

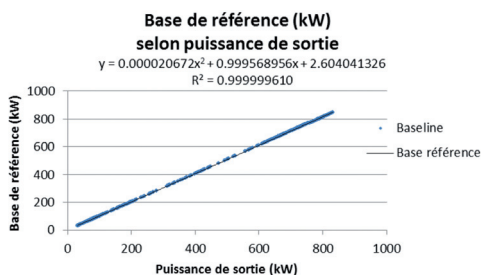


Figure 24 : Modèle mathématique de la base de référence

Pour la régression, un modèle polynomial de 2<sup>d</sup> niveau a été choisi ce qui est cohérent avec le comportement théorique d'un transformateur qui comprend des pertes de noyaux (relativement stable) et des pertes de filage (variant selon le carré de la charge). La régression montre très peu de dispersions des données et le R<sup>2</sup> est donc excellent à plus de 0,99 ce qui est largement supérieur à la valeur minimale de 0,75 recommandée par l'IPMVP.

Le modèle mathématique de la base de référence permettra donc de calculer la base de référence ajustée par l'équation ;

Base de référence ajustée =  $-0,000020672 x^2 + ,999568956x - 2,604041326$

Où :

Base de référence ajustée = énergie de la période de référence + ajustements périodiques (kW)

x = puissance de sortie du transformateur (kW)

Les économies d'énergie pour chaque période de quinze minutes seront calculées grâce à l'équation;

Economies = (base de référence ajustée – puissance d'entrée de la période) / 4

Où :

Economies = consommation d'énergie évitée (kWh)

Puissance d'entrée = puissance à chaque période de quinze minutes de la période de suivi (kW)

Ces équations sont valides dans la gamme de puissances variant de 0 kW à 900 kW de puissance de sortie du transformateur.

Par la suite, les économies calculées pour chaque période de quinze minutes seront cumulées pour la période de deux semaines de mesurage pour établir les économies d'énergie.

L'économie de puissance pour ce projet correspondra à l'économie en puissance calculée pour la période de quinze minutes à laquelle le transformateur a été le plus chargé.

Les économies obtenues pour les deux semaines de mesurage après l'implantation de la mesurer seront par la suite multipliées par 26 pour estimer les économies annuelles. Ceci est justifié, car la consommation électrique de l'usine est très stable.

Il est à noter qu'uniquement les calculs d'économie pour la période de deux semaines peuvent être déclarés conformes à l'IPMVP. L'économie annuelle est, quant à elle, considérée comme une estimation. Pour obtenir des économies annuelles conformes à l'IPMVP, il aurait fallu maintenir le mesurage en permanence pour une période d'une année.

#### 4.1.7 Caractéristiques des compteurs

Les compteurs qui seront utilisés pour les campagnes de mesurage avant et après installation seront de type portatif, triphasé et réalisant un grand nombre de lectures chaque seconde. Les données seront compilées automatiquement pour des périodes de quinze minutes pour établir les puissances moyennes. Les compteurs feront l'enregistrement de chaque période de quinze minutes et auront une mémoire suffisante pour maintenir toutes les données de la campagne de mesurage de quatorze jours.

Deux compteurs seront nécessaires soit un à l'entrée et un à la sortie du transformateur. Le compteur à l'entrée mesurera la variable dépendante soit le besoin énergétique du transformateur. Le compteur à la sortie mesurera la variable indépendante soit la charge électrique devant être fournie au site.

Les compteurs devront avoir les précisions suivantes :

- pourcentage de la lecture actuelle : 0,1 %
- intervalle de confiance : 95

Compte tenu que les différences de charge entre l'entrée et la sortie du transformateur sont relativement faibles, les deux compteurs qui seront utilisés devront être calibrés et testés sur une gamme de charges variant entre 100 kW et 800 kW. Un tableau de la précision obtenue après calibration sera établi pour

chaque intervalle de chargement de 100 kW. Si une erreur systématique résiduelle subsiste après la calibration des compteurs, un ajustement sera appliqué lors de la réalisation des calculs d'économie pour éliminer l'erreur de calibration entre les compteurs.

La firme qui réalisera l'installation des compteurs et leur mise en marche de même que le propriétaire du site pourront être présents lors de l'installation, de l'enlèvement et du transfert des fichiers de l'appareil de mesure à un ordinateur. Le propriétaire du site pourra conserver un exemplaire des fichiers bruts de la campagne de mesurage pour ses dossiers.

La procédure de mise en service des compteurs devra être conforme aux recommandations du fabricant. L'installateur devra, entre autres, vérifier que les transformateurs de courant et les branchements de tension soient effectués correctement. Une lecture de la puissance sur le compteur de la STEG sera également réalisée et comparée à celle du compteur temporaire pour s'assurer qu'il n'y a pas de grande différence entre les lectures obtenues.

Au cas où l'analyse des données enregistrées durant les périodes avant ou après l'implantation de la mesure démontre qu'il y a eu perte de données, les campagnes de mesurage devront être reprises.

## 4.2 OPTIMISATION D'UNE CHAUDIÈRE

### 4.2.1 Mesures de conservation d'énergie (MCE)

La modernisation de la chaudière au gaz implique l'amélioration de l'efficacité spécifique de l'utilisation de cette dernière. Les éléments visés par ce plan de M&V comprennent :

- Remplacement de la chaudière existante par une plus efficace (multi-étages) ;
- Installation d'économiseurs ;
- Installation de contrôles automatiques ;
- Isolation de la coque afin de réduire les pertes thermiques ;
- Contrôle de la purge et traitement de l'eau ;
- Récupération de la vapeur flash au déaérateur ;
- Ajout de la possibilité de changer de combustible.

Ces projets réduiront le taux de consommation de carburant de la chaudière. La consommation spécifique de carburant et l'efficacité de combustion seront mesurées. Les heures de chacune des conditions d'opération seront estimées afin de suivre le même pattern avant et après la mise en service des MCE.

### 4.2.2 Option et périmètre de mesure

#### L'option employée pour déterminer les économies

Option A  
Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

#### Justification du choix de l'option et justification des hypothèses

Utiliser l'Option A, dans le cas d'optimisation de la chaudière, nécessite des mesures de rendement instantanées ou à court terme telles que l'efficacité de combustion de la chaudière et la quantité de carburant nécessaire par unité de production, et ce, avant et après la modernisation. Comme stipulé dans le contrat, les heures d'opération de chacune des conditions d'opération seront estimées.

La consommation de base est fonction de la performance des équipements et des heures d'opération. Les performances de la chaudière doivent être prises durant un échantillon de conditions d'opération afin de les caractériser. En fonction de la consommation spécifique (kWh/h), mesurée directement, l'efficacité de la chaudière est obtenue indirectement suite à l'analyse des gaz de cheminée.

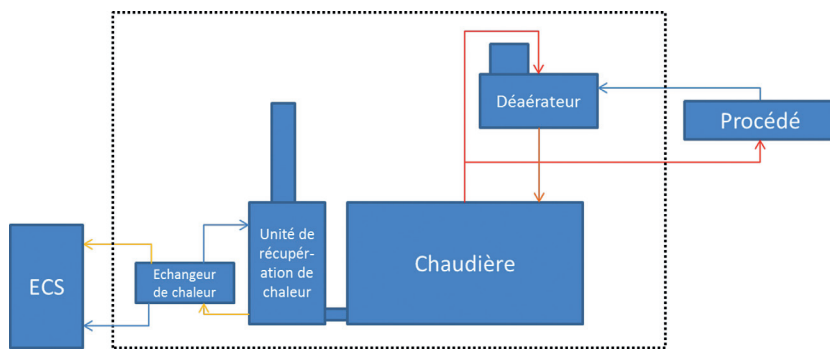
Le nombre d'heures des différentes conditions d'opération est estimé selon les données météorologiques typiques et les historiques de production. Le nombre d'heures, pour chacune des plages de charges, devrait être le même dans la période de suivi que dans la période de référence.

La demande à la sortie de la chaudière n'est pas modifiée par le projet. Les parties s'entendent pour l'estimer d'autant plus qu'il serait coûteux de la mesurer.

Les mesures de performance de l'optimisation de la chaudière doivent être mesurées afin d'assurer que l'équipement a bien été installé et mis en service. Dans le cas où un changement de combustible avait lieu, il sera important de convertir la base de référence afin de prendre en considération le type de combustible dans l'analyse.

### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage est la chaudière dans le cas de la période de référence alors qu'il englobe la chaudière, les récupérateurs de chaleur et le déaérateur dans la période de suivi.



## 4.2.3 Situation de référence ; période, énergie et conditions

### Identification de la période de référence

Les mesures seront prises selon cinq conditions d'opération avant le remplacement et cinq après l'optimisation de la chaudière. Les données nécessaires à la comparaison de l'équipement existant et du nouveau pourront être mesurées durant la période de référence, en offrant une gamme de charges suffisante. Ces conditions d'opération sont appelées « scénario ».

Les données nécessaires à la comparaison de l'équipement existant et de la nouvelle chaudière doivent couvrir une gamme de charges de 1 000 à 5 000 kW, correspondant à la plage d'opération de l'équipement.

### Données de charge et de consommation de la période de référence.

Les données de la période de référence proviennent des mesures des paramètres suivants pour cinq scénarios de consommation :

- La consommation spécifique (kWh/h)
- L'efficacité de la chaudière (%)

Les heures d'opération des différents scénarios sont estimées et couvrent une année complète. Elles sont définies suivant des mesures prises lors de l'audit préliminaire et en accord avec le client. Les périodes d'arrêt pour réparation et maintenance sont prises en compte.

**Tableau 21 : Données de la base de référence**

Scénario	Consommation spécifique (kWh/h)	Efficacité de la combustion (%)	Heure d'opération (h)
1	5 000	75	500
2	4 4000	74	1 000
3	3 000	72	2 000
4	2 000	70	1 000
5	1 000	68	500

### **Ajustements requis aux données de la période de référence**

Dans le cas présent, comme la période de référence est très limitée dans le temps, aucun ajustement aux données de la base de référence n'est requis.

### **Variables indépendantes**

Les variables indépendantes incluent les facteurs pouvant affecter la consommation d'énergie du site et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques de la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, il n'y a aucune variable indépendante.

### **Facteurs statiques de la période de référence**

Les facteurs statiques incluent des équipements et modes d'opération qui sont réputés fixes lors de la préparation du plan de mesurage. Ainsi, advenant un changement dans ces données et paramètres, la simulation de la base de référence doit être reconduite en considération des changements et calibrée de nouveau. La liste ci-dessous présente certains des événements qui pourraient provoquer des changements aux facteurs statiques. Cette liste n'est pas limitative et toute autre modification faite au bâtiment ou à son opération, qui serait de nature à changer ses besoins en énergie, pourrait y être ajoutée.

- équipements de la salle mécanique ;
- température de la salle mécanique ;
- température de fonctionnement des différentes composantes ;
- vidange de la chaudière ;
- type de combustible ;
- température de retour des condensats.

Tous les éléments qui font varier l'efficacité de la chaudière dans le périmètre de mesure sont des facteurs statiques de la période de référence

#### **4.2.4 Période de suivi**

La période de suivi correspond au mois suivant l'installation du nouveau système. Durant cette période, les paramètres de fonctionnement seront mesurés pour chaque scénario. S'il n'est pas possible d'avoir une demande stable pour certains scénarios durant cette période, la période de suivi sera allongée jusqu'à ce que tous les scénarios définis lors de la période de référence soient mesurés. Cette période sera répétée chaque année pendant trois ans.

Aussi, une inspection annuelle sera conduite pour vérifier le bon fonctionnement des systèmes mis en place. Une campagne de mesurage sera effectuée pour vérifier la performance de la chaudière.

#### 4.2.5 Base pour les ajustements

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Energie de la période de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) énergie de la période de suivi

#### 4.2.6 Procédure d'analyse

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
	X				X
<p>La consommation de base est calculée en fonction de la performance mesurée de la chaudière existante et des heures d'opération estimées associées. Les performances de la chaudière doivent être déterminées à travers un échantillon de conditions afin de les caractériser en fonction de la demande (kW). L'efficacité de la chaudière est obtenue indirectement après l'analyse des gaz de cheminée.</p> <p>Les économies pour chacun des scénarios sont calculées suivant l'équation suivante :</p> $kWh_{\text{économisés}} = \sum [\text{Heures}] [kWh / hr_s] \left[ \frac{1}{n_r} - \frac{1}{n_s} \right]$ <p>Où :</p> <p><math>kWh_{\text{économisés}}</math> : économie en énergie pour le scénario étudié  <math>kWh/h</math> : consommation spécifique pour le scénario de la période de suivi  <math>n_r</math> : efficacité (période de référence ajustée aux données spécifiques du scénario de suivi)  <math>n_s</math> : efficacité (période de suivi)</p> <p>Si le combustible utilisé est modifié, un ajustement de la base de référence doit également être fait, car celle-ci est établie à partir d'un type de combustible. L'efficacité de la chaudière dépend du type de combustible ainsi que sa consommation spécifique.</p> <p>Aussi, des ajustements non périodes devront aussi être apportés sur le retour de condensat change de température ou suite à tout autre modification d'un facteur statique.</p>					

#### 4.2.7 Caractéristiques des compteurs

##### Analyseur des gaz de cheminée

Afin de mesurer l'efficacité de la combustion, un analyseur portatif commercial de test de combustion et d'émission est conçu pour des prélèvements sur demande dans les chaudières. L'appareillage comprend une sonde et son assemblage de tuyau, un manuel d'instruction, des capteurs intelligents calibrés en usine, quatre piles alcalines, une gaine de protection, un câble USB et un coffret de transport. L'équipement utilisé sera le même d'une mesure à l'autre.

L'efficacité de la combustion est déterminée directement par l'analyseur. Les calculs d'efficacité peuvent être réalisés pour les combustibles suivants : gaz naturel, coke, gaz de ville, huile légère, huile lourde, propane, charbon, biocarburant, GPL et butane. Dans tous les cas, l'analyse de combustion est effectuée conformément à la norme EN50379.

Pour garantir des calculs corrects de l'efficacité de la combustion, l'analyseur doit connaître la température primaire du brûleur. L'analyseur utilise normalement son capteur de température interne pour obtenir la valeur de la température de l'air primaire, mais cette méthode n'est valable que si le brûleur utilise l'air

ambiant de la pièce. Dans le cas où le système de récupérateur de chaleur sera en place (après la mesure), il est recommandé de brancher le thermocouple dans le flux de l'air primaire du brûleur.

Pour démarrer un test de combustion, il faut d'abord insérer le tube de la sonde de l'analyseur dans le flux du conduit des gaz de cheminée de l'appareil en test. Une fois l'appareil en marche, l'analyseur commencera à surveiller continuellement la température du conduit, le % d'O<sub>2</sub> et les niveaux d'émission dans les gaz du conduit puis affichera les valeurs mesurées et calculées sur son écran. Le temps recommandé pour obtenir des mesures stables est au minimum de trois minutes.

**Tableau 22 : Performances de chaque analyseur des gaz de cheminée**

Précision	
O <sub>2</sub>	± 0,3 % O <sub>2</sub> sur les concentrations usuelles de gaz de conduit (mélange d'O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> et N <sub>2</sub> )
CO	± 5 % de la lecture ou ±10 ppm, selon le plus élevé entre 0 et 2000 ppm, et ±10 % de la lecture entre 2001 et 4000 ppm.
NO	± 5 % de la lecture ou ± 5 ppm, selon le plus élevé entre 0 et 2000 ppm.
NO <sub>2</sub>	± 5 % de la lecture ou ± 5 ppm, selon le plus élevé entre 0 et 500 ppm.
SO <sub>2</sub>	± 5 % de la lecture ou ±10 ppm, selon le plus élevé entre 0 et 2000 ppm.
Température des gaz de combustion	± 2 °C entre 0 et 124 °C ± 3 °C entre 125 et 249 °C ± 4 °C entre 250 et 400 °C
Température d'air primaire/ambiant	± 1 °C entre 0 et 100 °C
Pression/tirage	± 0,02 % de la lecture de de -249 à 249 Pa ± 2 % de la lecture de -2 490 à 2 490 Pa ± 3 % de la lecture de -9 964 Pa à 9 964 Pa
Débit du flux système avec sonde	200 ml/min minimum

Le point de prélèvement est fait à travers un trou percé dans la conduite de ventilation, juste à la sortie de la chambre de combustion puisque c'est autorisé par le fabriquant.

L'efficacité de la chaudière se calcul ainsi :

$$CO_2 = \frac{CO_2 \max(20,9 - O_2)}{20,9}$$

$$EFF = 100 - [(T_{fumés} - T_{ambiant}) \times \left( \frac{A_2}{20,9 - O_2} + B \right)]$$

Où :

T<sub>fumée</sub> : température mesurée dans le conduit de cheminée en °C

T<sub>ambiant</sub> : température de l'air primaire en °C

O<sub>2</sub> : oxygène mesuré en pourcentage

CO<sub>2</sub> : dioxyde de carbone mesuré en pourcentage

A<sub>2</sub> et B : constantes (voir ci-dessous)

COMBUSTIBLE	CO2 MAX	A2	B
Gaz naturel	11,8	0,66	0,009
COKE	10,2	0,60	0,011
Gaz de ville	13,1	0,63	0,011
GPL	13,8	0,63	0,008
Pétrole n° 2	15,4	0,68	0,007
Pétrole n° 6	15,9	0,68	0,007
Charbon	18,7	0,60	0,007
Biocarburant	20,4	0,70	0,012

Les fonctions avancées de stockage et de communication permettent à l'opérateur de stocker jusqu'à 500 enregistrements individuels de test de combustion qui peuvent ensuite être rappelés pour visualisation, impression ou téléchargement vers un ordinateur.

#### **Débitmètre du combustible**

Conçu pour la mesure des gaz naturels et non corrosifs, les débitmètres massiques thermiques sont idéals pour cette application puisqu'ils sont compensés pour la température et la pression. Le compteur choisi a une précision de 1 % et accepte des débits entre 80 et 100 000 kWh/h.

Les données sont acquises par RTU et transférées au serveur central de l'usine par modem cellulaire. Les données sont enregistrées par le compteur toutes les minutes, mais seule une moyenne aux 15 minutes est enregistrée par le RTU et transmise au serveur. La valeur de débit correspondant au temps de l'échantillonnage du gaz sera utilisée pour les calculs d'économie.

### **4.3 CHANGEMENT D'UN REFROIDISSEUR**

#### **4.3.1 Mesure de conservation d'énergie (MCE)**

La mesure consiste à remplacer un refroidisseur de 700 kW pour un plus efficace ayant la même capacité. Les horaires de fonctionnement resteront identiques.

### 4.3.2 Option et périmètre de mesure

#### L'option employée pour déterminer les économies

Option A

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

#### Justification du choix de l'option et justification des hypothèses

Utiliser l'Option A, dans le cas de remplacement de refroidisseur, implique la vérification de la performance de l'unité existante et de l'unité de remplacement. Le projet est basé sur le mesurage pendant de courte période. Les rendements du refroidisseur existant et du nouvel équipement devront être mesurés. Dû aux caractéristiques non linéaires de la courbe de consommation vs charge, les mesures sur les refroidisseurs existants sont réalisées à différentes charges. Cela implique la mesure simultanée de plusieurs paramètres : débit, températures et puissance électrique.

Les courbes de charge des deux refroidisseurs (existant et nouveau) seront introduites dans un logiciel de simulation énergétique. Le logiciel déterminera la charge des refroidisseurs pour chaque heure de l'année (8760 h). Toutes les caractéristiques du bâtiment qui peuvent influencer la charge de refroidissement doivent être documentées.

Les logiciels disponibles sont nombreux : DOE 2, EnergyPlus, Trace 700, HAP, etc.

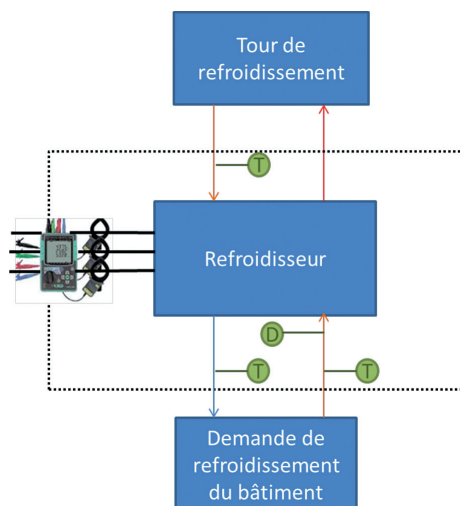
La méthodologie a été développée par des membres de l'ASHRAE et présentée dans un article : In-situ Performance Testing of Chillers for Energy Analysis – ASHRAE Transactions Vol. 103, Part 1.

L'approche choisie en utilisant l'Option A vient du fait que la mesure des paramètres dans leur ensemble (débit au condenseur et au refroidisseur, températures d'entrée et de sortie du condenseur et du refroidisseur puis la puissance électrique du refroidisseur et de la tour de refroidissement) représente un coup important en comparaison avec les économies d'énergie de la mesure de conservation de l'énergie.

L'estimation est faite à partir des approximations dues à la simulation énergétique pour trouver la charge du refroidisseur en fonction des caractéristiques du bâtiment. L'utilisation de la même méthodologie pour déterminer l'efficacité des refroidisseurs et des mêmes paramètres extérieurs au périmètre de mesurage (caractéristiques du bâtiment, données météorologiques, etc.) réduit les incertitudes liées aux estimations.

#### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage est le refroidisseur.



### 4.3.3 Situation de référence ; période, énergie et conditions

#### Identification de la période de référence

Les mesures seront prises pendant huit heures avant le remplacement et huit heures après le changement du refroidisseur. Les données nécessaires à la comparaison de l'équipement existant et du nouveau pourront être mesurées durant la période de référence, en offrant une gamme de charges suffisante.

#### Données de charge et de consommation de la période de référence

Les données pour la période de référence proviennent des mesures des paramètres suivants sur le refroidisseur existant :

- la puissance électrique du moteur du compresseur
- le débit d'eau à l'évaporateur
- les températures d'alimentation et de retour de l'eau (évaporateur)
- la température de retour dans le condenseur.

Au moins dix points doivent être mesurés pour assurer une extrapolation.

**Tableau 23 : Exemple de mesures pour un refroidisseur**

Charge %	Puissance du moteur kW	Evaporateur			Condenseur
		Débit d'eau kg/s	Température entrée d'eau °C	Température sortie d'eau °C	Température entrée d'eau °C
40	71	25,2	13,4	10,2	27,0
40	60	25,2	15,6	13,5	26,0
40	68	25,2	19,1	15,9	24,8
40	69	25,2	15,8	13,3	30,6
60	122	25,2	13,2	6,6	28,0
60	96	25,2	18,9	13,3	26,1
60	118	25,2	16,0	9,9	30,2
60	117	25,2	16,5	10,7	30,1
75	155	25,2	15,6	7,9	30,6
75	170	25,2	16,0	8,4	31,0
80	161	25,2	16,4	8,8	30,7
80	130	25,2	13,9	7,0	27,8
80	160	25,2	13,3	5,7	28,1
80	112	25,2	18,4	11,9	26,8
80	153	25,2	16,3	8,1	29,4
100	210	25,2	13,7	5,4	28,0
100	125	25,2	18,0	10,9	27,3
100	170	25,2	16,8	8,4	28,7
100	160	25,2	16,7	8,7	28,1

La puissance de l'évaporateur est calculée suivant la formule suivante :

$$Q_{\text{evap}} = (T_{\text{ee}} - T_{\text{se}}) \times \dot{m}_e \times c_{pe}$$

$Q_{\text{evap}}$  : puissance de l'évaporateur en kW

$T_{\text{ee}}$  : température de l'eau à l'entrée de l'évaporateur en °C

$T_{\text{se}}$  : température de l'eau à la sortie de l'évaporateur en °C

$\dot{m}$  : débit d'eau refroidie en kg/s

$c_{pe}$  : chaleur spécifique de l'eau en kJ/kg.°C.  $c_{pe} = 4,18 \text{ kJ/kg.°C}$

Le coefficient de performance COP est calculé pour chacun des points mesurés en utilisant la formule suivante :

$$\text{COP} = Q_{\text{evap}} / P_{\text{moteur}}$$

### Ajustements requis aux données de la période de référence

Dans le cas présent, comme la période de référence est très limitée dans le temps, aucun ajustement aux données de la base de référence n'est requis.

### Variables indépendantes

Les variables indépendantes incluent les facteurs qui peuvent affecter la consommation d'énergie du site et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques de la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, aucune variable indépendante n'est à prendre en compte, car les mesures de la période de suivi et de la période de référence seront utilisées dans un logiciel de simulation pour donner des économies normalisées.

### Facteurs statiques de la période de référence

Les facteurs statiques incluent des équipements et modes d'opération qui sont réputés fixes lors de la préparation du plan de mesurage. Ainsi, advenant un changement dans ces données et paramètres, la simulation de la base de référence doit être reconduite en considération des changements et calibrée de nouveau. La liste ci-dessous présente certains des événements qui pourraient provoquer des changements aux facteurs statiques. Cette liste n'est pas limitative et toute autre modification faite au bâtiment ou à son opération, qui serait de nature à changer ses besoins en énergie, pourrait y être ajoutée.

Les facteurs statiques seront utilisés dans la simulation énergétique.

- Caractéristiques des systèmes mécaniques CVC : températures, horaires, puissances, rendements, etc. ;
- Eclairage : puissance et heure d'opération ;
- Températures de consigne ;
- L'application de nouvelles normes ou d'un nouveau règlement régissant les conditions de fabrication et les conditions ambiantes ;
- Enveloppe du bâtiment ;
- Changements quant à l'utilisation du bâtiment ;
- Transformation du bâtiment ;
- Heures de fonctionnement des systèmes de ventilation ;
- Quantité d'air extérieur utilisé ;
- Température de l'eau chaude et de l'eau refroidie.

#### 4.3.4 Période de suivi

La période de suivi est de trois ans. La période de mesurage est de huit heures.

#### 4.3.5 Inspections périodiques

Une inspection annuelle sera conduite pour vérifier le fonctionnement du refroidisseur.

#### 4.3.6 Base pour les ajustements

Approche retenue	Equation
Energie évitée normalisée	[Energie de la base de référence (±)
	Ajustements périodiques aux conditions fixes (±)
	A Ajustements non périodiques aux conditions fixes (-)
	[Energie de la période de suivi (±)
	Ajustements périodiques aux conditions fixes (±)
	A Ajustements non périodiques aux conditions fixes]

Approche retenue	Equation
Demande évitée normalisée	[Demande de la période de référence (±)
	Ajustements périodiques aux conditions fixes (±)
	A Ajustements non périodiques aux conditions fixes (-)
	[demande de la période de suivi (±)
	Ajustements périodiques aux conditions fixes (±)
	A Ajustements non périodiques aux conditions fixes]

#### 4.3.7 Procédure d'analyse

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
		X			X

##### Calcul du coefficient de performance

Le COP détermine l'efficacité du refroidisseur et il est différent selon la charge du refroidisseur et des températures de fonctionnement. La relation entre le coefficient de performance et la puissance du moteur est utilisée comme donnée d'entrée dans le logiciel de simulation.

Le modèle thermodynamique suivant utilisant une régression linéaire pour déterminer les points A0, A1 et A2 sert à déterminer le COP.

$$\frac{1}{COP} = -1 + \left( \frac{T_{cwRT}}{T_{chwST}} \right) + \frac{-A_0 + A_1 (T_{cwRT}) - A_2 (T_{cwRT}/T_{chwST})}{Q_{evap}}$$

Où :

COP : coefficient de performance du refroidisseur

$T_{chwST}$  : température de l'eau refroidie d'alimentation (sortie de l'évaporateur) en °K

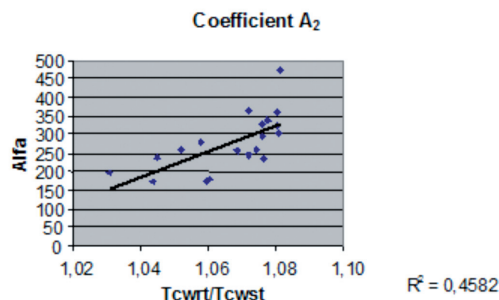
$T_{cwRT}$  : température de l'eau de retour au condenseur en °K

$Q_{evap}$  : puissance de l'évaporateur en W

Pour déterminer le coefficient A2, chaque point d'opération du refroidisseur est inséré dans un graphique ayant comme abscisse le ratio entre la température de retour au refroidisseur (entrée du condenseur) et la température de sortie de l'évaporateur (température d'alimentation) :  $T_{cwRT}/T_{chwST}$  et comme ordonnée le coefficient Alfa calculé par la formule suivante :

$$Alfa = [(1/COP) + 1 - (T_{cwRT}/T_{chwST})] \times Q_{evap}$$

Le coefficient  $A_2$  est la pente de la régression linéaire des points d'opération, dans ce cas



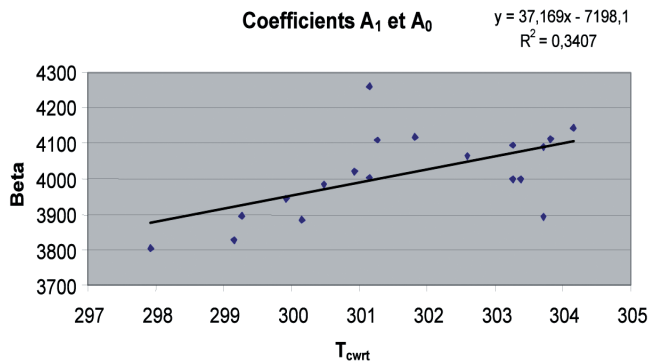
Pour déterminer les coefficients  $A_0$  et  $A_1$ , chaque point d'opération du refroidisseur est mis dans un graphique avec comme abscisse la température de retour de l'eau refroidie  $T_{cwRT}$  et comme ordonnée une valeur appelée Beta.

Cette valeur est calculée suivant la formule ci-dessous :

$$\text{Beta} = \text{Alfa} + A_2 \times (T_{cwRT} / T_{chwST})$$

Le facteur  $A_1$  est la pente de la régression linéaire des points d'opération. Ici,  $A_1 = 37,17$

Le facteur  $A_2$  est l'intersection de la régression avec l'axe des abscisses. Ici,  $A_0 = -7198$



L'équation permet de calculer le COP pour toutes les charges du refroidisseur et sert de donnée d'entrée au logiciel de simulation.

Deux simulations sont modélisées dans le logiciel. La première inclut les données de l'ancien refroidisseur et la seconde utilise les données du refroidisseur de remplacement. La différence obtenue représente les économies de demande d'électricité et aussi de consommation.

#### 4.3.8 Caractéristiques des compteurs

Le mesurage des paramètres des refroidisseurs nécessite les compteurs portatifs suivants :

- Un compteur de puissance RMS pour mesurer la puissance du moteur du compresseur. Les mesures sont réalisées à partir du panneau électrique qui alimente le moteur du compresseur du refroidisseur. La précision voulue est de +/- 1 %. Le compteur est de type « à pinces ».
- Un débitmètre pour la mesure du débit à l'évaporateur. Afin de ne pas modifier la tuyauterie du système, un débitmètre non intrusif ultrasonique est recommandé. La précision de ce compteur est de +/- 1 %. Le compteur doit être installé à une distance de 20 x diamètre du conduit avant tout coude à 90° et 5 x diamètre du conduit après un élément pouvant modifier le flux.
- Trois thermocouples pour mesurer :
  - La température de sortie à l'évaporateur
  - La température d'entrée à l'évaporateur
  - La température d'entrée au condenseur

La température sera mesurée à l'extérieur du conduit. L'enregistreur pour chaque thermocouple sera installé le plus près possible du point de mesure afin de ne perdre aucune précision. Les thermocouples sont capables de détecter une variation de 0,1 °C.

Un concentrateur de données recueillera les mesures qui seront ensuite transférées sur un ordinateur après chaque journée de mesurage.

Les équipements de mesure doivent être calibrés selon la législation en vigueur en Tunisie. L'entreprise assurant la mesure devra fournir une copie du certificat de calibration de chaque équipement au responsable du rapport de conciliation.

## 4.4 AIR COMPRIMÉ

### 4.4.1 Mesure de conservation d'énergie (MCE)

Un constructeur automobile a prévu de mener un programme de réduction des fuites sur ses systèmes d'air comprimé qui alimente de nombreux outils. Des économies de 150 000 kWh/mois sont prévues.

La MCE consiste à identifier et colmater toutes les fuites d'air comprimé afin de réduire la charge électrique totale.

Le département de services et de maintenance a accepté de procéder à des examens approfondis de tous les outils et installations disponibles pour réparer les fuites.

Le département d'ingénierie désire développer une méthode qui calcule fréquemment les coûts évités afin d'encourager le département de services et de maintenance à poursuivre ses efforts et de leur démontrer les avantages d'un tel programme.

Les moyens financiers disponibles pour mettre au point un plan de M&V sont maigres. Les ingénieurs ont donc consenti qu'une erreur maximale de 5 % sur les économies avec un intervalle de confiance de 95 % est acceptable par rapport aux données reportées pour n'importe quel mois.

L'usine fonctionne selon deux quarts de travail par jour, soit 10 par semaine et 442 par année. La consommation d'air comprimé est considérée stable tout au long d'un quart de travail.

### 4.4.2 Option et périmètre de mesure

#### L'option employée pour déterminer les économies

Option B

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

#### Justification du choix de l'option et justification des hypothèses

Le système d'air comprimé sera isolé du reste de l'usine et aura son utilisation d'énergie isolée selon les spécifications de l'Option B de l'IPMVP.

Malgré que certaines données horaires montrent une légère variation de consommation entre le début et la fin d'un quart de travail, la consommation d'air comprimé a été estimée comme constante pour chaque quart de travail. L'erreur résultante est censée être petite et ne pas affecter les économies énergétiques. L'option B est requise.

Le choix de l'option A aurait été nécessaire dans le cas où le nombre d'heure associé à chacune des charges aurait dû être estimé.

#### Périmètre de mesurage

L'énergie électrique du système de compresseur sera directement mesurée dans le panneau électrique de la salle des compresseurs. Le système dessert six compresseurs, trois sécheurs à air refroidi et une panoplie d'items reliés aux compresseurs.

Cette limite ne prend pas en compte la réduction de la chaleur résiduelle retirée de la salle des serveurs par les ventilateurs d'extraction. Comme l'air provient de la salle des compresseurs, l'impact sur le chauffage et le refroidissement de l'usine est considéré négligeable. Il n'y a donc aucun effet interactif lié à la mesure.

### 4.4.3 Situation de référence

#### Identification de la période de référence

Durant la période de la période de référence, l'usine a assemblé des véhicules de modèle XYZ à un taux de 220 véhicules par quart de travail. Ce taux de production varie d'un seul véhicule par quart de travail et l'usine opère 2 quarts de travail par jour, 5 jours par semaine.

Aussi, lors de la période de référence, 6 compresseurs réciproques (2 de 75 hp et 4 de 150 hp) ayant une capacité de 6 000 m<sup>3</sup>/h étaient disponibles et en état de marche. La pression d'opération était maintenue constante à 700 kPa dans le réseau de 1 120 mètres de conduites de différents diamètres et alimentant 350 outils. Les compresseurs étaient séquencés afin que les plus gros soient utilisés en premier, dépendamment de la demande. La période de référence s'est située immédiatement avant d'entreprendre le programme de réduction des fuites d'air comprimé. Il a été démontré que 7 semaines de suivi sont nécessaires afin d'atteindre un niveau de précision adéquat, soit un niveau de précision de 5 % avec un niveau de confiance de 95 %. Le calcul du nombre de semaine de suivi nécessaires pour atteindre les niveaux de précision attendu est présenté dans la section procédure d'analyse.

En mode opération (en marche), le fonctionnement de l'usine requiert 4 272 kWh/quart de travail alors que la consommation est de 2 933 kWh/quart de travail lorsque l'usine est en mode arrêt. Voir la section procédure d'analyse.

### **Ajustements requis aux données de la période de référence**

L'étendue de la gamme de valeurs des niveaux à prendre en compte peut éventuellement être amenée à s'élargir dans le futur. Il faudra alors adapter la base de référence afin de prendre en compte les modifications.

### **Variables indépendantes**

Les variables indépendantes incluent les facteurs pouvant affecter la consommation d'énergie du site et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques de la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, aucune variable indépendante n'est utilisée dans l'établissement de la base de référence.

### **Facteurs statiques de la période de référence**

Les facteurs statiques incluent des équipements et modes d'opération qui sont réputés fixes lors de la préparation du plan de mesurage. Ainsi, advenant un changement dans ces données et paramètres, la simulation de la base de référence doit être reconduite en considération des changements et calibrée de nouveau. La liste ci-dessous présente certains des événements qui pourraient provoquer des changements aux facteurs statiques. Cette liste n'est pas limitative et toute autre modification faite au bâtiment ou à son opération, qui serait de nature à changer ses besoins en énergie, pourrait y être ajoutée.

Les facteurs statiques seront utilisés dans la simulation énergétique.

- Ajout d'un variateur de vitesse sur un compresseur
- Modification à la séquence opérationnelle
- Remplacement d'un compresseur
- Ajout ou retrait d'un équipement dans le panneau de contrôle de la salle des compresseurs
- Modification aux 350 utilisateurs d'air comprimé
- Diminution ou augmentation de la pression d'opération

#### **4.4.4 Période de suivi**

Les activités de gestion des fuites ont commencé immédiatement après la période de référence.

Le personnel de l'opération désigné lisait le compteur relié au panneau électrique du réseau d'air comprimé et inscrivait le relevé dans le journal de bord du compteur à la fin de chaque quart de travail. L'ingénierie de l'usine recueillait ces données et préparait des rapports à tous les intervalles où les critères statistiques étaient atteints.

Il est possible qu'à la suite de la MCE, la variance entre les données soit diminuée et que le nombre de données nécessaires à l'atteinte des critères statistiques soient plus faibles. La fréquence des rapports de suivi pourrait être inférieure à sept semaines. Cette possibilité a été évaluée lors du mesurage après l'implantation de la mesure.

#### **4.4.5 Base pour les ajustements**

Les économies résultant du programme de gestion des fuites d'air comprimé sont rapportées dans les conditions d'exploitation de la période de suivi, en utilisant la procédure décrite ci-dessous.

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Energie de la période de référence (4 272 kWh/quart ou 2 933 kWh/quart dépendamment du mode d'opération) ( ± ) ajustements non périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) énergie de la période de suivi
Demande évitée	Demande de la période de référence ( ± ) ajustements non périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) demande de la période de suivi

#### 4.4.6 Procédure d'analyse

La précision relative désirée dans les économies déclarées est de 5 % et l'estimation des économies dans un mois est de 150 000 kWh. Avec des lectures prises après chaque quart de travail, il y aura généralement 90 lectures tous les mois dont 45 lectures en mode exploitation et 45 lectures en mode arrêt.

En utilisant un tableau de distribution de Student (statistique t), il a été déterminé que pour 45 échantillons et un niveau de confiance de 95 %, la valeur t est de 1,96. Ensuite, en utilisant l'Equation B-13 de l'IPMVP,

$$ET = \frac{0,05 \times 150\,000}{1,96} = 3\,830 \text{ kWh/mois}$$

L'erreur maximale acceptée a alors été établie à 3 830 kWh/mois

La formule de calcul des économies normalisées présentée à la section 4.4.5 représente la différence entre les données ajustées de la base de référence et les données réelles d'énergie mesurée après chacun des quarts. Les deux quantités devraient avoir les mêmes erreurs standards puisqu'elles sont régies par les mêmes phénomènes d'opération. L'erreur standard maximale acceptée pour les termes dans le calcul d'économie est alors de 2 710 kWh par mois

$$ET_{max} = \sqrt{SE_{max}^2 + SE_{max}^2} = \sqrt{2} \times SE_{max} = 2\,710 \text{ kWh/mois}$$

Ainsi, avec 90 lectures par mois, il a été établi que l'erreur de lecture ne peut en aucun cas excéder 30 kWh/lecture (2 710/90). Afin de satisfaire un niveau de précision de 5 % et un niveau de confiance de 90 %, la déviation standard cumulée doit être inférieure à l'erreur de lecture acceptée multipliée par la racine carrée du nombre de lectures, comme exprimé à l'Equation B-4 dans l'IPMVP.

Un mesurage de sept semaines a été requis afin d'avoir un échantillon de données statistiquement valide. Les données mesurées ainsi que l'analyse de l'incertitude réelle sont présentées dans le tableau de la page suivante. L'ingénierie de l'usine présentera, sous forme de rapport, les économies monétaires comptabilisées pour chacun des modes d'exploitation en multipliant les économies énergétiques par le prix de l'énergie relatif à chacun des quarts de travail selon l'approche retenue pour la base d'ajustement.

#### Ajustements non périodiques :

Tout ajustement nécessaire en raison de changements dans la conception ou dans les modes d'exploitation du système d'air comprimé. L'ingénierie de l'usine calculera les ajustements en fonction de tous les changements apportés au système d'air comprimé ou qui pourraient en affecter la consommation.

	Numéro de la semaine		semaine 1	semaine 2	semaine 3	semaine 4	Cumulatif semaine 4		semaine 5	Cumulatif semaine 5		semaine 6	Cumulatif semaine 6		semaine 7	Cumulatif semaine 7	
	Quart de travail	Mode d'opération	Cons	Cons	Cons	Cons	Moyenne	Écart-type	Cons	Moyenne	Écart-type	Cons	Moyenne	Écart-type	Cons	Moyenne	Écart-type
Lundi	jour	Fermé	2 880	2 880	3 120	3 360	3 060	199	2 880	3 024	192	2 640	2 960	226	3 120	2 983	217
Lundi	soir	Ouvert	4 560	4 080	4 080	4 560	4 320	240	3 840	4 224	288	4 320	4 240	265	4 320	4 251	247
Lundi	nuit	Ouvert	4 080	3 840	4 320	4 800	4 260	355	4 560	4 320	339	4 080	4 280	322	4 320	4 286	299
Mardi	jour	Fermé	3 120	2 640	3 120	2 880	2 940	199	3 120	2 976	192	2 880	2 960	179	3 120	2 983	175
Mardi	soir	Ouvert	4 320	3 840	4 560	4 320	4 260	262	4 320	4 272	235	4 320	4 280	215	3 840	4 217	252
Mardi	nuit	Ouvert	4 320	4 080	3 840	4 560	4 200	268	4 320	4 224	245	4 560	4 280	256	4 080	4 251	247
Mercredi	jour	Fermé	2 640	2 880	2 640	3 360	2 880	294	2 640	2 832	280	2 640	2 800	265	3 120	2 846	270
Mercredi	soir	Ouvert	4 080	4 560	4 320	4 320	4 320	170	4 080	4 272	180	4 080	4 240	179	4 320	4 251	168
Mercredi	nuit	Ouvert	4 080	4 320	4 080	4 320	4 200	120	4 560	4 272	180	4 320	4 280	165	4 560	4 320	181
Jeudi	jour	Fermé	2 640	2 880	3 360	3 360	3 060	312	2 880	3 024	288	2 880	3 000	268	2 880	2 983	252
Jeudi	soir	Ouvert	4 560	4 320	4 320	4 560	4 440	120	4 080	4 368	180	4 560	4 400	179	4 320	4 389	168
Jeudi	nuit	Ouvert	4 080	4 080	4 320	4 560	4 260	199	4 560	4 320	215	4 320	4 320	196	4 080	4 286	200
Vendredi	jour	Fermé	2 400	2 640	3 600	2 880	2 880	449	2 640	2 832	413	3 120	2 880	392	2 880	2 880	363
Vendredi	soir	Ouvert	4 080	4 080	4 080	4 560	4 200	208	4 080	4 176	192	4 320	4 200	183	4 320	4 217	175
Vendredi	nuit	Ouvert	4 080	4 320	4 320	3 840	4 140	199	4 560	4 224	245	4 320	4 240	226	4 320	4 251	211
Samedi	jour	Fermé	2 880	2 640	3 120	3 360	3 000	268	2 880	2 976	245	2 880	2 960	226	3 120	2 983	217
Samedi	soir	Fermé	3 120	2 880	2 880	3 360	3 060	199	2 880	3 024	192	2 880	3 000	183	2 880	2 983	175
Samedi	nuit	Fermé	3 120	2 880	3 600	2 880	3 120	294	3 120	3 120	263	3 120	3 120	240	2 880	3 086	238
Dimanche	jour	Fermé	2 640	3 120	2 400	2 400	2 640	294	2 880	2 688	280	2 880	2 720	265	3 120	2 777	283
Dimanche	soir	Fermé	2 880	3 120	2 880	2 400	2 820	262	2 880	2 832	235	2 880	2 840	215	2 880	2 846	200
Dimanche	nuit	Fermé	2 880	3 120	2 880	2 400	2 820	262	3 120	2 880	263	3 120	2 920	256	2 880	2 914	238
					fermé		2 935	315		2 928	291		2 924	274		2 933	258
					n			44			55			66			77
					S <sup>2</sup>			7			7			8			9
					Critère			199			222			244			263
					Excès par rapport au critère			116			68			30			-5
					Ouvert		4 260	238		4 267	241		4 276	230		4 272	224
					n			40			50			60			70
					S <sup>2</sup>			6			7			8			8
					Critère			190			212			232			251
					Excès par rapport au critère			49			29			-3			-27

Prendre note des points suivants :

- Des variations mineures dans l'opération suffisent à créer un impact sur la consommation d'air comprimé, les relevés ont été pris à la fin de chaque quart de travail et les variations entre les équipes de travail ont été prises en compte.
- L'erreur de lecture du compteur est incluse dans le relevé des données et dans les calculs d'écart-type.
- La distribution des relevés sur les valeurs moyennes est dite «normale».
- Dans la mesure où une lecture était oubliée, il a été considéré que l'estimation de l'ingénieur responsable n'introduit pas d'erreur importante puisque les lectures ultérieures limitent l'erreur possible.

#### 4.4.7 Spécification du compteur

Un ampèremètre digital triphasé a été installé par un électricien de l'usine sur le panneau électrique de la salle des compresseurs. Le compteur a une précision nominale de  $\pm 0,25$  %.

Les données sont relevées par le personnel d'exploitation à la fin de chaque quart de travail puis entrées dans le journal de bord annexé à l'ampèremètre. Chaque entrée est autographiée par le lecteur.

Si un relevé est manqué pendant la période de suivi, l'ingénierie de l'usine fera l'interpolation de la donnée manquante à partir des données précédentes et suivantes pour l'estimer. Le rapport d'économie notera clairement combien de données ont été estimées lors du calcul d'économie.

### 4.5 ENTRAINEMENT À FRÉQUENCE VARIABLE

#### 4.5.1 Mesure de conservation d'énergie (MCE)

La mesure consiste à remplacer une valve d'étranglement par un régulateur de vitesse sur le moteur d'une pompe. La pompe entraîne la peinture d'un bain d'électrodéposition vers un réservoir de stockage.

#### 4.5.2 Option et périmètre de mesure

##### L'option employée pour déterminer les économies

Option B

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

##### Justification du choix de l'option

L'utilisation de l'Option B de l'IPMVP a été choisie puisque l'installation fonctionne avec une variation continue du débit telle qu'il est impossible d'anticiper le comportement sur une année. Il est nécessaire de mesurer le niveau et la puissance en continu sur l'installation, ce qui ne laisse aucune place à l'estimation. La puissance électrique est mesurée à l'aide d'un ampèremètre installé sur l'alimentation électrique du moteur, indiquant la puissance à chaque minute. Un indicateur de niveau indique, selon les mêmes lapses de temps, le niveau dans le bain d'électrodéposition.

Durant la période de référence, le compteur est en place pendant une semaine pour la mesure de la charge continue. Le compteur est en place durant toute la période de suivi pour mesurer les variations de l'utilisation de puissance.

##### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage est la pompe.

#### 4.5.3 Identification de la période de référence

Le mesurage est fait en continu sur une période d'une semaine.

#### 4.5.4 Ajustements requis aux données de la période de référence

L'étendue de la gamme de valeurs de niveau à prendre en compte peut éventuellement être amenée à s'élargir. Il faudra alors adapter la base de référence afin de prendre en compte les modifications.

### Variables indépendantes

Les variables indépendantes incluent les facteurs qui peuvent affecter la consommation d'énergie du site et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques de la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, le niveau du bain d'électrodéposition de l'installation est la variable indépendante qui impacte la consommation d'énergie.

### Facteurs statiques de la période de référence

Les facteurs statiques incluent des équipements et modes d'opération qui sont réputés fixes lors de la préparation du plan de mesurage. Ainsi, advenant un changement dans ces données et paramètres, la simulation de la base de référence doit être reconduite en considération des changements et calibrée de nouveau. La liste ci-dessous présente certains des événements qui pourraient provoquer des changements aux facteurs statiques. Cette liste n'est pas limitative et toute autre modification faite au bâtiment ou à son opération, qui serait de nature à changer ses besoins en énergie, pourrait y être ajoutée.

- Température de la peinture
- Viscosité de la peinture
- Vitesse du son dans la peinture

Les facteurs statiques seront utilisés dans la simulation énergétique.

### 4.5.5 Période de suivi

La période de suivi est de quatre semaines après la mise en place de la mesure.

### 4.5.6 Base pour les ajustements

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Energie de la période de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) énergie de la période de suivi

### 4.5.7 Procédure d'analyse

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
X					X

Ajustements périodiques : le niveau varie de façon continue, or le nombre de mesures effectuées en période de référence est limité. Une relation qui relie le niveau à la puissance consommée par la pompe durant la période de référence a été élaborée.

Le Tableau 24 présente un échantillon des données recueillies lors du mesurage.

**Tableau 24 : Exemple de mesures pour un entraînement à vitesse variable**

Intervalle	Puissance (kW)	Niveau du réservoir	Intervalle	Puissance (kW)	Niveau du réservoir
1	15	1,379	23	33	1,743
2	15	1,317	24	34	1,807
3	15	1,243	25	35	1,704
4	15	1,161	26	37	1,577
5	16	1,065	27	38	1,448
6	16	0,965	28	39	1,314
7	17	0,858	29	40	1,189
8	18	0,746	30	42	1,063
9	19	0,635	31	44	0,937
10	19	0,515	32	45	0,858
11	20	0,56	33	46	0,836
12	21	0,611	34	49	0,811
13	22	0,662	35	51	0,779
14	23	0,712	36	52	0,723
15	24	0,814	37	53	0,66
16	25	0,965	38	55	0,587
17	25	1,118	39	58	0,496
18	26	1,245	40	62	0,567
19	27	1,368	41	65	0,645
20	29	1,482	42	68	0,708
21	30	1,579	43	70	0,767
22	31	1,665	44	73	0,827

La puissance de pompage est programmée selon le niveau et est régie par la formule suivante :

$$P = 12,186e^{0,0244I}$$

Où :

P : puissance de la pompe en kilowatt

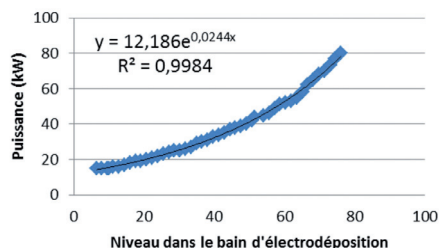
I : niveau du bain d'électrodéposition en litre

Le modèle mathématique des données de la période de référence reflète les données réelles relevées selon les critères de l'IPMVP.

$$R^2 = 0,9977 > 0,75$$

$$CV_{(RMSE)} = 0,02 < 0,05$$

Ajustement non périodique : la peinture utilisée peut être changée, cela demande un ajustement de la base de référence, car celle-ci est établie à partir d'un type de peinture particulier.



## 4.5.8 Spécification du compteur

### Puissance du moteur de la pompe

Un ampèremètre digital triphasé a été installé par un électricien de l'usine sur la sortie électrique du moteur de la pompe, directement dans le panneau électrique de cette dernière. Le compteur a une précision nominale de  $\pm 0,25$  %. Les données sont acquises par RTU et transférées au serveur central de l'usine par modem cellulaire. Les données sont enregistrées par le compteur toutes les minutes, mais seule une moyenne aux 15 minutes est enregistrée par le RTU et transmise au serveur.

### Niveau du bain d'électrodéposition

Le niveau du bain est mesuré par pression hydrostatique. Un manomètre mesure la pression statique de la peinture en bas du bain d'électrodéposition. Elle peut varier entre 0 et 20 kPa avec une incertitude de 1 %. Il pèse la peinture contenue dans le bain d'électrodéposition. La pression mesurée est de nature statique effective afin de ne pas tenir compte des variations de la pression atmosphérique s'exerçant au-dessus de la peinture dans le bain. Les différentes valeurs de pression sont converties en un courant 4-20 mA par un transmetteur puis sont transmises au serveur. Les données de pression sont converties en données de niveau (en litre de peinture) en divisant ces dernières par la densité du liquide (1,6 kg/l) ainsi que par la force du champ gravitationnel (9,81 m/s<sup>2</sup>).

## 4.6 AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ D'UN MOTEUR

### 4.6.1 Mesure de conservation d'énergie (MCE)

La MCE consiste au remplacement de cinq moteurs d'une usine. Ces moteurs ont une efficacité standard et seront remplacés par des moteurs à haute efficacité.

Les moteurs concernés alimentent des pompes à pressions et à débits constants. Les puissances nominales oscillent entre 15 et 25 kW.

### 4.6.2 Option et périmètre de mesure

#### L'option employée pour déterminer les économies

Option A

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

#### Justification du choix de l'option et justification des hypothèses.

Le choix de l'Option A est basé sur le calcul de la réduction de la charge du nouveau système utilisant un horaire d'opération spécifique. Ce choix a été déterminé par le coût de mesurage lié au nombre de moteurs et le fait que la charge des moteurs est constante.

L'estimation des horaires d'opération doit être accordé entre le client et l'entreprise en charge du plan de M&V et du rapport de conciliation.

#### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage englobe chaque moteur individuellement.

### 4.6.3 Situation de référence ; période, énergie et conditions

#### Identification de la période de référence

Le mesurage de la puissance des moteurs durera une minute pour chaque équipement. La mesure sera réalisée à charge constante. Le mesurage est dit « instantané ».

## Données d'appel de puissance et de consommation d'énergie de la situation de référence

**Tableau 25 : Mesures de la puissance des moteurs existants**

N°	Identification du moteur	Puissance mesurée (avant modification) (kW)	Puissance nominale (kW)
1	Transporteur 101	22,1	25
2	Souffleur A	24,3	25
3	Compresseur	20,2	25
4	Ventilateur 305	19,5	25
5	Moteur	22,6	25
6	Ventilateur 1A	12,5	15
7	Ventilateur 2A	10,2	15
8	Souffleur C	9,8	15
9	Transporteur 202	14,3	15
10	Transporteur 203	14,8	15

### Données des variables indépendantes

La charge n'étant pas modifiée entre la période de référence et la période de suivi, aucune variable indépendante n'est considérée.

### Facteurs statiques correspondant aux données de consommation d'énergie

Horaires d'utilisation

#### 4.6.4 Période de suivi

La période de suivi est d'une minute pour chaque moteur.

#### 4.6.5 Base pour les ajustements

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Energie de la période de référence ( - ) énergie de la période de suivi
Demande évitée	Demande de la période de référence ( - ) demande de la période de suivi

Dans l'équation ci-dessus, le calcul des termes «Energie de la période de référence» et le terme «ajustement périodique» sera réalisé simultanément par le biais du modèle mathématique de la période de référence

#### 4.6.6 Procédure d'analyse

La réduction de la demande est calculée en soustrayant la puissance mesurée avant modification et celle après la modification. Cette formule est appliquée à chaque moteur.

$$kW_{(réduction)} = kW_{(avant)} - kW_{(après)}$$

Les économies d'énergie sont calculées en multipliant les puissances mesurées par les horaires d'opération estimés, puis en soustrayant la consommation avant modification et celle après la modification. Cette formule est appliquée à chaque moteur.

$$kWh \text{ jour}_{(réduction)} = kW_{(réduction)} \times \text{Heures jour}_{(estimées)}$$

$$kWh \text{ pointe}_{(réduction)} = kW_{(réduction)} \times \text{Heures pointe}_{(estimées)}$$

$$kWh \text{ soir}_{(réduction)} = kW_{(réduction)} \times \text{Heures soir}_{(estimées)}$$

$$kWh \text{ nuit}_{(réduction)} = kW_{(réduction)} \times \text{Heures nuit}_{(estimées)}$$

Les horaires mensuels sont définis en fonction de la tarification du fournisseur d'électricité.

**Tableau 26 : Horaires mensuels d'opération des moteurs**

Tarifcation	Nombre d'heures d'opération mensuel
Jour	200 h/mois
Pointe	75 h/mois
Soir	25 h/mois
Nuit	200 h/mois

#### 4.6.7 Caractéristique des compteurs

Un compteur de puissance RMS portable sera utilisé pour mesurer la puissance des moteurs. Aucun système de transmission ou de sauvegarde des données n'est nécessaire. Les mesures seront lues sur le compteur.

Un transformateur de courant à pince de 2 cm, calibré par un organisme reconnu, sera utilisé. Les puissances des moteurs étant faibles, la précision du transformateur est de  $\pm 1\%$ .

### 4.7 ECHANGEUR DE CHALEUR

#### 4.7.1 Mesure de conservation d'énergie (MCE)

Un système de séchage à l'air est chauffé à partir de brûleurs de veine au gaz naturel. Il existe trois sections alimentées avec des débits d'air différents. Comme l'entrée d'air est prise à l'extérieur, la charge de chauffage varie selon la température extérieure.

Dans la même usine, un procédé est refroidi à l'huile thermique et la chaleur est évacuée à l'extérieur par des aérorefroidisseurs.

La MCE consiste à ajouter un échangeur de chaleur huile thermique/eau pour récupérer de la chaleur actuellement perdue. Un réseau de distribution et des batteries à eau chaude (90°C/70°C) seront installés pour préchauffer l'air du système de séchage. Les brûleurs de veine au gaz naturel existants complèteront le chauffage lorsque requis.

L'échangeur a été dimensionné sur 560 kW alors que la puissance récupérable varie entre 600 et 900 kW. La mesure permettra une substitution partielle ou totale du gaz naturel utilisé pour le chauffage de l'air de séchage.

#### 4.7.2 Option et périmètre de mesure

##### L'option employée pour déterminer les économies

Option B

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

##### Justification du choix de l'option

Une isolation de la mesure est requise vu la taille importante de l'usine et des nombreux équipements utilisant le gaz naturel (option C impossible).

Une subvention gouvernementale sera accordée si la MCE génère les économies prévues. Dans le cadre du programme, il est exigé de démontrer l'efficacité de deux façons :

1. Une méthode d'ingénierie calibrée aux consommations réelles
2. Une mesure directe de l'énergie provenant de l'échangeur

Finalement, comme un sous-compteur de gaz est existant, il peut être utilisé sur les conduites de gaz alimentant les brûleurs de veine ce qui rend l'utilisation de l'option B intéressante au niveau des coûts.

##### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage inclut :

- le séchoir et ses trois brûleurs de veine
- l'échangeur de chaleur qui sera installé et l'ensemble des conduites et batteries d'eau chaude

Aucune interaction ou effet croisé au-delà du périmètre de mesurage n'est considérée.

### 4.7.3 Situation de référence ; période, énergie et conditions

#### Identification de la période de référence

Dernière saison de chauffage écoulée, avant la proposition d'action, soit du 1er octobre 2010 au 1er mai 2011.

#### Données d'appel de puissance et de consommation d'énergie de la situation de référence

Les données proviennent des relevés informatiques journaliers de la base de données de l'usine à laquelle est raccordé le sous-compteur de gaz naturel.

#### Données des variables indépendantes

Les variables indépendantes incluent les facteurs qui peuvent affecter la consommation d'énergie du site et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques de la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, voici les variables indépendantes :

- Les données de températures extérieures de la station météorologique la plus proche issues d'Internet.
- Les températures intérieures des locaux. Ils sont obtenues dans les relevés informatiques de l'usine. Les températures de l'air alimenté au séchoir obtenues dans les relevés informatiques de l'usine.

#### Facteurs statiques correspondant aux données de consommation d'énergie

La production du site, le volume d'air sur chacune des zones du séchoir et la quantité de chaleur disponible à l'échangeur sont les trois facteurs statiques principaux. Tout autre ajustement non périodique devra être apporté dans le cas où une modification modifierait les demandes en air ou l'efficacité de l'échangeur.

### 4.7.4 Période de suivi

La période de suivi est de quinze ans. Les dates suivantes sont vraies selon l'hypothèse que les travaux seront terminés pour le démarrage de la saison de chauffage 2012-2013.

Élément	Date de soumission	Délai de vérification et d'acceptation
Vérification Année 1	30 juin 2013	2 semaines
Vérification Année n	30 juin 20nn	2 semaines
Vérification Année 15	30 juin 2028	2 semaines

### 4.7.5 Base pour les ajustements

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Energie de la période de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) Energie de la période de suivi

Dans l'équation ci-haut, le calcul des termes « Energie de la période de référence » et le terme « ajustement périodiques » sera réalisé simultanément par le biais du modèle mathématique de la période de référence.

## 4.7.6 Procédure d'analyse

### Avant la mesure

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
	X				X
<p>Avant l'implantation de la mesure, un calcul d'ingénierie est fait pour déterminer la consommation de gaz naturel dans les différentes zones en fonction des températures extérieures et des températures de consigne des brûleurs de veine. La concordance du modèle est comparée aux consommations réelles mesurées par le sous-compteur de gaz naturel. Ainsi, les gestionnaires du programme peuvent valider les économies démontrées par comparaison des consommations.</p> <p>Après la mesure, le modèle d'ingénierie est utilisé pour calculer la base de référence ajustée en fonction des données climatiques de la période de suivi. Les économies sont calculées par comparaison des périodes de mesurage et valider avec la quantité de chaleur passant dans l'échangeur par triangulation des différentes méthodes.</p> <p>Le calcul d'ingénierie :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. L'énergie fournie par le procédé varie peu en fonction de la production et des conditions climatiques. Par conséquent, il n'y aura pas d'ajustement sur l'énergie récupérable.</li> <li>2. Le besoin d'eau chaude domestique est constant (1 200 kWh/jour). Par conséquent, il n'y aura pas d'ajustement sur la valorisation relative à l'usage de l'eau chaude domestique</li> <li>3. Un ajustement climatique est requis pour les jours où le besoin en chauffage est supérieur à l'énergie fournie par le procédé. La quantité de chaleur récupérée varie d'un hiver à l'autre selon leur rigueur. Les calculs sont basés sur le GV des différentes zones.</li> </ol> <p>Le coefficient GV représente la somme de la déperdition thermique par les parois et de la déperdition thermique par le renouvellement d'air.</p> <p>Les zones 1 et 2 sont chauffées à 18°C alors que la zone 3 est chauffée jusqu'à 14°C. la température extérieure de conception est de -12°C.</p> $GV = \frac{P_{\text{chauffage installée}}}{T_{\text{consigne}} - T_{\text{extérieure de base}}}$ <p>Voici les résultats sur la base de données historiques :</p> <p><math>GV_{\text{zone1}} = 51,35 \text{ W/}^\circ\text{C}</math></p> <p><math>GV_{\text{zone2}} = 14,03 \text{ W/}^\circ\text{C}</math></p> <p><math>GV_{\text{zone3}} = 362,20 \text{ W/}^\circ\text{C}</math></p> <p>Le modèle mathématique de la base de référence est alors défini ainsi :</p> $E(\text{kWh}) = 1200 \times (\text{nombre de jours}) + (GV_{\text{zone1}} \times DJC(18^\circ\text{C}) + GV_{\text{zone2}} \times DJC(18^\circ\text{C}) + GV_{\text{zone3}} \times DJC(14^\circ\text{C})) \times (\text{nombre d'heures}) / 1\ 000$ <p>Voici la validation du modèle d'ingénierie</p>					

Mois de la période de référence	Nombre de jours	DJD (18°C)	DJD (14°C)	Energie calculée par le modèle d'ingénierie	Energie mesurée au compteur (kwh)
2010-10-01	31	24	1	38 596	37 053
2010-11-01	30	57	6	40 824	38 678
2010-12-01	31	162	68	62 370	60 742
2011-01-01	31	180	71	64 287	62 550
2011-02-01	28	185	82	63 370	59 343
2011-03-01	31	138	48	56 513	54 687
2011-04-01	30	47	5	39 897	37 936
2011-05-01	31	13	0	37 597	36 319

Energie calculée par le modèle d'ingénierie (kwh)	Energie mesurée au compteur (kwh)	Erreur du modèle d'ingénierie (%)
38 596	37 053	4,10%
40 824	38 678	3,90%
62 370	60 742	4,20%
64 287	62 550	3,90%
63 370	59 343	3,80%
56 513	54 687	3,80%
39 897	37 936	4,00%
37 597	36 319	4,00%
...	...	...

Le modèle d'ingénierie surestime de 4 % les consommations réelles de gaz naturel. Un facteur de 0,96 doit être ajouté au modèle d'ingénierie de la base de référence pour qu'il reflète exactement les consommations de gaz

$$E_{kwh} = (1200 \times \text{nombre de jours} + GV_{zone1} \times DJC_{18^\circ C} + GV_{zone2} \times DJC_{18^\circ C} + GV_{zone3} \times DJC_{14^\circ C} \times (\text{nombre d'heures}) / 1000) \times 0,96$$

Seconde approche de validation des économies :

Les économies sont calculées par la méthode traditionnelle, mais doivent aussi être validées avec un calcul de l'efficacité de l'échangeur pour obtenir la subvention gouvernementale. Suite à l'implantation de la mesure, l'énergie échangée sera mesurée

$$E \text{ (kWh)} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \times t$$

Où :

E (kWh) = énergie économisée (kWh)

$\dot{m}$  = Débit massique d'eau ( $\frac{kg}{h}$ )

$c_p$  = pouvoir calorifique de l'eau ( $0,00116 \frac{kWh}{kg^\circ C}$ )

$\Delta T$  = Différence absolue de température la température de l'eau à l'entrée et à la sortie de l'échangeur

t = nombre d'heure d'opération aux conditions données

#### 4.7.7 Caractéristique des compteurs

Point de mesure	Périodicité	Instrument	Précision	Protocole de relevé (Personnes présentes)	Document de mise en service ou calibration instrument	Traitement des données erronées ou manquantes
Débit d'eau	continu	Compteur d'eau	Classe 0,5	Intégration par compteur d'énergie et rapatriement sur plateforme informatisée	Rapport périodique de révision	Utilisation des index de compteurs d'eau, pour reconstitution
Température d'eau entrée d'échangeur	continu	Sonde platine	2/10e (appariée)	Intégration par compteur d'énergie et rapatriement sur plateforme informatisée		
Température retour d'eau	continu	Sonde platine	2/10e (appariée)	Intégration par compteur d'énergie et rapatriement sur plateforme informatisée		
Consommation de gaz naturel	continu	Compteur du fournisseur de gaz		Données ramenées à la plateforme informatisée		Sans objet

Les données sont acquises par RTU et transférées au serveur central de l'usine par modem cellulaire. Les données sont enregistrées par le compteur toutes les minutes, mais seule une moyenne aux 15 minutes est enregistrée par le RTU et transmise au serveur. Les appareils de mesure doivent être calibrés tous les trois ans par un laboratoire agréé.

### 4.8 AJOUT D'UNE PRESSE À INJECTION

L'ajout de la nouvelle presse a eu lieu au cours de l'été 2011 et les résultats sont inclus dans le présent plan. Un plan similaire, sans les résultats, avait été élaboré avant l'installation de la nouvelle presse.

#### 4.8.1 Mesures de conservation d'énergie (MCE)

Le projet a pour but de comparer la consommation d'électricité d'une nouvelle presse à injection à haut rendement énergétique à l'ancienne presse en opération, dans une usine de fabrication de contenants de plastique (procédé par injection).

Les deux presses fabriquent deux types de bouteilles de formats différents. La photo suivante présente les deux formats de bouteilles, celle de gauche étant fabriquée par la nouvelle presse et celle de droite par l'ancienne presse. Le même plastique est utilisé à titre de produit d'injection pour les deux presses.

L'usine souhaite calculer le gain par kg de produit fini (leur indicateur interne d'efficacité) puis l'économie annuelle que la nouvelle presse va fournir.



Figure 25 : Echantillon de production

La nouvelle presse permet des économies dues à:

- Une cadence plus élevée de production ;
- Une meilleure efficacité du moteur, des systèmes hydrauliques et des mécanismes de compression des moules.

Comme l'énergie consommée par les deux presses doit être comparée, elles seront mesurées simultanément lors d'une seule campagne de mesurage afin d'éliminer les variables indépendantes et statiques.

Les contenants sont destinés à l'usage pharmaceutique et cosmétique. L'usine est opérationnelle 5 jours par semaine et 24 heures par jour, soit l'équivalent de 6 240 heures par année. A noter qu'une partie de la journée du lundi est consacrée à la paramétrisation des équipements.

#### 4.8.2 Option et périmètre de mesure

##### L'option employée pour déterminer les économies

Option A

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

##### Justification du choix de l'option et justification de l'option

L'efficacité des presses est le paramètre principal à mesurer. Soit la consommation électrique des presses par rapport à la masse de plastique moulée.

Le taux d'utilisation des presses est directement relié aux commandes des clients. Les heures d'opération ne peuvent pas être considérées comme un paramètre définissant la performance des presses. Le choix de l'Option A est requis.

Aussi, l'option A a été choisie puisqu'il est impossible de mesurer l'ensemble des paramètres qui influencent la consommation tels que la température du plastique injecté, sa quantité puis le dégagement thermique de la presse par radiation et par convection.

##### Périmètre de mesurage

Dans le cas présent, il y a deux périmètres de mesurage, un lié à l'ancienne presse et l'autre à la nouvelle presse. Les équipements de mesurage se retrouvent dans les panneaux électriques.

La figure suivante présente le panneau électrique de l'ancienne presse sur laquelle les trois phases sont bien illustrées.

Les effets thermiques en dehors du périmètre de mesurage sont jugés négligeables. Les presses sont situées dans une zone exothermique sans besoin de chauffage et durant l'été, la zone est uniquement ventilée et non climatisée.



Figure 26 : Panneau électrique de l'ancienne presse

#### 4.8.3 Situation de référence ; période, énergie et conditions

##### Identification de la période de référence

L'acquisition a débuté le 15 juin 2011 à 11 h 30 et s'est terminée à 7 h le 20 juin 2011. Le 18 juin 2011, une approximation des données pour l'intervalle de 13 h 10 à 16 h 30 a été nécessaire puisqu'il y a eu coupure de l'alimentation du système de mesurage occasionnée par la mise hors tension fortuite du système par un opérateur de l'usine. Grâce à une alarme installée sur le système d'acquisition des données RTU, la situation a été rapidement rétablie et ces 13 intervalles ont été estimés à 2,3 kWh/intervalle. La période totale de ce mesurage a donc été d'une durée de 118 heures et 50 minutes incluant les estimations.

Appareil mesuré	Début	Fin	Durée (heures)
Ancienne presse	2011-06-15-08h10	2011-06-20-07h00	118,83

### Données de charge et de consommation de la période de référence

Les données de la situation de référence ont été prises dans le serveur de l'usine puisqu'elles sont directement transmises au RTU par modem cellulaire.

Durant cette période de mesurage, la presse a produit des bouteilles de masse brute de 0,0168 kg/bouteille. Elle produit 1 bouteille par cycle et comporte 7 322 cycles/jour pour une production totale de 7 322 bouteilles par jour. Le tableau suivant présente quelques informations pertinentes concernant la presse pendant la période de mesurage.

Début du mesurage		à 8 h 10 2011-06-15		
Fin du mesurage		à 7 h 2011-06-20		
Cycles/24 heures	Nombre de périodes de 24 heures	Bouteilles/cycle	Nombre de bouteilles produites	Taux de rejet de bouteilles
7 322	4,95	1	36 254	% 1,32

Le taux de rejet des bouteilles a été fourni par le client. Durant la période de mesurage, l'horaire de travail a été de 24 h/24 h durant environ 5 jours.

Le tableau suivant présente une synthèse du total de l'énergie consommée en kWh par la presse pour chacune des journées de la période de mesurage.

Date	(Energie (kWh
15/06/2011	144,4
16/06/2011	217,1
17/06/2011	211,9
18/06/2011	(mesuré) + 29,9 (estimé) 188,7
19/06/2011	214,3
20/06/2011	68,1
<b>Total</b>	<b>1 074,4</b>

Le tableau suivant présente le profil annuel de la presse

Volume annuel de production (bouteilles)	Temps de production (annuel (heures	Produits	Variabilités
1 200 000	6 240	Bouteilles de plastique	La quantité, la grosseur et le style de la bouteille

### Ajustements requis aux données de la période de référence

Il n'y a pas d'ajustement de la base de référence, puisque les économies sont calculées par rapport à l'énergie utilisée par kilogramme de plastique. Cette méthode évite l'ajout ou la suppression de facteur d'ajustement de la base de référence.

## Données des variables indépendantes

La base de référence est ajustée en fonction de la masse des bouteilles. Ainsi, la masse des bouteilles est la variable indépendante de la MCE.

Les effets croisés et la température du plastique ne sont pas considérés dans les calculs.

Facteurs statiques de la période de référence Sont inclus dans les facteurs statiques tout facteur qui affecteraient les bouteilles (matière première par exemple) ou les presses.

### 4.8.4 Période de suivi

La période de suivi a débuté le 16 juin 2011 à 5 h 00 et s'est terminée le 20 juin 2011 à 7 h, ce qui représente un période de 98 heures de mesurage.

Durant la période de mesurage, la nouvelle presse a produit des bouteilles de masse brute de 0,046 kg/bouteille. Cette presse a une production de 6 bouteilles par cycle et de 4 176 cycles/jour pour une production totale de 25 056 bouteilles/jour. Le tableau suivant présente quelques informations pertinentes concernant cette presse durant le mesurage

Début du mesurage		à 5 h 2011-06-16		
Fin du mesurage		à 7 h 2011-06-20		
Cycles/24 heures	Nombre de périodes de 24 heures	Bouteilles/cycle	Nombre de bouteilles produites	Taux de rejet de bouteilles
4 176	4,08	6	102 312	% 3,42

Le taux de rejet de bouteilles a été fourni par le client.

La presse a fonctionné durant 4 jours, à plein régime, à partir du 16 juin. Le tableau suivant présente le total de l'énergie consommée en kWh pour chacune des journées de la période de mesurage.

Date	(Energie (kWh
16/06/2011	447,2
17/06/2011	581,4
18/06/2011	614,7
19/06/2011	499,8
20/06/2011	145,1
<b>Total</b>	<b>2 288,2</b>

Le tableau suivant présente, quant à lui, le profil de production de cette presse.

Volume annuel de production (bouteilles)	Temps de production (annuel (heures	Produits	Variabilités
6 100 000	6 240	Bouteilles de plastique	La quantité, la grosseur et le style de la bouteille

### 4.8.5 Base pour les ajustements

Il n'y a pas d'ajustement de la base de référence, puisque les économies sont calculées par rapport à l'énergie utilisée par kilogramme de plastique. Cette méthode évite l'ajout ou la suppression de facteur d'ajustement de la base de référence.

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	$\begin{aligned} & \text{Energie de la période de référence} \\ & (\pm) \\ & \text{(ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi} \\ & (-) \\ & \text{énergie de la période de suivi} \end{aligned}$
Demande évitée	$\begin{aligned} & \text{Demande de la période de référence} \\ & (\pm) \\ & \text{(ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi} \\ & (-) \\ & \text{demande de la période de suivi} \end{aligned}$

#### 4.8.6 Procédure d'analyse

Pour déterminer les économies de production générées par la nouvelle presse, l'énergie spécifique (kWh/kg) doit d'abord être calculée pour les deux presses. Ceci s'avère essentiel étant donné que les deux presses n'ont pas la même capacité de production et ne fabriquent pas le même format de bouteille.

Pour y parvenir, l'énergie consommée durant toute la période de mesurage de chacune des presses est divisée par les masses brutes de plastique utilisées lors de la fabrication des bouteilles. Les masses brutes sont calculées à partir du nombre de bouteilles produites en y soustrayant les rejets (retailles de moulage) des bouteilles afin d'obtenir un comparatif énergétique pour les deux presses basé sur le produit net de fabrication de l'usine.

Les tableaux suivants présentent les résultats obtenus pour chacune des presses.

	Energie consommée pendant la période de mesurage (kWh)	Pois brut / bouteille (kg)	Nombre de bouteilles produites durant la période de mesurage brut	Nombre de bouteilles produites durant la période de mesurage net (moins les rejets)	Masses brute totale des bouteilles excluant les rejets ((kg	Energie spécifique (kWh/kg)
Ancienne presse	074,4 1	0,0168	254 36	775 35	601,03	1,788
Nouvelle presse	288,2 2	0,046	312 102	813 98	545,39 4	0,503

L'énergie économisée est alors obtenue en comparant les consommations spécifiques des deux presses selon l'approche retenue. La nouvelle presse engendre des économies de l'ordre de 1,285 kWh/kg. A noter que ces économies prennent en considération le taux de rejet de bouteille de chacune des presses et que les économies calculées sont les économies réelles de la nouvelle presse à injection.

Voici un tableau récapitulatif.

Équipement	(Energie/kilogramme (kWh/kg
Ancienne presse	1,788
Nouvelle presse	0,503
Economies	1,285
Ratio d'économie	% 72

Au besoin, il serait possible de traduire ces économies énergétiques en économies monétaires pour chaque kilogramme produit en fonction de la tarification électrique du client.

#### 4.8.7 Caractéristiques des compteurs

Un système de mesurage en temps réel sera utilisé pour les deux presses. Le système utilisera trois CT (Current Transformer), communément appelés beignes de courant, un PowerScout de marque Dent, une carte d'acquisition des signaux mesurés, ainsi qu'un RTU (Remote Terminal Unit). Ce dernier est un module d'acquisition de toutes les données mesurées qui seront ensuite disponibles via le serveur central de l'usine. Un modem cellulaire permettra de transmettre les données du RTU au serveur de façon autonome via le réseau cellulaire. Les équipements de mesurage se retrouveront dans les panneaux électriques des deux presses (nouvelle et ancienne).

Dans le cas présent, les paramètres mesurés seront la tension, l'ampérage, la puissance et l'énergie. Quant au facteur de puissance, il sera calculé.

Ce genre de système de mesurage fournit des données en temps réel. Cela permet de vérifier de manière continue s'il y a perte de données et réagir rapidement advenant qu'un problème technique de mesurage survienne. Ceci offre la possibilité de limiter les pertes de données.

La figure suivante présente le module de mesurage en temps réel avec panneau d'accès fermé et ouvert.



Figure 27 : Panneau de contrôle du système de mesurage

La précision du système de mesurage en temps réel est de  $\pm 1$  % pour les trois transformateurs de courant (CT) sur un mesurage à une décimale près. Une fois les valeurs numériques enregistrées, la précision demeure toujours la même puisqu'étant alors des valeurs numériques binaires. Les mesures seront prises sur une période continue de cinq jours afin d'avoir les résultats réels de la production pour un niveau de confiance élevé sur l'échantillonnage des valeurs recueillies.

Des variations de production justifient le mesurage sur une longue période des paramètres. La prise de données sera réalisée à raison d'une mesure aux 15 minutes pour une période totale d'environ cinq jours.

## 4.9 INSTALLATION D'UN ÉVAPORATEUR À RECOMPRESSION MÉCANIQUE DES VAPEURS

### 4.9.1 Mesures de conservation d'énergie (MCE)

Une usine qui produit de la pâte de tomate par un processus d'évaporation a proposé un projet de démonstration de technologie au programme de « Technologie Emergente » d'une grande compagnie d'électricité. Ce programme offre un appui financier pour les projets démontrant la faisabilité de technologie nouvelle et peu répandue dans l'industrie nationale.

Le but du projet était de démontrer les économies associées au remplacement d'un évaporateur traditionnel à trois effets par un évaporateur fonctionnant sur un principe de recompression mécanique des vapeurs (RMV).

L'évaporateur à multiples effets est une technologie utilisée depuis de nombreuses années pour réduire la quantité d'énergie requise pour un processus d'évaporation par rapport à une approche directe d'évaporation à pression atmosphérique. Dans ce type d'évaporateur, l'évaporation qui se produit dans un des stages possède une grande quantité de chaleur latente qui peut être récupérée en partie dans la tour d'évaporation (effet) suivante qui opère à plus basses pression et température. L'évaporateur triple effet existant opérait à 45 °C, 67 °C et 84 °C. Selon les constats de l'étude énergétique, ce système utilise 0,48 kWh pour chaque kWh d'énergie latente dans l'eau évaporée. Le système a donc un ratio d'efficacité de 2,08.

Figure 28 : Système existant à triple effet



Le schéma de fonctionnement du système est illustré ci-dessous;

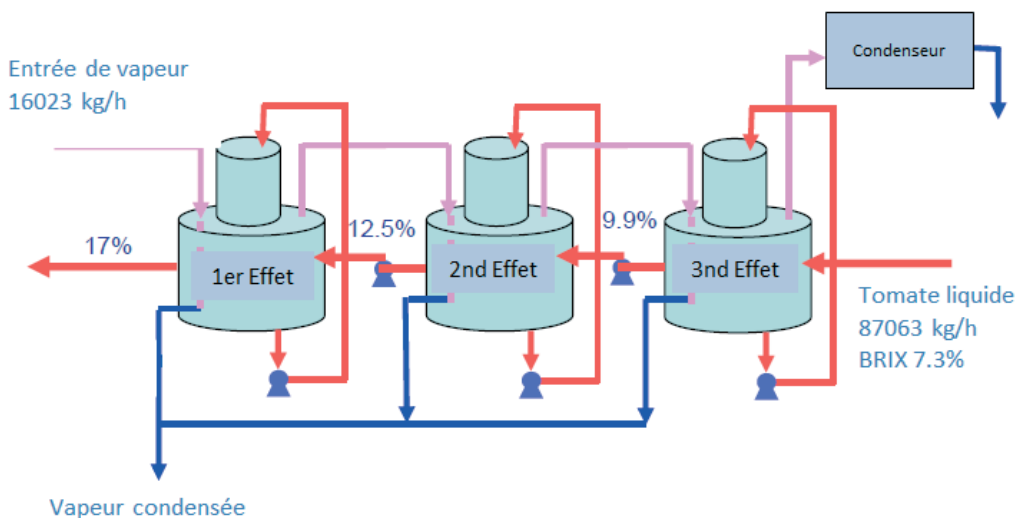


Figure 29 : Schéma de fonctionnement du système triple évaporateur

Le système de recompression mécanique de vapeur a trois stages d'évaporation fonctionnant chacun à environ 82 °C. En moyenne, ce système augmente la valeur BRIX de la pâte de 7,5 à 9,8. La valeur BRIX représente le contenu solide par unité de poids. Pour entraîner le compresseur du système RMV, l'énergie est actionnée par une turbine à vapeur.

L'étude énergétique réalisée a permis d'établir que chaque kWh d'énergie latente dans l'eau évaporée de la pâte de tomate demande théoriquement une injection de vapeur contenant 0,012 kWh d'énergie à l'entrée de la turbine. Ce système a un ratio d'efficacité de 23 fois l'énergie injectée. Par rapport à un système à triple effet, il a un gain de 11 %, en termes d'efficacité, et donc utilise beaucoup moins d'énergie.



Figure 30 : Système à recompression mécanique des vapeurs

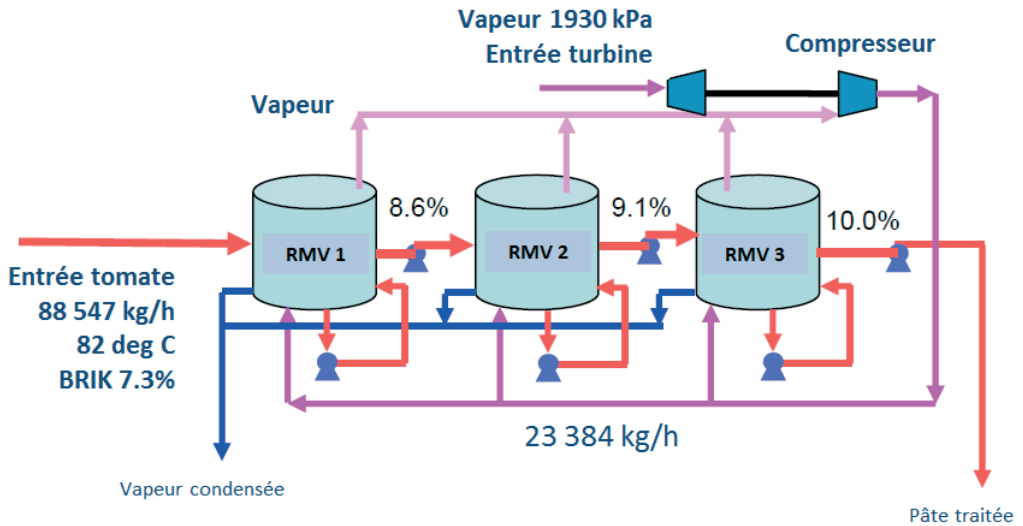


Figure 31 : Schéma du système de recompression mécanique des vapeurs

L'étude a établi que les économies attendues par cette mesure seront de 1 000 MWh par année représentant TND 72 000.

La procédure de mise en service de la mesure a été fournie par le manufacturier du système de recompression mécanique puis un des employés de cette firme a fourni de la formation et un appui à toutes les étapes du démarrage du système.

Aucun changement n'est prévu à la situation de référence et il ne sera donc pas nécessaire de procéder à des ajustements de la campagne de mesurage avant l'implantation de la mesure pour préparer le modèle mathématique de la période de référence.

#### 4.9.2 Option et périmètre de mesure

##### L'option employée pour déterminer les économies

Option B

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

##### Justification du choix de l'option

L'Option B a été retenue, car dans ce cas précis, l'intérêt est de déterminer les économies en fonction des charges réelles de production de l'usine de pâte de tomate.

Si le but était exclusivement de démontrer l'efficacité accrue du système RMV, l'Option A aurait pu être envisagée pour mesurer la consommation d'énergie en vapeur à différents niveaux de production et utiliser un profil typique estimé de chargement annuel pour déterminer les économies annuelles.

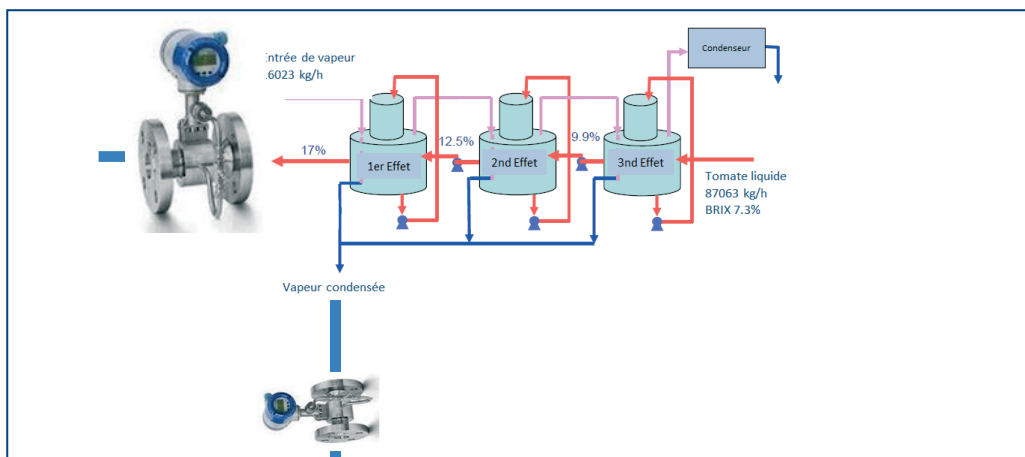
L'approche B retenue demande donc de mesurer la quantité d'énergie alimentée au système d'évaporateur à trois stades ainsi que pour le système de recompression mécanique des vapeurs.

##### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage est le système à triple effet pour la base de référence et le système RMV pour la période de suivi. La Figure 32 illustre le périmètre du système triple effet. Un périmètre similaire est utilisé pour le système à RMV.

Le mesurage de la vapeur à l'entrée du système n'était pas possible, car la saison de production battait son plein lors de l'application du plan de mesurage pour la base de référence. Il était donc impossible d'arrêter la production pour installer un compteur. L'utilisation d'un compteur de vapeur non intrusif a été considérée, mais ce type de technologie peut être difficile à installer et entraîne des contraintes sur la production qui ont été jugées inacceptables. Ces types de compteurs sont également difficiles à calibrer dans un environnement de production. Une autre solution a donc été recherchée pour éviter les incertitudes sur la qualité des mesures.

L'examen du système existant a révélé qu'il existait des compteurs de vapeur condensée quittant le système. La quantité de pâte séchée produite est également mesurée avec précision ainsi que ses valeurs BRIX à l'entrée et à la sortie de chaque stage d'évaporation. Il est à noter que la mesure de poids et de valeur BRIX du produit final a été faite après l'étape de concentration suivante (non inclus dans le périmètre du projet) qui a emmené le produit final à une valeur BRIX autour de 37. Ceci n'a pas d'incidence sur les calculs, car la valeur finale en poids produit n'est utilisée que pour calculer les quantités d'eau évaporée entre les valeurs BRIX initiale et finale du procédé à triple effet ou RMV. Il a donc été décidé d'utiliser ces compteurs calibrés régulièrement pour constituer un bilan massique du système qui a permis de déterminer les quantités d'eau condensée provenant de l'évaporation de la pâte de tomate et celles provenant de la vapeur injectée au système.



**Figure 32 : Périmètre de mesure pour le système triple effet**

Compte tenu de la nature de cette mesure, le seul effet interactif au-delà de la limite de mesurage serait les impacts des pertes d'énergie sur le chauffage ou la climatisation de l'usine. Dans le cas présent, le système est installé à l'extérieur vu la grande dimension des équipements et donc aucun effet interactif n'est à prévoir au-delà de la limite de mesurage.

### 4.9.3 Situation de référence ; période, énergie et conditions

#### Identification de la période de référence

Dans le cas présent, la période de mesurage doit être suffisante pour représenter un cycle complet d'opération des systèmes d'évaporation. En général, l'usine produit sur une courte saison de production (quelques mois) et fonctionne à capacité maximale durant cette période. Il n'y a que peu de variations dans les niveaux de production rencontrés. Pour cette raison, la période de référence a été fixée à 2 jours de fonctionnement de l'usine durant 24 heures.

Ce plan de M&V a été préparé alors que les données historiques de consommation étaient déjà disponibles. Les journées du 8 et 9 septembre 2009 ont été retenues, car elles représentent une production normale.

Données de charge et de consommation de la période de référence

Pour la période de référence, les données proviennent des mesures des paramètres suivants sur le système d'évaporation à triple effet :

- > La quantité et la valeur BRIX de pâte de tomate à l'entrée
- > La quantité et la valeur BRIX de pâte de tomate à la sortie
- > La masse et la valeur BRIX finale de la pâte à l'emballage
- > Le débit (converti en masse) d'eau condensée incluant l'eau évaporée de la pâte de tomate et la vapeur ayant été injectée au système triple effet.

Les données ont été enregistrées en continu pour une période de deux jours. Les données sont enregistrées par le contrôle de procédé qui fait de nombreux relevés chaque seconde et qui compile puis enregistre les moyennes obtenues sur chaque période de deux heures. Le fichier de compilation est sauvegardé à même l'appareil et a été transféré sur ordinateur à la fin de la période de mesurage.

Cette campagne de mesurage a permis de disposer du nombre de points d'analyse suivants ;

Points d'analyse : 2 jours x 12 points par jour = 24 points

Le Tableau 27 présente les données pour les deux jours de mesurage. Les données complètes sont contenues dans le tableau « Mesurage avant remplacement – évaporateur à triple effet ». La Figure 31 représente les données obtenues sur la période de référence.

**Tableau 27 : Données pour les deux jours de mesurage**

	Entrée Stage 3 (Brix)	Sortie Stage 1 (Brix)	Masse à l'em- paquetage (kg/h)	Concentration à l'empaque- tage (Brix)	Vapeur condensée (kg/h)
Jour 1					
0 h	9,7	17,9	30 977	36,9	69 661
2 h	9,7	18,2	32 472	37	72 755
4 h	9,7	18,2	32 879	36,9	73 468
6 h	9,8	18,5	32 946	37	77 880
8 h	9,7	19,1	34 742	37,2	85 727
10 h	10,8	20,1	36 277	37	79 866
12 h	10,8	20,1	36 506	37	80 370
14 h	12	18,2	34 382	36,7	41 407
16 h	11,5	18,5	34 041	37,1	49 021
18 h	11,6	18,1	31 978	37	42 222
20 h	10,5	18,1	32 000	37,1	62 202
22 h	9,9	18,2	32 000	36,9	68 499
Jour 2					
0 h	10	18,4	31 934	37,1	69 448
2 h	10,7	18,5	33 964	37	58 050
4 h	10	18,4	33 319	37,1	70 137
6 h	9,9	18,4	33 260	37,2	78 462
8 h	10,2	18,3	33 142	37,2	71 728
10 h	9,6	18,3	35 593	37,2	85 783
12 h	9,6	18,3	33 973	37,1	80 855
14 h	10,4	18,3	33 703	37,1	62 474
16 h	10,4	18,2	32 466	37	58 114
18 h	10,3	18,1	31 420	36,9	56 196
20 h	10,2	18	33 334	37	62 403
22 h	9,7	19,3	32 738	36,7	87 110

**Tableau 28 : Début de la période de référence**

Date	Heure	Puissance à l'entrée	Puissance de sortie
8 sept. 2011	8 h15		
8 sept. 2011	8 h30		
8 sept. 2011	8 h45		
8 sept. 2011	9 h		
8 sept. 2011	9 h15		
8 sept. 2011	9 h30		
8 sept. 2011	9 h45		
8 sept. 2011	10 h		

#### 4.9.4 Ajustement requis aux données de la période de référence

Dans le cas présent, aucun ajustement aux données de la base de référence n'est requis, car elle représente une opération typique du système à triple effet avant les améliorations.

#### Variables indépendantes

Les variables indépendantes incluent les facteurs pouvant affecter la consommation d'énergie du système à triple effet et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques à la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, le nombre de kg de produit traité par le four à toutes les quinze minutes sera la variable indépendante.

#### Facteurs statiques de la période de référence

Les facteurs statiques incluent des équipements et modes d'opération qui sont réputés fixes lors de la préparation du plan de mesurage. Ainsi, advenant un changement dans ces données et paramètres, un ajustement temporaire ou permanent à la base de référence sera requis.

Dans le cas de ce projet, les paramètres d'opération des trois évaporateurs (température et pression) peuvent affecter la consommation d'énergie et seront donc enregistrés durant la période de mesurage pour vérifier la stabilité des paramètres d'opération du système.

#### 4.9.5 Période de suivi

La période de suivi correspond à une période de deux jours suivant l'installation du système à RMV.

#### 4.9.6 Base pour les ajustements

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	$\begin{aligned} & \text{Energie de la période de référence} \\ & (\pm) \\ & \text{ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi)} \\ & (-) \\ & \text{énergie de la période de suivi} \end{aligned}$
Demande évitée	$\begin{aligned} & \text{Demande de la période de référence} \\ & (\pm) \\ & \text{ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi)} \\ & (-) \\ & \text{demande de la période de suivi} \end{aligned}$

Dans l'équation ci-dessus, les termes « Energie de la période de référence » et le terme « ajustements périodiques » seront calculés simultanément par le biais du modèle mathématique de la période de référence. Il en va de même du calcul des ajustements à la puissance de référence.

#### 4.9.7 Procédure d'analyse

(Ajustements périodiques : (P	O	N	(Ajustements non périodiques : (N	O	N
	X				X

La procédure d'analyse sera appliquée à la fin de la période de mesurage post installation d'une durée de deux jours.

Durant la période de mesurage, le débit de pâte de tomate à l'emballage de même que la concentration (exprimée en Brix) seront mesurés et compilés par période de deux heures. La quantité de vapeur produite par l'évaporation de l'eau pourra être déterminée par une simple formule de calcul d'ingénierie.

La quantité de vapeur condensée à la sortie du système sera également mesurée en continu. Cette vapeur condensée inclut à la fois la vapeur d'alimentation au système d'évaporation et l'eau évaporée de la pâte de tomate. La quantité de vapeur alimentée au système pourra être déduite en soustrayant la quantité d'eau évaporée de la pâte de tomate du total d'eau condensée mesuré.

L'équation suivante a été utilisée pour déterminer la masse d'eau évaporée entre le premier et le dernier stage d'évaporation.

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_{\text{contenu solide}}}{C_{\text{avant}}} - \frac{\dot{m}_{\text{Contenu solide}}}{C_{\text{après}}}$$

Où :

$\dot{m}$  = masse d'eau évaporée

$\dot{m}_{\text{contenu solide}}$  = contenu solide de la pâte finale

$C_{\text{Avant}}$  = concentration de la pâte à l'entrée de l'effet no 3 (Brix)

$C_{\text{après}}$  = concentration de la pâte à la sortie du premier effet (Brix)

La valeur de  $\dot{m}_{\text{contenu solide}}$  est calculée avec l'équation :

$$\dot{m}_{\text{contenu solide}} = \dot{m}_{\text{produit fini}} \times C_{\text{produit fini}}$$

Où :

$\dot{m}$  = masse de la pâte à l’empaquetage

$\dot{m}_{\text{contenu solide}}$  = concentration de la pâte à l’empaquetage

L’application de ces formules aux données de la base de référence a permis d’établir l’énergie injectée sous forme de vapeur au système à triple effet comme présenté au Tableau 2.

Tableau 2 – Calculs pour déterminer l’énergie utilisée durant la période de référence.

Le modèle mathématique de la période de référence a été établi à partir d’une régression des données de puissance du four par rapport à la production en kg. La figure ci-dessous montre le résultat de cette analyse de façon graphique. L’abscisse du graphique représente les kg d’eau évaporée de la pâte (la variable indépendante) tandis que l’ordonnée représente l’énergie à l’entrée pour une période de deux heures.

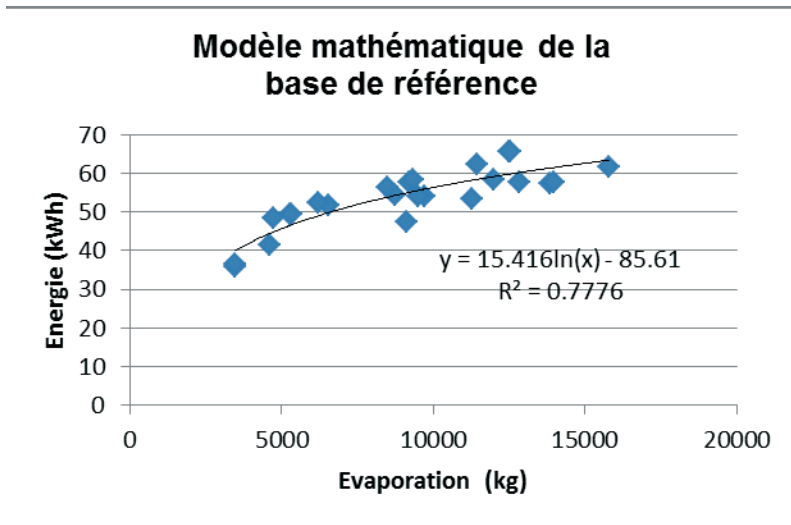


Figure 33 : Modèle mathématique de la base de référence

Pour la régression, un modèle exponentiel a été choisi, car il représente une meilleure cohérence statistique avec un R2 de 0,77 alors qu’une régression linéaire donne moins de 0,7. La forme de la courbe suggère que la quantité d’énergie requise par un évaporateur à triple effet n’est pas proportionnelle à la quantité d’eau évaporée.

Le R2 obtenu est supérieur à la valeur minimale de 0,75 recommandée par l’IPMVP.

Le modèle mathématique de la base de référence permettra donc de calculer la base de référence ajustée par l’équation :

$$\text{Base de référence ajustée} = 15,416 \ln(x) - 85,61$$

Où :

Base de référence ajustée = énergie de la période de référence + ajustement périodique (kWh)

X= quantité d’eau évaporée pour une période de deux heures (kg)

-85,61 = constante exprimée en kWh

Les économies d'énergie pour chaque période de deux heures seront calculées grâce à l'équation :

Economies = (base de référence ajustée – énergie d'entrée de la période)

Où :

Economies = consommation d'énergie évitée (kWh)

Ces équations sont valides dans la gamme de valeurs d'évaporation d'eau variant de 3 000 kg à 16 000 kg, ce qui couvre l'ensemble des régimes de production retrouvés à cette usine.

Les économies calculées pour chaque période de deux heures seront par la suite cumulées pour la période de deux jours de mesurage pour établir les économies d'énergie.

Les économies obtenues pour les deux jours de mesurage après l'implantation de la mesure seront ensuite divisées par cinquante pour obtenir une estimation de la consommation pour cent jours de production, ce qui représente une saison normale de séchage.

Il est à noter qu'uniquement les calculs d'économies pour la période de deux jours peuvent être déclarés conformes à l'IPMVP. L'économie annuelle est, quant à elle, considérée comme une estimation. Pour obtenir des économies annuelles conformes à l'IPMVP, il aurait fallu maintenir le mesurage en permanence pour une période d'une année.

#### **4.9.8 Caractéristiques des compteurs**

Les compteurs qui seront utilisés pour l'opération de mesurage sont ceux existant dans l'usine. Ils font l'objet de calibration régulière.

Le compteur de la pâte à l'emballage est une balance très précise de l'ordre de 0,1 % de la masse mesurée, car il mesure la production de l'usine et est couplé avec la machine qui remplit les conserves. C'est donc une donnée critique pour les opérations et la gestion de l'usine. Cette même unité sera utilisée pour le mesurage de la sortie du système à triple effet et du système à recompression mécanique des vapeurs.

Les compteurs de condensat sont à turbine traditionnelle avec une précision de 0,5 % pour la gamme de débits rencontrés. Il existe un compteur distinct pour la ligne d'évaporateur à triple effet et une pour la ligne de production à recompression mécanique des vapeurs.

En plus des mesures de masse de pâte et du débit de condensat, des lectures de concentration Brix ont été prises régulièrement durant la période de base de référence et devront également être prises durant la période de suivi. La mesure de la concentration Brix se fait en prélevant un échantillon de pâte à divers points de la ligne de production et en les séchant complètement en laboratoire. Le degré de précision de ces opérations de mesurage est de 0,1 Brix de concentration.

### **4.10 AMÉLIORATION D'UN FOUR DE CUISSON**

#### **4.10.1 Mesures de conservation d'énergie (MCE)**

Ce plan de mesurage a été établi pour une usine de préparation et cuisson de brochettes de viande. Il vise un des équipements les plus importants de l'usine soit le four de cuisson électrique ainsi qu'une chaudière à vapeur alimentée à l'électricité servant à injecter de la vapeur dans les quatre cellules de cuisson du four.

La mesure a été identifiée dans le cadre d'un projet de mesurage et ciblage qui a été subventionné par la compagnie d'électricité locale. Dans le cadre de ce projet, une quinzaine de compteurs électriques ont été installés et un comité énergie a observé les consommations énergétiques selon les différents modes d'opération de l'usine pour établir des indices énergétiques de consommation normalisée et pour identifier des pistes d'amélioration.

Une mesure a été identifiée lors d'un bris du four de cuisson qui a eu lieu en septembre 2010. Durant ce bris, les employés opérant le four ont dû ajuster l'alimentation de vapeur, car une des quatre sections du four ne fonctionnait plus correctement. Après quelques essais et erreurs, les ajustements ont permis d'obtenir une cuisson respectant les standards de qualité de l'usine.

L'observation des indices de consommation énergétique de la chaudière et du four de cuisson a permis de constater que la consommation avait été réduite d'environ 15 % par rapport à la situation de base. La compagnie fabricant le four a été contactée et les résultats lui ont été présentés pour vérifier si la nouvelle opération pouvait être implantée de façon permanente et sans risque.

Le fabricant du four a recommandé certaines modifications qui permettraient de changer l'opération tout en maintenant une sécurité contre les risques d'incendie. Ces modifications ont été implantées et le but de ce plan de M&V est de valider les économies obtenues par cette modification.

L'étude a établi que les économies attendues par cette mesure seront de 20 000 kWh par année représentant TND 6 500.

La procédure de mise en service de la mesure a donc été discutée avec le fabricant du four et a été approuvée.

Aucun changement n'est prévu à la situation de référence et il ne sera donc pas nécessaire de procéder à des ajustements de la campagne de mesurage avant l'implantation de la mesure pour préparer le modèle mathématique de la base de référence.

#### 4.10.2 Option et périmètre de mesure

##### L'option employée pour déterminer les économies

Option B

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

##### Justification du choix de l'option

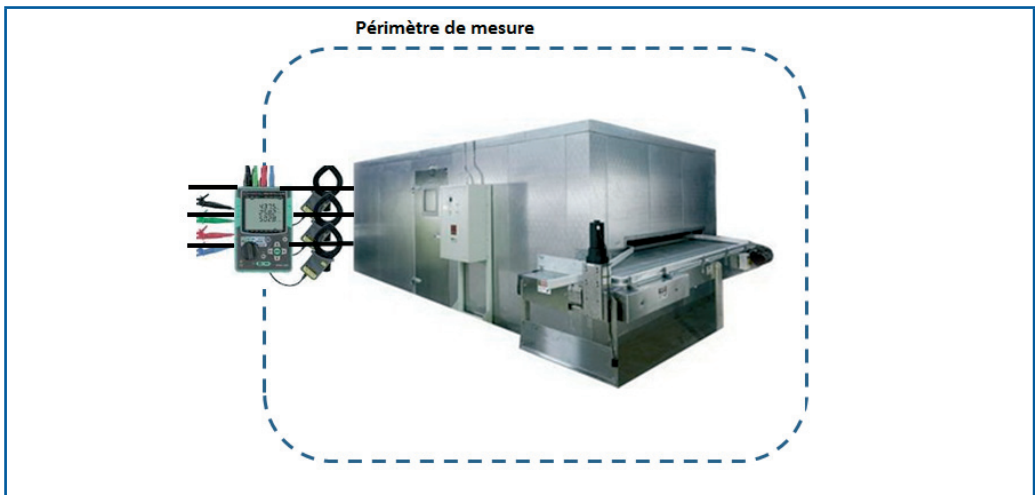
L'Option B a été retenue car, dans ce cas précis, l'intérêt est de déterminer les économies en fonction des charges réelles de production du four de cuisson.

Si l'intérêt avait été exclusivement de démontrer l'efficacité accrue du four, l'Option A aurait pu être envisagée pour mesurer la consommation d'énergie à différents niveaux de production puis utiliser un profil typique estimé de chargement annuel pour déterminer les économies annuelles.

L'approche B retenue demande donc de mesurer la quantité d'énergie alimentée au four électrique et à la chaudière produisant la vapeur à différents niveaux de chargement avant l'implantation de la mesure. Elle demande également un mesurage similaire après l'implantation pour une durée suffisante afin de bien représenter l'opération annuelle future des installations.

##### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage est le four de cuisson et la chaudière à vapeur intégrée. Le mesurage se fera sur l'énergie électrique alimentée à l'appareil.



Compte tenu de la nature de cette mesure, le seul effet interactif au-delà de la limite de mesurage serait les impacts des pertes d'énergie sur le chauffage ou sur la climatisation de l'usine. Dans le cas présent, le four dégage beaucoup de chaleur et les espaces de travail sont généralement surchauffés. Les employés ouvrent les portes extérieures durant la période estivale pour assurer une ventilation adéquate. La grande partie de la chaleur du four est évacuée par une conduite d'évent vers l'extérieur. Il est donc considéré que la réduction des dégagements de chaleur par le four due au nouveau mode d'opération n'aura pas d'effet sur le chauffage.

#### **4.10.3 Situation de référence ; période, énergie et conditions**

##### **Identification de la période de référence**

Dans le cas présent, la période de mesurage doit être suffisante pour représenter un cycle complet de cuisson du four, et ce, aux différents niveaux de production qui peuvent être requis pour les opérations. Après l'analyse des opérations de l'usine des dernières années, il a été convenu qu'une période de mesurage d'une semaine avant le remplacement serait suffisante, car la quantité de kg de produits cuits en continu par le four peut être obtenue simultanément.

Ce plan de M&V a été préparé alors que les données historiques de consommation étaient déjà disponibles. La semaine du 4 au 8 mai 2009 (lundi au vendredi) a été retenue.

##### **Données de charge et de consommation de la période de référence**

Les données pour la période de référence proviennent des mesures du paramètre suivant sur le four, avant les modifications :

> La puissance électrique à l'entrée du four

Les données ont été enregistrées en continu pour une période d'une semaine. Ces données sont enregistrées par un appareil qui fait de nombreux relevés de puissance chaque seconde et qui compile puis enregistre les moyennes obtenues sur chaque période de quinze minutes. Le fichier de compilation est sauvegardé à même l'appareil et a été transféré sur ordinateur à la fin de la période de mesurage. Cette campagne de mesurage a permis de disposer du nombre de points d'analyse suivants ;

Points d'analyse : 5 jours x 8 heures/jour x 4 points/heure = 160 points

A titre indicatif, le Tableau 29 présente les données pour les premières heures de mesurage. Les données complètes sont contenues dans le tableau « Mesurage avant remplacement – four de cuisson ». Le graphique 1 représente les données obtenues sur une semaine.

Tableau 29 : Début de la période de référence

Données aux 15 minutes	Puissance consommée (kW)	Production (kg)
1	322	658
2	333	645
3	326	701
4	331	675
5	313	629
Suite..		

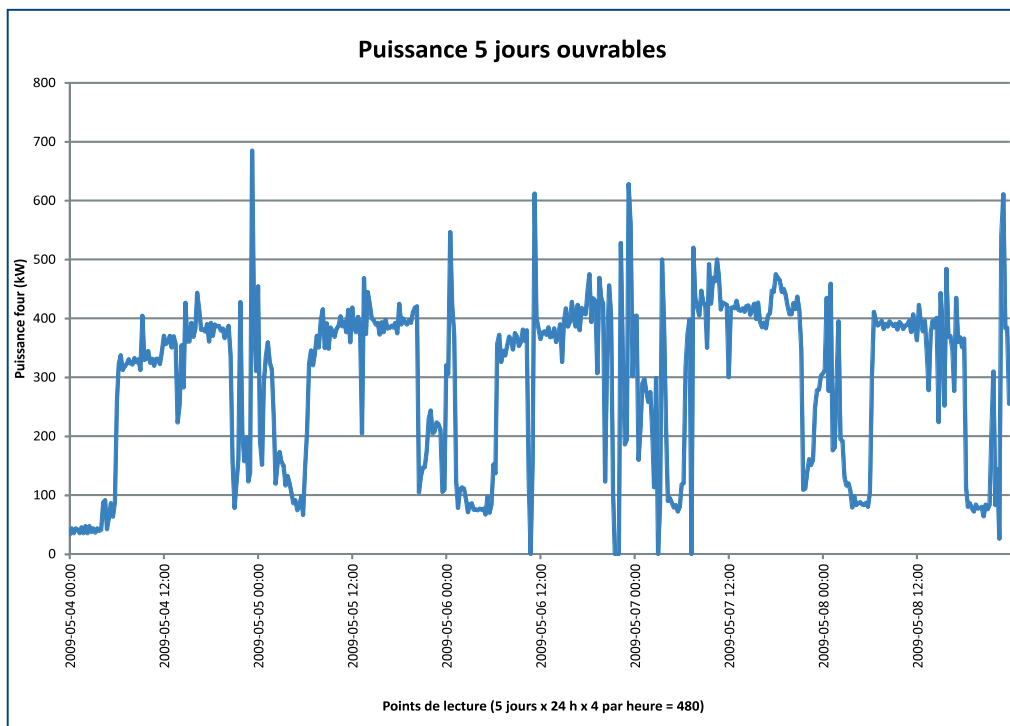


Figure 34 : Données obtenues sur une semaine

### Ajustement requis aux données de la période de référence

Dans le cas présent, aucun ajustement aux données de la base de référence n'est requis, car elle représente une opération typique du four avant les améliorations.

Les quelques fluctuations de puissance le soir du à la désinfection des fours à l'eau chaude n'affecte pas la période d'intérêt pour la production normale.

## Variables indépendantes

Les variables indépendantes incluent les facteurs pouvant affecter la consommation d'énergie du four et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques à la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, la quantité de kg des produits traités par le four à toutes les quinze minutes sera la variable indépendante.

Facteurs statiques de la période de référence

Les facteurs statiques incluent des équipements et modes d'opération qui sont réputés fixes lors de la préparation du plan de mesurage. Ainsi, advenant un changement dans ces données et paramètres, un ajustement temporaire ou permanent à la base de référence sera requis.

La liste ci-dessous présente certains des événements qui pourraient provoquer des changements aux facteurs statiques. Cette liste n'est pas limitative et toute autre modification faite au bâtiment ou à son opération, qui serait de nature à changer ses besoins en énergie, pourrait y être ajoutée.

> Ajout d'équipement à l'intérieur du périmètre de mesure (nouveaux moteurs, autres charges électriques).

> Modification des heures d'opération des équipements auxiliaires du four (ventilateurs, pompes, convoyeurs). Par exemple le démarrage d'équipements qui n'étaient pas opérés lors de la préparation du présent plan de M&V.

> Modification des paramètres d'opération du four tels que température et débit d'air induit.

> Modification aux entrées et sorties du four qui pourraient causer une augmentation ou une diminution des entrées d'air dans le four.

> Isolation ajoutée au four.

### 4.10.4 Période de suivi

La période de suivi correspond aux cinq jours suivant la modification au four.

### 4.10.5 Base pour les ajustements

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	$\begin{aligned} & \text{Energie de la période de référence} \\ & (\pm) \\ & \text{ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi)} \\ & (-) \\ & \text{énergie de la période de suivi} \end{aligned}$
Demande évitée	$\begin{aligned} & \text{Demande de la période de référence} \\ & (\pm) \\ & \text{ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi)} \\ & (-) \\ & \text{demande de la période de suivi} \end{aligned}$

Dans l'équation ci-dessus, les termes « Energie de la période de référence » et du terme « ajustements périodiques » seront calculés simultanément par le biais du modèle mathématique de la période de référence. Il en va de même du calcul des ajustements à la puissance de référence.

## Procédure d'analyse 4.10.6

(Ajustements périodiques : (P	O	N	(Ajustements non périodiques : (N	O	N
	X				X

La procédure d'analyse sera appliquée à la fin de la période de mesurage post installation d'une durée de cinq jours.

Durant la période de mesurage, la puissance d'entrée au four sera mesurée par un appareil réalisant un grand nombre de lectures par seconde et compilant les résultats de moyenne de puissance pour chaque période de quinze minutes.

La quantité de kg de produits cuits toutes les quinze minutes sera la variable indépendante qui sera introduite dans le modèle mathématique de la période de référence pour établir qu'elle aurait été la puissance d'entrée du four avant modification.

Le modèle mathématique de la période de référence a été établi à partir d'une régression des données de puissance du four par rapport à la production en kg. La figure ci-dessous montre le résultat de cette analyse de façon graphique. L'abscisse du graphique représente les kg de produits cuits (la variable indépendante) tandis que l'ordonnée représente la puissance d'entrée.

Pour la régression, un modèle linéaire a été choisi, ce qui est cohérent avec le comportement théorique d'un four qui comprend des pertes d'enveloppe fixe et des besoins en chaleur variant selon la quantité de produits traités. La régression montre très peu de dispersion des données et le R2 est donc excellent à plus de 0,96 ce qui est largement supérieur à la valeur minimale de 0,75 recommandée par l'IPMVP.

Le modèle mathématique de la base de référence permettra donc de calculer la base de référence ajustée par l'équation ;

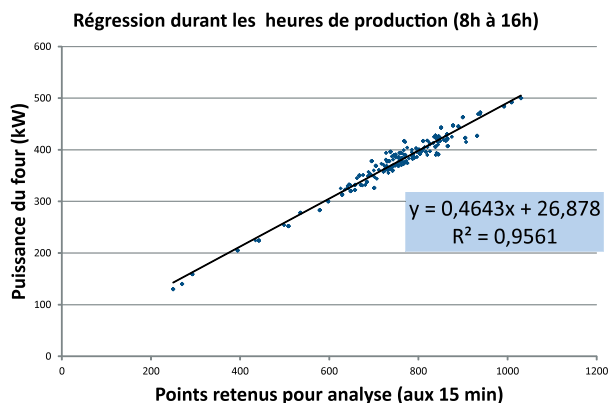
$$\text{Base de référence ajustée} = 0,4643x + 26,878$$

Où :

Base de référence ajustée = énergie de la période de référence + ajustements périodiques (kW)

X = quantité de produits cuits toutes les quinze minutes (kg)

26,878 = une constante représentant la consommation fixe du four pour une période de quinze minutes peu importe le niveau de production.



Les économies d'énergie pour chaque période de quinze minutes seront calculées grâce à l'équation ;

Economies = (base de référence ajustée – puissance d'entrée de la période) / 4

Où :

Economies = consommation d'énergie évitée (kWh)

Puissance d'entrée = puissance à chaque période de quinze minutes de la période de suivi (kW)

Ces équations sont valides dans la gamme de valeurs de la production en kg variant de 200 kg à 1 100 kg, ce qui couvre l'ensemble des régimes de production retrouvés à cette usine.

Les économies calculées pour chaque période de quinze minutes seront par la suite cumulées pour la période de cinq jours de mesurage pour établir les économies d'énergie.

L'économie de puissance pour ce projet correspondra à l'économie en puissance la plus élevée observée pour une période de quinze minutes. Les charges les plus élevées du four seront présumées coïncidentes avec la pointe mensuelle de puissance de l'usine. Ceci est justifié par le fait que le four est un des équipements les plus importants de l'usine.

Les économies obtenues pour les cinq jours de mesurage après l'implantation de la mesure seront ensuite divisées par cinq pour obtenir une moyenne journalière. Ensuite, elles seront multipliées par le nombre de jours de production établi avec la formule suivante ;

Jours = 52 semaines x 5 jours – 18 jours fériés = 242 jours

Il est à noter qu'uniquement les calculs d'économies pour la période de quatre jours peuvent être déclarés conformes à l'IPMVP. L'économie annuelle est, quant à elle, considérée comme une estimation. Pour obtenir des économies annuelles conformes à l'IPMVP, il aurait fallu maintenir le mesurage en permanence sur une période d'une année.

#### 4.10.7 Caractéristiques des compteurs

Le compteur qui sera utilisé pour les campagnes de mesurage avant et après installation sera de type permanent, triphasé et réalisant un grand nombre de lectures chaque seconde. Les données seront compilées automatiquement pour des périodes de quinze minutes pour établir les puissances moyennes. Les compteurs feront l'enregistrement de chaque période de quinze minutes et auront une mémoire suffisante pour maintenir toutes les données de la campagne de mesurage pour une période minimale de cinq jours.

Le compteur qui est utilisé fait partie de l'installation permanente décrite et illustrée ci-dessous. Cette installation comprend un RTU qui comprend un processeur et une mémoire de stockage des données, un raccordement à Internet pour transmettre les informations à une centrale de données, une entrée à impulsion qui permet de lire les impulsions provenant du compteur de la STEG et un bus local au protocole MODBUS qui permet de communiquer avec les unités de mesure décentralisée.

Deux boîtiers de mesure comprenant chacun six canaux de mesurage de puissance sont raccordés au bus MODBUS. Ils collectent les données de sept sous-compteurs mesurant les principales charges de l'usine incluant le four de cuisson. La Figure 35 indique l'élément de mesurage du four encerclé en rouge.

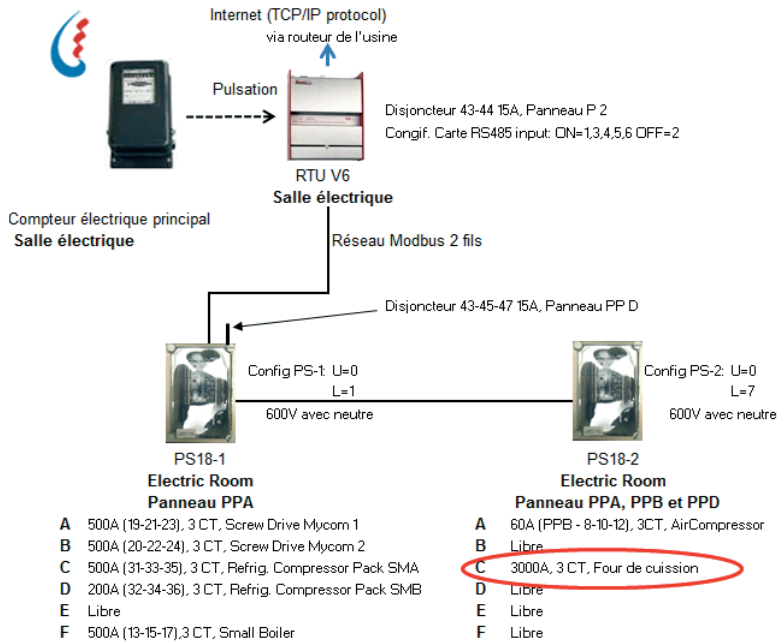


Figure 35 : Installation de mesure permanente

Le RTU est illustré à la figure suivante.



Figure 36 : RTU pour communication Internet, stockage local de données et communication MODBUS aux compteurs

Les compteurs à six canaux de lecture de kilowatt sont illustrés à la Figure avec trois éléments de lecture de courant.



Figure 37 : Compteur de kilowatt à six canaux de lecture

Les transformateurs de courant utilisés sont de type flexible, de 40 cm de longueur, pour permettre une installation sur câble de puissance sans interrompre l'alimentation. Ils fournissent un signal de 131 mV pour 1000 ampères dans le câble mesuré avec une erreur inférieure à 1 % (typiquement moins de 0,5 %) sur la valeur mesurée sur toute la plage de mesures avec un intervalle de confiance de 95 %. Les compteurs mesurent la puissance RMS.

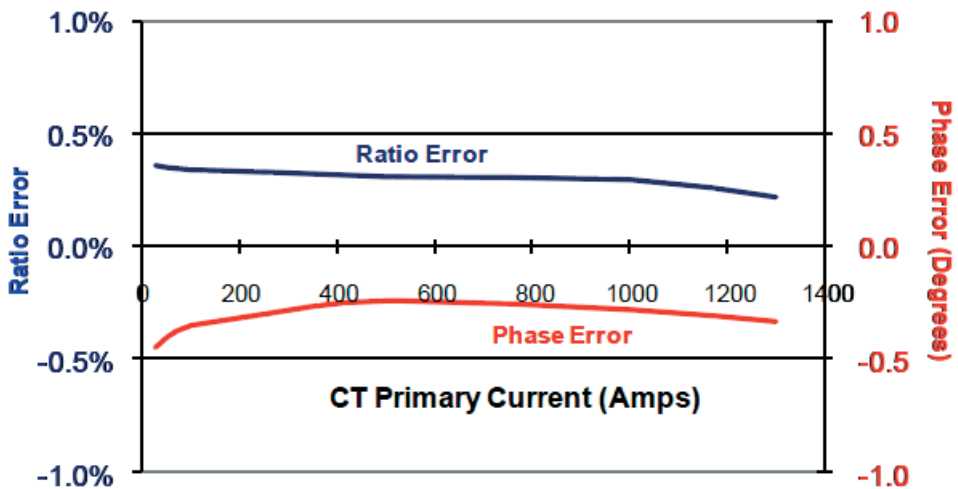


Figure 38 : Précision du rapport de tension sur la plage de mesurage

Les données sont transférées en temps réel à un système d'enregistrement centralisé chez le fournisseur de service énergétique pour analyse.

Les dessins de concept de l'installation ont été approuvés par les responsables de l'usine avant l'installation. Les responsables de l'usine peuvent avoir accès aux données en ligne, en tout temps, sur n'importe quel fureteur installé sur tout ordinateur relié à Internet. Les responsables de l'usine peuvent donc en tout temps prendre copie des données brutes s'ils le désirent.

La procédure de mise en service des compteurs a été faite conformément aux recommandations du fabricant. L'installateur a, entre autres, vérifié que les transformateurs de courants et les branchements de tension soient effectués correctement. A la fin de l'installation, une lecture des données pour une période d'une heure a été prise sur chaque canal de lecture et comparée aux données reçues sur le système en ligne via Internet. Les données étaient identiques dans les limites de précision des deux systèmes de mesure.

Ce plan a été écrit au moment où les données de préinstallation étaient déjà disponibles. Ces données ont été vérifiées et jugées acceptables par le responsable du plan de M&V et par le propriétaire de l'usine.

Au cas où l'analyse des données enregistrées durant la période de suivi démontre qu'il y a eu perte de données, les campagnes de mesurage devront continuer et une autre période plus représentative sera retenue pour les calculs.

# ANNEXE I

## MODELE DE PLAN DE M&V : OPTION A

### MESURES DE CONSERVATION D'ENERGIE (MCE)

La mesure consiste à ...

Les paramètres du système qui ne varient pas sont...

[L'analyste doit également préciser : Les procédures de mise en service qui seront employées pour vérifier le succès de chaque mesure. Il doit aussi signaler tous les changements prévus affectant les conditions de la situation de référence, comme la charge d'un moteur (réf. IPMVP 2010 chapitre 5)].

### OPTION ET PERIMETRE DE MESURE

#### L'option employée pour déterminer les économies

Option A

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

#### Justification du choix de l'option et justification des hypothèses

[L'analyste doit présenter les hypothèses qu'il fait pour calculer les économies d'énergie et de demande et justifier le choix de ces hypothèses.]

#### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage est...

### SITUATION DE REFERENCE ; PERIODE, ENERGIE ET CONDITIONS

#### IDENTIFICATION DE LA PERIODE DE REFERENCE

La période de référence allant du [date] au [date].

[L'analyste ajoutera les raisons justifiant le choix de cette période.]

#### DONNEES DE CHARGE ET DE CONSOMMATION DE LA PERIODE DE REFERENCE

Les données pour la période de référence proviennent des mesures des paramètres suivants sur les compteurs installés pour les campagnes de mesurage avant implantation de la MCE.

> Compteur 1

> Compteur 2

> Etc.

Les données ont été enregistrées en continu pour une période de XXX. Les données sont enregistrées par un appareil qui fait de nombreux relevés chaque seconde et qui compile et enregistre les moyennes obtenues sur chaque période de xx minutes. Le fichier de compilation est sauvegardé à même l'appareil et a été transféré sur ordinateur à la fin de la période de mesurage.

Cette campagne de mesurage a permis de disposer du nombre de points d'analyse suivants ;

Points d'analyse : xx jours X xx heures/jour X x points/heure = xx points

Le tableau 1 présente, à titre indicatif, les données de xxx pour les premières heures de mesurage. Les données complètes sont contenues dans le tableur xxx. Le graphique 1 représente les courbes de lecture pour la période de mesurage.



[L'analyste ne conservera que les items qui sont pertinents et qui peuvent affecter le périmètre de mesurage choisi]

- > Nombre et capacité des lignes de production ;
- > Horaire d'utilisation des installations de production ;
- > Type de produits ;
- > Températures de consigne ;
- > L'application de nouvelles normes ou d'un nouveau règlement régissant les conditions de fabrication et les conditions ambiantes ;
- > Changements quant à l'utilisation du bâtiment ;
- > Transformation du bâtiment ;
- > Nombre et capacité des systèmes de mécanique CVC ;
- > Heures de fonctionnement des systèmes de ventilation ;
- > Heures annuelles d'utilisation de l'éclairage ;
- > Quantité d'air extérieur utilisé ;
- > Température de l'eau chaude et de l'eau refroidie.

### PERIODE DE SUIVI

La période de suivi correspond à une période de XX heures/jours/semaine/mois qui devrait débuter le xxx selon la planification du projet disponible au moment de la rédaction de ce plan.

### INSPECTIONS PERIODIQUES

Une inspection XXX sera conduite pour vérifier le fonctionnement de la presse à injection.

### BASE POUR LES AJUSTEMENTS

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Energie de la base de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( ± ) ajustements non périodiques ( - ) énergie électrique de la période de suivi
Demande évitée	Demande de la base de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( ± ) ajustements non périodiques ( - ) demande électrique de la période de suivi

Dans l'équation ci-dessus, les termes « Energie de la base de référence » et le terme « ajustements périodiques » seront calculés simultanément par le biais du modèle mathématique de la période de référence. Il en va de même du calcul de demande évitée.

[Il n'est pas rare dans les plans de M&V utilisant l'Option A que des ajustements ne soient pas nécessaires]

Approche retenue	Equation
Energie évitée	Energie de la période de référence ( - ) énergie de la période de suivi
Demande évitée	Demande de la période de référence ( - ) demande de la période de suivi

## PROCEDURE D'ANALYSE

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
		x			
	[L'analyste devra présenter le modèle mathématique du calcul des économies d'énergie et de demande]				

## PRIX DE L'ENERGIE

Les économies valorisées sont déterminées en appliquant le barème de coûts appropriés dans l'équation suivante :

$$\text{Economies valorisées} = C_b - C_r$$

**C<sub>b</sub>** = coût de l'énergie correspondant à la puissance et l'énergie de la base référence ajustée selon les variables indépendantes correspondant à la période de suivi courante (incluant l'historique de la base de référence plus tout ajustement périodique).

**C<sub>r</sub>** = coût de l'énergie pendant la période de suivi

Les économies monétaires seront déterminées en appliquant la structure tarifaire en vigueur une fois la mise en service complétée. La même structure tarifaire sera appliquée au calcul de **C<sub>b</sub>** et **C<sub>r</sub>**. Aucun prix plafond n'est prévu, dans l'alternative où les tarifs énergétiques subissaient d'importantes hausses.

Les prix suivants sont ceux qui étaient en vigueur lors de la préparation du présent plan de M&V. Si une modification au tarif est mise en place d'ici la réalisation du rapport d'économie de la période de suivi, les nouvelles tarifications devront être employées.

## PRIX DE L'ELECTRICITE (HORS TAXES)

Tableau XX : Tarif Moyenne Tension de type uniforme

Tarifs Moyenne Tension	Redevance (mill/ (kVA-mois)	Prix de l'énergie (mill/kWh)*			
		Jour	Pointe	Soir	Nuit
Uniforme	500	125			

Source : STEG

Tableau XX : Tarif Moyenne Tension de type postes horaires

Tarifs

Moyenne Tension	Redevance (mill/kW-mois)	Prix de l'énergie (mill/kWh) *			
		Jour	Pointe	Soir	Nuit
Postes horaires	500 3	110	168	133	85

Source : STEG

\*La TVA est à appliquer à un taux de 18 % sur toutes les redevances et sur le prix d'énergie (hors taxes) des usages autres que domestiques et l'irrigation. A majorer de la surtaxe municipale de 3 mill/kWh.

Pour le tarif à poste horaire, les périodes sont définies comme suit :

**Tableau XX : Tarifs à quatre postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Soir	Nuit
1er septembre au 31 mai	de 7 h à 18 h	de 18 h à 21 h	-	de 21 h à 7 h
1er juin au 31 août	de 6 h 30 à 8 h 30 et de 13 h 30 à 19 h	de 8 h 30 à 13 h 30	de 19 h à 22 h	de 22 h à 6 h 30

**Tableau XX : Tarifs à trois postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Nuit
1er octobre au 31 mars	de 6 h 30 à 17 h 30	de 17 h 30 à 21 h 30	de 21 h 30 à 6 h 30
1er avril au 30 septembre	de 8 h à 19 h	de 19 h à 23 h	de 23 h à 8 h

### PRIX DU GAZ NATUREL (HORS TAXE)

**Tableau XX : Tarif MP1**

Tarifs	Débit souscrit (th/h)	Redevance F		Prix de l'énergie (mill/th) <sup>F</sup>
		D'abonnement (DT/ab-mois)	De débit (mill/(th-h-mois)	
MP1	à 4 000 000 1	20	100	25,30

Source : STEG

**Tableau XX : Tarif MP2**

Tarifs	Débit souscrit (th/h)	Redevance F		Prix de l'énergie (mill/th) F
		D'abonnement (DT/ab-mois)	De débit (mill/(th-h-mois)	
MP1	à 30 000 000 6	20	200	24,90

Source : STEG

F La TVA est à appliquer à un taux de 18 % sur toutes les redevances et sur le prix de l'énergie (hors taxes).

### CARACTERISTIQUES DES COMPTEURS

Pour les compteurs principaux mesurant la consommation d'électricité, l'appel de puissance électrique et celui de combustible total du bâtiment sont les suivants :

- > Le compteur principal mesurant la consommation d'électricité totale du bâtiment est le compteur de STEG qui possède une précision de l'ordre de X % sur de la mesure effectuée. D'ailleurs, il sert à l'évaluation des économies d'énergie du bâtiment test.
- > Ajouter les autres compteurs

Les erreurs des équipements de mesure sont dues au calibrage, à la mesure inexacte ou à la méthode inexacte d'installation du compteur ou son fonctionnement. De manière à réduire les erreurs au maximum, il est important de maintenir sur place, par entretien courant, la précision des compteurs et le calibrage avec des normes connues. De plus, les rapports de précision du fabricant devraient être conformes aux standards appropriés de l'industrie, pour leur produit. Une attention particulière devrait être prise pour déterminer l'intervalle de confiance utilisé en citant la précision d'un compteur. Sauf indication contraire, la confiance devrait être de 95 %.

[Le dernier paragraphe est très général. Dans un plan de M&V précis, l’auteur doit être plus particulier c.-à-d. le pourcentage de précision exigé, les exigences pour calibration des compteurs si elle est réalisée à l’externe ou le délai maximal depuis la dernière calibration du compteur, s’il est déjà en place.]

## RESPONSABILITES DU SUIVI

Responsables	Enregistrement des données énergie		Variables indépendantes		Facteurs statiques	
	Données	Fréquence	Données	Fréquence	Données	Fréquence
Entreprise assurant l’implantation du système de mesurage (à définir)	Compteur électrique de STEG	Les factures d’électricité doivent être envoyées à l’entreprise réalisant le rapport de M&V dans les deux jours après leur réception	S.O.	S.O.	Changements des heures d’occupation de l’établissement. Ajout/retrait/arrêt d’équipements dans tout le bâtiment	1 fois par mois Ajout : 5 jours après Retrait : 5 jours avant Arrêt : 1 fois par mois.
	Compteur de gaz naturel de STEG		S.O.	S.O.	Changement aux horaires d’utilisation des	
Entreprise réalisant le rapport de M&V	S.O.	S.O.	Collecte des degrés-jours de chauffage et de réfrigération	Mensuel	S.O.	S.O.

## RESPONSABILITE DU RAPPORT

Responsable	Nom du responsable
Fréquence	Un seul rapport à émettre après la campagne de mesurage post installation
Transmission	XX jours suivant la fin de la première année de suivi

## BUDGET

Les budgets d’évaluation pour une période de suivi de XX ans sont les suivants :

	Instrumentation	Honoraires
Préparation du plan de M&V et préparation de la base de référence	TND	TND
Mesurage avant installation	TND	TND
Mesurage et production de rapport pour la période de suivi	TND	TND
Sous-total	TND	TND
Période de suivi	XXX TND pour l’installation d’équipements permanents et	XXX TND par année
	XXX TND pour les années suivantes.	

## FORMAT DU RAPPORT DE M&V

Nom du projet :

Date :

1. Dates de début et fin de la période de mesurage
2. Consommation de la base de référence
  - Données de consommation
  - Données de demande
  - Variable indépendante
3. Consommation de la période de suivi
4. Description et justification des corrections apportées aux données observées
5. Ajustements requis aux données de la période
6. Calcul de la base de référence ajustée pour la période
  - Facteurs d'ajustement de la période
  - Calcul des ajustements périodiques
  - Calcul des ajustements non périodiques
  - Calcul de l'année de référence ajustée
7. Calculs des économies d'énergie (kW, kWh, m<sup>3</sup>), calculs des économies d'énergie (TND)
8. Estimation des économies annuelles projetées

### GARANTIE DE LA QUALITE

Voici la procédure qui sera employée afin d'assurer la qualité des calculs d'économies d'énergie, et de toute autre activité connexe lors de la préparation des rapports.

- > Uniquement des professionnels possédant la certification CMVP (Certified Measurement and Verification Professional) pourront réaliser la supervision des campagnes de mesurage, les analyses de la base de référence, les ajustements de base de référence et les calculs d'économie.
- > Tous les calculs d'économies seront basés sur des principes fondamentaux d'ingénierie et selon les règles de l'art.
- > Chacun des calculs fera l'objet d'une vérification par un responsable de la qualité et ayant les aptitudes requises.
- > La base de référence et les consommations de la période de suivi seront basées sur des campagnes de mesurage avec des équipements calibrés. Les données brutes seront examinées par le responsable de la réalisation des analyses pour déterminer si elles sont cohérentes.

Afin de minimiser les erreurs de saisie des données servant au calcul, celles-ci seront doublement vérifiées. Cette seconde vérification sera effectuée par un autre intervenant.

## ANNEXE II

### MODELE DE PLAN DE M&V : OPTION B

#### MESURES DE CONSERVATION D'ENERGIE (MCE)

Mesures visées pour une vérification conforme au Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique (IPMVP 2010)		
<b>Durée de mise en œuvre du plan</b> : Indéterminée pour conciliation long terme		
Liste des mesures	Résultat attendu	Description de la MCE
Mesure 1 :		
Mesure 2 :		
Mesure 3 :		

[L'analyste doit également préciser : Les procédures de mise en service qui seront employées pour vérifier le succès de chaque mesure. Il doit aussi signaler tous les changements prévus affectant les conditions de la situation de référence, comme le réglage de la température des bâtiments inoccupés (réf. IPMVP 2010 chapitre 5)].

#### OPTION ET PERIMETRE DE MESURE

<b>L'option employée pour déterminer les économies</b>
Option B Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010
<b>Justification du choix de l'option</b>

<b>Périmètre de mesurage</b>
Le périmètre de mesurage est ...

#### SITUATION DE REFERENCE ; PERIODE, ENERGIE ET CONDITIONS

##### IDENTIFICATION DE LA PERIODE DE REFERENCE

La période de référence couvre les dates allant du [date] au [date], et ce, pour la consommation d'énergie électrique et de gaz naturel.

[L'analyste ajoutera les raisons justifiant le choix de cette période.]

##### CONSOMMATION ET PUISSANCE DE LA BASE DE REFERENCE

Les données pour la période de référence proviennent des mesures des paramètres suivants sur les compteurs installés pour les campagnes de mesurage avant implantation de la MCE.

- > Compteur 1
- > Compteur 2
- > Etc.

Les données ont été enregistrées en continu pour une période de deux semaines. Les données sont enregistrées par un appareil qui fait de nombreux relevés de puissance chaque seconde puis qui compile et enregistre les moyennes obtenues sur chaque période de xx minutes. Le fichier de compilation est sauvegardé à même l'appareil et a été transféré sur ordinateur à la fin de la période de mesurage.

Cette campagne de mesurage a permis de disposer du nombre de points d'analyse suivant ;

Points d'analyse : xx jours x xx heures/jour x x points/heure = xx points

A titre indicatif, le Tableau xx présente les données de xxx pour les premières heures de mesurage. Les données complètes sont contenues dans le tableur xxx. La Figure xx représente les courbes de lecture pour la période de mesurage.

**Tableau XX : Puissance et consommation de la période de référence**

Date	Heure	Puissance	Energie

[L'analyste pourra reproduire le nombre de tableaux et graphiques nécessaires pour représenter l'ensemble des variables mesurées durant la période de référence]

### **CONSOMMATION DE GAZ NATUREL DE LA BASE DE REFERENCE**

Les données de consommation de gaz naturel pour la période de référence proviennent les compteurs suivants :

- > Compteur 1
- > Compteur 2
- > Etc.

Les données ont été enregistrées en continu pour une période de xx jours/semaine. Les données sont enregistrées par un appareil qui cumule les consommations de gaz et les enregistre pour chaque période de xx minutes. Le fichier de compilation est sauvegardé à même l'appareil et a été transféré sur ordinateur à la fin de la période de mesurage.

Cette campagne de mesurage a permis de disposer du nombre de points d'analyse suivant ;

Points d'analyse : xx jours x xx heures/jour x xx points/heure = xx points

A titre indicatif, le Tableau xx présente les données de xxx pour les premières heures de mesurage.

Les données complètes sont contenues dans le tableur xx. Le graphique XX représente les courbes de lecture pour la période de mesurage.

**Tableau XX : Consommation de gaz naturel du site pour la période de référence**

Gaz naturel		
Période		Consommation
De	A	kWh
xxx	xxx	
xxx	xxx	
xxx	xxx	
xxx	xxx	
xxx	xxx	
xxx	xxx	
xxx	xxx	
xxx	xxx	
xxx	xxx	
<b>TOTAL</b>		

[L'analyste pourra reproduire le nombre de tableaux et graphiques nécessaires pour représenter l'ensemble des variables mesurées durant la période de référence]

### **AJUSTEMENTS REQUIS AUX DONNEES DE LA PERIODE DE REFERENCE**

Les ajustements requis aux données historiques de consommation et de demande permettent de corriger des valeurs non représentatives d'une opération normale du site. Par exemple, pour corriger des relevés de consommation et pointe pris durant une période où un équipement était brisé (mais réparé depuis), ou encore durant une grève ou une réduction anormale des opérations.

Un ajustement peut également être requis dans les cas où un projet d'efficacité vient corriger des problèmes d'exploitation. Par exemple, une amélioration à un système de ventilation qui permet de maintenir des températures de confort qui n'étaient pas atteintes avant le projet.

Chaque valeur qui fait l'objet d'un ajustement doit être justifiée de même que les bases logiques utilisées pour les nouvelles valeurs proposées. Les valeurs historiques incluant les corrections seront par la suite utilisées pour les analyses permettant de définir le modèle mathématique de la période de référence.

### **VARIABLES INDEPENDANTES**

Les variables indépendantes incluent les facteurs pouvant affecter la consommation d'énergie du site et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques de la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, les unités de production (tonnes) et les degrés-jours de chauffage ont été sélectionnés. Les degrés-jours sont calculés sur une référence de 18 °C à partir de données provenant de la station météorologique XX. (Source : [www.meteo.tn](http://www.meteo.tn))

**Tableau XX : Unité de production et degrés-jours de chauffage**

Période		Unité de production (tonne)	Degrés-jours de réfrigération (18 °C)
De	A		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>		

### FACTEURS STATIQUES DE LA PERIODE DE REFERENCE

Les facteurs statiques incluent des équipements et modes d’opération qui sont réputés fixes lors de la préparation du plan de mesurage. Ainsi, advenant un changement dans ces données et paramètres, un ajustement à la base de référence (permanent ou temporaire) doit être effectué.

La liste ci-dessous présente certains des événements qui pourraient provoquer des changements aux facteurs statiques. Cette liste n’est pas limitative et toute autre modification faite au bâtiment ou à son opération, qui serait de nature à changer ses besoins en énergie, pourrait y être ajoutée.

[L’analyste ne conservera que les items qui sont pertinent et qui peuvent affecter le périmètre de mesurage choisi]

- > Nombre et capacité des lignes de production ;
- > Horaire d’utilisation des installations de production ;
- > Type de produits ;
- > Températures de consigne ;
- > L’application de nouvelles normes ou d’un nouveau règlement régissant les conditions de fabrication et les conditions ambiantes ;
- > Changements quant à l’utilisation du bâtiment ;
- > Transformation du bâtiment ;
- > Nombre et capacité des systèmes de mécanique CVC ;
- > Heures de fonctionnement des systèmes de ventilation ;
- > Heures annuelles d’utilisation de l’éclairage ;
- > Quantité d’air extérieur utilisée ;
- > Température de l’eau chaude et de l’eau refroidie.

### PERIODE DE SUIVI

La période de suivi est de xx jours/semaine/mois et devrait débuter le xxx selon la planification du projet disponible au moment de la rédaction de ce plan.

## BASE POUR LES AJUSTEMENTS

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Consommation d'énergie évitée = énergie de la période de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) énergie de la période de suivi
Demande évitée	Demande évitée = demande de la période de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) demande de la période de suivi

Dans l'équation ci-haut, les termes « énergie de la période de référence » et le terme « ajustements périodiques » seront calculés simultanément par le biais du modèle mathématique de la période de référence. Il en va de même du calcul de la demande évitée.

## PROCEDURE D'ANALYSE

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
	X				X
Ajustement de la base de référence selon xxx Electricité [L'analyste doit présenter le modèle mathématique de base de référence pour chaque site. Aux fins d'exemple, nous présentons ici un modèle de base de référence ayant une variable indépendante] La présente procédure d'analyse sera appliquée à la fin de la période de mesurage post installation d'une durée de 14 jours. Durant la période de mesurage, les puissances d'entrée et de sortie du nouveau transformateur efficace seront mesurées par un appareil réalisant un grand nombre de lectures par seconde et compilant les résultats de moyenne de puissance pour chaque période de XX minutes. La puissance de sortie du transformateur à toutes les XX minutes est la variable indépendante qui sera introduite dans le modèle mathématique de la période de référence pour établir qu'elle aurait été la puissance d'entrée de l'ancien transformateur peu efficace selon les différents niveaux de chargement de chaque période. Le modèle mathématique de la période de référence a été établi à partir d'une régression des données d'entrée et de sortie du transformateur existant. La figure ci-dessous montre le résultat de cette analyse de façon graphique. L'abscisse du graphique représente les puissances de sortie du transformateur (la variable indépendante) tandis que l'ordonnée représente la puissance d'entrée. Figure xx – Modèle mathématique de la base de référence					

[L'analyste insérera le graphique correspondant à l'analyse ici]

Pour la régression, un modèle polynomial de 2d niveau a été choisi, ce qui est cohérent avec le comportement théorique d'un transformateur qui comprend des pertes de noyaux (relativement stables) et des pertes de filage (variant selon le carré de la charge). La régression montre très peu de dispersions des données et le R2 est donc excellent à plus de 0,99, ce qui est largement supérieur à la valeur minimale de 0,75 recommandée par l'IPMVP.

Le modèle mathématique de la base de référence permettra donc de calculer la base de référence ajustée par l'équation :

Base de référence ajustée =  $A \times X^2 + B \times X + C$

Où :

Base de référence ajustée = énergie de la période de référence + ajustements périodiques (kW)

X = puissance de sortie du transformateur (kW)

A, B et C = les constantes issues de la régression

Les économies d'énergie pour chaque période de XX minutes seront calculées grâce à l'équation :

Economies = (base de référence ajustée – puissance d'entrée de la période) / 4

Où :

Economies = consommation d'énergie évitée (kWh)

Puissance d'entrée = puissance à chaque période de XX minutes de la période de suivi (kW)

Ces équations sont valides dans la gamme de puissances variant de 0 kW à 900 kW de puissance de sortie du transformateur.

Les économies calculées pour chaque période de XX minutes seront par la suite cumulées pour la période de XX heures/jours/semaines de mesurage pour établir les économies d'énergie.

L'économie de puissance pour ce projet correspondra à l'économie en puissance calculée pour la période de XX minutes où le transformateur était le plus chargé.

Les économies obtenues pour les XX heures/jours/semaines de mesurage après l'implantation de la mesure seront par la suite multipliées par XX pour estimer les économies annuelles. Ceci est justifié, car la consommation électrique de l'usine est très stable.

Il est à noter qu'uniquement les calculs d'économie pour la période de XX heures/jours/semaines peuvent être déclarés conformes à l'IPMVP. Quant à elle, l'économie annuelle est considérée comme une estimation. Pour obtenir des économies annuelles conformes à l'IPMVP, il aurait fallu maintenir le mesurage en permanence pour une période d'une année.

## PRIX DE L'ENERGIE

Les économies valorisées sont déterminées en appliquant le barème de coût approprié dans l'équation suivante :

Economies valorisées = Cb - Cr

Cb = coût de l'énergie correspondant à la puissance et l'énergie de la base référence ajustée selon les variables indépendantes correspondant à la période de suivi courante (incluant l'historique de la base de référence plus les ajustements périodiques).

Cr = coût de l'énergie pendant la période de suivi

Les économies monétaires seront déterminées en appliquant la structure tarifaire en vigueur une fois la mise en service complétée. La même structure tarifaire sera appliquée au calcul des Cb et Cr. Aucun prix plafond n'est prévu, dans l'alternative où les tarifs énergétiques subissaient d'importantes hausses.

## PRIX DE L'ELECTRICITE (HORS TAXES)

Les prix suivants sont ceux qui étaient en vigueur lors de la préparation du présent plan de M&V. Si une modification au tarif est mise en place d'ici à la réalisation du rapport d'économie de la période de suivi, les nouvelles tarifications devront être employées.

**Tableau XX : Tarif Moyenne Tension de type postes horaires**

Tarifs Moyenne Tension	Redevance (mill/ kW-mois)	Prix de l'énergie (mill/kWh) *			
		Jour	Pointe	Soir	Nuit
Postes horaires	3 500	110	168	133	85

Source : STEG

\*La TVA est à appliquer à un taux de 18 % sur toutes les redevances et sur le prix d'énergie (hors taxes) des usages autres que domestiques et l'irrigation. A majorer de la surtaxe municipale de 3 mill/kWh.

Pour le tarif à postes horaires, les périodes sont définies comme suit :

**Tableau XX : Tarifs à quatre postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Soir	Nuit
1er septembre au 31 mai	de 7 h à 18 h	de 18 h à 21 h	-	de 21 h à 7 h
1er juin au 31 août	de 6 h 30 à 8 h 30 et de 13 h 30 à 19 h	de 8 h 30 à 13 h 30	de 19 h à 22 h	de 22 h à 6 h 30

**Tableau XX : Tarifs à trois postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Nuit
1er octobre au 31 mars	de 6 h 30 à 17 h 30	de 17 h 30 à 21 h 30	de 21 h 30 à 6 h 30
1er avril au 30 septembre	de 8 h à 19 h	de 19 h à 23 h	de 23 h à 8 h

## CARACTERISTIQUES DES COMPTEURS

Les compteurs qui seront utilisés pour les campagnes de mesurage avant et après installation seront de type portable, triphasé et réalisant un grand nombre de lectures chaque seconde. Les données seront compilées automatiquement pour des périodes de XX minutes pour établir les puissances moyennes. Les compteurs feront l'enregistrement de chaque période de XX minutes et auront une mémoire suffisante pour maintenir toutes les données de la campagne de mesurage de XX heures/jours/semaines.

[L'analyste décrira le nombre de compteurs et les variables mesurées ainsi que leur précision]  
 X compteurs seront nécessaires. Le compteur X mesurera la variable dépendante soit le besoin énergétique pour xx. Le compteur X mesurera la variable indépendante soit la charge électrique devant être fournie au XX.

Les compteurs devront avoir la précision suivante :

Précision en pourcentage de la lecture actuelle : XX %

Intervalle de confiance : XX

La firme qui réalisera l'installation des compteurs et leur mise en marche de même que le propriétaire du site pourront être présents lors de l'installation, de l'enlèvement et du transfert des fichiers de l'appareil de mesure à un ordinateur. Le propriétaire du site pourra conserver un exemplaire des fichiers bruts de la campagne de mesurage pour ses dossiers.

La procédure de mise en service des compteurs devra être conforme aux recommandations du fabricant. L'installateur devra, entre autres, vérifier que les transformateurs de courants et les branchements de tension soient effectués correctement. Une lecture de la puissance sur le compteur de la STEG sera également réalisée et comparée à celle du compteur temporaire pour s'assurer qu'il n'y a pas de grande différence entre les lectures obtenues.

Au cas où l'analyse des données enregistrées durant les périodes avant ou après l'implantation de la mesure démontre qu'il y a eu perte de données, les campagnes de mesurage devront être reprises.

Les erreurs sur des équipements de mesure sont dues au calibrage, à la mesure inexacte ou à la méthode inappropriée d'installation du compteur ou son fonctionnement. De manière à réduire les erreurs au maximum, il est important de maintenir sur place, par entretien courant, la précision des compteurs, et le calibrage, avec des normes connues. De plus, les rapports de précision du fabricant devraient être conformes aux standards de l'industrie, pour leurs produits. [Le dernier paragraphe est très général. Dans un plan de M&V précis, l'auteur doit préciser les exigences de calibration des compteurs, si celle-ci est réalisée à l'externe, ou le délai maximal acceptable depuis la dernière calibration du compteur]

## RESPONSABILITES DU SUIVI

Responsables	Enregistrement des données énergie		Variables indépendantes		Facteurs statiques	
	Données	Fréquence	Données	Fréquence	Données	Fréquence
Propriétaire du site						
Entreprise assurant l'implantation du système de mesurage et le rapport de M&V						

## RESPONSABILITES DU RAPPORT

Responsable	Nom du responsable
Fréquence	Un seul rapport à émettre après la campagne de mesurage post installation
Transmission	XX jours suivant la fin de la période de mesurage

## BUDGET

Les budgets d'évaluation pour une période de suivi de quinze jours sont les suivants :

	Instrumentation	Honoraires
Préparation du plan de M&V et de la base de référence	TND	TND
Mesurage avant installation	TND	TND
Mesurage et production de rapport pour la période de suivi	TND	TND
Sous-total	TND	TND
Grand total	TND	

## FORMAT DU RAPPORT DE M&V

Nom du projet :
Date :
1. Dates de début et fin de la période de mesurage
2. Consommation de la base de référence
- Données de demande électrique
- Données de consommation autre compteur (si requis)
- Variable indépendante
3. Consommation de la période de suivi
4. Description et justification des corrections apportées aux données observées
5. Ajustement requis aux données de la période
6. Calcul de la base de référence ajustée pour la période
- Facteurs d'ajustement de la période
- Ajustements périodiques
7. Calculs des économies d'énergie (KW, KWh, m <sup>3</sup> ,)
8. Calculs des économies d'énergie (TND)
9. Estimation des économies annuelles projetées.

## GARANTIE DE LA QUALITE

Voici la procédure à employer afin d'assurer la qualité des calculs d'économie d'énergie, et de toute autre activité connexe, lors de la préparation des rapports.

> Uniquement des professionnels possédant la certification CMVP (Certified Measurement and Verification Professional) pourront réaliser la supervision des campagnes de mesurage, les analyses de la base de référence, les ajustements de base de référence et les calculs d'économie.

> Tous les calculs d'économie seront basés sur des principes fondamentaux d'ingénierie et réalisés selon les règles de l'art.

> Chacun des calculs fera l'objet d'une vérification par un responsable de la qualité ayant les aptitudes requises.

> La base de référence et les consommations de la période de suivi seront basées sur des campagnes de mesurage avec des équipements calibrés. Les données brutes seront examinées par le responsable de la réalisation des analyses pour déterminer si celles-ci sont cohérentes.

> Afin de minimiser les erreurs de saisie des données servant au calcul, celles-ci seront doublement vérifiées. Cette seconde vérification sera effectuée par un autre intervenant.

## ANNEXE III

### MODELE DE PLAN DE M&V : OPTION C

#### MESURES DE CONSERVATION D'ENERGIE (MCE)

**Mesures visées pour une vérification conforme au Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique (IPMVP 2010)**

**Durée de mise en œuvre du plan : indéterminée pour conciliation à long terme**

Liste des mesures	Résultat attendu	Description de la MCE
Mesure 1 :		
Mesure 2 :		
Mesure 3 :		

[L'analyste doit également préciser : Les procédures de mise en service qui seront employées pour vérifier le succès de chaque mesure. De plus, il doit signaler tous les changements prévus affectant les conditions de la situation de référence, comme le réglage de la température des bâtiments inoccupés (réf. IPMVP 2010 chapitre 5)].

#### OPTION ET PERIMETRE DE MESURE

**L'option employée pour déterminer les économies**

Option C

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

**Justification du choix de l'option**

**Périmètre de mesurage**

Le périmètre de mesurage est...

#### SITUATION DE REFERENCE ; PERIODE, ENERGIE ET CONDITIONS

##### IDENTIFICATION DE LA PERIODE DE REFERENCE

La période de référence est du [date] au [date], et ce, pour les consommations d'énergie électrique et de gaz naturel.

[L'analyste ajoutera les raisons justifiant le choix de cette période.]

##### ENERGIE ET PUISSANCE ELECTRIQUE DE LA BASE DE REFERENCE

Les données de facturation pour la période de référence choisie proviennent des lectures réelles apparaissant sur les factures d'électricité de la STEG.

[L'analyste pourra noter les cas où une lecture a été estimée par le distributeur et l'impact de cet estimé sur la répartition de l'énergie par période]

**Tableau XX : Consommation d'électricité du site pour la période de référence**

Electricité			
Période		Pointe de charge	Consommation
De	A	kW	kWh
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
xxx	xxx		
<b>TOTAL</b>			

**CONSOMMATION DE GAZ NATUREL DE LA BASE DE REFERENCE**

Les données de facturation pour la période de référence proviennent des lectures réelles sur les factures de consommation de STEG.

Les données de facturation pour la période de référence choisie proviennent des lectures réelles apparaissant sur les factures de gaz naturel de la STEG.

[L'analyste pourra noter les cas où une lecture a été estimée par le distributeur et l'impact de cet estimé sur la répartition de l'énergie par période]





## BASE POUR LES AJUSTEMENTS

Approche retenue	Equation
<b>Consommation d'énergie évitée</b>	Energie de la base de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( ± ) ajustements non périodiques ( - ) énergie électrique de la période de suivi
<b>Demande évitée</b>	Demande de la base de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( ± ) ajustements non périodiques ( - ) demande électrique de la période de suivi

Dans l'équation ci-dessus, les calculs des termes « Energie de la base de référence » et « ajustements périodiques » seront réalisés simultanément par le biais du modèle mathématique de la période de référence. Il en va de même du calcul de demande évitée.

## PROCEDURE D'ANALYSE

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
	X				X
<b>P</b>	<p>[L'analyste devra présenter le modèle mathématique de base de référence pour chaque site. Aux fins d'exemple, voici un modèle de base de référence ayant deux variables indépendantes]</p> <p>Ajustement de la base de référence selon la production et les degrés-jours de chauffage :</p> <p>Electricité :</p> <p>[L'analyste devra présenter le modèle mathématique de base de référence pour chaque site. Aux fins d'exemple, voici un modèle de base de référence ayant deux variables indépendantes]</p> <p>Les données de consommation électrique de la période de référence sont ajustées selon la production et les degrés-jours de chauffage. Une analyse de régression linéaire est menée afin d'établir la relation existante entre ces éléments. Voici le modèle mathématique de la période de référence trouvée :</p> <p><b><math>Y = a X_1 + b X_2 + c</math></b></p> <p>Où :</p> <p>Y = base de référence ajustée pour l'électricité (kWh)</p> <p><math>X_1</math> = unités de production (tonnes)</p> <p><math>X_2</math> = degrés-jours de chauffage (°C-jr)</p> <p>c = consommation de base (kWh)</p>				

A chaque période correspondant à une facturation du fournisseur d'énergie dans la période de suivi, les unités de production et les degrés-jours de chauffage seront calculés pour la même période. Les valeurs résultantes seront insérées dans l'équation représentant le modèle de base de référence pour obtenir la consommation de base de référence ajustée pour la période.

[Note : L'analyste pourra ajouter ici un paragraphe similaire à celui ci-dessus traitant de l'ajustement de la base de référence de la pointe de puissance].

L'analyse de régression a été jugée acceptable selon les critères généralement reconnus pour ce type d'analyse. Le tableau suivant présente les indicateurs statistiques de cette régression.

**Tableau XX : Statistiques de la régression pour l'électricité**

Coefficient de détermination multiple	Valeur obtenue	Cible recommandée par l'IPMVP
Erreur type		
Statistique t ( $X_1$ )		
Statistique t ( $X_2$ )		
Statistique t (consommation de référence)		
Observations		

Gaz Naturel

Les données sur la consommation de gaz naturel de la période référence sont ajustées selon les unités de production et selon les degrés-jours de chauffage. Une analyse de régression linéaire a été menée afin d'établir la relation existante entre ces éléments. Voici la relation trouvée :

$$Y = a X_1 + b X_2 + c$$

Où :

Y = base de référence ajustée pour le gaz naturel (m<sup>3</sup>)

X<sub>1</sub> = unités de production (tonnes)

X<sub>2</sub> = degrés-jours de climatisation (°C-jr)

c = consommation de base (m<sup>3</sup>)

A chaque période correspondant à une facturation du fournisseur d'énergie dans la période de suivi, les unités de production et les degrés-jours de chauffage seront calculés pour la même période. Les valeurs résultantes seront insérées dans l'équation représentant le modèle de base de référence pour obtenir la consommation de base de référence ajustée pour la période.

L'analyse de régression a été jugée acceptable selon les critères généralement reconnus pour ce type d'analyse. Le tableau suivant présente les indicateurs statistiques de cette régression.

Ajustement de la base de référence en cas d'ajout/retrait/arrêt d'équipement dans l'établissement ou pour un changement dans l'opération

**N**

Advenant un ajout/retrait/arrêt d'équipement dans l'établissement, une collecte des données sera faite à partir des plans de la modification ou des devis, des spécifications de l'équipement ou des informations provenant du manufacturier ou encore d'une campagne de mesurage à court terme. La procédure sera établie selon l'impact du changement sur les facteurs statiques. Les heures d'opération des nouveaux appareils pourront être estimées selon le type d'usage, à la convenance du client.

Chaque ajustement calculé sera défini comme étant un ajustement temporaire (applicable à une portion de la période de suivi) ou permanent (qui restera en vigueur pour tout le reste de la période de suivi).

## PRIX DE L'ÉNERGIE

Les économies valorisées sont déterminées en appliquant le barème de coût approprié dans l'équation suivante :

### Economies valorisées = Cb - Cr

**Cb** = coût de l'énergie correspondant à la puissance et l'énergie de la base référence ajustée pour la période de suivi courante (incluant l'historique de la base de référence plus tout ajustement périodique ou non périodique).

**Cr** = coût de l'énergie pendant la période de suivi

Les économies monétaires seront déterminées en appliquant la structure tarifaire en vigueur une fois la mise en service complétée. La même structure tarifaire sera appliquée au calcul des Cb et Cr. Aucun prix plafond n'est prévu, dans l'alternative où les tarifs énergétiques subissaient d'importantes hausses.

Les prix suivants sont ceux qui étaient en vigueur lors de la préparation du présent plan de M&V. Si une modification au tarif est mise en place d'ici la réalisation du rapport d'économie de la période de suivi, les nouvelles tarifications devront être employées.

PRIX DE L'ELECTRICITE (HORS TAXES)

**Tableau XX : Tarif Moyenne Tension de type uniforme**

Tarifs Moyenne Tension	Redevance (mill/kVA-mois)	Prix de l'énergie (mill/kWh)*			
		Jour	Pointe	Soir	Nuit
Uniforme	500	125			

Source : STEG

**Tableau XX : Tarif Moyenne Tension de type postes horaires**

Tarifs Moyenne Tension	Redevance (mill/kW-mois)	Prix de l'énergie (mill/kWh) *			
		Jour	Pointe	Soir	Nuit
Postes horaires	3 500	110	168	133	85

Source : STEG

\*La TVA est à appliquer à un taux de 18 % sur toutes les redevances et sur le prix d'énergie (hors taxes) des usages autres que domestiques et l'irrigation. A majorer de la surtaxe municipale de 3 mill/kWh.

Pour le tarif à postes horaires, les périodes sont définies comme suit :

**Tableau XX : Tarifs à quatre postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Soir	Nuit
1er septembre au 31 mai	de 7 h à 18 h	de 18 h à 21 h	-	de 21 h à 7 h
1er juin au 31 août	de 6 h 30 à 8 h 30 et de 13 h 30 à 19 h	de 8 h 30 à 13 h 30	de 19 h à 22 h	de 22 h à 6 h 30

**Tableau XX : Tarifs à trois postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Nuit
1er octobre au 31 mars	de 6 h 30 à 17 h 30	de 17 h 30 à 21 h 30	de 21 h 30 à 6 h 30
1er avril au 30 septembre	de 8 h à 19 h	de 19 h à 23 h	de 23 h à 8 h

## PRIX DU GAZ NATUREL (HORS TAXES)

**Tableau XX : Tarif MP1**

Tarifs	Débit souscrit (th/h)	Redevance <sup>F</sup>		Prix de l'énergie (mill/th) <sup>F</sup>
		D'abonnement (DT/ab-mois)	De débit (mill/th-h-mois)	
MP1	à 4 000 000 1	20	100	25,30

Source : STEG

**Tableau XX : Tarif MP2**

Tarifs	Débit souscrit (th/h)	Redevance <sup>F</sup>		Prix de l'énergie (mill/th) <sup>F</sup>
		D'abonnement (DT/ab-mois)	De débit (mill/th-h-mois)	
MP1	à 30 000 000 6	20	200	24,90

Source : STEG

<sup>F</sup> La TVA est à appliquer à un taux de 18 % sur toutes les redevances et sur le prix d'énergie (hors taxes).

## CARACTERISTIQUES DES COMPTEURS

Les compteurs principaux mesurant la consommation d'électricité, l'appel de puissance électrique et de combustible total du bâtiment sont les suivants :

- > Le compteur principal mesurant la consommation d'électricité totale du bâtiment est le compteur de STEG possédant une précision de l'ordre de X % sur de la mesure effectuée. D'ailleurs, il sert à l'évaluation des économies d'énergie du bâtiment test.
- > Ajouter les autres compteurs

Les erreurs sur des équipements de mesure sont dues au calibrage, à la mesure inexacte ou à la méthode inappropriée d'installation du compteur ou son fonctionnement. De manière à réduire les erreurs au maximum, il est important de maintenir sur place, par entretien courant, la précision des compteurs et le calibrage, avec des normes connues. De plus, les rapports de précision du fabricant devraient être conformes aux standards de l'industrie, pour leurs produits. Une attention particulière devrait être portée pour déterminer l'intervalle de confiance utilisé en citant la précision d'un compteur. Sauf indication contraire, la confiance devrait être de 95 %.

[Le dernier paragraphe est très général. Dans un plan de M&V précis, l’auteur doit préciser les exigences pour la calibration des compteurs si celle-ci est réalisée à l’externe ou le délai maximal acceptable depuis la dernière calibration du compteur.]

## RESPONSABILITES DU SUIVI

Responsables	Enregistrement des données énergie		Variables indépendantes		Facteurs statiques	
	Données	Fréquence	Données	Fréquence	Données	Fréquence
Entreprise assurant l’implantation du système de mesure (à définir)	Compteur électrique de STEG	Les factures d’électricité doivent être envoyées à l’entreprise réalisant le rapport de M&V dans les deux jours après leur réception	S.O.	S.O.	Changement des heures d’occupation de l’établissement Ajout/retrait/arrêt d’équipements dans tout le bâtiment Changement aux horaires d’utilisation des équipements.	1 fois par mois Ajout : 5 jours après Retrait : 5 jours avant Arrêt : 1 fois par mois.
	Compteur de gaz naturel de STEG		S.O.	S.O.		
Entreprise réalisant le rapport de M&V	S.O.	S.O.	Collecte des degrés-jours de chauffage et de réfrigération	Mensuel	S.O.	S.O.

## RESPONSABILITE DU RAPPORT

<b>Responsable</b>	Nom du responsable
<b>Fréquence</b>	Annuel pour une période de trois ans
<b>Transmission</b>	XX jours suivant la fin de la première année de suivi

## BUDGET

Les budgets d’évaluation pour une période de suivi de trois ans sont les suivants :

	Instrumentation	Honoraires
Préparation du plan de M&V et préparation de la base de référence	TND	TND
Mesurage avant installation	TND	TND
Mesurage et production de rapport pour la période de suivi	TND	TND
Sous-total	TND	TND
Période de suivi	XXX TND pour l’installation d’équipements permanents et XXX TND pour les années suivantes.	XXX TND par année

## FORMAT DU RAPPORT DE M&V

Nom du projet :

Date :

1. Dates de début et fin de la période de mesurage
2. Consommation de la base de référence
  - Données de consommation et demande électrique
  - Données de consommation de gaz naturel
  - Tableau résumé des consommations et puissance du site
3. Consommation de la période de suivi
  - Données de facturation (ou de mesurage)
  - Ajustement requis aux données de la période
4. Description et justification des corrections apportées aux données observées
5. Calcul de la base de référence ajustée pour la période
  - Facteurs d'ajustement de la période
  - Calcul des ajustements périodiques
  - Calcul des ajustements non périodiques
  - Calcul de l'année de référence ajustée
6. Tarifs de l'énergie
7. Calculs des économies d'énergie (kW, kWh, m<sup>3</sup>)
8. Calculs des économies d'énergie (TND)
9. Evaluation des économies cumulées depuis le début du projet, sur une base annuelle

## GARANTIE DE LA QUALITE

Voici la procédure à employer afin d'assurer la qualité des calculs d'économie d'énergie, et de toute autre activité connexe lors de la préparation des rapports.

> Uniquement des professionnels possédant la certification CMVP (Certified Measurement and Verification Professional) pourront réaliser les calculs d'ajustements périodiques et non périodiques ainsi que des économies.

> Tous les calculs d'économie seront basés sur des principes fondamentaux d'ingénierie et effectués selon les règles de l'art.

> Chacun des calculs fera l'objet d'une vérification par un responsable de la qualité ayant les aptitudes requises.

> La base de référence et les données de la période de suivi seront basées sur les données énergétiques (électricité, gaz naturel, mazout, etc.) provenant de copies des factures des fournisseurs d'énergie, tels que STEG.

> Afin de minimiser les erreurs d'entrée de données d'énergie, celles-ci seront doublement vérifiées. Cette seconde vérification sera effectuée par un autre intervenant.

Variable indépendante :

Degrés-jours : toutes les données météorologiques proviendront de l'Institut National de la Météorologie, plus précisément de la station météorologique la plus près du projet.

Facteur statique :

L'information concernant le changement des facteurs statiques pour un projet sera acheminée par le responsable interne du projet (client) pour être ensuite analysée par le professionnel certifié CMPV afin qu'il juge des impacts directs ou indirects sur les économies projetées. Ce professionnel sera ensuite en mesure de faire les ajustements non périodiques nécessaires à la base de référence afin de dégager les économies réelles des mesures implantées.

## ANNEXE IV

# PLAN DE M&V : AMELIORATION DE L'EFFICACITE D'UN TRANSFORMATEUR

### MESURES DE CONSERVATION D'ENERGIE (MCE)

Une industrie qui fabrique des meubles a actuellement deux transformateurs principaux à l'entrée électrique qui servent à réduire la tension de 4 000 volts à 600 volts. Un seul des deux transformateurs est en fonction alors que le second est gardé hors ligne pour servir au besoin d'unité de relève. Ces transformateurs actuels sont d'une technologie traditionnelle et peu efficace (acier magnétique ordinaire et câblage en aluminium) puis leur âge avancé requerra un changement pour de nouveaux transformateurs.

Un audit énergétique a été réalisé par un consultant et recommande de procéder au remplacement des transformateurs par des unités à cœur en acier amorphe (trempe rapide qui empêche la cristallisation) et du câblage de cuivre, ce qui lui confèrent des meilleures caractéristiques énergétiques. Le surcoût de ces transformateurs efficaces peut être récupéré en quelques années.

L'étude a établi que les économies attendues par cette mesure seront de 50 000 kWh par année représentant 7275 TND.

Ce plan de mesurage et vérification (M&V) vise à établir les économies pour l'unité qui sera en service durant l'application du plan.

La procédure de mise en service n'a rien de particulier et est similaire à toute installation de transformateur.

Aucun changement n'est prévu à la situation de référence et il ne sera donc pas nécessaire de procéder à des ajustements de la campagne de mesurage avant l'implantation de la mesure pour préparer le modèle mathématique de la période de référence.

### OPTION ET PERIMETRE DE MESURE

#### L'option employée pour déterminer les économies

Option B

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

#### Justification du choix de l'option

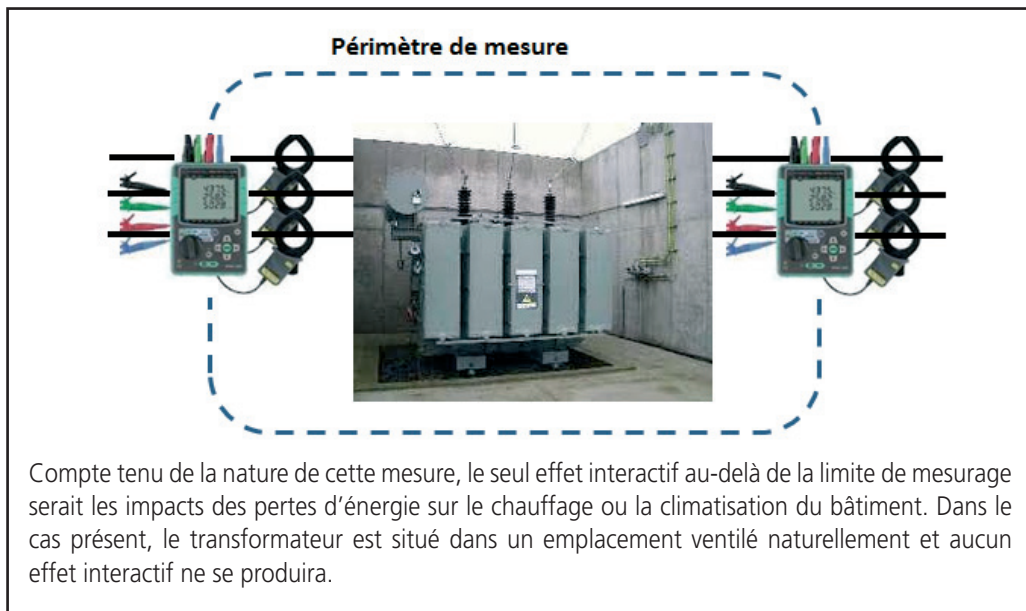
L'Option B a été retenue car, dans ce cas précis, l'intérêt est de déterminer les économies en fonction des charges réelles fournies par le transformateur aux différents usagers dans l'usine.

Si l'intérêt était exclusivement de démontrer l'efficacité accrue du transformateur, l'Option A aurait pu être envisagée pour mesurer la réduction des pertes d'énergie à différents niveaux de chargement du transformateur puis utiliser un profil typique estimé de chargement annuel pour déterminer les économies annuelles.

L'approche B retenue demande donc de mesurer la performance du transformateur à différents niveaux de chargement avant l'implantation de la mesure et un mesurage similaire après l'implantation pour une durée suffisante pour ainsi bien représenter l'opération annuelle future des installations.

#### Périmètre de mesurage

Le périmètre de mesurage est le transformateur. Il faudra mesurer simultanément l'énergie entrant puis sortant du transformateur pour déterminer les pertes d'énergie dans le transformateur avant et après le remplacement.



## SITUATION DE REFERENCE ; PERIODE, ENERGIE ET CONDITIONS

### IDENTIFICATION DE LA PERIODE DE REFERENCE

Dans le cas présent, la période de mesurage doit être assez longue pour permettre d'analyser le fonctionnement du transformateur aux différents niveaux de chargement qui seront rencontrés dans une opération normale.

Après l'analyse des opérations de l'usine des dernières années, il a été convenu qu'une période de mesurage de deux semaines avant le remplacement serait suffisante.

La période de mesurage a été planifiée pour le 26 septembre au 10 octobre 2011 inclusivement.

### DONNEES DE CHARGE ET DE CONSOMMATION DE LA PERIODE DE REFERENCE

Les données pour la période de référence proviennent des mesures des paramètres suivants sur le transformateur existant :

- > La puissance électrique à l'entrée du transformateur
- > La puissance électrique à la sortie du transformateur

Les données ont été enregistrées en continu pour une période de deux semaines. Les données sont enregistrées par un appareil qui fait de nombreux relevés de puissance chaque seconde puis qui compile et enregistre les moyennes obtenues sur chaque période de quinze minutes. Le fichier de compilation est sauvegardé à même l'appareil puis est transféré sur ordinateur à la fin de la période de mesurage.

Cette campagne de mesurage a permis de disposer du nombre de points d'analyse suivants ;

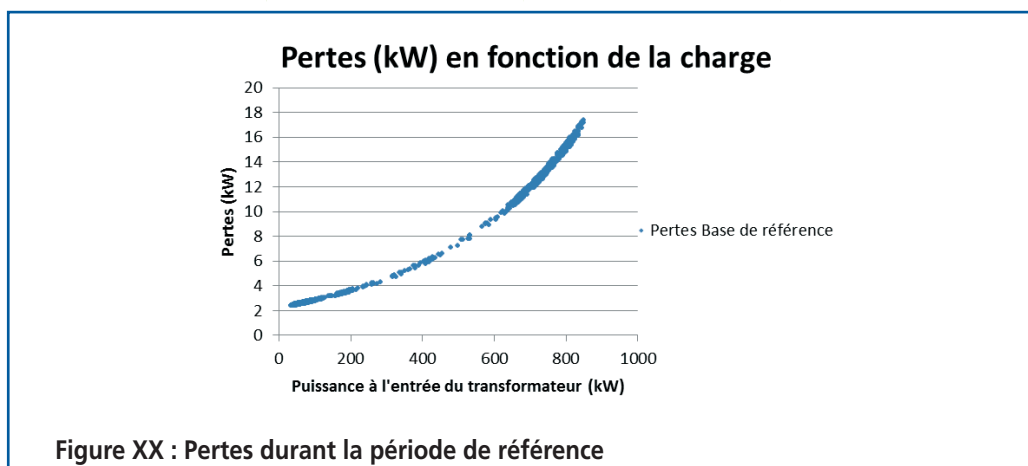
Points d'analyse : 14 jours x 24 heures/jour x 4 points/heure = 1 344 points

A titre indicatif, le Tableau XX présente les données pour les premières heures de mesurage. Les données complètes sont contenues dans le tableau « Mesurage avant remplacement – Transformateur ».

Le graphique XX représente les données obtenues sur deux semaines.

**Tableau XX : Début de la période de mesurage du transformateur**

Date	Heure	Puissance à l'entrée	Puissance de sortie
26 sept. 2011	0 h 15	91,2	88,5
26 sept. 2011	0 h 30	86,4	83,6
26 sept. 2011	0 h 45	86,4	83,7
26 sept. 2011	h 1	91,2	88,4
26 sept. 2011	1 h 15	91,2	88,5
26 sept. 2011	1 h 30	86,4	83,6
26 sept. 2011	1 h 45	86,4	83,7
26 sept. 2011	2 h	91,2	88,4
Etc.			



### AJUSTEMENTS REQUIS AUX DONNEES DE LA PERIODE DE REFERENCE

Dans le cas présent, aucun ajustement aux données de la base de référence n'est requis.

### VARIABLES INDEPENDANTES

Les variables indépendantes incluent les facteurs pouvant affecter la consommation d'énergie du site et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques de la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, la puissance à la sortie du transformateur sera considérée comme la variable indépendante, car elle représente la charge requise pour le site en tout moment. La campagne de mesurage a déjà permis d'obtenir les données requises pour le facteur d'ajustement.

### FACTEURS STATIQUES DE LA PERIODE DE REFERENCE

Pour la présente mesure d'efficacité énergétique, le concept de facteur statique ne s'applique pas, car ce qui doit être mesuré sont les pertes des transformateurs en situation réelle incluant tout changement à l'usine et représenté par la charge réelle du site durant la période de mesurage post installation. Si le but était de faire abstraction des modifications à l'opération du site, l'Option A aurait pu être envisagée.

## PERIODE DE SUIVI

La période de suivi correspond à une période de quatorze jours suivant l'installation des nouveaux transformateurs.

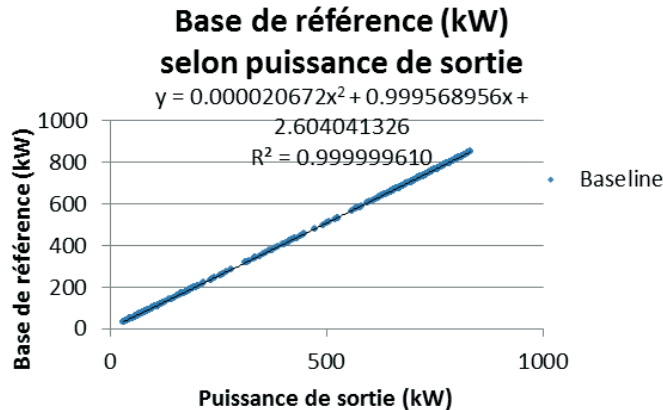
## BASE POUR LES AJUSTEMENTS

Approche retenue	Equation
Consommation d'énergie évitée	Energie de la période de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) énergie de la période de suivi
Demande évitée	Demande de la période de référence ( ± ) ajustements périodiques (aux conditions de la période de suivi) ( - ) demande de la période de suivi

Dans l'équation ci-dessus, les calculs des termes « Energie de la période de référence » et « ajustements périodiques » seront effectués simultanément par le biais du modèle mathématique de la période de référence. Il en va de même du calcul des ajustements à la puissance de référence.

## PROCEDURE D'ANALYSE

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
	X				X
<p>La procédure d'analyse sera appliquée à la fin de la période de mesurage post installation d'une durée de quatorze jours.</p> <p>Durant la période de mesurage, les puissances d'entrée et de sortie du nouveau transformateur efficace seront mesurées par un appareil réalisant un grand nombre de lectures par seconde et compilant les résultats de moyenne de puissance pour chaque période de quinze minutes.</p> <p>La puissance de sortie du transformateur, prise toutes les quinze minutes, sera la variable indépendante. Elle sera introduite dans le modèle mathématique de la période de référence pour établir qu'elle aurait été la puissance d'entrée de l'ancien transformateur peu efficace selon les différents niveaux de chargement de chaque période.</p> <p>Le modèle mathématique de la période de référence a été établi à partir d'une régression des données d'entrée et de sortie du transformateur existant. La figure ci-dessous montre le résultat de cette analyse de façon graphique. L'abscisse du graphique représente les puissances de sortie du transformateur (la variable indépendante) tandis que l'ordonnée représente la puissance d'entrée.</p>					



**Figure XX – Modèle mathématique de la base de référence**

Pour la régression, un modèle polynomial de 2<sup>d</sup> niveau a été choisi, ce qui est cohérent avec le comportement théorique d'un transformateur qui comprend des pertes de noyaux (relativement stables) et des pertes de filage (variant selon le carré de la charge). La régression montre très peu de dispersions des données et le R<sup>2</sup> est donc excellent à plus de 0,99, ce qui est largement supérieur à la valeur minimale de 0,75 recommandée par l'IPMVP.

Le modèle mathématique de la base de référence permettra donc de calculer la base de référence ajustée par l'équation :

Base de référence ajustée =  $-0,000020672 x^2 + ,999568956x - 2,604041326$

Où :

Base de référence ajustée = énergie de la période de référence + ajustements périodiques (kW)

X = puissance de sortie du transformateur (kW)

Les économies d'énergie pour chaque période de quinze minutes seront calculées grâce à l'équation :

Economies = (base de référence ajustée – puissance d'entrée de la période) / 4

Où :

Economies = consommation d'énergie évitée (kWh)

Puissance d'entrée = puissance à chaque période de quinze minutes de la période de suivi (kW)

Ces équations sont valides dans la gamme de puissances variant de 0 kW à 900 kW de puissance de sortie du transformateur.

Les économies calculées pour chaque période de quinze minutes seront par la suite cumulées pour la période de deux semaines de mesurage afin d'établir les économies d'énergie.

L'économie de puissance pour ce projet correspondra à l'économie en puissance calculée pour la période de quinze minutes où le transformateur était le plus chargé.

Les économies obtenues pour les 2 semaines de mesurage après l'implantation de la mesure seront par la suite multipliées par 26 pour estimer les économies annuelles. Ceci est justifié, car la consommation électrique de l'usine est très stable.

Il est à noter qu'uniquement les calculs d'économie pour la période de deux semaines peuvent être déclarés conformes à l'IPMVP. L'économie annuelle est, quant à elle, considérée comme une estimation. Pour obtenir des économies annuelles conformes à l'IPMVP, il aurait fallu maintenir le mesurage en permanence pour une période d'une année.

## PRIX DE L'ENERGIE

Les économies valorisées sont déterminées en appliquant le barème de coût approprié dans l'équation suivante :

**Economies valorisées = Cb - Cr**

**Cb** = coût de l'énergie correspondant à la puissance et l'énergie de la base référence ajustée selon la charge de la période de suivi courante (incluant l'historique de la base de référence plus l'ajustement périodique).

**Cr** = coût de l'énergie pendant la période de suivi

Les économies monétaires seront déterminées en appliquant la structure tarifaire en vigueur une fois la mise en service complétée. La même structure tarifaire sera appliquée au calcul des **Cb** et **Cr**. Aucun prix plafond n'est prévu, dans l'alternative où les tarifs énergétiques subissaient d'importantes hausses.

## PRIX DE L'ELECTRICITE (HORS TAXES)

Les prix suivants sont ceux qui étaient en vigueur lors de la préparation du présent plan de M&V. Si une modification au tarif est mise en place d'ici la réalisation du rapport d'économie de la période de suivi, les nouvelles tarifications devront être employées.

**Tableau XX : Tarif Moyenne Tension de type postes horaires**

Tarifs Moyenne Tension	Redevance (mill/kW-mois)	Prix de l'énergie (mill/kWh) *			
		Jour	Pointe	Soir	Nuit
Postes horaires	3 500	110	168	133	85

Source : STEG

\*La TVA est à appliquer à un taux de 18 % sur toutes les redevances et sur le prix d'énergie (hors taxes) des usages autres que domestiques et l'irrigation. A majorer de la surtaxe municipale de 3 mill/kWh.

Les périodes sont définies comme suit pour le tarif à postes horaires.

**Tableau XX : Tarifs à quatre postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Soir	Nuit
1er septembre au 31 mai	de 7 h à 18 h	de 18 h à 21 h	-	de 21 h à 7 h
1er juin au 31 août	de 6 h 30 à 8 h 30 et de 13 h 30 à 19 h	de 8 h 30 à 13 h 30	de 19 h à 22 h	de 22 h à 6 h 30

**Tableau XX : Tarifs à trois postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Nuit
1 <sup>er</sup> octobre au 31 mars	de 6 h 30 à 17 h 30	de 17 h 30 à 21 h 30	de 21 h 30 à 6 h 30
1 <sup>er</sup> avril au 30 septembre	de 8 h à 19 h	de 19 h à 23 h	de 23 h à 8 h

## CARACTERISTIQUES DES COMPTEURS

Les compteurs qui seront utilisés pour les campagnes de mesurage avant et après installation seront de type portable, triphasé et réalisant un grand nombre de lectures chaque seconde. Les données seront compilées automatiquement pour des périodes de quinze minutes afin d'établir les puissances moyennes. Les compteurs feront l'enregistrement de chaque période de quinze minutes et auront une mémoire suffisante pour maintenir toutes les données de la campagne de mesurage de quatorze jours.

Deux compteurs seront nécessaires soit un à l'entrée et un à la sortie du transformateur. Le compteur à l'entrée mesurera la variable dépendante soit le besoin énergétique du transformateur. Le compteur à la sortie mesurera la variable indépendante soit la charge électrique devant être fournie au site.

Les compteurs devront avoir la précision suivante :

Précision en pourcentage de la lecture actuelle : 0,1 %

Intervalle de confiance : 95 %

Compte tenu que les différences de charge entre l'entrée et la sortie du transformateur sont relativement faibles, les 2 compteurs utilisés devront être calibrés et testés sur une gamme de charges variant entre 100 kW et 800 kW. Un tableau de la précision obtenue après calibration sera établi pour chaque intervalle de chargement de 100 kW. Si une erreur systématique résiduelle subsiste après la calibration des compteurs, un ajustement sera appliqué lors de la réalisation des calculs d'économie pour éliminer l'erreur de calibration entre les compteurs.

La firme qui réalisera l'installation des compteurs et leur mise en marche de même que le propriétaire du site pourront être présents lors de l'installation, de l'enlèvement et du transfert des fichiers de l'appareil de mesure à un ordinateur. Le propriétaire du site pourra conserver un exemplaire des fichiers bruts de la campagne de mesurage pour ses dossiers.

La procédure de mise en service des compteurs devra être conforme aux recommandations du fabricant. L'installateur devra, entre autres, vérifier que les transformateurs de courants et les branchements de tension soient effectués correctement. Une lecture de la puissance sur le compteur de la STEG sera également réalisée et comparée à celle du compteur temporaire pour s'assurer qu'il n'y a pas de grande différence entre les lectures obtenues.

Au cas où l'analyse des données enregistrées durant les périodes avant ou après l'implantation de la mesure démontre qu'il y a eu perte de données, les campagnes de mesurage devront être reprises.

## RESPONSABILITES DU SUIVI

Responsables	Enregistrement des données énergie		Variables indépendantes		Facteurs statiques	
	Données	Fréquence	Données	Fréquence	Données	Fréquence
Propriétaire du site	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Entreprise assurant l'implantation du système de mesure et le rapport de M&V	Puissances à l'entrée et à la sortie du transformateur	Une seule fois après implantation pour une durée de quinze jours.	Puissance à la sortie du transformateur.	Une seule fois après implantation pour une durée de quinze jours.	S.O.	S.O.

## RESPONSABILITE DU RAPPORT

<b>Responsable</b>	Nom du responsable
<b>Fréquence</b>	Un seul rapport à émettre après la campagne de mesure post installation
<b>Transmission</b>	jours suivant la fin de la période de mesure 30

## BUDGET

Les budgets d'évaluation pour une période de suivi de quinze jours sont les suivants.

	Instrumentation	Honoraires
Préparation du plan de M&V et préparation de la base de référence	S.O.	1 600 TND
Mesurage avant installation	1 200 TND	600 TND
Mesurage et production de rapport pour la période de suivi	1 200 TND	1 800 TND
Sous-total	2 400 TND	4 000 TND
Grand total	6 400 TND	

## FORMAT DU RAPPORT DE M&V

Nom du projet :
Date :
1. Dates de début et fin de la période de mesure
2. Consommation de la base de référence
- Données de demande électrique
- Variable indépendante (charge à la sortie du transformateur)
3. Consommation de la période de suivi
4. Description et justification des corrections apportées aux données observées
5. Ajustement requis aux données de la période
6. Calcul de la base de référence ajustée pour la période
- Facteurs d'ajustement de la période
- Ajustements périodiques
7. Calculs des économies d'énergie (KW, KWh, m <sup>3</sup> , et TND)
8. Calculs des économies d'énergie (TND)
9. Estimation des économies annuelles projetées.

## GARANTIE DE LA QUALITE

Voici la procédure qui sera employée afin d'assurer la qualité des calculs d'économie d'énergie, et de toute autre activité connexe lors de la préparation des rapports.

- > Uniquement des professionnels possédant la certification CMVP (Certified Measurement and Verification Professional) pourront superviser des campagnes de mesurage, les analyses de la base de référence, les ajustements de base de référence et les calculs d'économie.
- > Tous les calculs d'économie seront basés sur des principes fondamentaux d'ingénierie et effectués selon les règles de l'art.
- > Chacun des calculs fera l'objet d'une vérification par un responsable de la qualité ayant les aptitudes requises.
- > La base de référence et les consommations de la période de suivi seront basées sur des campagnes de mesurage avec des équipements calibrés. Les données brutes seront examinées par le responsable de la réalisation des analyses pour déterminer si elles sont cohérentes.
- > Afin de minimiser les erreurs de saisie des données servant au calcul, celles-ci seront doublement vérifiées. Cette seconde vérification sera effectuée par un autre intervenant.

## ANNEXE V PLAN DE M&V : REMPLACEMENT D'UN REFROIDISSEUR

### MESURES DE CONSERVATION D'ENERGIE (MCE)

Une usine a un refroidisseur qui alimente en eau refroidie les systèmes de climatisation d'une usine. Durant un audit, un consultant s'est rendu compte que ce refroidisseur n'a pas été maintenu dans les meilleures conditions durant plusieurs années et, par conséquent, son rendement a baissé. De plus, de nouvelles technologies offrent des refroidisseurs plus performants.

La MCE consiste à remplacer un refroidisseur de 700 kW, plus efficace, ayant la même capacité. Les horaires de fonctionnement resteront identiques.

Ce plan de mesurage et vérification (M&V) vise à établir les économies entre le refroidisseur existant et le refroidisseur de meilleur rendement énergétique qui le remplacera.

### OPTION ET PERIMETRE DE MESURE

#### L'option employée pour déterminer les économies

Option A

Selon le volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010

#### Justification du choix de l'option et justification des hypothèses

Utiliser l'Option A dans le cas de remplacement de refroidisseur implique la vérification de la performance de l'unité existante et de l'unité de remplacement. Le projet est basé sur le mesurage pendant de courte période. Le rendement du refroidisseur existant et celui du nouvel équipement devront être mesurés. Dû aux caractéristiques non linéaires de la courbe de consommation vs la charge, les mesures sur les refroidisseurs existants sont réalisées à différentes charges. Cela implique la mesure simultanée de plusieurs paramètres : débit, températures et puissance électrique.

La charge du refroidisseur sera simulée à partir des modifications artificielles d'opération des systèmes du bâtiment. La charge sur le refroidisseur augmentera en élevant la température du bâtiment puis en arrêtant le refroidisseur et les systèmes de ventilation du bâtiment). Ensuite, le refroidisseur est remis en marche et atteint le point de charge constante pour pouvoir réduire la température du bâtiment. La charge du refroidisseur peut être réduite en augmentant la température de contrôle du système de ventilation.

Les courbes de charge des deux refroidisseurs (existant et nouveau) seront introduites dans un logiciel de simulation énergétique. Le logiciel déterminera la charge des refroidisseurs pour chaque heure de l'année (8 760 h). Toutes les caractéristiques du bâtiment qui peuvent influencer la charge de refroidissement doivent être documentées.

Les logiciels disponibles sont nombreux : DOE 2, EnergyPlus, Trace 700, HAP, etc.

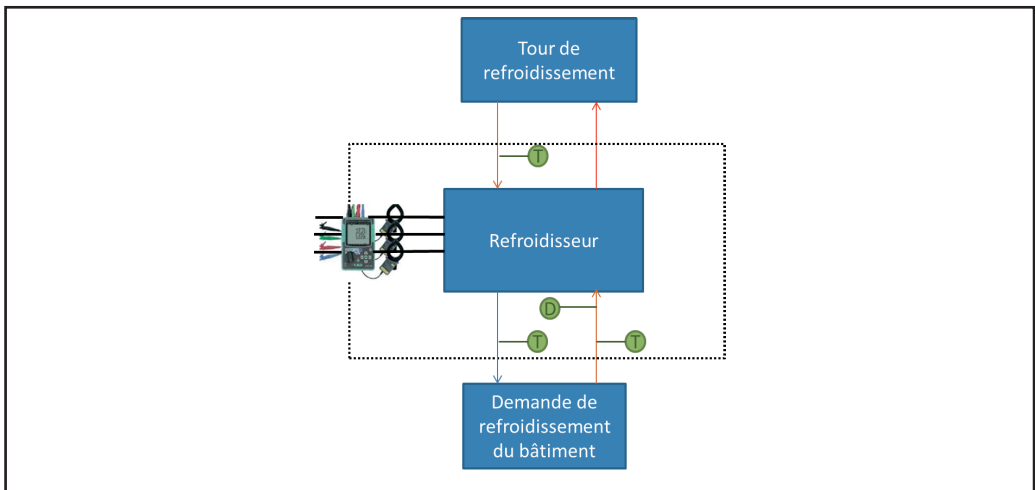
La méthodologie a été développée par des membres de l'ASHRAE et présentée dans un article : in situ Performance Testing of Chillers for Energy Analysis – ASHRAE Transactions Vol. 103, Part 1.

L'approche choisie, en utilisant l'Option A, vient du fait que la mesure des paramètres dans leur ensemble (débit au condenseur et au refroidisseur, températures d'entrée et de sortie du condenseur et du refroidisseur, la puissance électrique du refroidisseur et celle de la tour de refroidissement) représente un coup important en comparaison avec les économies d'énergie de la mesure de conservation de l'énergie.

L'estimation se fait sur les approximations dues à la simulation énergétique pour trouver la charge du refroidisseur en fonction des caractéristiques du bâtiment. L'utilisation de la même méthodologie pour déterminer l'efficacité des refroidisseurs et des mêmes paramètres extérieurs au périmètre de mesure (caractéristiques du bâtiment, données météorologiques, etc.) réduit les incertitudes liées aux estimations.

### Périmètre de mesure

Le périmètre de mesure est le refroidisseur.



## SITUATION DE REFERENCE ; PERIODE, ENERGIE ET CONDITIONS

### IDENTIFICATION DE LA PERIODE DE REFERENCE

Les mesures seront prises pendant huit heures avant le remplacement et huit heures après le changement du refroidisseur. Les données nécessaires à la comparaison de l'équipement existant et du nouveau pourront être mesurées durant la période de référence, en offrant une gamme suffisante de charges.

### DONNEES DE CHARGE ET DE CONSOMMATION DE LA PERIODE DE REFERENCE

Pour la période de référence, les données proviennent des mesures des paramètres suivants sur le refroidisseur existant :

- > La puissance électrique du moteur du compresseur
- > Le débit d'eau à l'évaporateur
- > Les températures d'alimentation et de retour de l'eau (évaporateur)
- > La température de retour dans le condenseur.

Au moins dix points doivent être mesurés pour assurer une extrapolation.

**Tableau XX : Exemple de mesures pour un refroidisseur**

Charge %	Puissance du moteur kW	Evaporateur			Condenseur
		Débit eau kg/s	Température entrée eau °C	Température sortie eau °C	Température entrée eau °C
40	71	25,2	13,4	10,2	27,0
40	60	25,2	15,6	13,5	26,0
40	68	25,2	19,1	15,9	24,8
40	69	25,2	15,8	13,3	30,6
60	122	25,2	13,2	6,6	28,0
60	96	25,2	18,9	13,3	26,1
60	118	25,2	16,0	9,9	30,2
60	117	25,2	16,5	10,7	30,1
75	155	25,2	15,6	7,9	30,6
75	170	25,2	16,0	8,4	31,0
80	161	25,2	16,4	8,8	30,7
80	130	25,2	13,9	7,0	27,8
80	160	25,2	13,3	5,7	28,1
80	112	25,2	18,4	11,9	26,8
80	153	25,2	16,3	8,1	29,4
100	210	25,2	13,7	5,4	28,0
100	125	25,2	18,0	10,9	27,3
100	170	25,2	16,8	8,4	28,7
100	160	25,2	16,7	8,7	28,1

La puissance de l'évaporateur est calculée suivant la formule suivante :

$$Q_{evap} = (T_{ee} - T_{se}) \times \dot{m}_e \times c_{pe}$$

$Q_{evap}$  : puissance de l'évaporateur en kW

$T_{ee}$  : température de l'eau à l'entrée de l'évaporateur en °C

$T_{se}$  : température de l'eau à la sortie de l'évaporateur en °C

$\dot{m}$  : débit d'eau refroidie en kg/s

$c_p$  : chaleur spécifique de l'eau en kJ/kg.°C.  $c_{pe} = 4,18$  kJ/kg.°C

Le coefficient de performance COP est calculé pour chacun des points mesurés en utilisant la formule suivante :

$$COP = Q_{evap} / P_{moteur}$$

### AJUSTEMENT REQUIS AUX DONNEES DE LA PERIODE DE REFERENCE

Dans le cas présent, comme la période de référence est très limitée dans le temps, aucun ajustement aux données de la base de référence n'est requis.

## VARIABLES INDEPENDANTES

Les variables indépendantes incluent les facteurs pouvant affecter la consommation d'énergie du site et qui seront pris en compte de façon systématique pour établir les ajustements périodiques de la base de référence durant la période de suivi.

Dans le cas présent, aucune variable indépendante n'est à prendre en compte, car les mesures de la période de suivi et de la période de référence seront utilisées dans un logiciel de simulation pour donner des économies normalisées.

## FACTEURS STATIQUES DE LA PERIODE DE REFERENCE

Les facteurs statiques incluent des équipements et modes d'opération qui sont réputés fixes lors de la préparation du plan de mesurage. Ainsi, advenant un changement dans ces données et paramètres, la simulation de la base de référence doit être reconduite en considération des changements et calibrée de nouveau. La liste ci-dessous présente certains des événements qui pourraient provoquer des changements aux facteurs statiques.

Cette liste n'est pas limitative et toute autre modification faite au bâtiment ou à son opération, qui serait de nature à changer ses besoins en énergie, pourrait y être ajoutée.

- > Caractéristiques des systèmes mécaniques CVC : températures, horaires, puissances, rendements, etc. ;
- > Eclairage : puissance et heures d'opération ;
- > Températures de consigne ;
- > L'application de nouvelles normes ou d'un nouveau règlement régissant les conditions de fabrication et les conditions ambiantes ;
- > Enveloppe du bâtiment ;
- > Changements quant à l'utilisation du bâtiment ;
- > Transformation du bâtiment ;
- > Heures de fonctionnement des systèmes de ventilation ;
- > Quantité d'air extérieur utilisé ;
- > Température de l'eau chaude et de l'eau refroidie.

Les facteurs statiques seront utilisés dans la simulation énergétique.

## PERIODE DE SUIVI

La période de suivi est de trois ans. La période de mesurage est de huit heures.

## INSPECTIONS PERIODIQUES

Une inspection annuelle sera conduite pour vérifier le fonctionnement du refroidisseur.

## BASE POUR LES AJUSTEMENTS

Approche retenue	Equation
Energie évitée	Energie de la période de référence (-) énergie de la période de suivi
Demande évitée	Demande de la période de référence (-) demande de la période de suivi

## PROCEDURE D'ANALYSE

Ajustements périodiques : (P)	O	N	Ajustements non périodiques : (N)	O	N
	X				X

### Calcul du coefficient de performance

Le COP détermine l'efficacité du refroidisseur et il est différent selon la charge du refroidisseur et des températures de fonctionnement. La relation entre le coefficient de performance et la puissance du moteur s'utilise comme donnée d'entrée dans le logiciel de simulation.

Le modèle thermodynamique suivant, utilisant une régression linéaire pour déterminer les points  $A_0$ ,  $A_1$  et  $A_2$ , sert à déterminer le COP.

$$\frac{1}{COP} = -1 + \left( \frac{T_{cwRT}}{T_{chwST}} \right) + \frac{-A_0 + A_1(T_{cwRT}) - A_2(T_{cwRT}/T_{chwST})}{Q_{evap}}$$

Où :

COP : coefficient de performance du refroidisseur

$T_{chwST}$  : température de l'eau refroidie d'alimentation (sortie de l'évaporateur) en °K

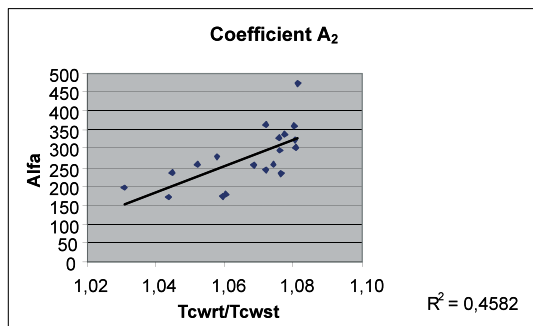
$T_{cwRT}$  : température de l'eau de retour au condenseur en °K

$Q_{evap}$  : puissance de l'évaporateur en W

Pour déterminer le coefficient  $A_2$ , chaque point d'opération du refroidisseur est inséré dans un graphique ayant comme abscisse le ratio entre la température de retour au refroidisseur (entré du condenseur) et la température de sortie de l'évaporateur (température d'alimentation) :  $T_{cwRT}/T_{chwST}$  et comme ordonnée le coefficient Alfa calculé par la formule suivante :

$$Alfa = [(1/COP) + 1 - (T_{cwRT}/T_{chwST})] \times Q_{evap}$$

Le coefficient  $A_2$  est la pente de la régression linéaire des points d'opération, dans ce cas  $A_2 = 3\,500$  ( $Y = 3\,500 X + B$ )

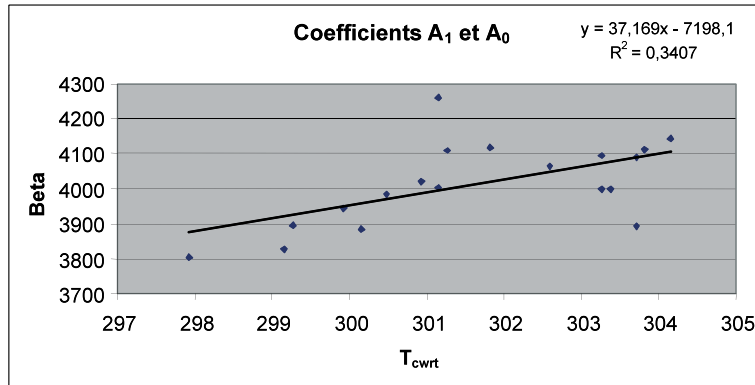


Pour déterminer les coefficients  $A_0$  et  $A_1$ , chaque point d'opération du refroidisseur est mis dans un graphique avec comme abscisse la température de retour de l'eau refroidie  $T_{cwRT}$  et comme ordonnée une valeur appelée Beta.

Cette valeur est calculée suivant la formule ci-dessous :

$$Beta = Alfa + A_2 \times (T_{cwRT}/T_{chwST})$$

Le facteur A1 est la pente de la régression linéaire des points d'opération. Ici,  $A1 = 37,17$   
 Le facteur A2 est l'intersection de la régression avec l'axe des abscisses. Ici,  $A0 = -7\ 198$



L'équation permet de calculer le COP pour toutes les charges du refroidisseur et sert de données d'entrée au logiciel de simulation.

Deux simulations sont modélisées dans le logiciel. La première inclut les données de l'ancien refroidisseur et la seconde utilise les données du refroidisseur de remplacement. La différence obtenue représente les économies de demande d'électricité et aussi de consommation.

## PRIX DE L'ENERGIE

Les économies valorisées sont déterminées en appliquant le barème de coûts approprié dans l'équation suivante :

**Economies valorisées = C<sub>b</sub> - C<sub>r</sub>**

**C<sub>b</sub>** = coût de l'énergie correspondant à la puissance et l'énergie de la base référence ajustée pour la période de suivi courante (incluant l'historique de la base de référence plus tout ajustement périodique ou non périodique).

**C<sub>r</sub>** = coût de l'énergie pendant la période de suivi

Les économies monétaires seront déterminées en appliquant la structure tarifaire en vigueur une fois la mise en service complétée. La même structure tarifaire sera appliquée au calcul de C<sub>b</sub> et C<sub>r</sub>. Aucun prix plafond n'est prévu, dans l'alternative où les tarifs énergétiques subissaient d'importantes hausses. Le client a un tarif d'achat de l'électricité Moyenne Tension de type postes horaires

**Tableau XX : Tarif Moyenne Tension de type postes horaires**

Tarifs Moyenne Tension	Redevance (mill/kW-mois)	Prix de l'énergie (mill/kWh)*			
		Jour	Pointe	Soir	Nuit
Postes horaires	3 500	110	168	133	85

Source : STEG

\*La TVA est à appliquer à un taux de 18 % sur toutes les redevances et sur le prix d'énergie (hors taxes) des usages autres que domestiques et l'irrigation. A majorer de la surtaxe municipale de trois mill/kWh.

Pour le tarif à postes horaires, les périodes sont définies comme suit :

**Tableau XX : Tarifs à quatre postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Soir	Nuit
1er septembre au 31 mai	de 7 h à 18 h	de 18 h à 21 h	-	de 21 h à 7 h
1er juin au 31 août	de 6 h 30 à 8 h 30 et de 13 h 30 à 19 h	de 8 h 30 à 13 h 30	de 19 h à 22 h	de 22 h à 6 h 30

**Tableau XX : Tarifs à trois postes horaires**

Mois	Jour	Pointe	Nuit
1er octobre au 31 mars	de 6 h 30 à 17 h 30	de 17 h 30 à 21 h 30	de 21 h 30 à 6 h 30
1er avril au 30 septembre	de 8 h à 19 h	de 19 h à 23 h	de 23 h à 8 h

## EQUATIONS POUR LE CALCUL DES ECONOMIES

Le potentiel des économies est estimé grâce à la simulation énergétique du bâtiment comme expliqué dans la section « Procédure d'analyse ».

L'équation suivante est utilisée pour calculer les économies de coût (en dinars) :

Economies mensuelles =  $kW_{réduction} \times \text{redevances} + kWh_{pointe\ réduction} \times \text{prix de l'énergie de pointe} + kWh_{jour\ réduction} \times \text{prix de l'énergie le jour} + kWh_{soir\ réduction} \times \text{prix de l'énergie le soir} + kWh_{nuit\ réduction} \times \text{prix de l'énergie la nuit}$

Où :

$$kW_{réduction} = kW_{base} - kW_{nouveau\ refroidisseur}$$

$$kWh_{réduction} = kWh_{base} - kWh_{nouveau\ refroidisseur}$$

## CARACTERISTIQUES DES COMPTEURS

Le mesurage des paramètres des refroidisseurs nécessite les compteurs portatifs suivants :

- > Un compteur de puissance RMS pour mesurer la puissance du moteur du compresseur. Les mesures sont réalisées à partir du panneau électrique qui alimente le moteur du compresseur du refroidisseur. La précision voulue est de +/- 1 %. Le compteur est de type « à pince ».
- > Un débitmètre pour la mesure du débit à l'évaporateur. Afin de ne pas modifier la tuyauterie du système, un débitmètre non intrusif ultrasonique est recommandé. La précision de ce compteur est de +/- 1 %. Le compteur doit être installé à une distance de 20 x diamètre du conduit avant tout coude à 90 ° et 5 x diamètre du conduit après un élément pouvant modifier le flux.
- > Trois thermocouples pour mesurer :
  - La température de sortie à l'évaporateur
  - La température d'entrée à l'évaporateur
  - La température d'entrée au condenseur

La température sera mesurée à l'extérieur du conduit. Pour chaque thermocouple, l'enregistreur sera installé le plus près possible du point de mesure afin de ne perdre aucune précision. Les thermocouples sont capables de détecter une variation de 0,1 °C.

Un concentrateur de données recueillera les mesures qui seront ensuite transférées sur un ordinateur, après chaque journée de mesurage.

Les équipements de mesure doivent être calibrés selon la législation en vigueur en Tunisie. L'entreprise assurant la mesure devra fournir une copie du certificat de calibration de chaque équipement au responsable du rapport de conciliation.

## RESPONSABILITES DU SUIVI

Responsables	Enregistrement des données énergétiques		Variables indépendantes		Facteurs statiques	
	Données	Fréquence	Données	Fréquence	Données	Fréquence
Entreprise assurant l'implantation du système de mesurage et réalisant le rapport de M&V	Puissance à l'entrée du compresseur Débit à la sortie de l'évaporateur Températures à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur Température à l'entrée du condenseur	Une seule fois après l'implantation du refroidisseur pendant huit heures	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Propriétaire du site	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.

## RESPONSABILITE DU RAPPORT

<b>Responsable</b>	Nom du responsable
<b>Fréquence</b>	Trois rapports à émettre après chaque campagne de mesurage post-installation
<b>Transmission</b>	jours suivant la campagne de mesurage 30

## BUDGET

Les budgets d'évaluation pour une période de suivi de trois ans sont les suivants :

	Instrumentation	Honoraires
Préparation du plan de M&V et de la base de référence	S.O.	1 600 TND
Mesurage avant installation	<b>TND 2000</b>	1 800 TND
Mesurage et production de rapport pour la période de suivi	<b>TND 6000</b>	<b>TND 5400</b>
Sous-total	<b>TND 8000</b>	<b>TND 8800</b>
Total	<b>TND 16800</b>	

## FORMAT DU RAPPORT DE M&V

Nom du projet :

Date :

1. Dates de début et fin de la période de mesurage
2. Consommation de la base de référence
  - Données de mesurage
3. Consommation de la période de suivi
4. Logiciel et caractéristiques du bâtiment utilisés
5. Calcul de la base de référence pour la période
  - Facteurs d'ajustement de la période
6. Calculs des économies d'énergie (kW, kWh)
7. Calculs des économies d'énergie (TND)
8. Estimation des économies annuelles projetées

## GARANTIE DE LA QUALITE

Voici la procédure qui sera employée afin d'assurer la qualité des calculs d'économie d'énergie, et de toute autre activité connexe lors de la préparation des rapports.

> Uniquement des professionnels possédant la certification CMVP (Certified Measurement and Verification Professional) pourront réaliser la supervision des campagnes de mesurage, les analyses de la base de référence, les ajustements de base de référence et les calculs d'économie.

> Tous les calculs d'économie seront basés sur des principes fondamentaux d'ingénierie et effectués selon les règles de l'art.

> Chacun des calculs fera l'objet d'une vérification par un responsable de la qualité ayant les aptitudes requises.

> La base de référence et les consommations de la période de suivi seront basées sur des campagnes de mesurage avec des équipements calibrés. Les données brutes seront examinées par le responsable de la réalisation des analyses pour déterminer si elles sont cohérentes

Afin de minimiser les erreurs d'entrée de données énergétiques, celles-ci seront doublement vérifiées. Cette seconde vérification sera effectuée par un autre intervenant.



## Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie

3 rue Chott Mariem Montplaisir 1073 Tunis – B.P . 213  
Tél : (216) 71 906 900 – (216) 71 908 305 - Fax : (216) 71 904 624  
Direction de l'Efficacité Énergétique dans l'Industrie  
E-mail : [ugp\\_peeil@anme.nat.tn](mailto:ugp_peeil@anme.nat.tn)  
Site web : [www.anme.nat.tn](http://www.anme.nat.tn)

